



دانشکده‌ی کشاورزی
گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

ساخت و ارزیابی دستگاه مبدل گاز زیست‌توده (گازیفایر)

مهدی جهان‌تیغ

بهمن ۱۳۹۴



دانشکده‌ی کشاورزی
پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

ساخت و ارزیابی دستگاه مبدل گاز زیست‌توده (گازیفایر)

مهدی جهان‌تین

استاد راهنما
دکتر محمدحسین آق‌خانی

استاد مشاور
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک

بهمن ۱۳۹۴



دانشگاه کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک یوسیتم

از این پایان نامه کارشناسی ارشد توسط مهدی جهان تیغ دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۶ در حضور هیات داوران دفاع گردید. پس از بررسی های لازم، هیات داوران این پایان نامه را با نمره عدد و حروف و با درجه مورد تایید قرار داد / نداد.

عنوان پایان نامه: ساخت و ارزیابی دستگاه مبدل گاز زیست توده (گازیانر)

سمت در هیات	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	گروه	دانشگاه / موسسه	امضاء
داور	محمدحسین عباسپور فرد	استاد	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	
داور	حسن صدرنیا	استادیار	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	
استاد راهنما	محمدحسین آق خانی	دانشیار	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	
استاد مشاور	محمدعلی ابراهیمی نیک	استادیار	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	
نماینده تحصیلات تکمیلی	محمدحسین عباسپور فرد	استاد	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	
مدیر گروه	محمدحسین آق خانی	دانشیار	مکانیک بیوسیستم	فردوسی مشهد	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: ساخت و ارزیابی دستگاه مبدل گاز زیست توده (گازیفایر)

اینجانب مهدی جهان تیغ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی جناب آقای دکتر محمدحسین آق خانی متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج تحقیقهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آن ها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

گازیفیکاسیون یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده از پسماندهای لیگنوسلولوزی بوده، که ضمن تولید گاز سنتز، با محیط زیست سازگار می‌باشد. در این تحقیق مبدل گاز زیست‌توده پایین‌سو نوع Imbert با ظرفیت تولید گاز $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ساخته شد. سیکلونی با قطر جدایش $4 \mu\text{m}$ و اجاق طرح وینیارسکی ساخته و بر روی مبدل گاز زیست‌توده نصب گردید. عملکرد دستگاه با سه نوع زیست‌توده شامل چوب خرد شده درخت، چوب بلال ذرت و ساقه ذرت در سه بازه اندازه قطعات (۱۹-۱۳، ۲۵-۱۹ و ۳۱-۲۵ میلی‌متر (قطر متوسط)) به عنوان مواد اولیه در قالب یک طرح آزمایشی فاکتوریل بر اساس طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد این مجموعه از روش استاندارد تست جوشاندن آب استفاده شد. نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی دستگاه نشان داد که چوب درخت با اندازه قطعات ۱۹-۲۵ میلی‌متر بیشترین بازده حرارتی (۳۴٪)، بالاترین دمای شعله (۴۳۶ درجه سانتی‌گراد) و کمترین میزان قیر را دارد. کمترین و بیشترین نرخ مصرف سوخت بترتیب برای چوب درخت با اندازه قطعات ۲۵-۳۱ میلی‌متر و ساقه ذرت با اندازه قطعات ۱۹-۱۳ میلی‌متر بدست آمد. بیشترین زمان شعله‌دهی به مدت ۵۳ دقیقه برای چوب خرد شده درخت بدست آمد. با استفاده از چوب خرد شده درخت (با اندازه قطعات ۱۹-۲۵ میلی‌متر) در دستگاه مبدل گاز زیست‌توده، بازده حرارتی و دمای شعله بترتیب ۶۸٪ و ۲۲٪ بیشتر و نرخ مصرف سوخت و مقدار CO در گاز خروجی بترتیب ۳۳٪ و ۹۷٪ کمتر از احتراق معمولی بودند. به این ترتیب استفاده از این دستگاه نه تنها بازده تبدیل انرژی را بهبود می‌بخشد، در زمینه کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات ناشی از استنشاق گازهای حاصل از احتراق ناقص نیز موثر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: انرژی تجدیدپذیر، زیست‌توده، مبدل گاز، گاز سنتز، گازیفیکاسیون

سپاسگزاری

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاری‌گرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمدحسین آق‌خانی که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم.

از استاد عالی‌قدرم جناب آقای دکتر محمدعلی ابرهیمی‌نیک که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را متحمل شدند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

همچنین از مسئولین محترم بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، بخصوص جناب آقای مهندس عباس مهدی‌نیا که در طی اجرای این پایان‌نامه، همکاری صمیمانه‌ای با من داشتند، قدردانی و تشکر می‌نمایم.

سپاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم، پدر، مادر، همسر و فرزندان عزیزم تقدیم می‌کنم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول - مقدمه
۱.....	۱-۱. پیش گفتار
۳.....	۱-۱-۱. تفاوت احتراق و گازیفیکاسیون
۳.....	۱-۱-۲. مزایا و معایب گازیفیکاسیون
۴.....	۱-۲. اهداف
۵.....	فصل دوم - بررسی منابع
۵.....	۱-۲. تاریخچه گازیفیکاسیون زیست توده
۸.....	۲-۲. تعاریف
۱۲.....	۳-۲. بررسی انواع مبدل گاز زیست توده
۱۲.....	۱-۳-۲. تقسیم بندی بر اساس نوع بستر
۱۲.....	۲-۳-۲. تقسیم بندی بر اساس نوع بستر زیست توده و سرعت واکنش
۱۳.....	۴-۲. معرفی انواع مبدل گاز زیست توده
۱۳.....	۱-۴-۲. بستر ثابت بالاسو (جریان مخالف)
۱۴.....	۲-۴-۲. بستر ثابت پایین سو (هم سو)
۱۵.....	۳-۴-۲. مبدل گاز بستر ثابت جریان جانبی
۱۶.....	۴-۴-۲. بستر سیال گردشی (CFB)
۱۷.....	۵-۴-۲. بستر سیال جوششی (BFB)
۱۸.....	۶-۴-۲. مبدل گاز دو راکتور بستر سیال
۱۹.....	۷-۴-۲. مبدل های گاز زیست توده جریان آهسته شده (EF)
۲۰.....	۸-۴-۲. مبدل گاز زیست توده پلاسما
۲۱.....	۵-۲. انواع مبدل گاز زیست توده پایین سو
۲۲.....	۱-۵-۲. مبدل گاز زیست توده پایین سوی گلوبی دار (ایمبرت)
۲۷.....	۲-۵-۲. مبدل های گاز زیست توده پایین سو بدون گلوبی (بالا باز):
۲۹.....	۶-۲. محدوده عملکرد انواع مبدل گاز زیست توده

عنوان	صفحه
۷-۲. مهم‌ترین واکنش‌های صورت گرفته در طی مراحل گازیفیکاسیون	۳۰
۸-۲. اهداف مد نظر در طراحی مناسب انواع مبدل گاز زیست‌توده	۳۲
۹-۲. مقایسه میزان ترکیبات گاز تولیدی انواع مبدل گاز زیست‌توده	۳۳
۱۰-۲. مقایسه‌ی پارامترهای عملکردی مبدل‌های گاز زیست‌توده	۳۵
۱۱-۲. بررسی اثر نوع زیست‌توده در عملکرد مبدل گاز زیست‌توده	۳۷
۱۲-۲. شرایط عملکردی	۳۸
۱۳-۲. مدل‌سازی انواع مبدل گاز زیست‌توده	۴۱
۱۴-۲. طراحی و ساخت مبدل گاز زیست‌توده	۴۲
۱۵-۲. استفاده از بقایای محصولات کشاورزی با فناوری گازیفیکاسیون	۴۲
۱۶-۲. ظرفیت ایران در استفاده از زیست‌توده با استفاده از فناوری گازیفیکاسیون	۴۳
۱-۱۶-۲. پتانسیل حداکثر تولید برق در انواع نیروگاه‌های زیست‌توده	۴۳
۲-۱۶-۲. پتانسیل تولید انرژی از زیست‌توده در ایران	۴۴
فصل سوم- مواد و روش‌ها	۴۸
۱-۳. انتخاب مبدل گاز زیست‌توده مناسب (در مقیاس کوچک)	۴۸
۲-۳. مراحل کار	۴۹
۳-۳. معرفی، طراحی و ساخت نمونه آزمایشی (مبدل گاز پایین‌سو ایمرت نوع ۷ وارونه)	۴۹
۱-۳-۳. راکتور اصلی دستگاه	۵۰
۲-۳-۳. محفظه خنک کننده	۵۶
۳-۳-۳. سیکلون	۵۸
۴-۳-۳. دمنده	۶۳
۵-۳-۳. سیستم رفع انسداد و دفع خاکستر	۶۵
۶-۳-۳. اجاق	۶۷
۷-۳-۳. هود	۷۱
۴-۳. تست و ارزیابی	۷۲
۱-۴-۳. سوخت	۷۲
۲-۴-۳. روش آزمایش	۷۳

عنوان	صفحه
۳-۴-۳. تست جوشاندن آب	۷۶
۳-۴-۴. متغیرهای مستقل و وابسته	۷۷
۳-۴-۵. تعیین بازده حرارتی اجاق	۷۸
فصل چهارم - نتایج و بحث	۸۰
۴-۱. مشخصات کامل دستگاه	۸۰
۴-۲. اندازه‌گیری خصوصیات مواد خام مورد استفاده	۸۲
۴-۳. تعیین نوع و اندازه مناسب زیست‌توده با استفاده از تست جوشاندن آب (WBT)	۸۳
۴-۳-۱. بررسی بازده حرارتی اجاق	۸۳
۴-۳-۲. بررسی نرخ مصرف زیست‌توده	۸۵
۴-۳-۳. بررسی توان حرارتی خروجی	۸۷
۴-۳-۴. بررسی دمای شعله	۸۸
۴-۳-۵. بررسی میزان انتشار گاز CO	۹۰
۴-۳-۶. بررسی میزان انتشار گاز CO ₂	۹۱
۴-۳-۷. بررسی دمای گاز خروجی از هود	۹۳
۴-۳-۸. بررسی مقدار قیر تولید شده	۹۵
۴-۴. تست جوشاندن آب برای احتراق معمولی	۹۷
۴-۵. مقایسه نتایج تست جوشاندن آب برای احتراق معمولی و دستگاه مبدل گاز زیست‌توده	۹۷
فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۹۸
۵-۱. نتیجه‌گیری	۹۸
۵-۱-۱. طراحی و ساخت دستگاه	۹۸
۵-۱-۲. ارزیابی دستگاه	۹۹
۵-۲. پیشنهادات	۱۰۰
پیوست‌ها	۱۰۷
پیوست ۱	۱۰۸
پیوست ۲	۱۱۰
پیوست ۳	۱۱۱

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲. کامیون مدل Scania L8050 با سیستم مبدل گاز زیست‌توده نصب شده روی آن (سمت راست)، تراکتور با سیستم مبدل گاز زیست‌توده نصب شده روی آن (سمت چپ).....	۷
شکل ۲-۲. تقسیم‌بندی مبدل‌های گاز زیست‌توده در ۲ گروه کلی.....	۱۲
شکل ۳-۲. تقسیم‌بندی مبدل‌های گاز زیست‌توده در ۴ گروه.....	۱۳
شکل ۴-۲. مبدل گاز زیست‌توده بالاسو.....	۱۴
شکل ۵-۲. مبدل گاز زیست‌توده پایین‌سو.....	۱۵
شکل ۶-۲. طرح شماتیک مبدل گاز زیست‌توده جریان جانبی.....	۱۶
شکل ۷-۲. مبدل گاز زیست‌توده بستر سیال گردشی.....	۱۷
شکل ۸-۲. مبدل گاز زیست‌توده بستر سیال جوششی.....	۱۸
شکل ۱۰-۲. مبدل گاز دو راکتور بستر سیال.....	۱۹
شکل ۱۱-۲. طرح شماتیک مبدل گاز زیست‌توده جریان آهسته با تغذیه از بالا و جریان گاز رو به پایین.....	۲۰
شکل ۱۲-۲. طرح شماتیک مبدل گاز زیست‌توده پلاسما.....	۲۱
شکل ۱۳-۲. مبدل گاز زیست‌توده ساعت شنی، دو گلولی.....	۲۲
شکل ۱۴-۲. مبدل گاز زیست‌توده ۷ وارونه (مبدل گاز زیست‌توده سوئدی).....	۲۳
شکل ۱۵-۲. مبدل گاز زیست‌توده با لوله کاهش مستقیم.....	۲۳
شکل ۱۶-۲. مبدل گاز زیست‌توده با صفحه‌ای مسطح در ناحیه‌ی تنگ‌شدگی (گلولی).....	۲۴
شکل ۱۷-۲. مبدل گاز زیست‌توده ساعت شنی تک گلولی با ورودی‌های جانبی هوا.....	۲۴
شکل ۱۸-۲. مبدل گاز زیست‌توده ساعت شنی تک گلولی با ورودی مرکزی هوا (از بالا).....	۲۵
شکل ۱۹-۲. مبدل گاز زیست‌توده ساعت شنی تک گلولی با ورودی مرکزی هوا (از پایین).....	۲۶
شکل ۲۰-۲. مبدل گاز زیست‌توده ساعت شنی تک گلولی با لوله‌های J مانند.....	۲۶
شکل ۲۱-۲. طرح Tom Reed	۲۷
شکل ۲۲-۲. طرح Mukunda (تزریق هوا از چند نقطه).....	۲۸
شکل ۲۳-۲. طرح Buck Rogers ، ورودی هوا با حرکت دورانی.....	۲۸
شکل ۲۴-۲. محدوده عملکرد انواع مبدل گاز زیست‌توده.....	۲۹
شکل ۲۵-۲. روند پیرولیز و گازیفیکاسیون پسماند مواد غذایی.....	۳۸

عنوان	صفحه
شکل ۲-۲۶. راکتورهای ۱، ۲ و ۳ با جزئیات هر راکتور	۳۹
شکل ۲-۲۷. مبدل گاز پایین سو با مکانیزم تنظیم ارتفاع هوای ورودی.	۴۰
شکل ۲-۲۸. طرح شماتیک مبدل گاز زیست توده با ورودی هوا	۴۲
شکل ۲-۲۹. پتانسیل حداکثر تولید برق در انواع نیروگاه های زیست توده	۴۴
شکل ۳-۱. ابعاد نازل ها و راکتور مبدل گاز زیست توده	۵۲
شکل ۳-۲. راکتور اصلی مبدل گاز زیست توده، طراحی شده در نرم افزار Catia	۵۲
شکل ۳-۳. محفظه خنک کننده گاز خروجی راکتور	۵۳
شکل ۳-۴. اجاق طرح وینیارسکی بهینه شده با دریچه مکش هوای قابل تنظیم	۵۳
شکل ۳-۵. مجموعه کامل آزمایش از مبدل گاز زیست توده تا هود طراحی شده در نرم افزار Catia	۵۴
شکل ۳-۶. لوله های هوا و زانویی ها با آب بند	۵۴
شکل ۳-۷. تعدادی از قطعات بکار رفته در ساخت راکتور مبدل گاز زیست توده	۵۵
شکل ۳-۸. صفحه ی مشبک استفاده شده در زیر راکتور اصلی	۵۶
شکل ۳-۹. راکتور اصلی مبدل گاز زیست توده	۵۶
شکل ۳-۱۰. نمودار بازده سیکلون	۵۸
شکل ۳-۱۱. نسبت ها در جداسازهای سیکلونی	۵۹
شکل ۳-۱۲. رابطه میان دما با ویسکوزیته و چگالی گاز تولید شده	۶۲
شکل ۳-۱۳. سیکلون و دمنده	۶۵
شکل ۳-۱۴. سیستم ارتعاش دستی، نصب شده بر روی مبدل گاز زیست توده	۶۷
شکل ۳-۱۵. اجاق طرح وینیارسکی	۶۸
شکل ۳-۱۶. اجاق با جریان چرخشی (سمت راست)، اجاق طرح وینیارسکی با دریچه هوای قابل تنظیم (سمت چپ)	۶۹
شکل ۳-۱۷. مجموعه مبدل گاز زیست توده، سیکلون، دمنده هود و اجاق طرح وینیارسکی	۷۱
شکل ۳-۱۸. قطعات چوب سازه بندی شده	۷۲
شکل ۳-۱۹. ترموکوپل نوع k01 با قابلیت اندازه گیری دما تا ۲۶۰ درجه سانتی گراد	۷۴
شکل ۳-۲۰. ترموکوپل نوع k02 با قابلیت اندازه گیری دما تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد	۷۴
شکل ۳-۲۱. مخزن ذخیره قیر و ذرات خاکستر (ته سیکلون)	۷۵

عنوان	صفحه
شکل ۳-۲۲. دیتالاگر ۴ کاناله (سمت راست) و دستگاه سنجش میزان CO ₂ (سمت چپ).....	۷۵
شکل ۳-۲۳. دمای آب در طی سه مرحله تست جوشاندن آب (WBT).....	۷۷
شکل ۳-۲۴. نرم افزار تست جوشاندن آب (WBT).....	۷۹
شکل ۴-۱. اثر متقابل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر بازده حرارتی.....	۸۴
شکل ۴-۲. اثر متقابل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر نرخ مصرف سوخت.....	۸۶
شکل ۴-۳. اثر متقابل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر دمای شعله (°C).....	۸۹
شکل ۴-۴. اثر متقابل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر مقدار گاز CO.....	۹۱
شکل ۴-۵. اثر فاکتورهای مستقل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر مقدار گاز CO ₂	۹۳
شکل ۴-۶. اثر متقابل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر دمای گاز خروجی از هود.....	۹۵
شکل ۴-۷. اثر فاکتورهای مستقل اندازه قطعات چوب و نوع زیست توده بر مقدار قیر (ml/h).....	۹۶
شکل ۶-۱. سه نمای راکتور اصلی مبدل گاز زیست توده.....	۱۱۱

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲. ارزش حرارتی گازهای حاصل از فرآیند تبدیل گاز زیست‌توده	۳۲
جدول ۲-۲. مقایسه میزان ترکیبات گاز تولیدی انواع مبدل گاز زیست‌توده	۳۳
جدول ۲-۳. میزان قیر در مبدل‌های گاز زیست‌توده	۳۴
جدول ۲-۴. ترکیبات قیر	۳۴
جدول ۲-۵. روش‌های کاهش و حذف قیر	۳۵
جدول ۲-۶. مقایسه‌ی مشخصات مبدل‌های گاز زیست‌توده	۳۶
جدول ۲-۷. مشخصات مبدل‌های گاز زیست‌توده بستر ثابت	۳۶
جدول ۲-۸. میزان زائدات تولید شده عمده چوبی باغی و جنگلی کل کشور در سال ۱۳۸۷	۴۵
جدول ۲-۹. میزان تولید محصولات و زائدات عمده کشاورزی در سال زراعی ۱۳۸۸ - ۱۳۸۷ در کل کشور ..	۴۶
جدول ۲-۱۰. مجموع ارزش حرارتی بقایای گیاهی بر حسب ارزش حرارت هر بشکه نفت خام و هر متر مکعب گاز طبیعی	۴۶
جدول ۳-۳. ابعاد استاندارد نازل‌ها و راکتور مبدل گاز زیست‌توده پایین‌سو گلویی‌دار (Imbert)	۵۱
جدول ۳-۴. حداقل سرعت مورد نیاز برای انتقال ذرات جامد در لوله	۶۱
جدول ۳-۵. طرح‌های سیستم ارتعاشی رفع انسداد و دفع خاکستر	۶۶
جدول ۳-۶. متغیرهای مستقل و وابسته در طول آزمون	۷۸
جدول ۴-۱. مشخصات فنی دستگاه	۸۱
جدول ۴-۲. مشخصات زیست‌توده مورد استفاده	۸۲
جدول ۴-۳. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات زیست‌توده بر بازده حرارتی	۸۳
جدول ۴-۴. میانگین بازده حرارتی	۸۴
جدول ۴-۵. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات زیست‌توده بر نرخ مصرف سوخت	۸۵
جدول ۴-۶. میانگین نرخ مصرف سوخت	۸۶
جدول ۴-۷. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات زیست‌توده بر توان حرارتی خروجی	۸۷
جدول ۴-۸. میانگین توان حرارتی خروجی	۸۸
جدول ۴-۹. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات بر دمای شعله (°C)	۸۸

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱۰. میانگین دمای شعله ($^{\circ}\text{C}$)	۸۹
جدول ۴-۱۱. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات بر مقدار گاز CO	۹۰
جدول ۴-۱۲. میانگین مقدار گاز CO	۹۱
جدول ۴-۱۳. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات بر مقدار گاز CO ₂	۹۲
جدول ۴-۱۴. میانگین مقدار گاز CO ₂	۹۲
جدول ۴-۱۵. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات بر دمای گاز خروجی از هود ($^{\circ}\text{C}$)	۹۳
جدول ۴-۱۶. میانگین دمای گاز خروجی از هود ($^{\circ}\text{C}$)	۹۴
جدول ۴-۱۷. تجزیه واریانس نوع زیست‌توده و اندازه قطعات بر دمای مقدار قیر (ml/h)	۹۵
جدول ۴-۱۸. میانگین مقدار قیر (ml/h)	۹۶
جدول ۶-۱. بار کوره (Hearth Load) انواع مبدل گاز زیست‌توده	۱۱۰

فهرست علامتها و اختصارها

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
HHV	Higher heating value	ارزش حرارتی بالایی
LHV	Lower heating value	ارزش حرارتی پایینی
WBT	Water boiling test	آزمون جوش آب
Δp	Pressure drop	افت فشار
η	Thermal efficiency	بازده حرارتی
N_e	Effective number of turns in a cyclone	تعداد چرخش موثر در سیکلون
ρ	Density	چگالی
V	Volume	حجم
Q	Flow rate	دبی
V_i	Inlet gas velocity	سرعت گاز ورودی
d_p	Particle cut size	قطر جدایش سیکلون
N	Normal conditions	شرایط نرمال
μ	Viscosity	ویسکوزیته

فصل اول - مقدمه

۱-۱. پیش گفتار

زیست توده یکی از منابع عمده، در میان انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. تعاریف متعدد و گوناگونی از این منابع ارائه شده است. طبق تعریف اتحادیه اروپا، زیست توده عبارت است از، اجزای قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگل‌ها و صنایع وابسته و زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه (سانا، ۱۳۹۴).

منابع فسیلی، با وجود سودمندی‌های بسیار، تجدیدناپذیر و رو به زوال‌اند و بدیهی است که برای آن‌ها باید به فکر جایگزین مناسب بود. از میان جایگزین‌های ممکن، مناسب‌ترین منبعی که هم انرژی و هم ماده به دست می‌دهد، زیست توده است. سالانه بالغ بر ۴۰۰ هزار میلیون تن زیست توده در زمین تولید می‌شود و قسمت اعظم آن را پلیمرهای طبیعی تشکیل می‌دهند (ظهوریان مهر و کبیری، ۱۳۹۰).

در دهه‌های اخیر به منظور کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی، گرایش جهانی به سوی انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است. از میان همه‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر که در آینده و در نهایت جایگزین سوخت‌های فسیلی خواهد شد، انتظار می‌رود سهم زیادی مربوط به منابع حاصل از زیست توده باشد. زیست توده، نقشی پیشرو در کاهش اثرات زیست محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی را بازی خواهد کرد؛ زیرا می‌تواند در کاهش آلاینده‌های مضر، به خصوص گازهای گلخانه‌ای و اکسیدهای گوگردی موثر باشد (در شرایط بهینه احتراق، زیست توده همان مقدار گاز CO_2 که از اتمسفر دریافت کرده را به اتمسفر باز می‌گرداند، اما با استفاده از سوخت‌های فسیلی مقدار زیادی از این گاز به اتمسفر اضافه می‌گردد). رشد مداوم در صنعت زیست توده سبب فراهم نمودن انرژی و گرما، تولید سوخت برای حمل و نقل و... می‌شود که فرصت‌های شغلی را ارائه می‌کند. این فرآیند در نهایت منجر به افزایش درآمد، به ویژه در

مناطق دورافتاده و روستایی خواهد شد.

زیست‌توده به دلایل زیر در سطح جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است:

✓ سهم هر کدام از منابع مورد مصرف برای تأمین کل انرژی دنیا عبارت است از: نفت خام ۳۱/۱٪، زغال سنگ ۲۸/۹٪، گاز طبیعی ۲۱/۴٪، زیست‌توده ۱۰/۲٪، هسته‌ای ۴/۸٪، برق‌آبی ۲/۴٪، دیگر منابع از جمله خورشیدی، باد و سایر ۱/۲٪ (اژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۵). با توجه به این ارقام، ملاحظه می‌شود که هم اکنون ۸۱/۴٪ از کل انرژی مورد نیاز بشر به وسیله منابع فسیلی تأمین می‌شود که هر سه این منابع رو به زوال‌اند و یکی پس از دیگری تا انتهای قرن حاضر به اتمام می‌رسند، از میان جایگزین‌های ممکن، زیست‌توده یکی از منابع مناسب می‌باشد.

روش‌های متعددی برای تبدیل زیست‌توده به انرژی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها گازیفیکاسیون^۱ است. گازیفیکاسیون فرآیندی است که در آن مواد آلی (زیست‌توده یا سوخت‌های فسیلی جامد) با واکنش گرمایی، در کنار میزان محدودی عامل اکسند تجزیه می‌شود. در حال حاضر این فرآیند حرارتی به جای تولید جسم زغالی و یا مایع، برای بدست آوردن بالاترین میزان کربن و انرژی در فاز گاز بهینه شده است. این فرآیند به منظور بیشینه کردن آزادسازی هیدروژن و منواکسیدکربن صورت می‌گیرد. در این فرآیند یک ماده، به نام عامل گازیفیکاسیون وارد راکتور می‌شود. عامل گازیفیکاسیون باعث تسریع سوختن مواد اولیه ورودی می‌شود، این عامل می‌تواند اکسیژن، هوا و یا بخار باشد. عامل گازیفیکاسیون را با توجه به نوع استفاده از گاز خروجی انتخاب می‌کنند. در فرآیند گازیفیکاسیون ابتدا مقداری از مواد موجود برای تولید انرژی اولیه اکسید می‌شود. این انرژی باعث تولید گازهایی از جمله متان، مونوکسید کربن، هیدروژن، دی‌اکسید کربن و ... می‌شود (اُورند، ۲۰۰۴).

به طور خلاصه:

- ✓ از گازیفیکاسیون برای بدست آوردن بالاترین میزان کربن و انرژی در فاز گاز استفاده می‌شود.
- ✓ در این فرآیند یک ماده به نام عامل گازیفیکاسیون وارد راکتور می‌شود.
- ✓ عامل گازیفیکاسیون باعث تسریع سوختن مواد اولیه ورودی می‌شود.
- ✓ این فرآیند به منظور بیشینه کردن آزادسازی هیدروژن و منواکسید کربن صورت می‌گیرد.

¹ Gasification

اکثر گازهای سوختی به طور مستقیم به منظور انجام فرآیندهای آتشی کوره‌ها، به عنوان سوخت در دیگ‌های بخار و به طور فزاینده به عنوان یک سوخت گازی در موتورهای احتراق داخلی (ICE)^۱ و توربین‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گازیفیکاسیون در هر دو مقیاس بزرگ و کوچک برای تولید برق و حرارت پذیرفته شده است.

۱-۱-۱. تفاوت احتراق و گازیفیکاسیون

در احتراق، زیست‌توده سوزانده می‌شود تا از حرارت آن استفاده شود. حرارت تولیدی را می‌توان برای گرمایش واحدهای صنعتی و یا در ژنراتورها برای تولید برق استفاده نمود. اما گازیفیکاسیون، به منظور تولید گاز سنتز^۲ صورت می‌گیرد، که این گاز را می‌توان در موتورهای احتراق داخلی و یا در تولید سوخت‌های مایع با آلاینده‌گی کم (با استفاده از فرآیندهایی همچون فرآیند فیشر-تروپش^۳)، استفاده نمود.

۱-۱-۲. مزایا و معایب گازیفیکاسیون

از مزایای کلی گازیفیکاسیون می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

✓ رفع مشکلات زیست محیطی حاصل از رهاسازی منابع زیست‌توده در طبیعت

✓ امکان تولید انرژی در محل مصرف

✓ امکان تحویل انرژی پاک به صورت گازی (عباسپور فرد و همکاران، ۱۳۹۰)

معایب و چالش‌های پیش رو:

✓ ذرات خاکستر و گازهای حاصله، دارای اکسیدهای نیتروژن و گوگرد و همچنین فلزات سمی مانند:

آرسنیک، نیکل، کروم و کادمیم می‌باشد (عباسپور فرد و همکاران، ۱۳۹۰).

✓ قیر^۴ در گازهای حاصل از گازیفیکاسیون باعث انسداد در خطوط سوخت، فیلترها و موتورها می‌شود.

^۱ Internal-combustion engine

^۲ گونه‌ای سوخت گازی است، که ترکیبی از هیدروژن، مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن می‌باشد (عبداللهی فر و نکویی، ۱۳۹۲).

^۳ فرآیند فیشر-تروپش: مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی است که طی آن گاز مونواکسید کربن در واکنش با گاز هیدروژن مجموعه‌ای از هیدروکربن‌ها را ایجاد می‌کند (عبداللهی فر و نکویی، ۱۳۹۲).

^۴ Tar

✓ تولید مواد جامد زائد به صورت خاکستر

۱-۲. اهداف

در کشور ما حجم عظیمی از زیست‌توده سوزانده شده و یا بی‌استفاده می‌ماند، هدف ما استفاده از این زیست‌توده‌ها و تبدیل آن به گاز سنتز است که می‌تواند در فرآیندهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس جستجوهای انجام شده، در ایران بیشتر به مدل‌سازی مبدل‌های گاز زیست‌توده پرداخته شده و در زمینه طراحی و ساخت آن تحقیقات کمی انجام شده است. بنابراین بخشی از این تحقیق، بدست آوردن دانش و اطلاعات پایه در خصوص گازیفیکاسیون می‌باشد. در این تحقیق، با بررسی انواع سیستم‌های مبدل گاز زیست‌توده، به انتخاب مبدل گاز زیست‌توده مناسب و ساخت آن پرداخته شده و سپس دستگاه از لحاظ تولید انرژی حرارتی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

بنابراین اهداف این تحقیق به صورت خلاصه عبارتند از:

✓ بدست آوردن دانش و اطلاعات پایه در خصوص گازیفیکاسیون

✓ انتخاب مبدل گاز زیست‌توده مناسب

✓ ساخت دستگاه

✓ ارزیابی دستگاه از لحاظ تولید انرژی حرارتی