

CERTIFICATE OF POSTER PRESENTATION

The Organizing Committee of the 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Planning and Management 2017 is Pleased to Award this Certificate to

Mohammad Reza Rasoukhani, Mohammad Ali Ebarahimi Nik, Mohammad Hossien Abbaspour Fard, Abbas Rohani

In Recognition of Invaluable Contribution Entitled

The effect of Primary air control on specific fuel consumption and CO emission of a microgasifier biomass cook stove  
In the 4<sup>th</sup> ICEPM Held at University of Tehran, IRAN

May 23 & 24 .2017

Chairman of the Conference

Dr. Mehdi Jafarizadeh

Conference Secretary

Dr. Mansour Reza Jafari

Scientific Secretary

Dr. Saeed Karimipour

The 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Planning and Management is one of the worldwide leading environmental conferences. This annual conference brings together engineers, scientists, researchers, students, managers and other professionals in order to address and discuss emerging environmental issues and aims to improve environmental planning and management importance as a fundamental course on environmental issues.

## بررسی اثر کنترل هوای اولیه بر مصرف سوخت و میزان انتشار مونواکسیدکربن در اجاق زیست توده سوز میکروگازیفایر

محمد رضا رسول خانی<sup>1</sup>، محمد علی ابراهیمی نیک<sup>2</sup>، محمد حسین عباسپور فرد<sup>3</sup>، عباس روحانی<sup>2</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی گرایش بازیافت و مدیریت پسماند، دانشگاه فردوسی مشهد،  
m.rasoulkhani@gmail.com

<sup>2</sup> استادیار گروه مهندسی بیوسیتیم دانشگاه فردوسی مشهد، ebrahimi.nik@gmail.com

<sup>3</sup> استاد گروه مهندسی بیوسیتیم دانشگاه فردوسی مشهد، abaspour@um.ac.ir

<sup>2</sup> استادیار گروه مهندسی بیوسیتیم دانشگاه فردوسی مشهد، arohani@um.ac.ir

### چکیده

روش های سنتی و کم بازده تامین انرژی از زیست توده به دلیل احتراق ناقص و بازده پایین، علاوه بر انتشار گازهای آلاینده ی بیشتر، مصرف سوخت بیشتر و به دنبال آن نیاز به جمع آوری سوخت بیشتر و آسیب بیشتر به منابع زیست محیطی و جنگل ها را در پی دارند. میکروگازیفایرها یکی از طرح های مورد استفاده برای ساخت اجاق های زیست توده سوز تو سعه یافته هستند که می توان با بهبود انتقال حرارت در آنها بهبود مصرف سوخت را میسر کرد. با هدف بهبود مصرف سوخت، یک اجاق زیست توده سوز میکروگازیفایر ساخته شد و ضمن ساخت سیستم کنترل جریان هوای اولیه در راستای بهینه سازی، با استفاده از لایه ی سرامیکی، دیواره بیرونی میکروگازیفایر عایق بندی شد. اجاق ساخته شده با استفاده از 400 گرم پوست پسته و تحت پروتکل آزمون آلاینده ی و عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه گیری میزان آلاینده ی از روش هود و تونل اختلاط گاز خروجی استفاده شد. پس از اندازه گیری خصوصیات تو صیفی سوخت مورد استفاده، ارزش حرارتی با مدل های علمی تخمین زده شد. نتایج نشان داد که بهینه سازی انجام شده باعث کاهش 32 درصدی مصرف سوخت ویژه در فاز شروع سرد و همچنین کاهش 60 درصدی شاخص آهنگ مصرف انرژی ویژه در فاز نیم جوش شده و میزان انتشار مونواکسیدکربن نیز از 0/61 گرم در دقیقه برای میکروگازیفایر اصلی (طرح اولیه) به 0/52 گرم در دقیقه برای ترکیب سیستم کنترل هوا و عایق حرارتی رسیده است.

واژه های کلیدی

اجاق زیست توده سوز - مصرف سوخت - مونواکسیدکربن - میکروگازیفایر

## مقدمه

نرخ تولید سالیانه بالا و گستردگی جغرافیایی بر روی کره خاکی، زیست توده را نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر انرژی برجسته کرده است، به طوری که آمارها نشان می‌دهد بیش از 3 میلیارد نفر از انسان‌ها از سوخت زیست توده برای تامین انرژی مورد نیاز به منظور پخت و پز خانگی استفاده می‌کنند [1, 2] و اکثریت این افراد، جوامع روستایی کشورهای در حال توسعه هستند [3, 4]. در کشورهای حوزه خلیج فارس (مثل ایران) به خاطر غنی بودن این مناطق از منابع نفت و گاز، استفاده از انرژی زیست توده به صورت کم رنگ دنبال می‌شود [5] اما آمارهای نشان می‌دهد که به عنوان مثال در کشور ایران 60 درصد از عشایر کوچ نشین از زیست توده برای تامین انرژی پخت و پز و 50 درصد برای تامین گرمایش استفاده می‌کنند [6] و زیست توده یکی از منابع مهم تامین انرژی آن‌ها است [7]. بررسی‌ها نشان می‌دهد، زمان و نیروی کارگری مورد نیاز برای جمع‌آوری زیست توده تنها هزینه‌ی مهم استفاده از زیست توده برای جوامع استفاده کننده از زیست توده است که عموماً زنان و کودکان، افرادی هستند که در جمع‌آوری زیست توده برای تامین انرژی به کار گرفته می‌شوند [8, 9]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش اعظم جوامع استفاده کننده از زیست توده، از روش‌های سنتی و کم بازده تامین انرژی از آن (اجاق‌های دودپاره<sup>1</sup> و روش‌های سنتی سه سنگی<sup>2</sup>) استفاده می‌کنند [1] که به دلیل احتراق ناقص و بازده پایین، علاوه بر انتشار گازهای آلاینده‌ی بیشتر، مصرف سوخت بیشتر و به دنبال آن نیاز به جمع‌آوری سوخت بیشتر را در پی دارند [10]. جمع‌آوری سوخت بیشتر علاوه بر افزودن بر زمان و نیروی کارگری مورد نیاز برای جمع‌آوری سوخت، از بین رفتن پوشش‌های گیاهی و جنگل‌ها را به دنبال دارد [9] که یکی از راه‌های فائق آمدن بر این مشکلات افزایش بازدهی اجاق‌های مورد استفاده و یا جایگزینی با روش‌های داراری بازدهی بهتر است [11, 12]. از جالب‌ترین روش‌ها برای جایگزینی با این روش‌های قدیمی و کم‌بازده اجاق‌های زیست توده سوز توسعه یافته هستند [1]. میکروگازیفایرهای یکی از طرح‌های مورد استفاده برای ساخت اجاق‌های زیست توده سوز توسعه یافته بوده و با به کارگیری اصول گازیفیکاسیون، نسبت به روش‌های سنتی، بازدهی بالا و آلاینده‌ی پایینی را به دنبال دارند [13]. بدیهی است که بهبود انتقال حرارت در این اجاق‌ها به دنبال خود شعله‌ای با حرارت بالاتر را خواهد داشت که همین امر سبب بهبود مصرف سوخت در اجاق‌های میکروگازیفایر، نسبت به روش‌های سنتی می‌شود [14]. در کشور ایران نیز با توجه به تأمین زیست توده در برخی نقاط، این امکان وجود دارد تا استفاده از اجاق‌های زیست توده سوز میکروگازیفایر که وسیله‌ای مناسب برای به کارگیری فناوری گازیفیکاسیون در مقیاس خانگی هستند، با توجه به بازدهی بالا و هزینه و آلاینده‌ی پایین در مقابل روش‌های سنتی، گزینه مناسبی برای جایگزینی با روش‌های متداول و یا استفاده به عنوان مکمل در کنار آن‌ها باشند [15].

در پژوهش‌های اخیر جنگا و همکاران [16] با مورد مقایسه قرار دادن اجاق‌های توسعه یافته از نوع گازساز و اجاق‌های سنتی، صرفه‌جویی در مصرف سوخت را (ناشی از بکارگیری اجاق‌های توسعه یافته به جای روش‌های سنتی) یک مزیت بزرگ برای این اجاق‌ها عنوان کردند. همچنین نتیجه گرفتند که پخت و پز سریع‌تر و کاهش انتشار گازهای آلاینده نیز دیگر مزایای استفاده از اجاق‌های زیست توده سوز است. سینگ و همکاران [8] با مورد بررسی قرار دادن اجاق‌های سنتی و توسعه یافته در روستاهای شمالی هندوستان اذعان کردند که مصرف 41 درصد سوخت کمتر مزیت استفاده از اجاق‌های توسعه یافته بوده و میزان مصرف سوخت نیز مرتبط با نوع اجاق‌های بکار گرفته شده است.

فیرانسیا و همکاران [17] با به کار بردن پوست میوه گیاه پالم به عنوان سوخت، سه اجاق را مورد بررسی قرار دادند. این اجاق‌ها که با ارتفاع‌های مختلف ساخته شده بودند بر اساس ارتفاع دودکش، اجاق 25، اجاق 30 و 35 نام گذاری شده و بیان کننده اثر ارتفاع دودکش بوده و بر اساس استاندارد آزمون جوشش آب<sup>3</sup> (WBT) مورد ارزیابی قرار گرفتند. هوای اولیه در این مطالعه از طریق یک مکانیزم کشویی متغیر از قسمت تحتانی اجاق و چند حفره جانبی تأمین می‌شد. طی این ارزیابی، بیشترین زمان بهره‌دهی برای اجاق 25 در حالتی که دهانه تأمین

<sup>1</sup> Two-walls Stove

<sup>2</sup> Three-Stone Fire

<sup>3</sup> Water Boiling Test

هوا در وضعیت 50 و 75 درصد بود به مدت 28 دقیقه گزارش شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که باز بودن دهانه تأمین هوا باعث افزایش نرخ مصرف سوخت و همچنین زیاد بودن نرخ هوای ورودی به محفظه احتراق باعث افزایش واکنش‌های احتراق می‌شود. پژوهش حاضر که بخشی از یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد است، درصد آن است تا ضمن ساخت یک اجاق زیست‌توده سوز میکروگازیفایر مناسب برای تأمین نیاز انرژی پخت‌وپز خانگی، تاثیر کنترل جریان هوای اولیه ورودی و عایق‌بندی حرارتی بر عملکرد اجاق‌های میکروگازیفایر را مورد بررسی قرار دهد.

## مواد و روش‌ها

ساخت اجاق (مواد، قطعات و اندازه‌ها)

در پژوهش حاضر با الهام از طرح Everything Nice Stove و اجاق‌های TLUD و بر اساس اصول کلی حاکم بر اجاق‌های میکروگازیفایر ارائه شده در [18] ساخت اجاق انجام شد. این اجاق شامل دو استوانه از جنس ورق فلزی است، به صورتی که درون هم قرار گرفته‌اند و سه سری حفره در پایین استوانه بیرونی، پایین استوانه داخلی و در بالای استوانه داخلی برای تأمین هوای مورد نیاز احتراق ایجاد می‌شود. جدول 1 نشان‌دهنده جزئیات اجاق ساخته شده می‌باشد.

جدول 3-1. ویژگی‌های هندسی اجاق میکروگازیفایر ساخته شده (میلی‌متر).

بخش‌های اصلی	ارتفاع	قطر	قطر حفره‌ها	فاصله حفره‌ها
استوانه درونی	305	200	15	10
استوانه بیرونی	225	150	8	10
			5	3

برای کنترل و تغییر جریان هوای ورودی، محفظه خارجی مکعب شکلی در ابعاد  $275 \times 275$  میلی‌متر و ارتفاع 340 میلی‌متر ساخته شد تا میکروگازیفایر در آن قرار داده شود و در قسمت تحتانی آن یک دریچه قابل تغییر برای تغییر ورود هوا به صورت جداگانه ایجاد شد. به‌منظور درزبندی فضای اطراف، قسمت اتصال فوقانی اجاق به محفظه کنترل، با توجه به اینکه این فضا در قرابت با محل تشکیل شعله است، از واشر آزبستی (به دلیل مقاومت حرارتی بالا) استفاده شد. پس از انجام سری اول آزمایش‌ها، دیواره‌ی بیرونی استوانه‌ی خارجی میکروگازیفایر با استفاده از عایق حرارتی لایه‌ی سرامیکی<sup>4</sup> عایق‌بندی شده و مجدداً با قرارگیری در محفظه کنترل هوا و نشت‌بندی‌های لازم، سری دوم آزمایش‌ها انجام شد.

## ارزیابی عملکرد

همه آزمون‌های انجام شده در پژوهش حاضر بر اساس پروتکل آزمون آلاینده‌ی و عملکرد<sup>5</sup> (EPTP) انجام شده که توسط محققان پیشنهاد استفاده شده است [19, 20]. در این آزمون حد نهایی هر فاز آزمون به‌جای نقطه‌جوش محلی، دمای  $90^{\circ}\text{C}$  محسوب می‌شود [13]. در هر تکرار از آزمون‌های انجام شده مقدار سه کیلوگرم آب در یک ظرف 5 لیتری، با استفاده از 400 گرم سوخت از دمای محیط ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ ) به دمای  $90^{\circ}\text{C}$  رسانده شده است.

در پایان هر فاز شروع سرد<sup>6</sup> با رسیدن دمای آب به دمای  $90^{\circ}\text{C}$  مقدار آب تبخیر شده اندازه‌گیر شد و سپس بلافاصله تا پایان یافتن سوخت اجاق، فاز نیم‌جوش<sup>7</sup> دنبال شد. همچنین به‌منظور بررسی تغییرات ناشی از محدودیت هوای اولیه ورودی به‌وسیله سامانه کنترل هوا، از طریق مدرج کردن کورس طولی تغییرات دریچه ورودی هوا، آزمون‌های ارزیابی اجاق در سه وضعیت 50، 75 و صفر درصد محدودیت مساحت فضای عبور هوای ورودی تکرار شد. همه آزمایش‌ها در حالت عایق‌بندی کوره اصلی اجاق تکرار شده است. محل انجام آزمایشات دریکی از آزمایشگاه‌های گروه مهندسی بیوسیستم در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با متوسط ارتفاع 1050 متر از سطح دریا و دمای جوش منطقه‌ای  $96/6^{\circ}\text{C}$  بوده است. بر اساس استانداردهای موجود برای اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ی از روش هود و تونل اختلاط<sup>8</sup> گاز خروجی برای نمونه‌برداری استفاده شد [21]. سرعت جریان گاز خروجی در محل نمونه‌گیری با استفاده از دستگاه

<sup>4</sup> Ceramic Blanket

<sup>5</sup> Emissions & Performance Test Protocol

<sup>6</sup> Cold Start

<sup>7</sup> Simmering

<sup>8</sup> Dilution Tunnel

اندازه‌گیری سرعت جریان گاز (testo425-Hot wire anemometer, USA) در شش تکرار اندازه‌گیری شد و از حاصل ضرب میانگین سرعت جریان‌های محاسبه شده در مساحت سطح لوله خروجی (به قطر 10 سانتی‌متر) دبی جریان گاز در لوله اختلاط  $9265 L/S$  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 بر اساس واحد ppm به ثبت رسید. 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 استفاده شد. از یک ترمومتر چهار کانال دیتالاگر مدل TM-947SD ساخت شرکت لوترون تایوان استفاده شد. به منظور بررسی آماری نتایج حاصل آزمایشات ارزیابی، از طریق آزمون فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور اجاق در دو سطح عایق‌بندی شده و بدون عایق‌بندی حرارتی و درجه کنترل هوا (فاکتور دوم) در سطوح صفر، 50 و 75 درصد محدودیت جریان هوا، و هر آزمایش در سه تکرار مورد آنالیز قرار گرفت. به دلیل سهولت در تبیین نتایج در آنالیزهای آماری، هریک از حالت‌های مختلف اجاق (حالت اول میکروگازیفایر بدون محدود کننده هوا، حالت دوم استفاده از کنترل هوا و حالت سوم استفاده از کنترل هوا به همراه عایق‌بندی) به عنوان یک اجاق مجزا در نظر گرفته شده و به عنوان پارامتر نوع اجاق مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و آنالیز آماری حالت‌های استفاده شده از سیستم کنترل هوا نیز (دو حالت بهینه سازی شده) به صورت مجزا تجزیه و تحلیل و گزارش شده است. انجام آنالیزهای آماری به وسیله نرم‌افزار آماری Minitab 17 انجام شده و طی آن مقایسه‌های زوجی با استفاده از آزمون  $10LSD$  انجام گرفت. در پایان نیز برای رتبه‌دهی و وضعیت عملکرد اجاق‌های مورد ارزیابی در پژوهش حاضر، از نحوه رتبه‌دهی و شاخص‌های ارائه شده بر اساس ISO IWA<sup>11</sup> ارائه شده در WBT. Version 4.2.3 استفاده شد. محاسبات

به منظور بررسی وضعیت تغییرات مصرف سوخت، شاخص مصرف سوخت ویژه<sup>12</sup> در دو دفاز شروع سرد و نیم‌جوش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مصرف سوخت ویژه (g/L) بر اساس مقدار سوخت مصرف شده برای به جوش رساندن یک لیتر آب محاسبه می‌شود اما این شاخص که در فاز نیم‌جوش بیشتر با نام آهنگ مصرف انرژی ویژه تو صیف می‌شود (MJ/L.min) بیانگر مقدار انرژی مصرف شده برای هر لیتر آب نیم‌جوش در واحد زمان نیز است [21] و به عنوان یکی از شاخص‌های رتبه‌دهی ISO IWA به وضعیت عملکرد اجاق در فاز نیم‌جوش نیز استفاده می‌شود. مزیت اصلی استفاده از این شاخص در دوفاز مختلف، در زمانی است که قصد مقایسه کردن عملکردهایی با تفاوت در مدت زمان فاز نیم‌جوش و همچنین متفاوت بودن مقدار آب نیم‌جوش در پایان آزمون را داشته باشیم. محاسبه شاخص‌های ذکر شده بر اساس روابط زیر است:

$$SFC = \frac{f_{ac}}{w_r} \quad (1)$$

$$SFC_{L-power} = \frac{f_{sd} \cdot LHV}{W_{rs} \cdot \Delta T_s \cdot 1000} \quad (2)$$

در هریک از رابطه‌ها عبارت  $w_r$  نشان‌دهنده جرم آب جوشیده بجامانده در پایان آزمون برحسب گرم است.  $\Delta T_s$  اختلاف دمای بوجود آمده در فاز نیم‌جوش،  $f_{sd}$  مقدار سوخت مصرف شده در طول انجام فاز نیم‌جوش و  $f_{ac}$  نشان‌دهنده مقدار سوخت استفاده شده در طی فاز شروع سرد برحسب گرم بوده است [21].  
و در پایان نیز برای اندازه‌گیری مونواکسیدکربن منتشر شده در طی آزمون از رابطه 4 استفاده شد.

$$Total CO = \sum_{i=1}^t (CO_i \times Q) \quad (4)$$

در معادله 4، t مدت زمان انجام هر آزمون،  $CO_i$  غلظت مونواکسیدکربن 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. ماده خام مورد استفاده

<sup>9</sup> معادل  $957 \frac{m^3}{h}$  است که براساس WBT بین 80 تا  $150 \frac{m^3}{h}$  قابل قبول است.

<sup>10</sup> LSD (Least Significant Difference)

<sup>11</sup> International Organization For Standardization International Workshop Agreement

<sup>12</sup> Specific fuel consumption

برای انجام آزمون‌ها ارزیابی از پوست پسته به‌عنوان سوخت استفاده شد. به‌منظور دستیابی به خصوصیات توصیفی، سوخت مورد استفاده تحت آنالیز تخمینی<sup>13</sup> قرار گرفت و خصوصیات توصیفی مورد نظر اعم از محتوی رطوبت، درصد خاکستر، مواد فرار و چگالی حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین تجزیه‌نهایی<sup>14</sup> آنالیز عنصری CHNSO کمی نیز برای دستیابی به مقدار عناصر تشکیل‌دهنده سوخت‌های مورد استفاده با استفاده از دستگاه CHNS Elemental Analyzer مدل "FlashEA 1112 series" در آزمایشگاه شرکت خدمات آزمایشگاهی بسپارپایش انجام شد. برای اندازه‌گیری ارزش حرارتی براساس کمترین مقدار شاخص RMSE، از بین مدل‌های ارائه شده در پژوهش [22] Peduzzi, Boissonnet، مدل ارائه‌شده توسط [23] Friedl, Padouvas، 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<sup>15</sup> و ارزش حرارتی ناخالص<sup>16</sup> [22] نتایج مورد نیاز محاسبه شد<sup>17</sup>.

خصوصیات توصیفی پوست پسته مورد استفاده به‌عنوان سوخت، همچنین استانداردهای مورد استفاده برای انجام آزمایشات اندازه‌گیری در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2. خصوصیات توصیفی پوست پسته مورد استفاده به‌عنوان سوخت در آزمایشات ارزیابی اجاق میکروگازیفایر.

ماده	چگالی (g/L <sup>-1</sup> )	رطوبت (%)	مواد فرار (%)	خاکستر (%)	عناصر (%)	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)
پوست پسته	295	7	83	2,4	C 68,6 H 5,9 O* 24,8 N 0,5 S -	28,74	26,15
روش	EN15103:2009	EN14774-3:2009	EN 15148:2009	EN 14775:2009	آنالیز عنصری	a	b
	*تفاضلی	a روش [23]	b روش [22]				

## نتایج و بحث

مصرف سوخت ویژه (g/L)

نتایج تجزیه واریانس مصرف سوخت ویژه (جدول 3) نشان می‌دهد که از بین فاکتورهای مورد بررسی، تغییرات مصرف سوخت ویژه در وضعیت‌های مختلف اجاق دارای تفاوت معنی‌دار بوده است، در حالی که در تفاوت‌های ناشی از دریچه کنترل و اثر متقابل دو فاکتور مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس این نتایج، فاکتور نوع اجاق با کسب سهم بیش از 86 درصد از کل تغییرات حاصل شده، در شاخص مصرف سوخت ویژه بیشترین اثر را گذاشته است. همچنین نتایج مقایسات میانگین نشان می‌دهد که در بین سه وضعیت میکروگازیفایر مورد بررسی، حالت عایق‌بندی شده با متوسط 48,6 گرم به ازای هر لیتر آب جو شیده در فاز شروع سرد دارای بهترین وضعیت مصرف سوخت ویژه در بین سه حالت مورد بررسی بوده است. میانگین مصرف سوخت ویژه اجاق‌ها در شکل 1 نشان داده شده است. در این شکل واضح است که استفاده از عایق حرارتی باعث افزایش راندمان انتقال حرارت به آب و کاهش اتلاف انرژی شده و با مصرف سوخت کمتر نسبت به دو حالت دیگر وضعیت بهتری داشته است.

جدول 3. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع اجاق و دریچه کنترل هوا بر مصرف سوخت ویژه در فاز شروع سرد.

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	% سهم از تغییرات	P-value	F-value
اجاق	1	1395,95	86,21	0,000	90,27**
دریچه کنترل	2	185	1,14	0,565	ns0,6
اثر متقابل	2	19,29	1,19	0,552	ns0,62
خطا	12	185,56	11,46		
کل	17	1619,31	100		

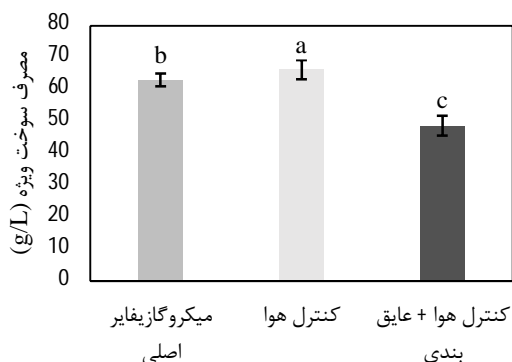
<sup>13</sup> Proximate Analysis

<sup>14</sup> Ultimate Analysis

<sup>15</sup> LHV

<sup>16</sup> HHV

<sup>17</sup> براساس WBT برای محاسبه بازدهی اجاق، ارزش حرارتی خالص (LHV) مورد نیاز است.



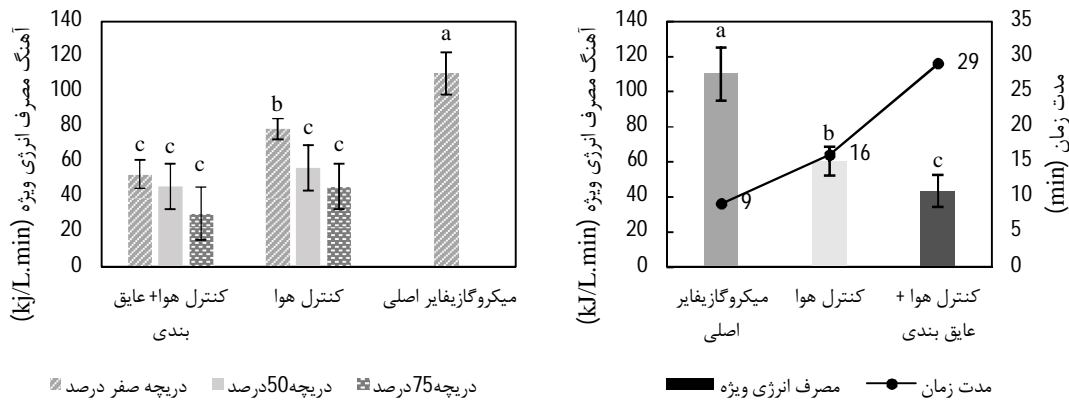
شکل 1. اثر اصلاحات انجام شده بر مصرف سوخت ویژه اجاق‌های مختلف در فاز شروع سرد.

#### آهنگ مصرف انرژی ویژه در فاز نیم‌جوش (MJ/L.min)

به منظور بررسی وضعیت مصرف سوخت اجاق‌ها در فاز نیم‌جوش، از شاخص آهنگ مصرف انرژی ویژه استفاده شد. مزیت استفاده از این شاخص لحاظ شدن فاکتور زمان در گزارش نتایج نهایی است که با توجه به اهمیت امتداد بازه زمانی فاز نیم‌جوش، فاکتور مناسبی برای مقایسه وضعیت اجاق‌های مختلف در این فاز از آزمون WBT است. براساس نتایج تجزیه واریانس آهنگ مصرف انرژی ویژه که در جدول 4 نشان داده شده است، هر دو فاکتور نوع اجاق و وضعیت دریچه‌های کنترل جریان هوای ورودی و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور باعث تغییرات معنی داری در مصرف انرژی اجاق‌ها در مدت زمان انجام شدن فاز نیم‌جوش آزمون WBT شده است. این نتایج نشان می‌دهد که فاکتور دریچه کنترل هوا با اکتساب 45/5 درصد از کل تغییرات، علی‌رغم سهم 27 درصدی فاکتور نوع اجاق، تاثیرگذارترین عامل در تغییرات میزان انرژی مصرف شده برای نگه داشتن هر لیتر آب در دمای نزدیک جوش به شمار می‌آید. روشن است که کنترل جریان هوا با تغییراتی که در شدت مصرف سوخت بوجود می‌آورد، آهنگ مصرف انرژی را تحت کنترل گرفته و البته عایق بندی نیز با کاهش اتلاف انرژی، باعث افزایش نگهداشت انرژی و افزایش مدت زمان و تفاوت میان اجاق‌های بکارگرفته می‌شود. این نتایج را می‌توان در شکل 2 که نشان‌دهنده آهنگ مصرف انرژی ویژه در هر یک از اجاق‌ها است مشاهده کرد. براساس این نتایج واضح است که کنترل جریان هوا باعث کاهش آهنگ مصرف انرژی نسبت به میکروگازیفایر اصلی شده، به طوری که متوسط این شاخص برای میکروگازیفایر اصلی 110/27 کیلوژول به ازای نگه داشتن هر لیتر آب در دمای نزدیک جوش به مدت یک دقیقه بوده است. اما این مقدار با بکارگیری سیستم کنترل جریان هوا به 60 کیلوژول بر لیتر در هر دقیقه کاهش پیدا کرده است که دلیل آن را باید در بهبود وضعیت اتلاف انرژی جست‌وجو کرد. به عبارت دیگر در هنگام استفاده از عایق حرارتی، با کاهش اتلاف انرژی، مدت زمان نگهداشت انرژی حرارتی در بستر زغال داغ افزایش پیدا کرده و باعث افزایش مدت زمان فاز نیم‌جوش آزمون و کاهش شاخص آهنگ مصرف انرژی ویژه می‌شود، به طوری که با بررسی مقایسات میانگین اثرات متقابل، مشخص شد که بهترین و وضعیت، مربوط به محدودترین و وضعیت کنترل جریان (محدودیت 75%) در ترکیب با عایق بندی به ثبت رسیده است. شکل 3 نشان‌دهنده تغییرات آهنگ مصرف انرژی ویژه ناشی از اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی است.

جدول 4. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع اجاق و دریچه کنترل هوا بر آهنگ مصرف انرژی ویژه در فاز نیم‌جوش.

F-value	P-value	%سهم از تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
24,36**	0,000	26,73	3274	1	اجاق
20,75**	0,000	45,55	5580	2	دریچه کنترل
6,63**	0,012	14,55	1781	2	اثر متقابل
		13,17	1613	12	خطا



شکل 2. تغییرات آهنگ مصرف انرژی ویژه و مدت زمان بهره‌دهی اجاق‌های مختلف در فاز نیم‌جوش. شکل 3. تغییرات اثرات متقابل اصلاحات انجام شده بر آهنگ مصرف انرژی ویژه در فاز نیم‌جوش در مقایسه با میکروگازیفایر اصلی.

#### انتشار آلاینده مونواکسیدکربن

به منظور بررسی وضعیت آلاینده‌گی ناشی از تغییرات اعمال شده در جهت بهینه‌سازی میکروگازیفایر مورد بررسی، میزان انتشار  $CO^{18}$  در طی هر آزمون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج تجزیه واریانس در جدول 5 ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که، اگرچه اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری نداشته‌اند ( $P\text{-Value}=0,598$ )، اما هر یک از حالت‌های بهینه‌سازی شده میکروگازیفایر و همچنین حالت‌های مختلف محدود کردن جریان هوا، باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در شاخص ارزیابی آلاینده‌گی شده‌اند ( $P\text{-Value}\leq 0,003$ ). بر اساس نتایج ارائه شده در جدول 5، پارامتر اجاق با سهم بیش از 77 درصدی از کل تغییرات، نسبت به سهم 13 درصدی پارامتر دریچه کنترل بیشترین میزان تأثیر را بر میزان انتشار CO نشان داده است.

#### جدول 5. نتایج تجزیه واریانس اثر نوع اجاق و دریچه کنترل هوا بر میزان انتشار CO.

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	% سهم از تغییرات	P-value	F-value
اجاق	1	0,281	77,55	0,000	*110,24
دریچه کنترل	2	0,048	13,26	0,003	**9,42
اثر متقابل	2	0,002	0,75	0,598	ns0,54
خطا	12	0,03	8,44		
کل	17	0,36	100		

\*\* معنی داری در سطح 99%  $R^2=85,52$  عدم تفاوت معنی‌دار  $C.V.=8$

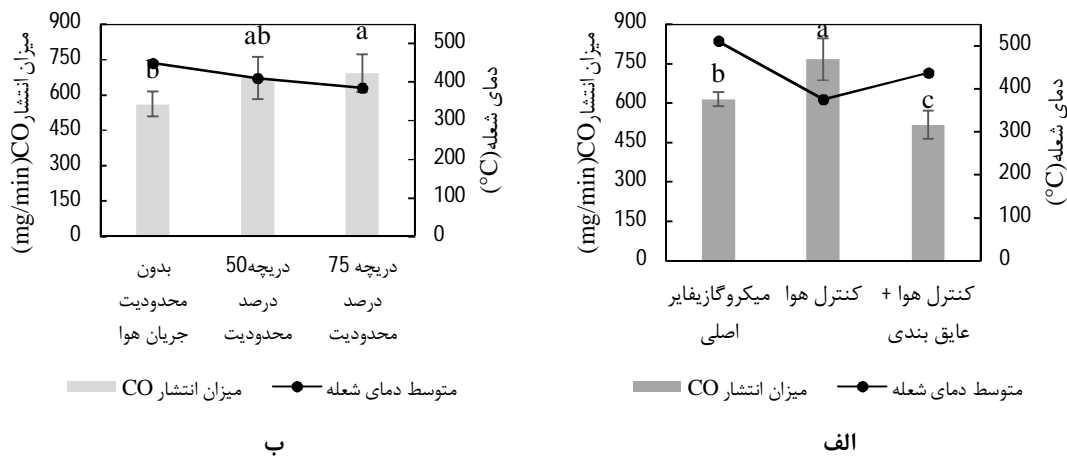
پس از تجزیه واریانس شاخص‌های آلاینده‌گی، مقایسات میانگین برای پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روش LSD در سطح اطمینان 95 درصد انجام شد. از نتایج مقایسات میانگین ارائه شده در شکل 4 الف می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات اعمال شده در جهت بهینه‌سازی باعث تأثیر مثبت در کنترل میزان آلاینده‌گی منتشر شده در طول آزمون ارزیابی اجاق‌ها شده است. بر اساس این نتایج، اگرچه استفاده کردن از سیستم کنترل جریان باعث افزایش انتشار CO شده است اما، استفاده از عایق حرارتی ضمن افزایش دما و افزایش مدت زمان بهره‌دهی، باعث جبران این افزایش انتشار و کاهش انتشار مونواکسیدکربن شده است.

<sup>18</sup> Indoor CO Emission



همانطور که در شکل 4. الف و ب مشهود است، مقایسه نتایج انتشار آلاینده‌گی با تغییرات دمای شعله نشان می‌دهد که انتشار مونواکسید کربن در حالت‌های مختلف اجاق میکروگازیفایر با دمای شعله تحت رابطه مستقیم تغییر می‌کند. نتایج نشان داده شده در شکل 4. الف نشان می‌دهد که طی استفاده از سیستم کنترل جریان هوا، دمای شعله کاهش یافته و بدنبال آن میزان انتشار مونواکسید کربن افزایش داشته است. بررسی این تغییرات نشان می‌دهد 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 شعله‌ای با دمای پایین‌تر تشکیل می‌شود که در کنار اتلاف حرارتی، آزاد شدن گاز CO به صورت نسوخته را در پی دارد، اما استفاده از عایق حرارتی در ترکیب با سیستم کنترل جریان هوا و کاهش اتلاف حرارتی، با تأثیر بر دمای محفظه احتراق موجب یک اشتعال گرم‌تر شده و باعث کاهش فرار گاز قابل احتراق CO به صورت نسوخته از محفظه احتراق می‌شود.

همچنین مقایسه میانگین حالت‌های مختلف محدودیت جریان هوا (شکل 4. ب) نشان می‌دهد میزان انتشار CO با افزایش محدودیت جریان هوا افزایش یافته است. همانطور که قبلاً اشاره شد محدود کردن جریان هوا با کاهش شدت شعله بر دمای شعله نیز تأثیر گذاشته و مصرف سوخت را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدیهی است کمتر شدن مصرف سوخت، افزایش مدت زمان بهره‌دهی را بدنبال دارد. با توجه به اندازه‌گیری شاخص میزان انتشار در مدت زمان انجام آزمون، افزایش زمان اندازه‌گیری را می‌توان دلیل افزایش میزان انتشار مونواکسید کربن دانست، اما دلیل دیگر مرتبط با افزایش میزان انتشار آلاینده را می‌توان افت دمای شعله یا به عبارتی دمای شعله‌ی کمتر در محدودیت‌های بیشتر جریان هوا دانست. توضیح تکمیلی اینکه نتایج نشان می‌دهد که کاهش دمای شعله ناشی از استفاده‌شدن در پیچه‌های بسته‌تر، باعث افزایش میزان آلاینده‌گی شده است. دلیل این امر را می‌توان یا در کاهش میزان تأمین هوا و انجام نشدن واکنش‌های سوختن دانست و یا در کاهش دمای اشتعال و تأمین نشدن گرمای کافی برای انجام شدن واکنش سوختن گازهای قابل اشتعال تولید شده پیگیری کرد.



شکل 4. تغییرات میزان انتشار آلاینده CO در تقابل با دمای شعله بر اساس الف) اجاق‌های مختلف ب) وضعیت‌های در پیچه کنترل هوا.

### رتبه‌دهی و بهبود حاصل از بهینه‌سازی

در مرحله آخر به منظور مقایسه عملکردی میکروگازیفایر اصلی و طرح‌های بهینه‌سازی شده نهایی، با توجه به تطابق پارامترها با آنالیزهای انجام‌شده، سه شاخص بازده حرارتی در توان بیشینه، انتشار CO در توان بیشینه و میزان انتشار CO کل در طول آزمون، انتخاب، محاسبه و براساس آن‌ها مقایسه و رتبه‌دهی براساس ISO IWA در هر معیار مشخص شد. جدول 6 نشان‌دهنده وضعیت رتبه‌دهی هر یک از اجاق‌ها براساس ISO IWA است.

نتایج رتبه‌دهی براساس شاخص‌های ISO IWA نشان می‌دهد که بهینه‌سازی اجاق میکروگازیفایر مورد ارزیابی با استفاده از سیستم کنترل جریان هوا و عایق‌بندی حرارتی در شاخص بازده با متوسط بازده 26/7، با یک رتبه ارتقا در رتبه دوم قرار گرفته است. براساس این نتایج، در شاخص انتشار CO در توان بیشینه، اجاق بهینه‌سازی شده با انتشار 10/5 گرم مونواکسید کربن به ازای هر مگاژول انرژی دریافت شده به وسیله ظرف آب، با یک رتبه تنزل در رتبه سوم سیستم رتبه‌دهی ISO IWA قرار دارد.

در شاخص میزان انتشار CO در طول آزمون که عبارتی بیان کننده رفتار کلی انتشارات آلاینده است، اجاق بهینه سازی شده با انتشار 0/51 گرم در هر دقیقه، در مقابل 0/61 گرم مونواکسید کربن منتشر شده در هر دقیقه به وسیله میکروگازیفایر معمولی، اگرچه از وضعیت بهتری برخوردار است، اما براساس روش رتبه دهی ISO IWA، هر دو در رتبه دوم قرار گرفته اند.

**جدول 6.** وضعیت و رتبه اجاق های مورد ارزیابی براساس شاخص های ISO IWA.

شاخص	واحد	میکروگازیفایر	رتبه	استفاده از سیستم کنترل هوا	رتبه	استفاده از سیستم کنترل هوا و عایق بندی	رتبه
بازده حرارتی توان بیشینه <sup>1</sup>	%	22,8	1	20,13	1	26,7	2
CO در توان بیشینه <sup>2</sup>	g/MJ <sup>3</sup>	8,504	4	13,27	1	10,53	3
میزان انتشار CO	g/min	0,61	2	0,77	1	0,52	2

#### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که کنترل جریان هوا و کاهش اتلاف انرژی با استفاده از عایق حرارتی باعث کاهش 32 درصدی مصرف سوخت ویژه اجاق میکروگازیفایر در فاز شروع سرد و همچنین کاهش 60 درصدی شاخص آهنگ مصرف انرژی ویژه در فاز نیم جوش شد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که براساس سیستم رتبه دهی ISO IWA، میکروگازیفایر اصلی و حالت بهینه سازی شده با سیستم کنترل هوا و عایق حرارتی، از لحاظ میزان انتشار مونواکسید کربن، هر دو در یک رتبه قرار می گیرند.

#### منابع

- [1] Lertsatitthanakorn, C., J. Jamradloedluk, and M. Rungsiyopas. 2014. "Study of Combined Rice Husk Gasifier Thermoelectric Generator". *Energy Procedia*. 52: p. 159-166.
- [2] Suresh, R., V.K. Singh, J.K. Malik, A. Datta, and R.C. Pal. 2016. "Evaluation of the performance of improved biomass cooking stoves with different solid biomass fuel types". *Biomass and Bioenergy*. 95: p. 27-34.
- [3] Banerjee, M., R. Prasad, I.H. Rehman, and B. Gill. 2016. "Induction stoves as an option for clean cooking in rural India". *Energy Policy*. 88: p. 159-167.
- [4] Halder, P.K., N. Paul, and M.R.A. Beg. 2014. "Assessment of biomass energy resources and related technologies practice in Bangladesh". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39: p. 444-460.
- [5] Mallaki, M. and R. Fatehi. 2014. "Design of a biomass power plant for burning date palm waste to cogenerate electricity and distilled water". *Renewable Energy*. 63: p. 286-291.
- [6] Statistical Center of Iran, 2008. "Periodic nomads Socio-economic census in the country". Management and Planning Organization.
- [7] Bozorg pour, e., 2003. "optimazing use of gas and oil in nomads life (Nomads Affairs Organization of Iran (NAOI) fosil fuels replacing plan)". Paper presented at the Fourth national energy conference ,Iran. [http://www.civilica.com/Paper-NEC04-NEC04\\_022.html](http://www.civilica.com/Paper-NEC04-NEC04_022.html)

<sup>1</sup> High Power Thermal Efficiency

<sup>2</sup> High Power CO

<sup>3</sup> Gram Per Mega Joule Delivered To The Pot

- [8] Singh, S., G.P. Gupta, B. Kumar, and U.C. Kulshrestha. 2014. "Comparative study of indoor air pollution using traditional and improved cooking stoves in rural households of Northern India." *Energy for Sustainable Development*. 19: p. 1-6.
- [9] Drikvand, m., m.a. Rahimi, and s. Karimi. 2010. "Instead of biofuels to replace fossil fuels (Case study: the tribal areas of Lorestan, Iran)". Paper presented at the second students of geography National Scientific Conference. [http://www.civilica.com/Paper-IGSCUT02-IGSCUT02\\_097.html](http://www.civilica.com/Paper-IGSCUT02-IGSCUT02_097.html)
- [10] Miah, M.D., H. Al Rashid, and M.Y. Shin. 2009. "Wood fuel use in the traditional cooking stoves in the rural floodplain areas of Bangladesh: A socio-environmental perspective". *Biomass and Bioenergy*. 33(1): p. 70-78.
- [11] Akter Lucky, R. and I. Hossain. 2001. "Efficiency study of Bangladeshi cookstoves with an emphasis on gas cookstoves". *Energy*. 26(3): p. 221-237.
- [12] Hossain, M.M.G., 2003. "Improved cookstove and biogas programmes in Bangladesh". *Energy for Sustainable Development*. 7(2): p. 97-100.
- [13] Sutar, K.B., S. Kohli, M.R. Ravi, and A. Ray. 2015. "Biomass cookstoves: A review of technical aspects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4 :1p. 1128-1166.
- [14] Raman, P., J. Murali, D. Sakthivadivel, and V.S. Vigneswaran. 2013. "Performance evaluation of three types of forced draft cook stoves using fuel wood and coconut shell". *Biomass and Bioenergy*. 49: p. 333-340.
- [15] Rasoulkhani ,M.R., M.A. Ebrahimi-nik, M.H. Abbaspour-Fard, and R. Abbas. 2016. "Microgasification introduction and its utilization on household cooking energy supply". Paper presented at the 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran, Mashhad. [http://www.civilica.com/Paper-NCAMEM10-NCAMEM10\\_074.html](http://www.civilica.com/Paper-NCAMEM10-NCAMEM10_074.html)
- [16] Njenga, M., M. Iiyama, R. Jamnadass, H. Helander, L. Larsson, J. de Leeuw, H. Neufeldt, K. Röing de Nowina, and C. Sundberg. 2016. "Gasifier as a cleaner cooking system in rural Kenya". *Journal of Cleaner Production*. 121: p. 208-217.
- [17] Febriansyah, H., A.A. Setiawan, K. Suryopratomo, and A. Setiawan. 2014. "Gama Stove: Biomass Stove for Palm Kernel Shells in Indonesia". *Energy Procedia*. 47: p. 123-132.
- [18] 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>: p. 202009-03.
- [19] Tryner, J., J.W. Tillotson ,M.E. Baumgardner, J.T. Mohr, M.W. DeFoort, and A.J. Marchese. 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): p. 975.9763-4
- [20] DeFoort, M., C. L'Orange, C. Kreutzer, N. Lorenz, W. Kamping, and J. Alders, Stove Manufacturers Emissions and Performance Test Protocol (EPTP); Engines and Energy Conversion Laboratory, Colorado State University: Fort Collins, CO, 2010.
- [21] WBT Technical Committee. 2014. "The Water Boiling Test: Version 4.2. 3."
- [22] Peduzzi, E., G. Boissonnet, and F. Maréchal. 2016. "Biomass modelling: Estimating thermodynamic properties from the elemental composition". *Fuel*. 181: p. 207-217.
- [23] Friedl, A., E. Padouvas, H. Rotter, and K. Varmuza. 2005. "Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition". *Analytica Chimica Acta*. 544(1-2): p. 191-198.

## The effect of Primary air control on specific fuel consumption and CO emission of a microgasifier biomass cook stove

Mohammad Reza Rasoulkhani<sup>1</sup>, Mohammad Ali Ebarahimi Nik<sup>2</sup>, Mohammad Hossien Abbaspour Fard<sup>2</sup>, Abbas Rohani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master of Science Student at Ferdowsi university of Mashhad, department of biosystem engineering. <sup>Iran</sup>  
[m.rasoulkhani@gmail.com](mailto:m.rasoulkhani@gmail.com)

<sup>2</sup> Faculty member at Ferdowsi university of Mashhad, department of biosystem engineering. <sup>Iran</sup>

### **Abstract**

Inefficient traditional cooking methods with biomass, due to its poor burning, emitting high carbon monoxide (CO) and consuming much more fuels that were resulted in more fuel collection need. With the aim of optimizing fuel consumption a microgasifier biomass cook stove was made and improved with an air control system (ACS) and thermal insulator (TI). All steps of fabrication (including microgasifier fabrication for first step, microgasifier in ACS for step two and afterward combination of ACS and TI) were evaluated with 400 g of pistachio peel as an agro biofuel based on the emission and performance test protocol (EPTP). The dilution tunnel method was used for CO emission measurement and the three situation of microgasifier were compared based on ISO international workshop agreement indexes. The fuel characteristics were estimated with appropriated methods and afterward the heating value (HV) was measured by the scientific models for HV estimation. The results showed that the conjugate use of ACS and TI reduced the specific fuel consumption (SFC) in cold start and simmering phase by 32% and 60% respectively. In addition, the indoor CO emission subsided from 0.61 g per min for microgasifier to 0.52 g per min for combination of ACS and TI.

Key words: Biomass cook stove, Microgasifier, Pistachio, Fuel consumption, Carbon monoxide.