

Technical Evaluation of Utilization of Sheep Dung Pellet for Household Cooking Energy Supply in Iranian Nomadic Life

MOHAMMADALI EBRAHIMI-NIK^{*}, MOHAMMADREZA RASOULKHANI¹, ABDOLLAH RAHIMI DAMIRCHI OLYA¹, HAMID MOHAMMADNEZHAD¹, MOHAMMAD HOSSEIN ABBASPOUR-FARD¹

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: July. 8, 2019- Revised: Jan. 4, 2020- Accepted: Jan. 22, 2020)

ABSTRACT

Fuel supply for cooking among Iranian nomads have always been problematic job. The use of wood as a source of energy is very common in nomads. Traditional method of firing releases a huge amount of smoke, which may lead to respiratory problems in women. Moreover, collection of wood corresponds to destroy of natural resources. The aim of this study is to assess the feasibility of using sheep dung (as the most available biomass in nomadic life), as a cleaner cooking fuel in an improved biogas stove. In this research a micro gasifier biomass cook stove as an improved biomass cook stove was evaluated based on Emission & Performance Test Protocol. Sheep dung pellets of 38 mm length and 13.6 mm diameter was used as biofuel. In addition to measurement of descriptive characteristics, the heating value of fuel was estimated based on elemental analyzing results and the models presented in previous researches. Emission of Carbon monoxide was monitored throughout the test. No smoke was observed during the stove operation. The thermal power of the stove was measured to be 3.4 kW. With the efficiency of 28 percent, 3 L of water got to boiling point in 16 min consuming 440 g of pellet. The average amount of emitted CO was recorded to be acceptable range. The results of micro gasifier biomass cook stove evaluation with sheep dung pellet as fuel showed that, this device has a good technical and emission performance with this fuel and it can be used for nomad's household. Further on field research is needed to adjust the stove size and design to the common life style of nomads.

Keywords: Heating Value – Evaluation – Renewable Energy – Thermal efficiency - Gasification

ارزیابی فنی امکان استفاده از پلت کود گوسفندی برای تأمین انرژی پخت‌وپز خانگی عشایر ایران

محمدعلی ابراهیمی نیک^{۱*}، محمدرضا رسول‌خانی^۱، عبدالله رحیمی دمیرچی علیا^۱، حمید محمدی‌نژاد^۱، محمد حسین عباسپور فرد^۱

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۲)

چکیده

با توجه به مشکلات فراوان عشایر در تأمین انرژی پخت‌وپز خانگی، هدف این تحقیق بررسی اولیه امکان استفاده از فضولات گوسفندی، به‌عنوان سوخت جایگزین به‌ویژه در زمان‌های اضطرار برای عشایر است. به‌همین منظور، فضولات گوسفندی به‌صورت پلت به‌طول ۳۸ و قطر ۱۳/۶ میلی‌متر تهیه و در یک اجاق میکروگازیفایر توسعه یافته، مورد ارزیابی قرار گرفت. همه آزمون‌های ارزیابی بر اساس پروتکل آزمون آلاینده‌گی و عملکرد انجام شد و طی آن در هر آزمون مقدار سه لیتر آب و ۸۰۰ گرم پلت کود گوسفندی استفاده شد. پس از اندازه‌گیری خصوصیات توصیفی پلت‌ها، با استفاده از نتایج و مدل‌های ارائه شده در پژوهش‌های پیشین، ارزش حرارتی سوخت مورد استفاده محاسبه شد. نتایج نشان داد که طی استفاده از پلت کود گوسفندی با مصرف ۴۷۳ گرم سوخت و با آهنگ مصرف ۱۴/۷ گرم در هر دقیقه، مقدار ۳ لیتر آب در مدت زمان ۱۶ دقیقه به‌جوش رسیده که براساس مطالعات پیشین، مدت زمان مناسب و قابل قبولی است. توان اجاق ۳/۴ کیلو وات و بازدهی حرارتی آن با سوخت فضولات گوسفندی ۲۸ درصد و مقدار توان مفید که برآیند این دو پارامتر است ۰/۹۵۲ کیلو وات اندازه‌گیری شد. مقایسه نتایج ارزیابی آلاینده‌گی با استانداردهای بین‌المللی از جمله استاندارد EPA نشان داد که میزان انتشار مونوکسیدکربن بیشتر از حد مجاز نبوده است. از نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پلت کود گوسفندی هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ آلاینده‌گی قابل‌استفاده به‌عنوان سوخت اجاق میکروگازیفایر برای پخت‌وپز خانگی است.

واژه‌های کلیدی: عشایر، میکروگازیفایر، انرژی تجدیدپذیر، کود گوسفندی، بازده حرارتی

مقدمه

فراوانی منابع انرژی فسیلی در ایران همواره منشاء مشکلات عدیده‌ای از جمله معضلات زیست‌محیطی بوده است. این فراوانی متأسفانه نگاه مدیران را تک بعدی کرده است، به این معنی که راه حل تأمین انرژی در هر منطقه‌ای، رساندن گاز، نفت و یا کپسول گاز مایع شده است. نکته مورد غفلت اما ضررهای مالی و جانی خانوارهای مناطق دور، و هزینه‌های بالای درمان آنها است. انتقال کپسول‌های سنگین گاز مایع خطر آسیب به دیسک کمر را به همراه دارد و باز و بسته شدن مکرر آنها احتمال نشستی را بالا می‌برد. از طرف دیگر، در مواقع بحرانی که اتفاقاً نیاز شدیدتر است، ارسال سوخت با تأخیر همراه است. چنین مشکلاتی به‌ویژه برای عشایر و روستائیان مناطق دورافتاده بسیار مشاهده می‌شود. طبق آخرین آمارهای ده ساله سرشماری عشایر کوچ‌نشین که توسط سازمان ملی آمار ایران در سال ۱۳۸۷ انجام شده ۶۰ درصد از خانوارهای عشایر در دوره ییلاق برای انجام فعالیت‌های پخت‌وپز خود از زیست‌توده استفاده می‌کنند (Statistical Center of Iran, 2008). شکل (۱) و (۲) نوع سوخت مورد استفاده در خانوارهای عشایر کوچ‌نشین و سهم هر یک را نشان می‌دهد.

با توجه به این نکته که یکی از مهم‌ترین روش‌های امرار معاش در بین عشایر دامداری است، توجه به پتانسیل‌های استفاده از کود های حیوانی، این منابع انرژی را به‌عنوان یک منبع انرژی بی‌هزینه و در دسترس برجسته می‌کند. در این بین آمارها نشان می‌دهد در بین احشام مورد استفاده عشایر، گوسفند و بره با بیش از ۱۳/۵ میلیون رأس دارای بیشترین فراوانی هستند (Statistical Center of Iran, 2008). جدول ۱ نشان‌دهنده فراوانی انواع دام در بین عشایر کوچ‌نشین است. از سوی دیگر آمارها نشان می‌دهد که اگر چه زیست‌توده بخش اعظمی از منبع تأمین انرژی خانگی عشایر را تشکیل می‌دهد اما وسایلی که برای پخت‌وپز خانگی و یا گرمایش مورد استفاده عشایر قرار دارد وسایل سنتی معمولی با بازدهی بسیار پایین است. این نکته بیان‌گر اهمیت تحقیق بر روش‌های دارای بازدهی بیشتر برای استفاده در بین عشایر و افزایش سطح رفاه آنها است. جدول ۲ نشان‌دهنده وسایل مورد استفاده برای پخت‌وپز خانگی در بین عشایر است (Statistical Center of Iran, 2008). لازم به ذکر است (Rasoulkhani et al., 2018) طی یک مطالعه مقایسه‌ای بهتر بودن عملکرد اجاق‌های زیست‌توده سوز بهبودیافته را نسبت به روش‌های سنتی و کم بازده که در بین عشایر و روستائیان مرسوم است به اثبات رسانده‌اند.



شکل ۱. درصد خانوارهای عشایر کوچنده به تفکیک نوع سوخت مورد استفاده برای پخت‌وپز (الف) و گرمایش (ب) در دوره پیلای (Statistical Center of Iran, 2008)



شکل ۲. درصد خانوارهای عشایر کوچنده به تفکیک نوع سوخت مورد استفاده برای پخت‌وپز (الف) و گرمایش (ب) در دوره قشلاق (Statistical Center of Iran, 2008)

جدول ۱. تعداد انواع دام جامعه عشایر کوچنده برحسب نوع دام (Statistical Center of Iran, 2008)

کل کشور	گوسفند و بزه	بز و بزغاله	گاو و گوساله	گاو میش و بچه گاو میش	شتر و بچه شتر	اسب و کره اسب	قاطر و استر	الاغ و کره الاغ
۱۳۵۸۵۶۸۹	۸۳۴۸۵۲۹	۲۵۳۸۷۷	۹۲۷۱	۴۱۶۴۲	۱۷۰۹۷	۱۶۰۲۹	۱۶۸۴۱۸	

جدول ۲. تعداد خانوارهای عشایر استفاده کننده از وسایل پخت‌وپز خانگی (Statistical Center of Iran, 2008)

تعداد خانوار	تور پخت نان (گازی)	چراغ خوراک پز نفتی ^۱	اجاق گاز سوز خانگی
۳۳۸۴۳	۱۲۳۸۲۱	۱۳۷۴۶۳	

فناوری میکروگازیفیکاسیون و بررسی جایگاه آن برای تأمین انرژی پخت‌وپز خانگی در ایران، بیان کردند که استفاده از اجاق های زیست توده سوز میکروگازیفایر با توجه به بازدهی بالا و هزینه و آلودگی پایین در مقابل روش های سنتی، گزینه مناسبی برای جایگزینی با روش های متداول و یا استفاده به عنوان مکمل در کنار آن ها می باشند (Rasoulkhani et al., 2016; Ebrahimi-Nik & Rohani, 2019). Rasoulkhani et al (2019) ضمن طراحی ساخت و بهینه سازی یک نوع اجاق زیست توده سوز جریان

یکی از جالب ترین گزینه ها برای جایگزینی با روش های کم-بازده و سنتی استفاده از زیست توده برای گرمایش و پخت‌وپز خانگی، استفاده از اجاق های پخت‌وپز زیست توده سوز توسعه یافته^۱ است. به عقیده پژوهشگران تمرکز بر پروژه های بهبود و به کارگیری اجاق های زیست توده سوز، کاهش از بین رفتن جنگل ها، افزایش سلامتی و کاهش سرعت تغییرات آب و هوایی را به ارمغان خواهد آورد (Lertsatitthanakorn et al., 2014; MacCarty et al., 2010). پژوهشگران ایرانی نیز ضمن معرفی

بیشترین میزان شعله دهی با متوسط ۸۴ دقیقه مربوط به اجاق‌های جریان طبیعی و کمترین میزان زمان شعله دهی با ۷۰ دقیقه برای اجاق دمنده دار به ثبت رسید. میزان شعله دهی اجاق سنتی تقریباً ۷۶ دقیقه گزارش شد. این پژوهشگران ادعان داشتند که بهترین عملکرد اجاق‌های مورد ارزیابی (زمان‌های گزارش شده) با استفاده از سوخت کود حیوانی به ثبت رسیده و کمترین زمان شعله دهی در هنگام استفاده از چوب به عنوان سوخت بوده است. ایشان همچنین گزارش کردند که در هنگام استفاده از کود حیوانی به عنوان سوخت بیشترین میزان مصرف سوخت ویژه برای عملکرد اجاق‌های مورد ارزیابی به ثبت رسیده است. براساس گزارشات ناشی از این پژوهش بیشترین میزان بازدهی حرارتی با مقدار ۳۷ درصد مربوط به اجاق دمنده دار در استفاده از کود حیوانی بوده است. این پژوهش همچنین نشان داده که بهترین بازدهی حرارتی در اجاق‌های توسعه یافته جریان طبیعی در هنگام استفاده از کود حیوانی به عنوان سوخت بوده است که دو عدد متوسط ۲۱ درصد و ۲۸ درصد را برای میزان بازدهی حرارتی دو اجاق مورد استفاده در پژوهش خود گزارش کرده اند.

(Tańczuk *et al* (2017) طی یک مطالعه آزمایشگاهی با هدف بررسی امکان استفاده هم‌زمان کود مرغی و پلت چوب، ماده‌های ذکر شده را به صورت ترکیبی در یک گازیفایر بستر ثابت با ظرفیت ۵ کیلوگرم بر ساعت به عنوان سوخت مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش دو سری کود مرغی (پلت و غیر پلت خشک شده) به صورت ترکیبی با پلت چوب درخت کاج در فرایند گازیفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر ظرفیت تولید ۲ تا ۲/۵ مگاژول انرژی از هر مترمکعب از این سوخت ترکیبی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کود مرغی پلت شده به همراه پلت چوب می‌تواند به طور معنی‌داری هزینه‌های تولید انرژی پلت‌های چوبی را کاهش دهد. این نتایج همچنین مشخص کرد که ارزش حرارتی گاز مولد تولید شده از پلت کود مرغی بالاتر از کود مرغی به صورت پلت نشده است که این نتیجه اهمیت کاربرد پلت‌ها را در فرایند گازی‌سازی برجسته می‌کند.

(Grimsby *et al* (2016) در پژوهشی که انجام دادند برای ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز منطقه خود (تانزانیا) از ساقه گیاه ذرت، ساقه بلال ذرت، ساقه آفتاب‌گردان و خاکاره و همچنین هیزم و زغال و کود گاوی به عنوان سوخت‌های متداول و در دسترس در منطقه استفاده کردند. این پژوهشگران در نتایج ارزیابی سوخت‌های مختلف برای انتخاب بهترین سوخت، دامنه

طبیعی ادعان داشتند که استفاده از این نوع اجاق‌ها برای بهره‌گیری از زیست‌توده بسیار مناسب بوده و توجه به این موضوع، در کنار تأثیرات مثبت زیست‌محیطی (کاهش آلاینده‌گی نسبت به استفاده‌های سنتی و مصرف سوخت کمتر در این اجاق‌ها و در نتیجه تخریب کمتر جنگل‌ها و مراتع)، گامی در جهت افزایش عمران روستایی و بهبود رفاه زندگی در جامعه هدف (عشایر و روستاییان) خواهد بود.

بر همین اساس پژوهش‌های فراوانی با توجه به سبک زندگی و ماده خام در دسترس در نقاط مختلف جهان انجام شده است. در این گونه مطالعات، مدت زمان شعله‌دهی با مصرف میزان مشخصی از سوخت، مدت زمان به جوش آوردن مقدار مشخصی از آب (نشانگر توان حرارتی بازدهی و خصوصیات شعله)، و همچنین میزان انتشار آلاینده‌ها، فاکتورهای مورد بررسی است. (Ebrahimi-Nik & Rohani (۲۰۱۹) استفاده از سه نوع ضایعات کشاورزی شامل چوب ذرت، پوست بادام و خرده‌چوب را در یک اجاق بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در این بین بهترین عملکرد با پوست بادام حاصل می‌شود (Rasoulkhani *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای مشابه استفاده از کود زرافه، گورخر، کرگدن و بوفالو آمریکایی به عنوان سوخت یک نوع اجاق TLUD^۱ گزارش گردیده است (Birzer *et al.*, 2014).

(Suresh *et al* (۲۰۱۶) در یک مطالعه ۳ نوع از اجاق‌های توسعه یافته منطقه خود با روش سنتی مورد استفاده، مقایسه و عملکرد هرکدام را با استفاده از ۳ نوع سوخت زیست توده متداول در منطقه و براساس روش آزمون جوشش آب^۲ و آزمون پخت کنترل شده^۳ مورد ارزیابی قرار دادند. در این آزمایش ۱ اجاق استوانه‌ای توسعه یافته از نوع TLUD اما مجهز به دمنده^۴ (ابعاد محفظه احتراق استوانه‌ای: قطر قاعده = ۱۱ سانتی متر و ارتفاع = ۱۴ سانتی متر) و دو اجاق توسعه یافته جریان طبیعی^۵ (متوسط ابعاد محفظه: قطر قاعده = ۱۰ سانتی متر و ارتفاع = ۲۳ سانتی متر) با استفاده از سه نوع سوخت زیست توده (چوب، بقایای قابل اشتعال کشاورزی و مود حیوانی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پژوهشگران گزارش کردند که در این ارزیابی‌ها بیشترین میزان مصرف سوخت ویژه با مقدار ۱۱۶۳ گرم بر کیلوگرم مربوط به روش سنتی و کمترین میزان مصرف سوخت ویژه با مقدار ۵۸۸ گرم بر کیلوگرم مربوط به اجاق TLUD دمنده دار بوده است. این شاخص برای هریک از اجاق‌های توسعه یافته جریان طبیعی نیز به طور متوسط ۹۹۰ گرم بر کیلوگرم بوده است. در این پژوهش

میکروگازیفایر با استفاده از عایق حرارتی سرامیکی عایق‌بندی شده و پس از آن درون یک محفظه خارجی مکعب شکلی در ابعاد ۲۷۵×۲۷۵ میلی‌متر و ارتفاع ۳۴۰ میلی‌متر قرار گرفت. به‌منظور درزبندی فضای اطراف محل اشتعال، قسمت اتصال فوقانی اجاق به محفظه خارجی، با توجه به اینکه این فضا در قرابت با محل تشکیل شعله است، از واشر آزبستی (به دلیل مقاومت حرارتی بالا) استفاده شد.

ارزیابی عملکرد

یکی از متداول‌ترین روش‌های ارائه‌شده برای ارزیابی عملکرد اجاق‌های زیست‌توده سوز آزمون جوشاندن آب یا WBT است که توسط همه پژوهشگران در این زمینه برای ارزیابی عملکرد حرارتی اجاق‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Phusrimuang & Wongwuttanasatian, 2016; Suresh et al., 2016; Wang et al., 2016). آزمون WBT یک شبیه‌سازی ساده از فرایند پخت‌وپز است که به‌منظور ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز، تحت شرایط آزمایشگاهی و کنترل‌شده انجام می‌شود.

همه آزمون‌های انجام‌شده در پژوهش حاضر بر اساس پروتکل آزمون آلاینده‌گی و عملکرد^۱ (EPTP) انجام‌شده که توسط محققان قبلی پیشنهاد و استفاده‌شده است (DeFoort et al., 2010; Tryner et al., 2016). پروتکل EPTP یکی از نسخه‌های به‌روز شده‌ی ارائه شده برای آزمون WBT است (Sutar et al., 2015). در هر تکرار از آزمون‌های انجام شده مقدار سه کیلوگرم آب در یک ظرف ۵ لیتری از دمای محیط (23°C±2) به دمای 90°C رسانده شد. در همه‌ی تکرارهای آزمون تنها مرحله شروع سرد آزمون انجام‌شده و در پایان هر فاز شروع سرد^۲ با رسیدن دمای آب به دمای 90°C که بر اساس پروتکل EPTP به عنوان زمان جوشیدن در نظر گرفته می‌شود، مقدار آب تبخیر شده، جرم سوخت باقی‌مانده (به‌صورت نسوخته) از کل سوخت بکار گرفته شده ابتدایی با مقدار 800 گرم، و جرم زغال باقی‌مانده اندازه‌گیری شد. محل انجام آزمایشات در یکی از آزمایشگاه‌های گروه مهندسی بیوسیستم در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با متوسط ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا و دمای جوش منطقه‌ای 96.6°C بوده است.

محاسبه‌ی بازده و پارامترهای ارزیابی

بازده حرارتی که عبارت است از نسبت مقدار انرژی منتقل‌شده به آب در طی آزمون بر تفاضل مقدار انرژی قابل استحصال از سوخت و مقدار انرژی باقی‌مانده در زغال در پایان فرایند آزمون از رابطه زیر محاسبه شد (WBT Technical Committee, 2014).

تغییرات توان حرارتی را در بازه ۲/۱ کیلووات برای کود گاوی با ارزش حرارتی ۸/۱ مگاژول بر کیلوگرم تا ۱۰/۴ کیلووات برای ساقه بلال ذرت با ارزش حرارتی ۱۴/۲ مگاژول بر کیلوگرم گزارش کردند. طی این پژوهش از اجاق‌های سنتی و توسعه یافته متداول منطقه استفاده شده بود که پس از انجام ارزیابی‌ها با استفاده از سوخت‌های ذکر شده نتایج آزمون جوشش آب نشان داد که اجاق توسعه یافته مورد استفاده در آزمایشات توانسته با نرخ مصرف سوخت ویژه‌ای به مقدار ۲۰۶ گرم بر دقیقه توانی معادل ۶/۹ کیلووات با بازدهی ۱۸ درصد خروجی داشته باشد.

پژوهشگران معتقدند بازدهی حرارتی و مصرف سوخت ویژه مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز هستند (Manoj et al., 2013; Sutar et al., 2015).

بررسی پژوهش‌ها و تجربیات نشان‌دهنده سهولت استفاده از کودهای حیوانی در حالت پلت شده است و نشان می‌دهد که پلت کردن کودهای حیوانی یک راه مناسب برای بهره‌گیری پر بازده از این کودها برای تأمین انرژی حرارتی و انجام فرایندهای ترموشیمیایی (پیرولیز، گازیفیکاسیون و ...) است، از طرفی فراوانی گوسفندداری در بین عشایر و جایگاه استفاده از زیست‌توده در این جامعه، این ایده را به ذهن می‌رساند تا بتوان با پلت کردن کود گوسفندی و ارائه آن به‌عنوان سوخت در اجاق‌های زیست‌توده سوز میکروگازیفایر، سوخت پلت کود گوسفندی را به گزینه‌ای فوق‌العاده کم‌هزینه و در دسترس تبدیل کرد. مصرف کود گوسفندی به عنوان سوخت همچنین می‌تواند به بهداشت محیط عشایر و دام‌های آنها کمک نماید. در تحقیق حاضر بر آن هستیم تا با به‌کارگیری کود گوسفندی به‌عنوان سوخت یک اجاق میکروگازیفایر و ارزیابی فنی عملکرد اجاق، امکان استفاده از کود گوسفندی پلت شده را بررسی کنیم.

مواد و روش‌ها

اجاق مورد استفاده

در پژوهش حاضر یک اجاق میکروگازیفایر ساخته شده با الهام از طرح Everything Nice Stove و اجاق‌های TLUD و براساس اصول کلی حاکم بر اجاق‌های میکروگازیفایر (Anderson, 2009) مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات طراحی و عملکرد این اجاق با استفاده از برخی از پسماندهای کشاورزی قبلاً توسط محققین حاضر منتشر شده است (Ebrahimi-Nik & Rohani, 2019b) ولی در این تحقیق، با توجه به تجربیات و آزمون‌های متعدد، به‌منظور بهبود عملکرد اجاق، دیواره‌ی بیرونی استوانه‌ی خارجی

(رابطه ۱)

$$\eta = \frac{(m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{H_2O} + (m \cdot h_v)_{H_2O (evap)}}{dryfuel_{equ} \cdot LHV_f - E_{moist} - char\ mass \cdot LHV_{char}}$$

در این معادله $m \cdot c \cdot \Delta\theta$ نشان‌دهنده گرمای مبادله شده با آب بوده که در آن m جرم برحسب گرم، C ظرفیت گرمایی ویژه آب معادل $4186 J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$ و $\Delta\theta$ اختلاف دمای ایجادشده در آب برحسب K هستند و h_v نشان‌دهنده گرمای نهان تبخیر آب برابر با $2260 J \cdot g^{-1}$ است. $m \cdot h_v$ بیانگر مقدار انرژی صرف شده برای آب تبخیر شده است و عبارت $dryfuel_{equ}$ نشان‌دهنده جرم سوخت مصرف‌شده مؤثر، بدون در نظر گرفتن جرم رطوبت سوخت است. همچنین E_{moist} مقدار انرژی موردنیاز برای تبخیر رطوبت موجود در سوخت و $char\ mass$ جرم زغال باقی‌مانده در پایان فرایند ارزیابی می‌باشند. LHV_f و LHV_{char} به ترتیب نشان‌دهنده ارزش حرارتی خالص سوخت و زغال را نشان می‌دهند. هر یک از بخش‌های مخرج رابطه‌ی کسری محاسبه‌ی بازدهی از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌شود.

(رابطه ۲)

$$dryfuel_{equ} = fuel\ mass_{wet} \cdot (1 - MC)$$

(رابطه ۳)

$$E_{moist} = fuel\ mass_{wet} \cdot MC \cdot (4.186(T_b - T_a) + 2260)$$

در هریک از روابط (۲) و (۳) عبارت $fuel\ mass_{wet}$ جرم سوخت مصرف‌شده همراه با رطوبت را با واحد (g) نشان می‌دهد. همچنین MC درصد محتوی رطوبت سوخت، T_a دمای اولیه سوخت که برابر با دمای محیط در نظر گرفته می‌شود و T_b دمای جوش رطوبت موجود در سوخت برحسب K را بیان می‌کند. علاوه بر بازده، در کنار اندازه‌گیری زمان به‌جوش رسیدن برای ارزیابی اجاق‌ها، شاخص‌های دیگری نیز مورد محاسبه قرار می‌گیرد که اندازه‌گیری آن‌ها بر اساس معادلات ۴ تا ۸ است:

$$SFC = \frac{f_{ac}}{w_{rc}} \quad (4)$$

$$BR = \frac{f_{ac}}{Time_{min}} \quad (5)$$

$$FPU = FP \cdot \eta \quad (6)$$

$$FP = \frac{f_{ac} \cdot LHV_f}{Time_{min} \times 60} \quad (7)$$

رابطه‌های ذکرشده به ترتیب برای اندازه‌گیری آهنگ

مصرف سوخت^۱، توان حرارتی^۲، مصرف سوخت ویژه^۳ و توان حرارتی مفید^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هریک از رابطه‌ها عبارت $Time_{min}$ نشان‌دهنده زمان به‌جوش رسیدن^۵ (زمان رسیدن به دمای ۹۰ درجه به استناد EPTP) برحسب دقیقه و w_r نشان‌دهنده جرم آب جوشیده بجا مانده در پایان آزمون برحسب گرم است. ΔT_s اختلاف دمای بوجود آمده در فاز نیم‌جوش، f_{ac} نشان‌دهنده مقدار سوخت واقعی استفاده‌شده در طی فاز شروع سرد برحسب گرم است.

ماده خام مورد استفاده

سوخت مورد استفاده برای انجام پژوهش حاضر کودهای گوسفندی است که از محل انباشته‌سازی کودهای گوسفندداری دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه با استفاده از الک مش ۱۰ و مش ۱۸ (ذرات ۱ تا ۲ میلی‌متر) غربال شد. همچنین پس از آن، با توجه به بررسی پژوهش‌های انجام شده در راستای رطوبت بهینه برای پلت‌سازی، رطوبت کودها برای تهیه پلت به ۱۸ درصد رسانده شد.

برای ساخت پلت‌ها از پرس مکانیکی دستی، یک سیلندر (از جنس تفلون) و پیستون فشاردهنده (از جنس آلیاژ فولادی) به طول ۱۴۰ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر با لقی ۰/۲ استفاده شد. روش آماده کردن پلت‌ها به این صورت بود که در ابتدا کود در داخل سیلندر ریخته می‌شد و خروجی سیلندر به وسیله زائده فلزی ساخته شده به اندازه قطر سیلندر مسدود می‌شد. سپس پیستون داخل سیلندر قرار داده شده و با دست، کمی متراکم می‌گشت. پس از آن کل مجموعه سیلندر و پیستون با رگیری شده با کود گوسفندی، در زیر دستگاه پرس مکانیکی قرار داده می‌شود و با اعمال فشار به اهرم پرس، این فشار پس از افزایش به وسیله مکانیزم مکانیکی پرس به سیلندر و پیستون منتقل می‌شد تا با نگه داشتن در این حالت به مدت ۷ تا ۱۰ ثانیه پلت شکل بگیرد.

پس از آماده‌سازی پلت‌ها به منظور دستیابی به خصوصیات توصیفی، سوخت مورد استفاده تحت آنالیز تخمینی^۶ قرار گرفت و خصوصیات توصیفی مورد نظر اعم از محتوی رطوبت، درصد خاکستر، مواد فرار و چگالی حجمی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این برای گزارش وضعیت دوام پلت‌های مورد استفاده، فاکتور تنش تسلیم یازده نمونه تصادفی از پلت‌های آماده شده با استفاده از پراب ۱۰ میلی‌متر دستگاه آزمون بافت Tinius Olsen H5KS و

5. Time to boil
6. Proximate Analysis

1. Burning rate
2. Fire power
3. Specific fuel consumption
4. Useful fire power

رسید. در پایان نیز برای اندازه‌گیری کل CO منتشر شده در طی آزمون از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

$$Total\ CO = \sum_{i=1}^t (CO_i \times Q) \quad (10)$$

در معادله ۱۰، t مدت زمان انجام هر آزمون، CO_i غلظت مونواکسید کربن ثبت شده در هر لحظه برحسب $mg \cdot m^{-3}$ و Q نشان‌دهنده دبی متوسط لوله خروجی هود در محل نمونه‌برداری برحسب $m^3 \cdot s^{-1}$ است.

برای اندازه‌گیری دمای آب و دمای شعله، از ترموکوپل ساده مدل K و ترموکوپل مناسب برای اندازه‌گیری دماهای بالا با مدل HP-502A-M21 ساخت کشور چین متصل به یک ترمومتر چهار کاناله دیتالاگر مدل TM-947SD ساخت شرکت لوترون تایوان استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آماده‌سازی و آنالیز سوخت مورد استفاده

پس از انجام آنالیزهای تخمینی، خصوصیات توصیفی سوخت‌های مورد استفاده اندازه‌گیری شد که نتایج به همراه استاندارد اندازه‌گیری در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین نتایج آنالیز عنصری و تخمین ارزش حرارتی به تفکیک نوع سوخت مورد استفاده در جدول ۴ ارائه شده است. محققین حاضر در پژوهش پیشین خود که در زمینه تاثیر اندازه سوخت‌های مختلف داشتند نتیجه گرفتند که در بین اندازه سوخت‌های مورد استفاده در اجاق‌های زیست‌توده سوز میکروگازیفایر، سوخت‌های با اندازه‌ی کمتر از یک اینچ (حدوداً ۱۲/۵ میلی‌متر) بیشترین بازدهی را داشته است (M. R. Rasoulkhani et al., 2017). اما از دیگر سو تجربیات پیشین نشان داد که در صورت فقدان تخلخل کافی در حجم سوخت مورد استفاده، عملکرد سیستم حاکم بر تجزیه ترموشیمیایی و احتراق سوخت با مشکل مواجه شده و اصطلاحاً موجب خفگی اجاق می‌شود. با این سابقه و با توجه به عدم پایداری کودهای گوسفندی به حالت اولیه و احتمال پودر بودن کود در دسترس، به منظور جلوگیری از مشکلات قابل پیش‌بینی در روند آزمایشات ایده‌ی پلت کردن مورد استفاده قرار گرفت و دلیل اصلی پلت کردن تامین تخلخل کافی در هنگام استفاده از

با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه اندازه‌گیری شد. آنالیز عنصری با استفاده از دستگاه CHNS Elemental Analyzer مدل "FlashEA 1112 series" انجام شد.

برای اندازه‌گیری ارزش حرارتی، از بین مدل‌های ارائه شده در پژوهش‌های پیشین، براساس کمترین مقدار شاخص RMSE، مدل ارائه‌شده در گزارش (Friedl et al., 2005) (رابطه ۸)، اتخاذ شده و با استفاده از نتایج آنالیز عنصری، ارزش حرارتی ناخالص تخمین زده شد. در پایان نیز با استفاده از رابطه‌ی بین ارزش حرارتی خالص^۲ و ارزش حرارتی ناخالص^۳ (Peduzzi et al., 2016) (رابطه ۹) نتایج مورد نیاز محاسبه شد.^۴

$$HHV = 3.55 \cdot C^2 - 232 \cdot C - 2230 \cdot H + 51.2(C \cdot H) + 131 \cdot N + 20600$$

$$LHV = HHV - MR_{H_2O,H} \cdot \frac{H}{100} \cdot \Delta H_{evap} \quad (9)$$

در معادله ۹ رابطه بین HHV و LHV بر اساس وزن خشک بیان شده است. در این رابطه $MR_{H_2O,H}$ نسبت جرم مولی آب به جرم مولی هیدروژن، H درصد جرمی هیدروژن موجود در ماده و ΔH_{evap} آنتالپی تبخیر آب برحسب $(kJ\ kg^{-1})$ است.

اندازه‌گیری آلاینده مونواکسید کربن

بر اساس استانداردهای موجود برای اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ی از روش هود و تونل اختلاط^۵ گاز خروجی برای نمونه‌برداری استفاده شد (WBT Technical Committee, 2014). ابعاد این هود یک متر در یک متر و ارتفاع ۱/۶ متر، مجهز به مجرای خروجی با قطر ۱۰ سانتی‌متر (۴ اینچ) بود. قطر لوله و زانوهای اختلاط گاز خروجی نیز ۱۰ سانتی‌متر بود. از یک فن دمنده در انتهای لوله به منظور ایجاد مکش استفاده شد. براساس WBT، محل نمونه‌گیری در فاصله طولی ۱/۲ متری لوله اختلاط و ارتفاع ۱/۵ متری از سطح اجاق اتخاذ شد. سرعت جریان گاز خروجی در محل نمونه‌گیری با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سرعت جریان گاز (testo425-Hot wire anemometer, USA) در شش تکرار اندازه‌گیری شد و از حاصل ضرب میانگین سرعت جریان‌های محاسبه‌شده در مساحت سطح لوله خروجی (به قطر ۱۰ سانتی‌متر) دبی جریان گاز در لوله اختلاط $626/5\ L/S$ محاسبه شد. غلظت آلاینده CO در کل مدت انجام هر آزمون در بازه‌های زمانی پنج ثانیه توسط کاربر و به صورت دستی، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری CO-110 ساخت کشور چین و برحسب ppm به ثبت

5. Dilution Tunnel

۶. معادل $626/5\ m^3/h$ است که براساس WBT بین ۸۰ تا $150\ m^3/h$ قابل قبول است.

1. Root Mean Square Error

2. LHV

3. HHV

۴. براساس WBT برای محاسبه بازدهی اجاق، ارزش حرارتی خالص (LHV) مورد نیاز است.

خشک شدن انبساط قطر دارند، بنابراین نتیجه گرفته شد که برای به دست آوردن پلت‌هایی با قطر بهینه (کمتر از یک اینچ) می-بایست قطر سیلندر و پیستون بین ۹٫۵ تا ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود که نتیجه آن پلت‌هایی با متوسط قطر ۱۳٫۶ میلی‌متر بود.

اجاق بود. البته از لحاظ اقتصادی این فرایند مورد بررسی قرار نگرفته اما در دستور کار برای کارهای آینده بوده است. با توجه به این موضوعات و با تجربیات به دست آمده طی آزمون و خطاهای انجام شده در ساخت سیلندر و پیستون و پلت‌های آزمایشی اولیه، مشاهده شد که پلت‌ها پس از خارج شدن از سیلندر و در طی

جدول ۳. خصوصیات توصیفی پلت کود گوسفندی مورد استفاده

ویژگی	رطوبت (%)	خاکستر (%)	مواد فرار (%)	تنش تسلیم (MPa)	کربن ثابت (%)	اندازه (mm)		چگالی حجمی (kg/L)
						طول	قطر	
میزان	۷	۴	۵۷	۴٫۶	۳۶	۳۸	۱۳٫۶	۸۳۰
روش	EN14774-3:2009	EN14775:2009	EN15148:2009	ASTM E238	***		EN16127:2012	EN15103:2009

*** حاصل تفریق

جدول ۴. نتایج آنالیز عنصری و تخمین ارزش حرارتی کود گوسفندی مورد استفاده به عنوان سوخت

پارامتر	C	H	N	S	O ***	HHV (MJ/kg)*	LHV (MJ/kg)**
میزان	۳۶٫۲	۵٫۳۲	۲٫۷۵	۰٫۳۳	۵۵٫۴	۱۵٫۲	۱۴٫۲

* ارزش حرارتی ناخالص به روش منبع (Friedl et al., 2005)

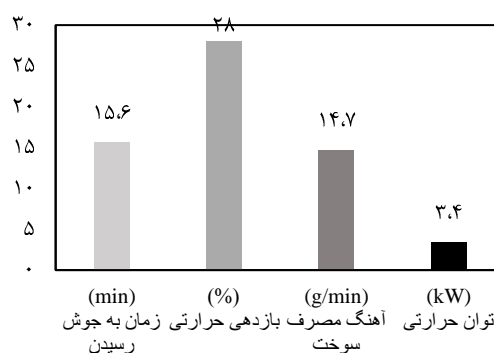
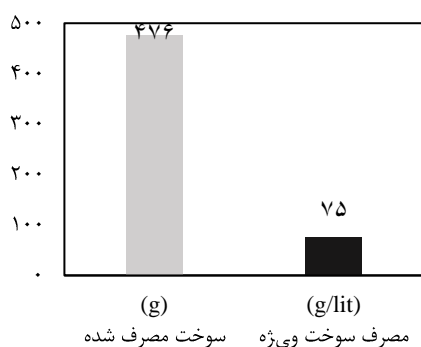
** ارزش حرارتی خالص به روش منبع (Peduzzi et al., 2016)

*** حاصل تفریق

به‌طور متوسط ۴۷۶ گرم سوخت پلت کود گوسفندی برای رساندن مقدار ۳ لیتر آب از دمای محیط به دمای جوش مصرف شده است. همچنین مدت‌زمان صرف شده برای این فرایند به‌طور متوسط ۱۶ دقیقه بوده است.

نتایج ارزیابی فنی

نتایج حاصل از ارزیابی صورت گرفته در قالب ۶ پارامتر فنی و متوسط سه تکرار از آزمایشات لازم در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از آزمایشات، در هر آزمون انجام شده،



شکل ۳. نتایج حاصل از ارزیابی اجاق زیست‌توده سوز با استفاده از پلت کود گوسفندی به‌عنوان سوخت لازم برای پخت‌وپز

جایگاه مناسبی است.

یکی دیگر از پارامترهایی که برای ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز مورد استفاده قرار می‌گیرد توان حرارتی طی پژوهش حاضر نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که توان حرارتی خروجی در طی انجام هر آزمایش به‌طور متوسط ۳٫۴ کیلووات بوده است. البته اگرچه در منابع بررسی شده متداول نیست اما در طی پژوهش حاضر ما برای بیان مقدار قابل تفهیم تر توان از

در پروژه تحقیقاتی انجام شده توسط MacCarty et al. (2010) پنجاه نوع از اجاق‌های زیست‌توده سوز، از ابتدایی‌ترین مدل‌ها تا انواع پیشرفته مورد ارزیابی قرار گرفت. طی این تحقیق یکی از پارامترهای مورد ارزیابی قرار گرفته، فاکتور زمان به جوش رسیدن بود. در این تحقیق تغییرات این فاکتور ارزیابی در بازه‌ی ۱۲٫۲ تا ۴۳ دقیقه گزارش شد. می‌توان نتیجه گرفت که اجاق حاضر از نظر پارامتر زمان لازم برای به جوش آوردن آب در

فضولات حیوانی (۱۱۴۸±۲۴۳) < پسماند محصولات کشاورزی (۸۶۸±۲۳۶) < سوخت‌های چوبی (۷۸۲±۲۰۲)

ارزیابی آلاینده‌گی استفاده از پلت کود گوسفندی

در کنار پارامترهای فنی، فعالیت اجاق‌های زیست‌توده سوز، از لحاظ میزان انتشار آلاینده‌گی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از شاخص‌ها مورد استفاده برای ارزیابی آلاینده‌گی مونواکسیدکربن شاخص متوسط انتشار مونواکسید کربن با واحد ppm است. همان‌طور که در شکل ۴ نیز نشان داده شده است تغییرات مونواکسیدکربن در پژوهش حاضر با مقدار متوسط ۱۰ ppm (خط‌چین در شکل ۴)، در بازه ۵ تا ۴۳ ppm متغیر بوده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشهود است انتشار مونواکسیدکربن در ابتدای شروع تست در سطح صفر قرار گرفته که به محض روشن شدن و استارت فرایند سطح انتشار مونواکسیدکربن شروع به افزایش می‌کند. (Tryner et al., 2016) معتقدند که در ابتدای شروع فرایند تا زمانی که جبهه پیرولیز کامل نشده و فرایند گازی‌سازی به طور کامل انجام نمی‌شود شاهد انتشار مونواکسیدکربن با سطوح غیر پایدار هستیم اما پس از شروع شدن فرایند گازی‌سازی زیست‌توده، روند انتشار این گاز به پایداری خواهد رسید که این مقوله در نمودار انتشار مونواکسیدکربن در شکل ۴ نشان داده شده و مشهود است که تقریباً از دقیقه دوم به بعد روند انتشار مونواکسیدکربن به ثباتی نسبی رسیده است. نکته قابل اهمیت در این شکل وجود نوسان‌های شدید در دقایق پایانی و وجود پیک‌های نوسانی با سطوح بالای انتشار مونواکسیدکربن است که به یکباره گاهی تا ۴۵ واحد نیز بالا رفته است. (Tryner et al., 2016) نیز طی گزارش نتایج آزمایشات خود، بالا رفتن انتشار مونواکسید کربن را در لحظات واپسین هر سیکل و قبل از اضافه کردن سوخت برای ادامه یافتن فرایند گازی‌سازی گزارش کردند. به نظر می‌رسد که در مراحل پایانی و با نزدیک شدن به پایان سوخت موجود برای گازی‌سازی، پایین آمدن دمای شعله موجب آزاد شدن گازهای مونواکسید نسوخته بیشتر می‌شود. M. R. Rasoulkhani et al. (2017) طی آزمایشی در جهت بررسی اثر عایق حرارتی و سیستم کنترل جریان هوای ورودی بر عملکرد میکروگازی‌فایر، نتیجه گرفتند که احتمالاً کاهش جریان هوای وارد شده به سیستم موجب کاهش مصرف شدن سوخت و کاهش غلظت گاز مولد تولید شده از گازی‌سازی زیست‌توده شده و در نتیجه آن شعله‌ای با دمای پایین‌تر تشکیل می‌شود که این شعله ی کم دما در کنار اتلاف حرارتی، آزاد شدن گاز CO به صورت نسوخته را در پی دارد. حال آنکه این کاهش دمای شعله با کاهش یافتن مقدار سوخت

شاخص توان مفید نیز استفاده کردیم. این شاخص که از حاصل ضرب مقدار توان حرارتی تولید شده در مقدار بازده اجاق حاصل می‌شود به عبارتی مقدار توان واقعی اجاق را ۰/۹۵۲ کیلووات نشان می‌دهد. در پژوهشی که (Grimsby et al., 2016) برای ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز منطقه خود (تانزانیا) انجام داده و از کود گاوی هم به‌عنوان یکی از سوخت‌های متداول و در دسترس در منطقه استفاده کرده بودند توان حرارتی تولید شده با کود گاوی ۲/۱ کیلووات گزارش شده بود.

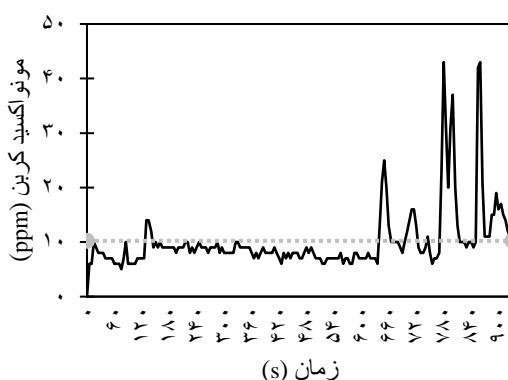
علاوه بر پارامترهای ذکرشده، بازدهی حرارتی و مصرف سوخت ویژه مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی اجاق‌های زیست‌توده سوز هستند (Manoj et al., 2013; Sutar et al., 2015). توجه به این نکته حائز اهمیت است که اگرچه این دو پارامتر تا حد قابل توجهی وابسته به ویژگی‌های فنی اجاق مورد استفاده هستند و اکثراً، مستقیماً برای ارزیابی خود اجاق مورد استفاده قرار می‌گیرند اما برخی محققین معتقدند که تفاوت در ترکیب بخارات پیرولیزی تولید شده از فرایندهای ترموشیمیایی، تا حد قابل توجهی می‌تواند در عملکرد اجاق مورد استفاده تأثیرگذار باشد (Tryner et al., 2016). ایشان همچنین اعلام کردند که تفاوت ترکیبات بخارات پیرولیزی ممکن است ناشی از تفاوت اندازه ذرات سوخت مورد استفاده، چگالی، ساختار شیمیایی و همچنین اجزای معدنی موجود در ساختار سوخت‌های مختلف باشد. بازدهی حرارتی و مصرف سوخت ویژه برای اجاق مورد ارزیابی با پلت کود گوسفندی به ترتیب ۲۸ درصد و ۷۵/۳ گرم به ازای هر لیتر آب، اندازه‌گیری شده است. این نتایج بیانگر این موضوع است که ۲۸ درصد انرژی حرارتی تولیدشده از کل سوخت مصرف‌شده در به جوش رساندن آب به‌طور مستقیم، مؤثر واقع شده است و باقی به‌صورت حرارت از بدنه اجاق و ظرف، شعله اطراف ظرف و نیز گاز سوخته نشده به هدر رفته است. همچنین پارامتر مصرف سوخت ویژه بیان می‌کند که برای حاصل شدن هر لیتر آب جوشیده به‌طور متوسط ۷۵ گرم از سوخت پلت کود گوسفندی به‌طور مستقیم مؤثر بوده است. معمولاً تغییرات بازدهی اندازه‌گیری شده برای سوخت‌های مختلف در بازه ۲۰ تا ۳۸ درصد گزارش شده است (Grimsby et al., 2016). (Suresh et al., 2016) نیز طی پژوهش خود از سه دسته سوخت مختلف استفاده کردند که شامل سوخت‌های چوبی^۱، فضولات حیوانی^۲ و پسماند محصولات کشاورزی^۳ بود. ایشان بیان کردند که در این پژوهش مصرف سوخت ویژه بر اساس الگوی زیر بود:

لازم برای گازی سازی و ادامه فرایند بدیهی است.

به منظور بررسی و تصمیم گیری در رابطه با ارزیابی آلاینده‌گی، نتایج حاصل از پژوهش حاضر با چند مورد از استانداردهای بین‌المللی کیفیت هوا مورد مقایسه قرار گرفت. براساس استاندارد OSHA^۱ حد مجاز مواجهه با متوسط مونواکسیدکربن در یک روز کاری ۸ ساعته به صورت مداوم ۳۵ ppm در نظر گرفته شده است (Monona, 1998). یکی دیگر از استانداردهای در نظر گرفته شده برای محیط‌های کاری استاندارد ACGIH^۲ است. براساس این استاندارد حد مجاز برای مواجهه به مونواکسیدکربن در مدت ۸ ساعت کار روزانه و ۴۰ ساعت کار هفتگی ۲۵ ppm در نظر گرفته شده است (Monona, 1998) که مقدار اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر (۱۰ ppm) پایین‌تر از حد مجاز در نظر گرفته شده در این استانداردها است.

یکی دیگر از استانداردهای متداول برای ارزیابی کیفیت هوا، استاندارد EPA است. حد ایمنی در این استاندارد براساس جدول ۵ در نظر گرفته می‌شود (Monona, 1998). بر اساس جدول NAAQS^۳ (جدول ۶) که توسط EPA ارائه شده است، قرار گرفتن در معرض حداکثر ۳۵ ppm در یک فعالیت با متوسط زمان یک

ساعت به‌عنوان استاندارد اولیه در نظر گرفته می‌شود (EPA, 1990). مقایسه نتایج حاصل از پژوهش حاضر با استاندارد ارائه شده در جدول ۵ در بدبینانه‌ترین حالت می‌توان فعالیت پخت‌وپز با استفاده از پلت کود گوسفندی در اجاق زیست توده سوز را برای گروه‌های حساس ناسالم دانست ولی در غیراین صورت میزان انتشار آلاینده‌گی در این پژوهش وضعیت مطلوبی را تداعی می‌کند زیرا استاندارد ارائه شده در جدول ۶ برای فعالیت‌های با مدت ۸ ساعت در نظر گرفته شده که بدیهی است این زمان برای فعالیت‌های پخت‌وپز روزانه، زمان دور از انتظار است. در کنار این بحث اشاره به این موضوع خالی از لطف نیست که اگرچه استانداردهای مورد بررسی به مونواکسید موجود در فضای باز و هوایی که فرد از آن استنشاق می‌کند اشاره داشته‌اند، اما باید توجه داشت که قطعاً غلظت مونو اکسیدکربن در داخل لوله خروجی هود ستاپ آزمایش بیشتر از فضای باز بوده و میزان خطر در سطح شدیدتری اندازه‌گیری شده است. پس می‌توان با استناد به آنها، هنگام فعالیت اجاق در فضای باز درصد ریسک خطر آفرین کمتری را انتظار داشت.



شکل ۴. تغییرات انتشار مونواکسیدکربن در طی انجام ارزیابی اجاق زیست توده سوز با استفاده از پلت کود گوسفندی (متوسط انتشار با خط چین در نمودار مشخص شده است)

نتیجه‌گیری

به منظور امکان‌سنجی استفاده از پلت کود گوسفندی برای تأمین انرژی پخت‌وپز خانگی عشایر یک اجاق میکروگازیفایر با استفاده از کود گوسفندی پلت شده مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزش حرارتی سوخت کود گوسفندی پلت شده با استفاده از آنالیز عنصری و مدل‌ها و روابط ریاضی ۱۴/۲ مگاژول به ازای هر کیلوگرم تخمین زده شد. نتایج ارزیابی فنی نشان‌دهنده بازدهی ۲۸ درصد بود و مصرف سوخت ویژه ۷۵ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین مدت زمان به جوش رسیدن ۵ لیتر آب با استفاده از

جدول ۵. شاخص کیفیت هوا براساس استانداردهای EPA

وضعیت هوا	حد PPM در مدت ۸ ساعت
خوب	۴-۰٫۴
متوسط	۴٫۹-۵٫۴
ناسالم برای گروه‌های حساس	۹٫۱۲-۵٫۴
ناسالم	۱۲٫۱۵-۵٫۴
ناسالم شدید	۱۵٫۳۰-۵٫۴
پرخطر	۳۰٫۵۰-۴٫۴

نشان داد. پژوهشهای بیشتری در زمینه ساخت پلتایزر پیوسته متناسب با شرایط روستائیان و عشایر و همچنین انجام پژوهش در محیط واقعی این قشر و مطالعه اقتصادی آن مورد نیاز است.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب در دانشگاه فردوسی به شماره ۴۴۰۰۸ می‌باشد که طی آن هزینه‌های انجام طرح تامین گردید.

REFERENCES

Anderson P. (2009). Construction Plans for the "Champion-2008" TLUD Gasifier Cookstove (including operational instructions). *United States of America*. <http://www.bioenergylists.org/files/Construction%20Plans,202009-202003>.

Birzer C., Medwell P., MacFarlane G., Read M., Wilkey J., Higgins M., & West T. (2014). A Biochar-producing, Dung-burning Cookstove for Humanitarian Purposes. *Procedia Engineering*, 78, 243-249. doi: 10.1016/j.proeng.2014.07.063

DeFoort M., L'Orange C., Kreutzer C., Lorenz N., Kamping W., & Alders J. (2010). Stove Manufacturers Emissions and Performance Test Protocol (EPTP); Engines and Energy Conversion Laboratory, Colorado State University: Fort Collins, CO.

Ebrahimi-Nik M., & Rohani A. (2019). Fabrication and evaluation of a portable biomass stove to be used in regions without access to natural gas distribution network. *Agricultural Machinery (in Farsi)*, 9(1). doi: 10.22067/jam.v9i1.66670

EPA. (1990). NAAQS Table : National Ambient Air Quality Standards for six principal pollutants, which are called "criteria" air pollutants. from <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqstable>

Friedl A., Padouvas E., Rotter H., & Varmuza K. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta*, 544(1-2), 191-198. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2005.01.041>

Grimby L. K., Rajabu H. M., & Treiber M. U. (2016). Multiple biomass fuels and improved cook stoves from Tanzania assessed with the Water Boiling Test. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 63-73. doi: 10.1016/j.seta.2016.01.004

Lertsatitthanakorn C., Jamradloedluk J., & Rungsiyopas M. (2014). Study of combined rice husk gasifier thermoelectric generator. *Energy Procedia*, 52, 159-166. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.066

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*

۸۰۰ گرم سوخت ابتدایی آزمون ۱۶ دقیقه بود که تا پایان یافتن مرحله شروع سرد و جوشاندن آب به‌طورکلی ۴۷۶ گرم سوخت مصرف شد. همچنین بررسی و مقایسه نتایج ارزیابی آلاینده‌گی با استانداردهای بین‌المللی نشان‌دهنده جایگاه قابل قبول بود. به‌طورکلی نتایج این پژوهش، استفاده از کود گوسفندی را به‌طور پلت شده هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ آلاینده‌گی مورد ارزیابی قرار داده و آن را به‌عنوان یک سوخت مناسب برای استفاده در پخت‌وپز خانگی با استفاده از اجاق‌های زیست‌توده سوز میکروگازیفایر حداقل برای مواقع بحرانی مناسب و قابل قبول

Development, 14(3), 161-171.

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: 10.1016/j.rser.2013.05.010

Monona R. (1998). Carbon monoxide & co detectors data sheet. <https://www.usa829.org/Portals/0/Documents/Health-and-Safety/Safety-Library/Carbon-Monoxide-and-CO-Detectors.pdf>

Peduzzi E., Boissonnet G., & Maréchal F. (2016). Biomass modelling: Estimating thermodynamic properties from the elemental composition. *Fuel*, 181, 207-217.

Phusrimuang J., & Wongwuttanasatian T. (2016). Improvements on thermal efficiency of a biomass stove for a steaming process in Thailand. *Applied Thermal Engineering*, 98, 196-202. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.022

Rasoulkhani M., Ebrahimi-Nik M., Abbaspour-Fard M. H., & Rohani A. (2019). Design, manufacture, and optimization of a micro-gasifier biomass cook stove. *Iranian Journal of Biosystems Engineering (in Farsi)*, -. doi: 10.22059/ijbse.2018.252346.665038

Rasoulkhani M., Ebrahimi-Nik M., Abbaspour-Fard M. H., & Rohani A. (2018). Comparative evaluation of the performance of an improved biomass cook stove and the traditional stoves of Iran. *Sustainable Environment Research*, 28(6), 438-443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.08.001>

Rasoulkhani M. R., Ebrahimi-nik M. A., & Abbaspour-Fard M. H. (2017). *Optimization of a semi gasifier biomass cook stove*. (M.Sc Thesis), Ferdodwsi university of Mashhad, Iran - Mashhad.

Rasoulkhani M., Ebrahimi-Nik M., Abbaspour-Fard M. H., & Rohani A. (2016). Microgasification introduction and its utilization on household cooking energy supply. in 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran. Mashhad.

Statistical Center of Iran S. C. I. (2008). Periodic nomads Socio-economic census in the country. *Management and Planning Organization*.

- Suresh R., Singh V. K., Malik J. K., Datta A., & Pal R. C. (2016). Evaluation of the performance of improved biomass cooking stoves with different solid biomass fuel types. *Biomass and Bioenergy*, 95, 27-34. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.002>
- Sutar K. B., Kohli S., Ravi M. R., & Ray A. (2015). Biomass cookstoves: A review of technical aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1128-1166. doi: [10.1016/j.rser.2014.09.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.003)
- Tańczuk M., Junga R., Werle S., Chabiński M., & Ziółkowski Ł. (2017). Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the chicken manure with biomass. *Renewable Energy*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.074>
- Tryner J., Tillotson J. W., Baumgardner M. E., Mohr J. T., DeFoort M. W., & Marchese A. J. (2016). The effects of air flow rates, secondary air inlet geometry, fuel type, and operating mode on the performance of gasifier cookstoves. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 9754-9763.
- Wang J., Lou H. H., Yang F., & Cheng F. (2016). Development and performance evaluation of a clean-burning stove. *Journal of Cleaner Production*. doi: [10.1016/j.jclepro.2016.01.068](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.068)
- WBT Technical Committee. (2014). The Water Boiling Test: Version 4.2. 3. cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/399-1.pdf