

## تحلیل انرژی و انرژی محفظه احتراق در سیکل گازی با سوخت زیست توده‌ی

### متفاوت

محمد وجدی

استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه محقق اردبیلی  
Mohammad.vajdi@yahoo.com

سعید زینالی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه محقق اردبیلی  
Saeidz1374@gmail.com

### توحید قلیزاده

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه محقق  
اردبیلی  
Towhid.gholizadeh@gmail.com

### چکیده

با توجه به رشد روز افزون استفاده انرژی در جوامع بشری از یک طرف و رشد تولید زباله‌ها بدلیل رشد جمعیت از طرف دیگر، می‌بایست روش‌های نوین برای تولید انرژی و بازیافت زباله در نظر گرفت. در این میان سوخت زیست توده که از بازیافت زباله‌ها استحصال میگردد، به عنوان سوخت جایگزین منابع فسیلی ایده‌ی مناسبی خواهد بود. در تحقیق حاضر با استفاده از روش گازیسازی و تجزیه بی‌هوازی، سوخت مورد نیاز برای انجام فرآیند احتراق به دست آورده شده است. برای انجام فرآیند گازیسازی و تجزیه بی‌هوازی از زیست توده‌های مختلفی استفاده می‌شود، در پژوهش اخیر از زیست توده‌های، چوب، پسماند حیوانی و پسماند کشاورزی برای به دست آوردن گاز سنتز استفاده شده است. سوخت گازی حاصل از زیست توده‌های متفاوت با یکدیگر مقایسه شده و گازهای حاصل از این فرآیندها در محفظه احتراق سوخته و ارزش حرارتی پایین مشخص شده است که ارزش حرارتی به دست آمده از فرآیند تجزیه بی‌هوازی نتایج بهتری را نشان می‌دهد، همچنین تحلیل انرژی به جهت محاسبه تخریب انرژی در محفظه احتراق انجام گرفته است.

**کلمات کلیدی:** انرژی، زیست توده، گاز سنتز، محفظه احتراق، گازیسازی، تجزیه بی‌هوازی، ارزش حرارتی پایین

### ۱- مقدمه

در چند دهه اخیر، نگرانی‌ها در خصوص تغییرات آب و هوایی، کاهش منابع سوخته‌های فسیلی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای انتشار آلاینده‌ها به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. مجموعه این عوامل و نگرانی‌ها منجر به جستجو برای یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر برای آینده و روش‌های کارآمدتر تبدیل سوخت به انرژی شده است. یکی از این منابع انرژی امید بخش زیست توده می‌باشد. فرآیندهای مختلفی جهت تبدیل زیست توده به حامل انرژی ثانویه در دسترس می‌باشند. این فرایندها اساساً بر مبنای تبدیلات ترموشیمیایی مانند احتراق، تجزیه در اثر گرما، گازی‌کردن و آب‌گونه‌سازی و یا بر مبنای تبدیلات بیولوژیکی مانند گوارش و تخمیر می‌باشند. گازهای حاصل به طور عمده متان و کربن دی‌اکسید خواهد بود. در کنار این دو مقداری گازهای دیگر هم حاصل می‌شود که بستگی به ترکیب زیست توده مورد استفاده دارد. بیوگاز می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی بخصوص در کاربردهای دمای متوسط باشد و جزو انرژی‌های نو بوده و آلودگی کمتری را تولید می‌کند.

بیوگازهای متنوع برای تولید گرما و برق در سراسر جهان پیشنهاد شده است. برای مثال اوگورور و همکاران [۱] با استفاده از پسماندهای کشاورزی و حیوانی یک نیروگاه حرارتی چندگانه راه اندازی کردند. آن‌ها برای چند نوع ماده پسماند حاصل از

کشاورزی و حیوانی با استفاده از معادلات و نتایج کار زینال و همکاران [۲] مقدار بیوگاز حاصل از تجزیه این پسماندها را به دست آوردند. هلکا و همکارانش [۳] به این نتیجه رسیده اند در انگلیس ۰.۵٪ و در آمریکا ۱٪ تولید برق از طریق بیوگاز تأمین می‌شود و استفاده از بیوگاز با کاهش انتشار CO<sub>2</sub> بیش از ۱۰٪ موجب کاهش تغییرات آب و هوا می‌شود.

در مطالعه انجام یافته توسط غلامیان و همکاران [۴]، آنالیز ترمودینامیکی سیستم تولید همزمان توان، سرما و گرما (CCHP) با سوخت زیست توده مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌داد که بیشینه راندمان انرژی قابل حصول در سیستم CCHP برابر ۳۸٪ می‌باشد که نسبت به سیستم تنهای پیل سوختی اکسید جامد دارای ۵۰٪ افزایش راندمان می‌باشد.

مارتین و همکاران [۵] شبکه ای از منابع تجدید پذیر شامل باد، خورشید، زیاله، زیست توده، کربن دی اکسید و آب را برای تولید انرژی پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که سیستم پیشنهادی به راحتی می‌تواند در هر منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد و این نتایج به عنوان یک ابزار برای ارزیابی کاربرد منابع تجدید پذیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

غلامیان و همکاران [۶] یک سیکل ترکیبی بر اساس گازی کردن زیست توده ارائه دادند و تحلیل انرژی و محیطی بر روی آن انجام دادند. چوب و کاغذ به عنوان سوخت زیست توده در نظر گرفته شده و نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از چوب به عنوان سوخت زیست توده بازده چرخه ۲/۵٪ بیشتر از زمانی است که از کاغذ به عنوان سوخت زیست توده استفاده شود. با این حال با استفاده از کاغذ به عنوان سوخت مقدار گازهای خروجی ۰/۸٪ کمتر از زمانی است که از چوب استفاده شود.

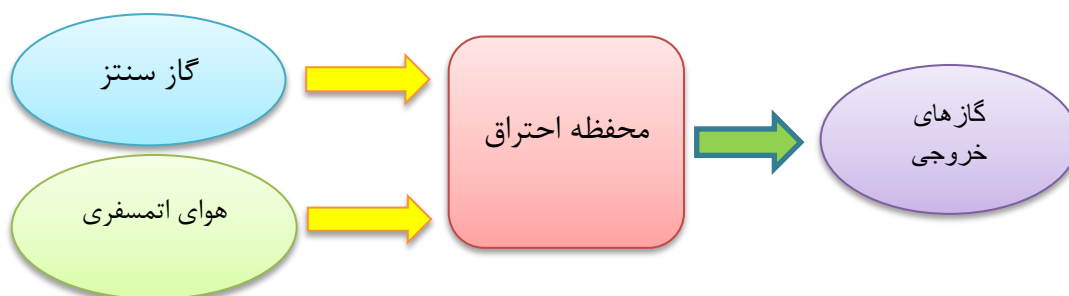
باقرنژاد و همکاران [۷] سه نوع چرخه سه گانه را از منظر انرژی اقتصادی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها سیکل توربین گازی را با سه نوع منبع انرژی مختلف برای هر کدام از این سیستم‌ها به کار بردند. سیکل توربین گاز در حالت اول با استفاده از سلول سوختی، در حالت دوم به وسیله انرژی زیست توده و در مورد سوم با استفاده از انرژی خورشیدی به کار گرفته شد. آن‌ها گزارش دادند که این سیستم سه گانه با استفاده از سلول سوختی بازده انرژی بالاتری دارد، در حالی که کمترین هزینه با استفاده از انرژی زیست توده در چرخه توربین گازی به دست می‌آید.

هایلونگ و همکاران [۸] تکنولوژی ترکیب تجزیه بی‌هوازی و گازسازی زیست توده برای تولید متان همراه با گاز هیدروژن حاصل سنتز گاز به جهت بالا بردن میزان زیست گاز حاصل از تجزیه بی‌هوازی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه مشاهده می‌گردد، همزمان چند سوخت حاصل از گازسازی و تجزیه بی‌هوازی در پژوهش‌های پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است، در این پژوهش با استفاده از فرآیند تجزیه بی‌هوازی و گازسازی، زیست توده‌های متنوع را جهت به دست آوردن زیست گاز برای احتراق در محفظه احتراق با هوای اتمسفری مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با استفاده از قوانین اول و دوم ترمودینامیک تحلیل انرژی و انرژی برای محفظه احتراق مورد نظر انجام گرفته و میزان ارزش حرارتی پایین سوخت و تخریب انرژی تعیین خواهد شد. زیست توده مورد استفاده جهت فرآیند گازی سازی ماده چوب بوده و برای فرآیند تجزیه بی‌هوازی از پسماندهای حیوانی و پسماندهای کشاورزی استفاده می‌شود.

## ۲- تشریح سیستم

فرآیند گازسازی و تجزیه بی‌هوازی یک روش کارآمد برای تبدیل زیست توده به محصول گازی می‌باشد. این محصول گازی به عنوان گاز سنتز یا زیستگاز سنتز شناخته می‌شود. گاز سنتز عمدتاً شامل ترکیباتی مانند هیدروژن، مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن، متان و نیتروژن می‌باشد. گازسازی یک فرآیند ترموشیمیایی است، در حالیکه تجزیه بی‌هوازی یک فرآیند زیست‌شیمیایی است.

در این پژوهش فرآیند سنتز گاز برای تولید سوخت از زیست توده‌های مختلف بررسی و مدلسازی شده است. سوخت حاصل از فرآیند نیز در یک محفظه احتراق به صورت ترکیب با هوای اتمسفری مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در شکل ۱، طرحواره سیستم پیشنهادی مورد مطالعه نشان داده شده است. این سیستم شامل واحد گاز سنتز، هوای اتمسفری، محفظه احتراق و گازهای خروجی حاصل از احتراق می‌باشد.



شکل ۱: طرحواره سیستم پیشنهادی

شبیه سازی ترمودینامیکی سیستم پیشنهادی توسط نرم افزار EES انجام گرفته، زیست توده مورد استفاده برای فرآیند گازی سازی چوب و برای فرآیند تجزیه بی هوازی از دو ماده مختلف شامل پسماند کشاورزی و حیوانی برای به دست آوردن سنتز گاز استفاده شده است. ترکیب زیست توده های مورد استفاده نیز در جدول ۱ آورده شده است [۲۰]. برخی از فرضیات به کار گرفته شده برای شبیه سازی سیستم در ذیل آمده است:

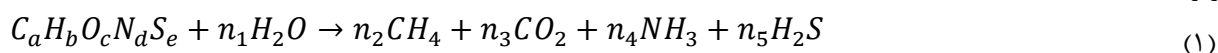
- سیستم در حالت پایدار کار می کند.
- همه فرآیندها به صورت بی دررو می باشند.
- هوا و سوخت به عنوان گاز ایده آل در نظر گرفته شده است.
- تمامی فرآیندهای سیستم به صورت آدیاباتیک می باشند.
- اجزای تشکیل دهنده پسماندهای کشاورزی و حیوانی تنها شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و سولفور می باشند.
- فرآیند احتراق در محفظه احتراق به صورت کامل انجام می گیرد.

جدول ۱: ترکیب زیست توده های مورد استفاده در فرآیند سنتز گازی [۲۰].

	کربن (C)	هیدروژن (H)	نیتروژن (N)	اکسیژن (O)	گوگرد (S)	درصد رطوبت (MC)
چوب	۵۰/۰	۶/۰	۰/۰	۴۴/۰	۰/۰	۰
پسماند حیوانی	۴۴/۲۶	۵/۹۵	۵/۳۰	۳۲/۶۹	۱/۲۱	۱۰/۶
پسماند کشاورزی	۴۶/۴۵	۵/۴۰	۰/۶۴	۳۸/۶۹	۰/۰۳	۸/۷۹

### ۳- مدلسازی سیستم

برای مدل سازی سیستم پیشنهادی، چون از دو روش برای به دست آوردن گاز سنتز استفاده می شود نیاز به دو معادله واکنش شیمیایی است. مدلسازی واکنش شیمیایی تجزیه بی هوازی برای به دست آوردن زیست متان از زیست توده به صورت زیر است [۱]:



$n_i$  (مول) مقدار آب مورد نیاز و همچنین مقدار فرآورده های حاصل از واکنش است و مقدار  $i$  برابر با  $i=1,2,3,4,5$  است.

$$n_1 = \left( a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3d}{4} + \frac{e}{2} \right) \quad (2)$$

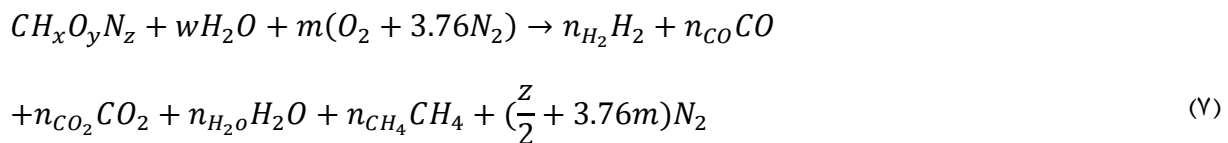
$$n_2 = \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4}\right) \quad (۳)$$

$$n_3 = \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4}\right) \quad (۴)$$

$$n_4 = d \quad (۵)$$

$$n_5 = e \quad (۶)$$

همچنین معادله کلی گازسازی برای به دست آوردن گاز سنتز به شکل زیر است [۱]:



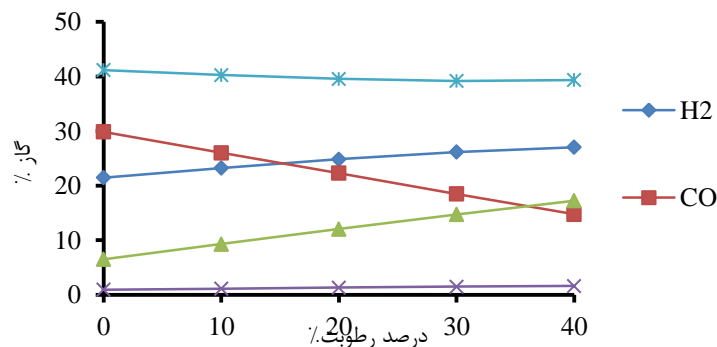
$n_i$  (مول / مول زیست توده) مقدار مول ویژه فرآورده ها ،  $w$  (مول / مول زیست توده) مقدار مول ویژه رطوبت زیست توده و  $m$  (مول / مول زیست توده) مقدار مول ویژه هوا است:

$$w = \frac{M_{bio} \times MC}{M_{H_2O}(1 - 0.01MC)} \quad (۸)$$

$$m = \phi(1 + 0.25x - 0.5y) \quad (۹)$$

MC برابر درصد رطوبت کلی و  $M_{bio}$  (مول بر گرم) جرم مولی زیست توده و  $\phi$  (بدون واحد) نسبت اکیوالانس است. با استفاده از معادلات بالا و معادلات حاصل از پژوهش السینا و همکاران [۹]، مجموعه معادلاتی برای به دست آوردن میزان مول ویژه حاصل از گازسازی زیست توده به دست می آید. با حل همزمان این مجموعه معادلات می توان مول ویژه هر جز را به دست آورد که این مقادیر در پژوهش اوگرو و همکاران [۱] گزارش شده است.

در فرایند گازسازی مقدار درصد رطوبت زیست توده در گازهای حاصل تاثیر گذار است. در شکل ۲ میزان تاثیر درصد رطوبت بر روی گازهای حاصل از گازسازی نشان داده شده است. در این پژوهش نتایج حاصل از میزان ۲۰٪ رطوبت برای انجام فرایند گازسازی انتخاب شده و سایر نتایج با این فرض به دست آمده است [۲].



شکل ۲: تاثیر درصد رطوبت بر گازهای حاصل از گازسازی چوب

اصل پیوستگی در محفظه احتراق بر اساس دبی مولی هوا، سوخت و محصولات احتراقی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\dot{n}_f}{\dot{n}_a} = \bar{\lambda} \longrightarrow \dot{n}_a + \dot{n}_f = \dot{n}_p \longrightarrow \frac{\dot{n}_p}{\dot{n}_a} = 1 + \bar{\lambda} \quad (10)$$

در معادله (۱۰)  $\dot{n}_a$ ، دبی مولی هوا و  $\dot{n}_f$ ، دبی مولی سوخت و  $\dot{n}_p$ ، دبی مولی محصولات احتراق می باشد که  $\bar{\lambda}$  نسبت دبی مولی هوا به سوخت را نشان می دهد.

معادله شیمیایی احتراق برای هر مول از هوا با سوخت زیست گاز را می توان به صورت معادله (۱۱) در نظر گرفت [۱۰]:

$$\bar{\lambda}[aH_2 + bCO + cCO_2 + dCH_4 + eN_2] + [0.7748N_2 + 0.2059O_2 + 0.0003CO_2 + 0.019H_2O] \\ \rightarrow \left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right] [Y_{N_2}N_2 + Y_{O_2}O_2 + Y_{CO_2}CO_2 + Y_{H_2O}H_2O] \quad (11)$$

با توجه به معادله فوق، کسر مولی نیتروژن، اکسیژن، دی اکسیدکربن و بخار آب در محصولات احتراق عبارت است از:

$$Y_{N_2} = \frac{\bar{\lambda}e + 0.7748}{\left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right]} \quad (12)$$

$$Y_{O_2} = \frac{0.2059 - [\bar{\lambda}\left(2d + \frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right)]}{\left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right]} \quad (13)$$

$$Y_{CO_2} = \frac{0.0003 + [\bar{\lambda}(c + d + b)]}{\left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right]} \quad (14)$$

$$Y_{H_2O} = \frac{0.019 + [\bar{\lambda}(2d + a)]}{\left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right]} \quad (15)$$

احتراق فرایندی گرمازا است، در نتیجه دمای بالای محفظه احتراق باعث اتلاف حرارت می گردد. در این شبیه سازی میزان حرارت اتلافی به محیط ۲٪ ارزش حرارتی پایین سوخت در نظر گرفته شده است [۱۰].

$$\dot{Q}_{cv} = -0.02\dot{n}_f\bar{LHV} \quad (16)$$

تبادل انرژی برای محفظه احتراق بصورت معادله (۱۷) خواهد بود:

$$\dot{Q}_{cv} - \dot{w}_{cv} + \dot{n}_a\bar{h}_a + \dot{n}_f\bar{h}_f - \dot{n}_p\bar{h}_p = 0 \quad (17)$$

با جایگزاری مقدار  $\dot{Q}_{cv}$ ، از معادله (۱۶) در معادله (۱۷)، بالانس انرژی برای محفظه احتراق به صورت زیر بدست می آید.

$$-0.02\bar{\lambda}\bar{LHV} + \bar{h}_a + \bar{\lambda}\bar{h}_f - \left[1 + \bar{\lambda}\left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right]\bar{h}_p = 0 \quad (18)$$

برای تعیین آنتالپی هوا و محصولات احتراق از فرض مخلوط گازهای ایده آل استفاده شده و آنتالپی واکنش دهنده ها و محصولات احتراق بر اساس دمای آنها تعیین می گردد. دمای ورودی و خروجی محفظه احتراق به ترتیب برابر  $T_3 = 550k$  و  $T_4 = 1150k$  است.

$$\bar{h}_a = [0.7748\bar{h}_{N_2} + 0.2059\bar{h}_{O_2} + 0.0003\bar{h}_{CO_2} + 0.019\bar{h}_{H_2O}]_{T_3} \quad (19)$$

$$\left[1 + \bar{\lambda} \left(e + \frac{b}{2} + c + \frac{a}{2} + d\right)\right] \bar{h}_p = [(\bar{\lambda}e + 0.7748)\bar{h}_{N_2} + (0.2059 - [\bar{\lambda}(2d + \frac{a}{2} + \frac{b}{2})])\bar{h}_{O_2} + (0.0003 + [\bar{\lambda}(c + d + b)])\bar{h}_{CO_2} + (0.019 + [\bar{\lambda}(2d + a)])\bar{h}_{H_2O}]_{T_4} \quad (20)$$

برای تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت احتراق بیوگاز در دمای 25°C و فشار 1atm به صورت زیر محاسبه می شود.

$$LHV = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^o - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^o \quad (21)$$

که  $\bar{h}_f^o$  آنتالپی تشکیل مواد در شرایط استاندارد است. با استفاده روابط (۱۶) تا (۲۱)، از این داده ها، می توان مقدار  $\bar{\lambda}$  را محاسبه کرد و بعد از ارزیابی  $\bar{\lambda}$ ، دبی جرمی هوا و سوخت را می توان از معادله ی تعادل انرژی برای کل سیکل تعیین نمود. برای تعیین میزان کارایی یک سیستم از نظر کیفیت انرژی، از تحلیل انرژی استفاده می گردد. انرژی، حداکثر کار مفید نظری (کار شافت یا کار الکتریکی) قابل حصول از یک سیستم حرارتی است، که تنها در تعادل ترمودینامیکی با محیط می باشد. به طور کلی انرژی جریان،  $\dot{E}x$ ، شامل انرژی شیمیایی،  $\dot{E}x_{ch}$ ، انرژی فیزیکی،  $\dot{E}x_{ph}$ ، انرژی جنبشی،  $\dot{E}x_{ke}$  و انرژی پتانسیلی،  $\dot{E}x_{pe}$  می شود [۱۲و۱].

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{ph} + \dot{E}x_{ch} + \dot{E}x_{ke} + \dot{E}x_{pe} \quad (22)$$

صرف نظر از انرژی جنبشی و پتانسیلی معادله بالا به شکل زیر در می آید.

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{ph} + \dot{E}x_{ch} \quad (23)$$

همچنین معادلات انرژی فیزیکی و شیمیایی بصورت زیر می باشد [۱۱].

$$\dot{E}x_{ph} = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (24)$$

$$\dot{E}x_{ch} = \sum \dot{m}[x_i \dot{E}x_{ch,i}] + RT_0 \sum (x_i \ln x_i) \quad (25)$$

#### ۴- نتایج

در جدول ۲ نتایج حاصل از گازیسازی آورده شده است. برای اعتبار سنجی این نتایج با داده های تجربی و نتایج حاصل از پژوهش زینال و همکاران [۲] مورد مقایسه قرار گرفته است، همانطور که مشاهده می شود نتایج حاصل اختلاف اندکی با نتایج کارهای قبلی دارند که نشان می دهد نتایج بدست آمده دقت قابل قبولی دارند.

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از داده های تجربی و داده های زینال و همکاران با مدل حاضر

تجربی [۱۳]	زینال و همکاران [۲]	مدل حاضر	
۱۵/۲۳	۲۱/۰۶	۲۴/۸	هیدروژن %
۲۳/۰۴	۱۹/۶۱	۲۲/۳	کربن مونواکسید %
۱۶/۴۲	۱۲/۰۱	۱۲	کربن دی اکسید %
۴۲/۳۱	۴۶/۶۸	۳۹/۶	نیتروژن %
۱/۴۲	۰	۰	اکسیژن %
۱/۵۸	۰/۶۴	۱/۳	متان %

در جدول ۳ نتایج حاصل از شبیه سازی تجزیه بی هوازی پسماندهای حیوانی و کشاورزی آورده شده است. برای اطمینان از صحت این نتایج، نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از پژوهش اوگورو و همکاران [۱] مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج گزارش شده توسط اوگورو و همکاران [۱] به صورت در جرمی بوده بنابر این نتایج حاصل از شبیه سازی این مدل نیز برحسب درصد جرمی بیان شده است. مقایسه این نتایج نشان می دهد که اختلاف بسیار ناچیز بوده و نتایج حاصل از شبیه سازی قابل اعتماد می باشد.

جدول ۳: مقایسه ترکیب گازهای حاصل از تجزیه بی هوازی پسماند های حیوانی و کشاورزی

عنصر	درصد مولی حاصل از پسماند کشاورزی	درصد مولی حاصل از پسماند حیوانی	درصد جرمی حاصل از پسماند کشاورزی	درصد جرمی حاصل از پسماند حیوانی	درصد جرمی حاصل از پسماند حیوانی گزارش شده توسط اوگورو و همکاران [۱]
متان	۵۰/۶	۴۶/۹۶	۲۷/۴۹	۲۶/۶۱	۲۶/۱۸
کربن دی اکسید	۴۸	۴۲/۹۵	۷۱/۵۶	۶۶/۷۷	۶۶/۸۵
آمونیاک	۱/۱۶۳	۹/۱۷۱	۰/۶۷۱۱	۵/۵۱۶	۵/۸۸
نیتروژن سولفید	۰/۲۳۶۶	۰/۹۱۷۱	۰/۲۷۳۲	۱/۱۰۴	۱/۱۰

در فرآیند تجزیه بی هوازی مقداری آمونیاک و نیتروژن سولفید تولید می شود، این مواد دارای آلاینده گی بوده و همچنین موجب تخریب سیستم های پایین دست نیز می شوند. بنابر این این مواد قبل از ورود به محفظه احتراق تصفیه شده و تنها گازهای متان و کربن دی اکسید وارد محفظه احتراق می شوند. در بخش محفظه احتراق ابتدا با توجه به پژوهش قلیزاده و همکاران [۱۰]، مقادیر متان و کربن دی اکسید در معادله ۶ به ترتیب ۰.۶ و ۰.۴ در نظر گرفته شد و شبیه سازی برای این مقادیر صورت گرفت. با مقایسه و مشاهده تطابق نتایج شبیه سازی برای مدل حاضر با استفاده از مقادیر جدول ۳ و ۲ انجام گرفت. نتایج به دست آمده در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از احتراق گازهای سنتز

زیست توده	ارزش حرارتی پایین (LHV) (kJ/kmol)	نسبت سوخت به هوا ( $\bar{A}$ )
چوب	۱۶۲۸۶۴	۰/۱۷۱۴
پسماند حیوانی	۳۸۸۰۷۸	۰/۰۵۴۴۲
پسماند کشاورزی	۳۹۵۳۹۷	۰/۰۵۳۳۱

با شبیه سازی سیستم احتراق با ترکیب بیوگاز معرفی شده در مرجع [۱۰] میزات تخریب اگزورژی محفظه احتراق با نتایج مقاله مورد نظر تطابق قابل قبولی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل اگزورژی نیز در جدول ۵ آورده شده است. مشاهده میگردد که میزان تخریب اگزورژی با سوخت حاصل از فرآیند بی هوازی بهتر از فرآیند گازی سازی می‌باشد و از طرف دیگر گاز حاصل از محصولات کشاورزی حرارت بالاتری را تولید می‌نماید.

جدول ۵: نتایج حاصل از تحلیل اگزورژی

مدل	اگزورژی محصول (kJ/kg)	اگزورژی سوخت (kJ/kg)	اگزورژی تخریب (kJ/kg)
چوب	۹۷/۱۹	۱۰۷۵	۹۷۷/۸
پسماند کشاورزی	۸۶/۴۳	۷۸۹/۹	۷۰۳/۴
پسماند حیوانی	۸۵/۹۲	۷۸۸/۲	۷۰۲/۳

## ۵=نتیجه گیری

در این تحقیق دو فرآیند گازیسازی و تجزیه بی هوازی برای تولید سوخت گاز سنتز مورد استفاده قرار گرفته و ارزش حرارتی و میزان تخریب اگزورژی حاصل از احتراق آن برای به دست آوردن محصولات احتراق با دمای مشخص تعیین شده است.

- نتایج مدل ارائه شده با نتایج تجربی تطابق قابل قبولی دارد.
- میزان ارزش حرارتی پایین گازهای تولیدی با روش بی هوازی بالاتر است.
- از میان گازهای تولید شده از فرآیند بی هوازی، پسماندهای کشاورزی نتایج حرارتی بهتری را ارائه می‌دهد.
- تخریب اگزورژی در محفظه احتراق تحلیل شده و با سوخت های حاصل از تجزیه بی هوازی این مقدار کمتر است.

## ۶- مراجع

- [1] O.J. Ogorure, C.O.C. Oko, E.O. Diemuodeke, K. Owebor. Energy, exergy, environmental and economic analysis of an agricultural waste-to-energy integrated multigeneration thermal power plant. Energy Conversion and Management 171 , 2018, 222–240.
- [2] Z.A.Zainal, R.ali, C.H. Lean, K.N. Seetharamu. Prediction of performance of a downdraft gasifire using equilibrium modeling for different biomass materials . Energy Conversion and Management 42 , 2001, 1499–1515.
- [3] Hilkih Igoni A, Ayotamuno MJ, Eze CL, Ogaji SOT, Probert SD. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. Appl Energy , 2008, ;85:430–8.
- [4] Gholamian E., Zare V., Mousavi S. M., Integration of biomass gasification with a solid oxide fuel cell in a combined cooling, heating and power system: A thermodynamic and environmental analysis, Int J Hydrogen Energy, Vol. 41 pp. 1–11, 2016.
- [5] Martín, M., Grossmann, I.E., 2018. Optimal integration of renewable based processes for fuels and power production: Spain case study. Applied energy 213, 595-610.
- [6] Gholamian, E., Mahmoudi, S. M. S., Zare, V., 2016. Proposal, exergy analysis and optimization of a new biomass-based cogeneration system. Applied Thermal Engineering 93, 223–235.
- [7] Baghernejad, A., Yaghoubi, M., Jafarpur, K., Aslanzadeh, E., 2016. Exergoeconomic Comparison of Three Novel Trigenation Systems Using SOFC, Biomass and Solar Energies. Applied Thermal Engineering 104, 534-555.



- [8] Hailong L, Eva L, Eva T, Erik D, Xinhai Y. Feasibility study on combining anaerobic digestion and biomass gasification to increase the production of biomethane. *Energy Convers Manage* 2015;100(2015):212–9.
- [9] Allesina G, Simone P, Guidetti L, Paolo T. Modeling of coupling gasification and anaerobic digestion processes for maize bioenergy conversion. *Biomass Bioenergy* 2015;81:444–51 [accessed 21 October 2016].
- [10] Towhid Gholizadeha, Mohammad Vajdia, Farzad Mohammadkhanib. Thermodynamic and thermoeconomic analysis of basic and modified power generation systems fueled by biogas. *Energy Conversion and Management* 181 , 2019, 463–475.
- [11] bejan A, tsatsaronisG. ,1996 , Thermal design and optimization. Johan wiley & sons.
- [12] Hosseini, S. E., Barzegaravval, H., Wahid, M. A., Ganjehkaviri, A., & Sies, M. M. (2016). Thermodynamic assessment of integrated biogas-based micro-power generation system. *Energy Conversion and Management*, 128, pp 104-119.
- [13] Alauddin ZA. Performance and characteristics of a biomass gasifier system. PhD thesis, university of wales, college of Cardiff, 1996.