

تولید انرژی های تجدیدپذیر از پسماندهای ناشی از تولید و فرآوری مواد غذایی

زهرة دیدار^{۱*}

Z.didar57@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۳۱

چکیده

خطوط فرآوری مواد غذایی برای تبدیل مواد خام به فرآورده نهایی، انرژی زیادی مصرف می کنند به طوری که صنعت مواد غذایی یکی از هفت صنعت پرمصرف انرژی محسوب می شود. در این صنعت علاوه بر مصرف بالای انرژی، میزان زیادی ضایعات جامد و مایع نیز تولید می گردد. این ضایعات اساساً شامل مواد آلی بیولوژیک تجزیه پذیر هستند که تخلیه آنها در محیط، مشکلات محیط زیستی قابل توجهی ایجاد می کند. به طور معمول میزان زیادی از ضایعات مواد غذایی در محل تخلیه زباله، مدفون می شوند ولی ضایعات مایع به رودخانه ها، دریاچه ها یا اقیانوس ریخته شده و یا داخل فاضلاب تخلیه می گردند.

اخیراً، قوانین سخت گیرانه محیط زیستی تخلیه ضایعات جامد و مایع ناشی از فرآوری مواد غذایی به محیط زیست را به شدت محدود نموده است و لذا دفع این ضایعات از جمله معضلات بزرگ در صنعت مواد غذایی به حساب می آید (افزایش قیمت سوخت و هزینه بالای مصرف انرژی در صنعت مواد غذایی، استفاده از پسماندهای حاصل از این صنایع را جهت تولید انرژی ارزان قیمت و پاک به صورت بیودیزل، بیوگاز، روغن های بیو و گازهای سنتزی قوت بخشیده است). این مقاله، مروری بر مهم ترین روش های تبدیل پسماندها و ضایعات غذایی به اشکال مختلف انرژی (تولید بیودیزل، گازیفیکاسیون، هضم بی هوازی، مایع سازی ترموشیمیایی و تولید بیواتانل) دارد.

کلمات کلیدی: پسماندهای فرآوری و تولید غذایی، تکنیک های مدرن، تولید انرژی.

۱- استادیار گروه صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، نیشابور، ایران. * (مسئول مکاتبات)

مقدمه

از جمله سوزاندن، دفع و تجزیه کامل به کار برده می‌شود. برای فرآوری ضایعات فاکتورهایی مانند ویژگی ضایعات، قوانین دولتی و هزینه تخلیه مواد اولیه مورد توجه قرار می‌گیرد. استفاده از روش سوزاندن به دلیل هزینه بالای عملیات با محدودیت مواجه است. تبدیل ضایعات مواد غذایی به انرژی‌های قابل استفاده مانند بیواتانول، بیودیزل، روغن بیو، بیوگاز، گاز سنتزی، بخار و الکتریسیته باعث کاهش هزینه‌های خرید انرژی و هزینه تخلیه ضایعات می‌شود. جدول ۱ حجم ضایعات کارخانجات تولید مواد غذایی در برخی کشورها را نشان می‌دهد.

تولید و فرآوری مواد غذایی سالیانه حجم بالایی از پسماند به صورت جامد و مایع تولید می‌کند. این ضایعات اساساً شامل مواد آلی بیولوژیکی تجزیه پذیرند که تخلیه آن‌ها در محیط، مشکلات محیط زیستی قابل توجهی ایجاد می‌کند. به طور معمول میزان زیادی از ضایعات جامد مواد غذایی در محل تخلیه زباله، مدفون می‌شوند ولی ضایعات مایع به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا اقیانوس ریخته می‌شوند یا بدون هیچ عملیاتی در فاضلاب عمومی تخلیه می‌گردند. قوانین دولتی محافظت محیط زیست و افکار عمومی، تخلیه ضایعات به محیط را بسیار محدود نموده است. برای تصفیه ضایعات مواد غذایی روش‌های مختلفی

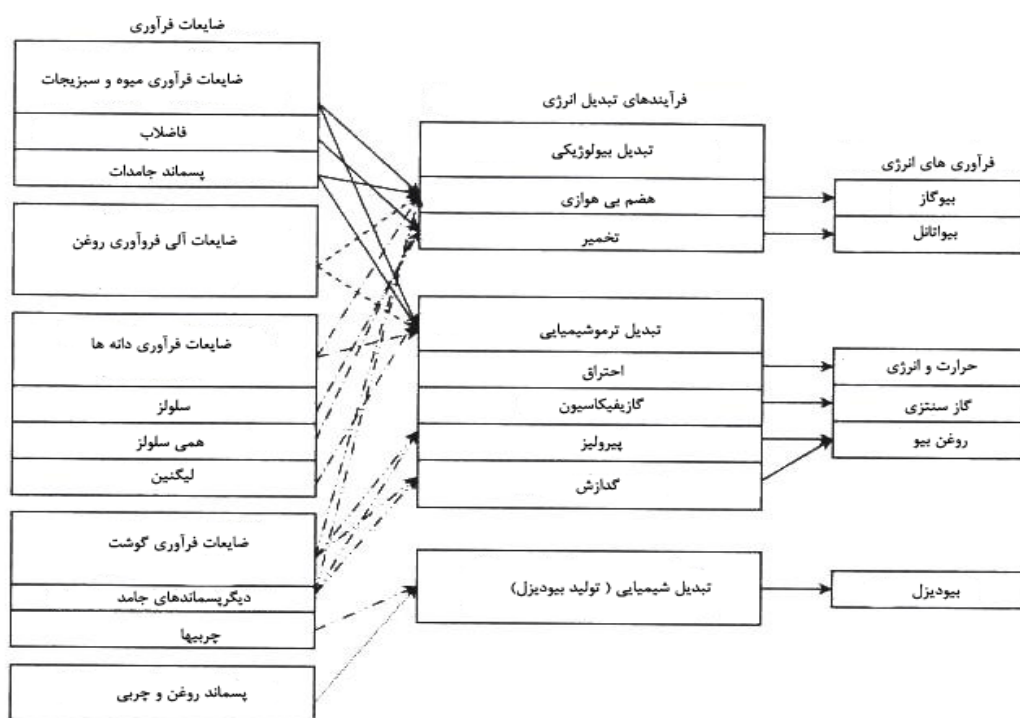
جدول ۱- ضایعات میوه و سبزیجات در برخی کشورها

منبع	نوع ضایعات	سال	کشور
	۳۳۰۰ هزار تن، ضایعات کشاورزی	۲۰۱۴	فرانسه
	۶۰۰ هزار تن ضایعات تولید مواد غذایی		
(۱)	۳۵۴۰ هزار تن ضایعات خانگی مواد غذایی		
	۷۵۰ هزار تن ضایعات خرده و عمده فروشی مواد غذایی ۴۰۰ هزار تن ضایعات فروشگاه‌های عرضه مواد غذایی ۱۰۸۰ هزار تن ضایعات غذا مکان‌های عرضه غذا و بیمارستان‌ها	۲۰۱۲	آلمان
(۲)	۲۱۰-۴۵۸۰ هزار تن ضایعات تولید مواد غذایی ۵۸۰۰-۷۴۵۰ هزار تن ضایعات خانگی مواد غذایی ۵۳۰-۵۷۰ هزار تن ضایعات خرده و عمده فروشی مواد غذایی ۱۵۰۰-۲۳۰۰ هزار تن ضایعات غذا مکان‌های عرضه غذا و بیمارستان‌ها		
	۱/۱۵۷ هزار تن ضایعات تولید مواد غذایی	۲۰۰۶	مجارستان
(۳)	۳۹۵ هزار تن ضایعات خانگی مواد غذایی		
	۹۰ هزار تن ضایعات در محل خرده و عمده فروشی مواد غذایی ۱۲۱ هزار تن ضایعات غذا مکان‌های عرضه غذا و بیمارستان‌ها		
(۴)	۶۰ هزار تن ضایعات تولید مواد غذایی ۲۳۱ هزار تن ضایعات خانگی مواد غذایی ۷۰ هزار تن ضایعات خرده و عمده فروشی مواد غذایی ۱۴۰ هزار تن ضایعات غذا مکان‌های عرضه غذا و بیمارستان‌ها	۲۰۱۲	نروژ
(۵)	۳۹۲۰ هزار تن ضایعات تولید مواد غذایی ۷۰۰۰ هزار تن ضایعات خانگی مواد غذایی ۲۵۰ هزار تن ضایعات خرده و عمده فروشی مواد غذایی ۹۲۰ هزار تن ضایعات محل توزیع مواد غذایی ۳۰۰۰ هزار تن سایر ضایعات تولیدی	۲۰۱۳	انگلستان

تکنولوژی های تبدیل ضایعات مواد غذایی به انرژی

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برخی فرآیندها تبدیل شامل تبدیل بیولوژیکی، ترموشیمیایی و شیمیایی می توانند انواع مختلف ضایعات فرآوری مواد غذایی را به اشکال

مختلف انرژی شامل گرما، انرژی و گاز شامل بیوگاز و گاز سنتزی، و سوخت مایع مانند بیواتانول، بیودیزل و روغن بیو تبدیل کنند.



شکل ۱- تکنولوژی های تبدیل انرژی برای ضایعات ناشی از فرآوری های غذایی (۶)

سوختی است که عمدتاً مخلوطی از گازها شامل مونوکسید کربن، دی اکسید کربن، متان و هیدروژن می باشد. پیرولیز یک فرآیند در غیاب اکسیژن است که قیر مایع^۵ و زغال جامد^۶ تولید می کند. تبدیل ترموشیمیایی انواع مختلف ضایعات فرآوری مواد غذایی را می تواند به انرژی قابل استفاده مانند بخار و الکتریسیته تبدیل کند. هضم بی هوازی و تخمیر دو روش مهم تبدیل بیولوژیکی برای تبدیل ضایعات به انرژی هستند. در طی هضم بی هوازی، میکروارگانیسم ها ضایعات آلی را شکسته و بیوگاز تولید می کنند که یک مخلوط گازی است که عمدتاً شامل متان و دی اکسید کربن می باشد. در طی زمان تخمیر،

تبدیل ترموشیمیایی شامل تجزیه مواد توسط گرما، تبدیل مواد به گاز^۲، سوزاندن^۳ و مایع سازی با آب و تحت فشار بالا^۴ است. طی تبدیل ترموشیمیایی در دمای بالا و در حضور اکسیژن یا هوا، ضایعات آلی فرآوری مواد غذایی به مولکول های کوچک مایع یا گاز شکسته می شوند. در صورتی که هوای مورد نیاز برای سوزاندن (یا اکسیژن) کافی نبوده یا وجود نداشته باشد، از ضایعات آلی سوخت های گازی یا مایع تولید می شود. گازیفیکاسیون یک فرآیند با اکسیژن ناکافی برای تولید گاز

- 1- Pyrolysis
- 2- Gasification
- 3- Combustion
- 4- Hydrothermal liquefaction

- 5- Liquid tar
- 6- Solid char

میکروارگانسیم‌هایی مانند مخمرها، قندهای ساده را تخمیر کرده و به اتانول تبدیل می‌کنند.

هضم بی‌هوازی ضایعات فرآوری مواد غذایی

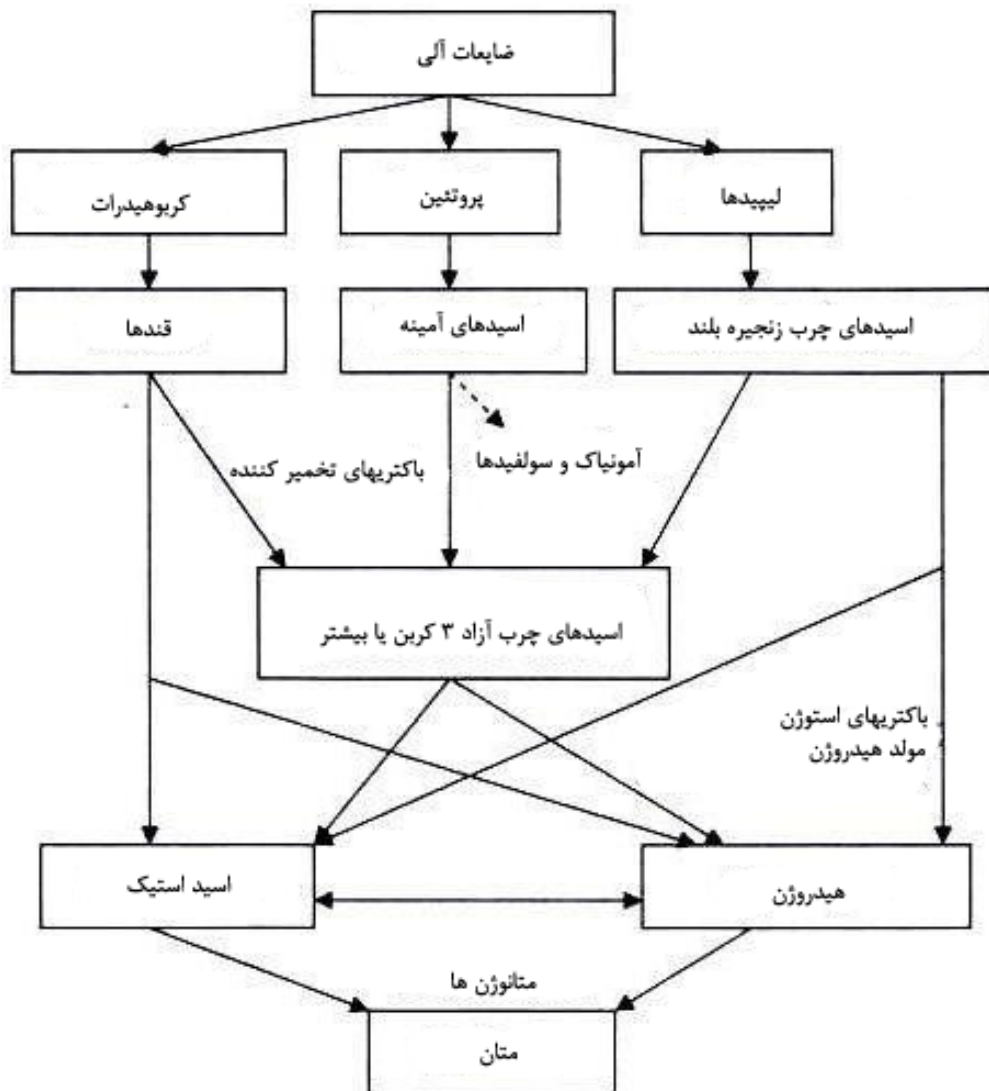
هضم بی‌هوازی از جمله روش‌های کاهش دهنده آلودگی و کاهش دهنده خطر بیماری زایی و نیز روشی برای بازیابی مواد با ارزش از انواع ضایعات مواد غذایی مانند ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات، ضایعات فرآوری گوشت و ضایعات کشتارگاه‌ها می‌باشند. هضم بی‌هوازی یک فرآیند بیولوژیک است که مواد آلی در غیاب اکسیژن تجزیه شده و بیوگاز تولید می‌کنند. بیوگاز که اساساً از متان و دی‌اکسید کربن تشکیل شده است، می‌تواند به-عنوان منبع انرژی، جایگزین گاز طبیعی فسیلی باشد. متان ۵۰ تا ۶۰٪ حجمی بیوگاز را تشکیل می‌دهد. در صورتی که بیوگاز تولیدی با هضم بی‌هوازی برای تولید الکتریسیته استفاده شود، راندمان تبدیل کلی به الکتریسیته حدود ۱۰٪ تا ۱۶٪ است.

یکی از مهم‌ترین مزایای هضم بی‌هوازی این است که می‌تواند برای ضایعات آلی با حالت خمیری^۱ و همچنین ضایعات با رطوبت بالا یا مایع نیز استفاده شود. هضم بی‌هوازی یک تکنولوژی تجاری است و به طور گسترده‌ای برای عمل‌آوری ضایعات آلی با رطوبت بالا (بیش از ۹۰-۸۰٪) استفاده می‌شود. برای عمل‌آوری ضایعات حاصل از فرآوری مواد غذایی با روش

هضم بی‌هوازی علاوه بر این که برای تولید انرژی، متان تولید می‌کند، باعث تخریب باکتری‌های بیماری‌زای موجود در ضایعات و کاهش نشر آلودگی نیز می‌گردد. هضم بی‌هوازی با هیدرولیز ترکیبات موجود در ضایعات آلی شروع می‌شود. پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه هیدرولیز می‌شوند. لیپیدها از طریق بتا اکسیداسیون^۲ به اسیدهای چرب با زنجیره بلند و گلیسرول تجزیه می‌شوند. کربوهیدرات‌ها نیز به قندها هیدرولیز می‌شوند. پس از هیدرولیز، واسطه‌های اسیدهای چرب با زنجیره بلند، اسیدهای آمینه و قندها توسط باکتری‌های تخمیر کننده به اسیدهای چرب فرآر با سه کربن یا بیش‌تر، هیدروژن و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. از تخمیر اسیدهای آمینه، آمونیاک و سولفیدها به وجود می‌آیند. قسمتی از اسیدهای چرب بلند زنجیره، اسیدهای چرب فرآر و ترکیبات خنثی مانند قندها توسط باکتری‌های استوژن^۳ تولید کننده هیدروژن به استات، هیدروژن و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. استات، هیدروژن و دی‌اکسید کربن به طور کامل توسط باکتری‌های متانوژن^۴ تبدیل به گاز متان و دی‌اکسید کربن می‌شوند (شکل ۲).

2- β - oxidation
3- Acetogen
4- Methanogen-

1- Pasty organic waste



شکل ۲- مسیر هضم بی‌هوازی ترکیبات مختلف موجود در ضایعات آلی (۶)

در سیستم هضم بی‌هوازی یا خطوط فرآوری استفاده گردد. هضم بی‌هوازی را می‌توان برای عمل آوری ضایعات ماهی، ضایعات کشتارگاه، ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات و فاضلاب حاصل از فرآوری مواد غذایی به کار برد (جدول ۲).

زمان باقی ماندن ضایعات در داخل هضم کننده^۱ در طی زمان هضم بی‌هوازی می‌تواند چندین روز تا یک‌ماه باشد. گاز تولیدی را می‌توان برای تولید الکتریسیته استفاده نمود و حرارت جانبی تولیدی نیز بازیابی شده و به عنوان منبع حرارت

جدول ۲- کاربرد هضم بی‌هوازی ضایعات فرآورده‌های غذایی

منبع	راندمان	زمان ماند هیدرولیک (روز)	دما (°C)	نوع هضم کننده	ضایعات ماده غذایی
(۷)	۱۲۰ میلی لیتر متان به ازای هر گرم مواد جامد فرآر	-	۳۵	تانک هم‌زن مداوم	هضم هم‌زمان ضایعات ماهی و ضایعات توت فرنگی
(۸)	۲۱۵ لیتر متان به ازای هر کیلوگرم COD	۶۰	۳۵	تانک هم‌زن مداوم	هضم بی‌هوازی ضایعات کشتارگاه مرغ
(۹)	۰/۱۶۲-۰/۱۴۷ لیتر متان در هر گرم مواد جامد فرار	۲۶-۳۸	۲۰	تانک هم‌زن مداوم	ضایعات جامد کشتارگاه مرغ
(۱۰)	۲۰۱-۸۴ میلی لیتر متان به ازای هر گرم ماده جامد فرآر	۵۰	۳۵	فیلتر بی-هوازی	ضایعات ذرت
(۱۱)	۴۰۰ لیتر بیوگاز به ازای هر کیلوگرم ماده جامد فرآر	۴۰	۳۳	تانک هم‌زن مداوم	پالپ سیب ۵٪، ضایعات زیتون ۱۰٪ و کود حیوانی ۸۵٪
(۱۲)	۳۲۰ میلی لیتر متان در هر گرم ماده جامد فرآر	۳۰	۳۳	تانک هم‌زن مداوم	ضایعات گوجه فرنگی
(۱۳)	۳۵۸ متر مکعب متان به ازای هر تن ماده جامد فرار	-	۳۵-۳۷	تانک هم‌زن مداوم	ضایعات پالم
(۱۴)	۰/۸۸۹-۰/۸۶ متر مکعب بیوگاز به ازای هر کیلوگرم ماده جامد فرار	-	۳۵-۳۷	تانک هم‌زن مداوم	ضایعات سبزیجات
(۱۵)	۴۴۹/۸۴ میلی لیتر هیدروژن به ازای هر گرم COD	۲۴	۳۷	تانک هم‌زن مداوم	آب پنیر همراه با ضایعات میوه و سبزیجات
(۱۶)	۶۵۷/۸۹±۶۳/۵۸ میلی لیتر متان به ازای هر گرم ماده جامد فرآر	۶۰	۳۵	-	ضایعات پرتغال، میوه آلوریتس ^۱ ، موز، گیاه رامبوتن (مزکی)

تخمیر ضایعات فرآوری مواد غذایی به الکل مصرفی در

وسایل نقلیه

سالیان زیادی است که اتانول به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد این ماده شیمیایی دارای خواصی نظیر گرمای نهان تبخیر بالا، عدد اکتان بالا، نشر مواد سمی پایین آن و سازگاری با محیط زیست و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای^۱ است.

با وجود این که ارزش گرمایی اتانول ۶۰٪ گازوئیل است ولی در مقابل، اتانول دو برابر گازوئیل گرمای نهان تبخیر دارد (در مورد الکل و گازوئیل به ترتیب ۸۳۹/۶۸۶ و ۳۲۵/۶۴ کیلوژول در کیلوگرم)؛ بنابراین هر دو سوخت مقدار راندمان گرمایی یکسانی دارند. علاوه بر این، با سوختن گازوئیل، آب، دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن، ناخالصی‌هایی مانند سولفور و نیتروژن و فلزات سنگین تولید می‌شود در حالی که با سوختن اتانول، آب، دی‌اکسید کربن و میزان کمی مونوکسید کربن تولید می‌شود. اتانول یک سوخت غیر وابسته به فرآورده‌های نفتی و مناسب جهت وسایل نقلیه است. این ویژگی‌ها اتانول را جایگزین مناسبی برای گازوئیل نموده است. اتانول به تنهایی یا به صورت مخلوط با گازوئیل به عنوان سوخت اتومبیل به کار برده می‌شود. اتانول را می‌توان بدون تغییر یا با کمی تغییرات در وسایل نقلیه به کار برد.

سوخت اتانول از سه ماده خام اصلی تولید می‌شود: قندها، نشاسته‌ها و مواد لیگنوسلولزی. در حال حاضر بیش‌تر اتانول تولیدی از ساکارز و نشاسته است. از جمله مشکلات صنعت تولید اتانول ناکافی بودن منابع نشاسته و ساکارز به عنوان ماده خام است. ضایعات فرآوری مواد غذایی می‌تواند به عنوان یک ماده خام ارزان قیمت برای تولید اتانول به کار برده شود. برخی ضایعات فرآوری مواد غذایی مانند ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات، ضایعات فرآوری دانه‌ها و ملاس تولیدی در صنعت قند، غنی از کربوهیدرات هستند و این ضایعات می‌توانند به عنوان ماده خام برای تولید قندهای قابل تخمیر به الکل مورد

استفاده قرار گیرند. در مقایسه با قندها و نشاسته، ضایعات با منشا گیاهی مانند ضایعات میوه و سبزیجات غنی از سلولز هستند که در برابر شکستن و تجزیه شدن مقاوم هستند.

تخمیر اتانول از ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات

بیش‌تر کربوهیدرات‌های موجود در ضایعات مایع و جامد میوه‌ها و سبزیجات شامل قندهای محلول و پلی‌ساکاریدهایی هستند که به آسانی قابل هیدرولیز هستند. ضایعات جامد و فاضلاب حاصل از خطوط فرآوری میوه و سبزیجات، می‌توانند برای تخمیر قندها استفاده شوند. تفاله سیب^۲ یکی از مهم‌ترین محصولات جانبی سرکه سیب و صنعت فرآوری آب میوه جات است و حدود ۲۵٪ توده میوه اصلی را تشکیل می‌دهد. تفاله سیب عمدتاً ۷۸/۲-۶۶/۴٪ رطوبت و ۹/۵-۲۲/۰٪ کربوهیدرات دارد. قندهای قابل تخمیر در تفاله سیب مانند گلوکز، فروکتوز و ساکارز می‌توانند به اتانول تبدیل شوند. راندمان تولید اتانول ۰/۳۷-۰/۳۳ گرم اتانول به ازای هر گرم گلوکز می‌باشد. در طی زمان فرآوری مرکبات، حدود نیمی از میوه به عنوان آب میوه و باقی‌مانده شامل پوست، هسته و... به صورت ضایعات است. سلولز، پکتین و همی سلولز در ضایعات پوست مرکبات می‌توانند توسط آنزیم‌های پکتیناز یا سلولاز به قندهای ساده تبدیل شوند که می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌ها برای تولید اتانول و دیگر محصولات تخمیری مصرف شوند.

امکان تولید اتانول از تفاله سیب توسط اوکان^۳ و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شد. در این روش، میزان تولید اتانول ۸/۷۴۷ گرم در لیتر و میزان راندمان تولید اتانول در این تحقیق به ازای هر گرم تفاله سیب ۰/۹۴۵ گرم گزارش شد (۱۷).

تخمیر اتانول از ضایعات فرآوری قند

ملاس محصول فرعی صنعت قند است. ملاس چغندر قند و نیشکر برای تولید اتانول استفاده می‌شوند. ساریس^۴ و همکاران (۲۰۱۴) امکان تبدیل هم‌زمان ملاس چغندر قند و ضایعات روغن زیتون به

2- Pomace (آن چه پس از آبیگری میوه‌ها باقی می‌ماند)

3- Evcan

4- Sarris

1-Greenhouse gases

روغن‌های گیاهی، چربی حیوانی با متانول تولید شده و می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشند. این ترکیبات بیودیزل نامیده می‌شوند. مهم‌ترین مزیت استفاده از بیودیزل‌ها، خاصیت تجدیدپذیری، کیفیت بهتر گاز^۲ و قابلیت تجزیه میکروبی آن‌هاست. همچنین این سوخت‌ها سبب افزایش میزان دی‌اکسید کربن در اتمسفر در نتیجه پدیده گرم شدن گل‌خانه‌ای نمی‌شوند. چالش اصلی برای تولید معمول بیودیزل از روغن‌ها و چربی‌های خوراکی، هزینه بالا و دسترسی محدود به این منابع است. هزینه مواد خام روغن‌ها و چربی‌های خوراکی ۷۵-۶۰٪ کل هزینه بیودیزل را دربر می‌گیرد. ضایعات روغن پخت، پسماند روغن رستوران‌ها و چربی‌های حیوانی می‌توانند مواد خام برای تولید بیودیزل باشند. استفاده از ضایعات روغن‌ها و چربی‌ها علاوه بر این که راه مناسبی جهت حل مشکل دفع این ضایعات است، سبب کاهش قابل توجهی در هزینه تولید بیودیزل می‌گردد. علاوه بر این استفاده از روغن‌های ضایعات ممکن است سبب بهبود میزان پایداری اکسایشی و عدد ستان^۳ نسبت به روغن‌های گیاهی اولیه گردد. از جمله مشکلات استفاده از این منابع جهت تولید بیودیزل، غلظت بالای اسیدهای چرب آزاد و رطوبت بالا است که مانع استفاده از روش استریفیکاسیون قلیایی می‌شود. در این شرایط می‌توان به منظور کاهش میزان اسیدهای چرب آزاد، از پیش فرآیندهای اسیدی استفاده کرد. روغن‌های ضایعات و چربی حیوانی ذوب شده^۴ به عنوان ماده خام برای تولید بیودیزل‌ها استفاده می‌شوند. مشکل روغن‌ها و چربی ضایعاتی این است که معمولاً حاوی میزان زیادی اسیدهای چرب آزاد هستند که در حضور کاتالیزور قلیایی، تبدیل به صابون شده و سبب تداخل در تولید بیودیزل می‌شود. میزان اسیدهای چرب در ضایعات روغن‌های خوراکی معمولاً بیش‌تر از ۲٪ وزنی است. میزان رطوبت و اسیدهای چرب آزاد در روغن‌های جمع‌آوری شده رستورانی و چربی‌های حیوانی

اتانول را مورد بررسی قرار دادند. مطابق این تحقیق به ازای هر لیتر ماده، ۳۴/۳ گرم اتانول تولید شد. مطابق این تحقیق، این روش از لحاظ اقتصادی برای تولید محصول نهایی، مقرون به صرفه است (۱۸).

تخمیر اتانول از آب پنیر

در میان ضایعات مواد غذایی، آب پنیر می‌تواند بزرگ‌ترین منبع برای تولید الکل باشد. آب پنیر یکی از محصولات فرعی و مشکل‌ساز صنعت لبنیات است. آب پنیر حدوداً حاوی ۶/۵-۶٪ ماده جامد است. مخمر ساکارومایسس سروسیه که در حال حاضر برای تولید اتانول استفاده می‌شود، نمی‌تواند لاکتوز را تجزیه کند لذا هم‌زمان آنزیم بتاگالاکتوزیداز و مخمر برای تولید اتانول از آب پنیر به کار برده می‌شود.

سایر منابع

دورریزهای خوراکی از دیگر منابعی است که توسط محققین مختلف جهت تولید اتانول بررسی شده است. تولید اتانول از ضایعات مواد غذایی با پیش‌فرآیند اسیدی و آنزیمی توسط آکپان^۱ و همکاران (۲۰۰۸) بررسی شد. در این فرآیند اتانول با راندمان ۹۵٪ تولید گردید و میزان تولید اتانول ۰/۸۶ لیتر به ازای هر ۲/۵۰ گرم ضایعات مواد غذایی بود (۱۹).

تولید سوخت از ضایعات روغن و چربی‌ها

اتمام سوخت‌های فسیلی و بروز معضلات محیط زیستی در اثر مصرف این‌گونه سوخت‌ها دو چالش مهمی است که جهان با آن روبروست. محدودیت این منابع به دلیل استخراج و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی همچنین دسترسی کشورهای محدودی به این‌گونه سوخت‌ها همراه با مشکلات محیط زیستی (افزایش میزان دی‌اکسیدکربن در اتمسفر و در نتیجه پدیده گرم‌شدن گل‌خانه‌ای در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی) دانشمندان را به مطالعه بر روی سایر منابع تولید انرژی واداشته است. متیل استرهای اسیدهای چرب آزاد که به آن‌ها بیودیزل نیز گفته می‌شود، ترکیباتی هستند که بیش‌تر در این زمینه مورد توجه قرار گرفته‌اند و از واکنش تری‌گلیسریدهای

2- Emission gas

3- Cetan number معیار اندازه‌گیری برای نشان دادن زمان

تأخیر سوزاندن سوخت در موتورهای دیزلی است.

4- Render

1- Akpan

را از طریق فرآیندهای بیولوژیکی و یا ترموشیمیایی به محصولات شیمیایی و انرژی تبدیل نمود. فرآیندهای ترموشیمیایی شامل سوزاندن، تجزیه مواد توسط گرما، گازیفیکاسیون و مایع سازی ترموشیمیایی است.

سوزاندن ضایعات فرآوری های غذایی

سوزاندن مستقیم زیست توده در حضور هوای کافی باعث تبدیل انرژی شیمیایی ذخیره شده در زیست توده به حرارت می شود که حرارت حاصله می تواند برای تولید انرژی مکانیکی و الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد. در طی سوزاندن، ضایعات آلی در دمای بالاتر از دمای سوزاندن خود با اکسیژن اکسید می شوند. ضایعات مواد غذایی آلی خشک با رطوبت کمتر از ۵۰٪ وزن خشک، برای سوزاندن مناسب هستند. ضایعات جامد فرآوری های غذایی می توانند هم به صورت مستقیم احتراق شوند یا این که ابتدا به سوخت های مایع یا گاز تبدیل گردند، سپس عمل سوزاندن صورت گیرد به عنوان مثال راندمان احتراق بیودیزل حاصل از ضایعات روغن پالم، ۶۶-۵۶٪ است (۲۲). لاپیراتاناکان^۴ و همکاران (۲۰۱۷) از یک سیستم جدید جهت سوزاندن روغن های ضایعات گیاهی استفاده کردند که دارای یک بستر متخلخل از توپ های کوچک سرامیکی بود. میزان راندمان گرمایشی این سیستم، ۴۲٪ - ۲۸٪ و راندمان احتراق تقریباً ۹۹/۵٪ گزارش شد. در این سیستم، میزان نشر گازهای مونوکسید کربن و اکسید نیتروژن به ترتیب ppm ۱۷۱ و ۴۰ است (۲۳).

پیرولیز ضایعات فرآوری مواد غذایی

پیرولیز، تبدیل زیست توده جامد در دمای ۵۰۰°C یا بالاتر و درغیاب اکسیژن و هوا به بخش های مایع، جامد و گاز می باشد. پیرولیز برای تبدیل زیست توده خشک مناسب است. پیرولیز زیست توده، سه محصول اصلی تولید می کند: زغال^۵ جامد، روغن مایع بیو^۶ و گاز. گاز پیرولیز که حاوی دی اکسید کربن و متان است

به میزان زیادی متفاوت بوده و به ترتیب ۱۸٪ و ۴۱/۸٪ است. آب و اسید چرب آزاد می توانند سبب کند شدن سرعت واکنش ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزور قلیایی شوند. صابون تشکیل شده هم چنین مانع از جداسدن بیودیزل از گلیسرول می شود. در صورتی که روغن ها یا چربی ضایعاتی دارای اسیدهای چرب آزاد و رطوبت کمی باشند، می توانند به عنوان ماده خام در فرآیند متداول کاتالیزور قلیایی برای تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرند.

بررسی های پردویک^۱ (۲۰۰۸) نشان می دهد امکان تولید بیودیزل با ویژگی های مناسب جهت جایگزینی به عنوان سوخت از ضایعات روغن آفتابگردان در طی واکنش ترانس استریفیکاسیون قلیایی با حضور متانول وجود دارد. مطابق این تحقیق بیودیزل حاصله تمامی ویژگی های استاندارد به عنوان جایگزین سوخت اعم از دانسیته در دمای ۱۵°C، ویسکوزیته سینماتیک در دمای ۴۰°C، عدد اسیدی، میزان استرمیتیل لینولئیک اسید و خلوص مناسب را دارا می باشد فقط عدد اسیدی بیودیزل حاصله بیش از ۳ میلی گرم در گرم هیدروکسید پتاسیم گزارش شده است (۲۰). بررسی صورت گرفته توسط گیراکول^۲ و همکاران (۲۰۱۱) در منطقه کامپانیا^۳ برزیل نشان داده است در صورتی که از ضایعات دورریز روغن های خوراکی برای تولید بیودیزل استفاده شود، علاوه بر کاهش مشکلات محیط زیستی ناشی از ریختن این روغن ها به فاضلاب ها و خاک، به دلیل ارزان قیمت بودن ماده تولید بیودیزل و هم چنین مطابقت بیودیزل تولیدی با استانداردهای سوخت برزیل و در نتیجه امکان استفاده از آن به عنوان جایگزین سوخت، حدود ۰/۸ تا ۴/۵ میلیون دلار صرفه جویی اقتصادی حاصل خواهد شد (۲۱).

تبدیل ترموشیمیایی ضایعات فرآوری مواد غذایی

باقی مانده جنگل ها، محصولات کشاورزی و ضایعات آلی فرآوری مواد غذایی به عنوان منابع زیست توده هستند که می توان آن ها

4- Lapidatankun
5- Char
6-Bio- oil

1- Predojević
2- Giraçol
3- Campinas

می‌باشد (۲۴).

گازیفیکاسیون ضایعات مواد غذایی

گازیفیکاسیون شامل اکسیداسیون جزئی^۴ مواد آلی در دمای بالا (۸۰۰°C) و تولید مخلوطی از گازهای قابل احتراق (گاز سنتزی^۵) است. گاز سنتزی عمدتاً حاوی مونوکسید کربن، هیدروژن، متان و دی‌اکسید کربن می‌باشد.

در طی زمان گازیفیکاسیون قسمتی از زیست توده به جای گاز سنتزی، تبدیل به زغال و قیر می‌شود. استفاده از گاز سنتزی به عنوان یک سوخت برای احتراق داخلی موتورها، توربین‌های گازی و پیل سوختی برای تولید گرما و انرژی و به عنوان ماده خام برای سنتز سوخت‌های مایع و مواد شیمیایی استفاده می‌شود. با تصفیه نمودن و خارج کردن ذرات گرد و غبار و ناخالصی‌ها در گاز سنتزی، راندمان این فرآیند افزایش پیدا می‌کند. گاز سنتزی می‌تواند مانند گاز طبیعی برای تولید انرژی و حرارت مورد استفاده قرار گیرد. گاز سنتزی حاصل از گازیفیکاسیون زیست توده توسط هوا دارای ارزش گرمایی پایینی است و می‌توان در احتراق کننده‌ها مورد استفاده قرار داد. گاز سنتزی با کیفیت بالا هم‌چنین می‌تواند برای سنتز دیگر ترکیبات شیمیایی و سوخت‌های مایع مانند مایعات فشر - تروپس^۶، بوتانول، اتانول و متانول استفاده شوند.

ضایعات مواد غذایی با میزان رطوبت کم برای گازیفیکاسیون مناسب هستند. پوسته برنج یکی از این گونه ضایعات است. پوشش‌های اطراف دانه برنج، پوسته را تشکیل می‌دهند که در طی زمان آسیاب کردن، از دانه جدا می‌شود. تولید کلی برنج در دنیا حدود ۵۰۰ میلیون تن است. به دلیل این که پوسته برنج حدود ۲۰٪ وزن دانه برنج را تشکیل می‌دهد، سالیانه حدود ۱۰۰ میلیون تن پوسته تولید می‌شود. پوسته برنج می‌تواند از طریق فرآیندهای تبدیل ترموشیمیایی به سوخت مایع یا گاز تبدیل شود (۶).

می‌تواند به عنوان سوخت برای تولید گرما و انرژی استفاده شود. بخش جامد، ماده متخلخلی است که می‌توان به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت خاک، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب به کار برد. زغال هم‌می‌تواند به طور مستقیم به عنوان یک سوخت جامد یا پس از گاززایی به عنوان سوخت گازی استفاده شود یا به منظور تبدیل به مواد شیمیایی با ارزش مانند کربن فعال فرآوری شود.

روغن پیرولیتیک حاصل از پیرولیز زیست توده، امکان ذخیره‌سازی و انتقال بهتری نسبت به ماده اولیه دارد.

با این حال، روغن پیرولیتیک حاوی نسبت بیشتری از ترکیبات اکسیژن‌دار است در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به سرعت تحت شرایط ذخیره‌سازی تغییر می‌کند. بنابراین در صورتی که روغن پیرولیتیک به عنوان سوخت یا به عنوان ماده خام شیمیایی استفاده گردد باید فرآوری شود^۱ تا پایداری و ارزش گرمایی^۲ آن بهبود یابد.

پیرولیز برای تبدیل ضایعات جامد فرآوری‌های غذایی مانند نواله دانه‌های روغنی به سوخت مایع استفاده می‌شود. با این حال مواد خام مختلف و شرایط عملیات منجر به تفاوت‌های زیادی در راندمان و ترکیب روغن بیو می‌شود.

کاتالیزورهای مختلف ژئولیت برای تبدیل همزمان نواله کلزا و روغن گلرنگ به سوخت بیو توسط گیانو کوپائولو^۳ و همکاران (۲۰۱۰) بررسی گردید. فرآیندها با فشار پایین در دمای ۳۵۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. راندمان و ترکیب محصول حاصله بسته به ماهیت کاتالیزور و دمای فرآیند، متغیر گزارش شد. فاز آلی عمدتاً شامل هیدروکربن‌ها، اسیدهای چرب و نیتریل‌ها بود. این مخلوط دارای ویژگی‌های مناسبی از نظر ارزش گرمایی، میزان آب، دانسیته، ویسکوزیته و pH در مقایسه با روغن‌های بیو است و قابلیت استفاده به عنوان سوخت بیو را دارد. فاز آبی در این واکنش شامل اسیدهای کربوکسیلیک محلول در آب، فنل‌ها و ترکیبات هتروسیکلیک

4- Partial oxidation
5- Syngas
6- Fisher- Tropsch

1-Upgrade
2-Calorific
3-Giannakopoulou

حالت نزدیک بحرانی یا فوق بحرانی سبب ایجاد قندهای قابل تخمیر به الکل می شود.

تولید اسیدهای آلی از زیست توده از دیگر کاربردهای این تکنیک است. مطابق بررسی اسکات^۵ و همکاران (۲۰۰۲) استفاده از کاتالیزور پالادیم در دمای 150°C و مدت ۵ ساعت، سبب تبدیل تقریباً ۱۰٪ سلولز به اسیدهای آلی مانند اسید مالیک و اسید استیک می شود (۲۶).

روغن بیو از جمله ترکیباتی است که می توان به کمک این روش تولید نمود. مایع سازی زیست توده، شامل تجزیه پلیمرهای زیست توده و تبدیل آن ها به اجزاء کوچک تر است. انواع مختلف واکنش ها مانند دکربوکسیلاسیون، دهیدراسیون، دهیدروژناسیون و داکسیژناسیون^۶ ممکن است در طی مایع سازی زیست توده صورت گیرد. اجزاء ناپایدار ممکن است از طریق کندانس شدن، حلقوی شدن و پلیمریزاسیون مجدداً نظم یافته و به ترکیبات جدید مانند ترکیبات آروماتیک تبدیل گردند. شکل گیری روغن های بیو در طی واکنش مایع سازی زیست توده در فشار بالا، در مخلوط پیچیده ای از اسیدهای آلی فرآر، الکل ها، آلدئیدها، اترها، کتون ها، فوران ها، فنل ها، هیدروکربن ها و دیگر ترکیبات غیرفرآر صورت می گیرد. روغن حاصل از این واکنش ها را می توان با کاتالیزور به فرآورده های تقطیری آلی یا ترکیبات شیمیایی مفید نظیر تولوئن، گزین و فنل ها تبدیل نمود.

تحقیقی توسط هامر اسمید^۷ و همکاران (۲۰۱۰) در زمینه تولید سوخت بیو از ضایعات آلی مرطوب با آب در شرایط نزدیک به نقطه بحرانی (دمای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی گراد و فشار بیش از ۲۲/۱ مگاپاسکال) در یک فرآیند یک مرحله ای مداوم با دو نوع کاتالیزور شامل کاتالیزور همگن (کربنات پتاسیم) و کاتالیزور ناهمگن (اکسید زیرکونیوم)^۸ صورت گرفت.

تحقیقی که توسط کاتن^۱ و همکاران (۲۰۱۰) بر روی ضایعات مواد غذایی صورت گرفت نشان داد که ضایعات مواد غذایی نسبت به چوب، دارای میزان اکسیژن کم تر و نیتروژن، خاکستر و انرژی بیش تری هستند به طوری که ضایعات مواد غذایی مطالعه شده در این تحقیق حاوی ۷۰٪ آب بودند. میزان درجه حرارت و میزان نشر پلت های^۲ خشک چوب، پلت های خشک شده ضایعات مواد غذایی و پلت های خشک نشده ضایعات مواد غذایی اندازه گیری شد. درجه حرارت در مورد ضایعات مواد غذایی بیش تر بود که نشان دهنده میزان انرژی بیش تر آن ها نسبت به چوب است. میزان نشر اکسید نیتروژن و دود نیز در مورد ضایعات مواد غذایی بیش تر بود (۲۵).

مایع سازی ترموشیمیایی

حلال ها در دما و فشار بالا می توانند زیست توده را هیدرولیز و مایع نموده و تبدیل به سوخت مایع نمایند. این عمل با تجزیه پیوندهای گلیکوزیدی و شکستن مولکول ها به اجزاء کوچک تر محلول صورت می گیرد. مایع سازی زیست توده و تبدیل آن به یک هیدروکربن مایع پایدار در دماهای متوسط ($300-400^{\circ}\text{C}$) و فشار بالا صورت می گیرد. در طی زمان مایع سازی، از طریق یک سری تغییرات ساختاری فیزیکی و تغییرات شیمیایی شامل سالولولیز^۳، دپلمریزاسیون، دکربوکسیلاسیون، هیدروژنولیز^۴ و هیدروژناسیون، ماده خام زیست توده به روغن بیو تبدیل می گردد. متناسب با شرایط فرآیند، قندهای قابل تخمیر، اسیدهای آلی و روغن های بیو سه محصول عمده حاصل از فرآیند مایع سازی زیست توده هستند. برخی محققین دریافته اند بخشی از مولکول های درشت لیگنین و همی سلولز پس از چند دقیقه قرار گرفتن در معرض آب داغ (دمای بالاتر از 190°C) مایع سازی می شوند و باقی مانده لیگنوسولوز در دماهای بالاتر و به روش هیدروترمال مایع می شود. فرآوری سلولز با آب در

5- Schutt

6- Deoxygenation

7- Hammerschmidt

8- Zirconium dioxide(ZrO2)

1-Caton

2- Pellet

3- solvolysis (تجزیه پیوند توسط حلال)

4- hydrogenolysis (تجزیه پیوند توسط هیدروژن)

- und Abfallwirtschaft (ISWA), Universität Stuttgart.
- 3- Monier, V., Mudgal, S., Escalon, V., O'Connor, C., Gibon, T., Anderson, G., Montoux, H., Reisinger, H., Dolley, P., Ogilvie, S., Morton, G., - 2010. Final report-Preparatory study on food waste across EU 27; European Commission [DG ENV-Directorate C]. BIO Intelligence Service, Paris.
 - 4- Hanssen, O.J., Schakenda, V., 2013. Nyttbart matsvinn i Norge 2011, Analyser av status og utvikling i matsvinn i Norge 2010-11-Rapport fra ForMat-prosjektet. ForMat project report Nr. 1413, Ostfoldforskning.
 - 5- Department for Environment, Food and Rural Affairs., 2015: Food Statistics Pocket book.
- ۶- دیدار، زهره. «تولید انرژی از ضایعات مواد غذایی». چاپ اول انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، ۱۳۹۳، فصل اول.
- 7- Serrano, A., Siles, J., Chica, A., Martín, M.A., 2013. Agri-food waste valorization through anaerobic co-digestion: fish and strawberry residues. Journal of Cleaner Production, vol. 54, pp. 125-132
 - 8- Markou, G., 2015. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. Bioresource Technology, vol. 196, pp. 726-730.
 - 9- Rajagopal, R., Massé, D., 2016. Start-up of dry anaerobic digestion system for processing solid poultry litter using adapted liquid inoculum. Process Safety and Environmental Protection, vol. 102, pp. 495-502.
- مطابق این تحقیق عملیات هیدروترمال زیست توده پس از آبیگری منجر به تولید روغن بیو با ارزش گرمایی بالا شد (۲۷).
- ### نتیجه گیری
- صنعت مواد غذایی جزو صنایع با مصرف انرژی بالا دسته بندی می شود. محدود بودن سوخت های فسیلی، افزایش هزینه سوخت، افزایش غلظت گازهای گلخانه ای از جمله مهم ترین عواملی هستند که دانشمندان را به یافتن روش هایی جهت استفاده بهینه از منابع ارزان قیمت انرژی که مشکلات زیست محیطی نیز ایجاد نکنند، واداشته است. از جمله منابع ارزان قیمت، حجم عظیم پسماندهای جامد و مایع است که در اثر فرآوری و تولید مواد غذایی سالیانه ایجاد می گردد. تکنیک هایی نظیر هضم بی هوازی، تولید سوخت های بیودیزل، گازیفیکاسیون و مایع سازی ترموشیمیایی از جمله روش هایی هستند که می توان جهت تولید منابع انرژی نظیر بیودیزل، گازهای سنتزی مانند متان، روغن های بیو، اتانول سوختی از پسماندهای غذایی به کار برد ولی در حال حاضر استفاده از پسماندها جهت تولید این نوع از سوخت ها با چالش های تکنیکی روبرو است و نیازمند مطالعه بیشتر و بهینه سازی روش های تولید سوخت از این منابع ارزان قیمت است.
- ### منابع
- 1- Garot, G., 2014. Lutte Contre le Gaspi-lla geAlimentaire: Propositions Pour-une Poli t iquePublique. Rapport de Guillaume Garo tDéputé de la Mayenne AncienMinist redé légué à l'Agr oali mentaire.
 - 2- Kranert, M., Hafner, G., Barabosz, J., 2012. Ermittlung der wegge worfe nenLebensmittelmengen und Vorschlägez urVerminderung der WegwerfratebeiLebe nsmitteln in Deutschland [Investigation of food waste amounts and options for their reduction in Germany]. Germany: Institut fürSiedlungswasserbau, Wassergüte-

- Journal of Hydrogen Energy, vol. 39(24), pp. 12541–12550
- 16- Sanjaya, A.P., Cahyanto, M.N. Millati, R., 2016. Mesophilic batch anaerobic digestion from fruit fragments. Renewable Energy, vol. 98, pp. 135–141.
- 17- Evcan, E., Tari, C., 2015. Production of bioethanol from apple pomace by using cocultures: Conversion of agro-industrial waste to value added product. Energy, vol. 88, pp. 775–782
- 18- Sarris, D., Matsakas, L., Aggelis, G. Koutinas, A.A., Papanikolaou, S., 2014. Aerated vs non-aerated conversions of molasses and olive mill wastewaters blends into bioethanol by *Saccharomyces cerevisiae* under non-aseptic conditions. Industrial Crops and Products, vol. 56, pp. 83-93.
- 19- Akpan, U.J. Alhakim, A., A. Josiah, U. J., 2008. Production of Ethanol Fuel from Organic and Food Wastes. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, vol. 13 , pp. 1-11.
- 20- Predojević, Z.J., 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. Fuel, vol. 87, pp.3522-3528.
- 21- Giraçol, J., Passarini, K. C., Catureba da Silva Filho, S., AraújoCalarge, F., Tambourgi, E.B., Curvelo Santana, J. C., 2011. Reduction in ecological cost through biofuel production from cooking oils: An ecological solution for the city of Campinas, Brazil. Journal of Cleaner Production, vol. 19, pp. 1324-1329
- 22- Tashtoush, G., M.I. Al-Widyn, and A. O.Al-Shyoukh., 2003. Combustion performance and emission of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-
- 10- Meng, Y., Jost, C., Mumme, J., Wang, K., 2016. An analysis of single and two stage, mesophilic and thermophilic high rate systems for anaerobic digestion of cornst alk. Chemical Engineering Journal, vol. 288, pp.79 -86.
- 11- Riggio, V., Comino, E., Rosso, M., 2015. Energy production from anaerobic co-digestion processing of cow slurry, olive pomace and apple pulp. Renewable Energy, vol. 83, pp.1043–1049.
- 12- Calabrò, P., Greco, R., Evangelou, A., Komilis, D., 2015. Anaerobic digestion of tomato processing waste: Effect of alkaline pretreatment. Journal of Environmental Management, vol. 163, pp. 49–52.
- 13- Suksong, W., Kongjan, P., Prasertsan, P. Imai, T. O-Thong, S., 2016. Optimization and microbial community analysis for production of biogas from solid waste residues of palm oil mill industry by solid-state anaerobic digestion. Bioresource Technology, vol. 214, pp. 166–174.
- 14- Majhi, B.K., Jash, T., 2016. Two-phase anaerobic digestion of vegetable market waste fraction of municipal solid waste and development of improved technology for phase separation in two-phase reactor. Waste Management. DOI:10.1016/j.wasman.2016.09.009.
- 15- Gomez-Romero, J., Gonzalez-Garcia, A., Chairez, I., Torres, L., García-Peña, E.I., 2014. Selective adaptation of an anaerobic microbial community: Biohydrogen production by co-digestion of cheese whey and vegetables fruit waste. International

- A case study. *Energy Conversion and Management*, vol.51, pp. 1157-1169.
- 26- Schutt, B.D., B. Serrano, R.L. Cerro, and M.A. Abraham., 2002. Production of chemicals from cellulose and biomass-derived compound through catalytic sub-critical water oxidation in a monolith reactor. *Biomass and Bioenergy*, vol.22, pp. 365-375.
- 27- Hammerschmidt, A., Boukis, N., Haue r, E., Galla, U., Dinjus, E., Hitzmann, B .Larsen, T. Nygaard, S.D., 2010. Catalytic conversion of waste biomass by hydrothermal treatment. *Fuel*, vol. 90, pp. 555-562.
- cooler furnace. *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 285-293.
- 23- Lapidirattanakun, A., Charoensuk, J., 2017. Development of porous media burner operating on waste vegetable oil. *Applied Thermal Engineering*, vol.110(5), pp.190-201
- 24- Giannakopoulou, K., Lukas, M., Vasilev, A, Brunner,C. Schnitzer, H., 2010. Low pressure catalytic co-conversion of biogenic waste (rapeseed cake) and vegetable oil. *Bioresource Technology*, vol. 101, pp.3209-3219.
- 25- Caton, P.A., Carr, P.A., Kim, A.A., Bea utyman, M.J., 2010. Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: