Applied Research in Chemical - Polymer Engineering

Vol. 5, No.2
page 17-36 ,summer 2021

Potential assessment of non-edible sources for biodiesel production in Iran

Mahmoud Maleki[1], Sina Mohseni Roodbari[1], Mohammad Fakhroleslam[*,2], Ghasem Zarei[3]

1-Process Engineering Department, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2-Process Engineering Department, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3-Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract

Research subject: Iran is a country with high potentials for access to renewable energy sources such as solar, hydropower, wind, and biomass. Biodiesel is one of the renewable fuels that has always been proposed as a suitable and stable (non-toxic, safe, and degradable) alternative to fossil fuels.

Research approach: The experiences of different countries in the use of edible sources for biodiesel production shows that the use of edible sources has caused problems such as lack of food resources for human communities, lack of feed for livestock, and upsetting the balance in the food industry, and it can lead to a significant increase in the price of these resources. Therefore, many researchers have proposed the use of non-edible sources to address these problems. So far, very large non-edible sources for biodiesel production have been identified. In this paper, non-edible sources of biodiesel that are produced or have the potential to be produced in Iran are introduced and studied and a potential assessment study is presented for them.

Main results: In this work, the non-edible sources for biodiesel production are classified into four categories: agricultural waste, waste cooking oils, microalgae, and non-edible seeds. These sources are compared based on various parameters such as oil percentage, oil content per hectare, biodiesel production efficiency, viscosity, saponification number, and cultivation period, which according to the results, non-edible seeds, especially Nowruzak seeds, Castor, and safflower have been identified as the most rational and sustainable sources of biodiesel production in Iran. The present work also deals with the policies and incentives that the responsible institutions can apply for the prosperity of the biodiesel industry.

key words

Biodiesel

Non-edible sources

Oilseeds

Renewable fuels

Potential assessment

*To whom correspondence should be addressed:
fakhroleslam@modares.ac.ir

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

پژوهش های کاربردی
مهندسی شیمی- پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته ای
سال پنجم، شماره ۲، نسخه ۱
تابستان ۱۴۰۰ ، صفحه ۳۶-۱۷

پتانسیل‌سنجی منابع غیرخوراکی برای تولید بیودیزل در ایران

محمود ملکی[۱]، سینا محسنی رودباری[۱]، محمد فخرالاسلام*[۲]، قاسم زارعی[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فرایند، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲-نویسنده مسئول و استادیار، گروه فرایند، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳-دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیـــده

موضـــوع تحقیـــق: ایـران کشـوری بـا پتانسـیل‌های قابلیت‌هـای بـالا در دسترسـی بـه انرژی‌هـای تجدیدپذیـر هماننـد انـرژی خورشـیدی، آبـی، بـادی و انـواع زیسـت‌توده اسـت. بیودیـزل یکـی از سـوخت‌های تجدیدپذیـری اسـت کـه همـواره به‌عنـوان جایگزینـی مناسـب و پایـدار (غیرسـمی، ایمـن و تجزیه‌پذیـر) بـرای سـوخت‌های فسـیلی مطـرح شـده اسـت.

روش تحقیـــق: مـرور تجربـه کشـورهای مختلـف در زمینـه اسـتفاده از منابـع خوراکـی بـرای تولیـد بیودیـزل نشـان می‌دهـد کـه اسـتفاده از منابـع خوراکـی موجـب ایجـاد معضلاتـی از جملـه کمبـود منابـع غذایـی بـرای جوامـع انسـانی، کمبـود خـوراک دام‌هـا و بـر هـم خـوردن تـوازن در صنایـع غذایـی شـده و می‌توانـد منجـر بـه افزایـش چشـم‌گیر قیمـت ایـن منابـع شـود. بنابرایـن بسـیاری از محققـان و پژوهشـگران اسـتفاده از منابـع غیرخوراکـی را به‌منظـور رفـع معضـلات ذکرشـده، مطـرح کرده‌انـد. تاکنـون منابـع غیـر خوراکـی بسـیار گسـترده‌ای بـرای تولیـد بیودیـزل شناسـایی شـده اسـت.

نتایـج اصلـی: در ایـن مقالـه، منابـع غیرخوراکـی بیودیـزل کـه در ایـران تولیـد و یا پتانسـیل تولیـد آن‌هـا وجـود دارد، معرفـی شـده و مـورد بررسـی قـرار گرفتـه و یـک مطالعـه پتانسیل‌سـنجی بـرای آن‌هـا ارایـه شـده اسـت. در اینجـا منابـع غیرخوراکـی بیودیـزل در چهـار دسـته ضایعـات کشـاورزی، روغن‌هـای پسـماند پخت‌وپـز، ریزجلبک‌هـا و دانه‌هـای غیرخوراکـی دسـته‌بندی می‌شـوند و ایـن منابـع بـر اسـاس پارامترهـای مختلفـی همچـون درصـد روغـن موجـود، میـزان روغـن در هـر هکتـار، بـازده تولیـد بیودیـزل، گرانـروی، عـدد صابونـی شـدن و طـول دوره کشـت مقایسـه می‌شـود، کـه بـر اسـاس نتایـج بـه دسـت آمـده، دانه‌هـای غیرخوراکـی بـه خصـوص دانه‌هـای نـوروزک، کرچـک و گلرنـگ به‌عنـوان منطقی‌تریـن و پایدارتریـن منابـع تولیـد بیودیـزل در ایـران، شناسـایی شـده‌اند. همچنیـن در کار حاضـر بـه سیاسـت هـا و مشـوق‌هایی کـه نهادهـای متولـی می‌تواننـد بـا هـدف رونـق صنعـت بیودیـزل بـه کار بندنـد، پرداختـه شـده اسـت.

کلمـات کلیـدی

بیودیزل
منابع غیرخوراکی
دانه روغنی
سوخت تجدیدپذیر
پتانسیل‌سنجی

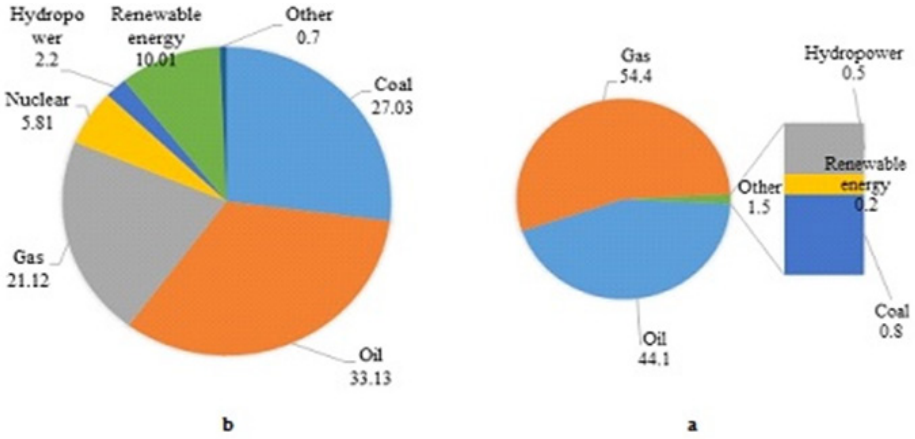
*مسئول مکاتبات:
fakhroleslam@modares.ac.ir

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

۱ مقدمه

انرژی، یکی از عوامل اساسی برای بهبود کیفیت زندگی و توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع بشری است. ایران کشوری نفت‌خیز در غرب آسیا با پتانسیل‌های بالا در زمینه سوخت‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر است، به‌طوری‌که مطابق گزارش سالیانه سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) در پایان سال ۲۰۱۸، این کشور یکی از بزرگ‌ترین منابع نفت و گاز جهان را در اختیار دارد. امروزه بخش عمده مصرف انرژی در ایران از سوخت‌های فسیلی هم‌چون زغال‌سنگ، نفت خام و گاز طبیعی تأمین می‌شود و اقتصاد کشور نیز به‌شدت وابسته به صادرات نفت خام و نوسانات قیمتی آن است. در شکل ۱ میزان استفاده از منابع مختلف انرژی در ایران و جهان مقایسه شده‌اند. در جهان، سهم انرژی‌های غیرفسیلی و تجدیدپذیر شامل انرژی‌های هسته‌ای، خورشیدی، بادی، آبی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده بیش از ۱۸/۷ درصد است؛ این میزان در ایران تنها ۰/۷ درصد است . این میزان اختلاف با میانگین سبد انرژی کشور در صورت استفاده کامل از منابع برق‌آبی وجود دارد. برای فائق آمدن بر این چالش‌ها، دو راهکار مطرح است: جایگزینی بخشی از سبد مصرف انرژی با انرژی‌های تجدیدپذیر یا حفظ منابع و صرفه‌جویی در مصرف انرژی. ایران کشوری با پتانسیل بالا بوده که توان و فناوری استفاده حداکثری از منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد، خورشید، امواج دریا، بیوگاز، بیودیزل و سایر منابع را دارا است [۳].

امروزه منابع اولیه سوخت زیستی در ایران به‌راحتی قابل‌کشت و در دسترس هستند. ایران پتانسیل بالایی برای کشت گیاهان سلولزی دارد و حدود ۷ درصد پوشش‌های مناطق جنگلی آن مناسب برای این‌گونه گیاهان است [۵]. یکی از این سوخت‌های پاک که ایران پتانسیل بالایی برای تجاری‌سازی و بهره‌مندی از آن دارد، بیودیزل به‌عنوان سوختی زیستی است. بیودیزل که از آلکیل استرهای چرب با زنجیر خطی طولانی تولید می‌شود، به‌عنوان سوخت تجدیدپذیر مورد استقبال قرارگرفته است [۶]. از منابع اولیه این



شکل ۱ ترکیب انرژی مصرفی در ایران (a) در مقایسه با ترکیب انرژی مصرفی در جهان (b) [۴]

Figure 1 The composition of energy consumption in Iran (a) compared to the composition of energy consumption in the world (b) [4]

مصرفی جهانی و وابستگی شدید ایران به منابع انرژی فسیلی، با مصرف سریع و تخریب بالای منابع طبیعی و زیرزمینی، تأثیرپذیری شدید از بازار جهانی نفت و گاز، افزایش میزان انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید، و تقابل با بحث تکامل پایدار سبد انرژی، توسعه پایدار کشور را با مشکل مواجه می‌کند. این در حالی است که به استناد گزارش شورای جهانی انرژی [۱]، ایران دارای پتانسیل‌های قابل توجهی در تابش خورشید (منطقه شهداد استان کرمان)، جریان شبانه‌روزی باد (منطقه میرجاوه استان سیستان و بلوچستان) و منابع پرانرژی زمین‌گرمایی (منطقه مشکین‌شهر استان اردبیل) است و بنا بر اعلام گزارش سالانه وزارت نیرو [۲]، پتانسیل تولید بیش از ۱۴ درصد برق مورد نیاز حال حاضر سوخت می‌توان به انواع روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی، تفاله‌های محصولات کشاورزی ازجمله نیشکر، غلات، سبزیجات و جلبک‌ها اشاره کرد. از مزایای بیودیزل عبارتند از: ۱) تجدیدپذیری منابع تولید، ۲) تولید کربن‌دی‌اکسید کمتر به میزان ۷۸ درصد نسبت به سوخت‌های فسیلی مرسوم، ۳) بیودیزل برخلاف سوخت‌های فسیلی، آلایندگی گوگردی و سولفاتی ندارد، ۴) از نشر آلودگی‌های هیدروکربنی به میزان ۵۶ درصد می‌کاهد، ۵) روانکاری بالاتر در موتور داشته و باعث دوام بیشتر قطعات موتور می‌شود، ۶) حدود ۹۴ درصد عوامل سرطان‌زا را کمتر به هوا وارد می‌کند و ۷) مونواکسید و ذرات دوده کمتری در هنگام سوختن تولید می‌کند [۷-۹].

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

زیست‌توده، ترکیبات آلی با زنجیره‌های بلند را نیز شامل می‌شوند. منابع زیست‌توده، شامل چهار دسته مواد ازجمله مواد سلولزی همچون بافت‌های چوبی، محصولاتی نظیر نیشکر و ذرت (دارای شکر و نشاسته)، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی و در نهایت جلبک‌ها هستند. برخی از این مواد به‌عنوان منابع اولیه برای تولید بیودیزل به‌کار می‌روند [۱۰-۱۲]. امروزه بیودیزل در جهان عمدتاً از روغن‌های کلزا [۱۳،۱۴]، پالم [۱۵،۱۶]، سویا [۱۷-۱۹] و آفتابگردان [۲۰-۲۲] به‌دست می‌آید. با توجه به تولید بیش از ۹۵ درصد بیودیزل از منابع خوراکی، ازنظر پژوهشگران و دولت‌مردان یکی از این نگرانی‌ها، تبدیل دانه‌های گیاهی خوراکی به بیودیزل است که در واقع تبدیل منابع غذایی انسان‌ها و حیوانات به سوخت بوده و این امر عامل عدم توازن بین منابع غذایی و انرژی است. درنهایت، عدم توازن منابع، موجب کمبود منابع غذایی و افزایش قیمت آن می‌شود.

هدف از این پژوهش معرفی منابع اولیه غیرخوراکی برای تولید بیودیزل است که در ایران قابلیت استفاده و تجاری‌سازی آن وجود دارد. همچنین پتانسیل‌سنجی منابع اولیه به‌ویژه دانه‌های روغنی غیرخوراکی که برای بیودیزل در ایران کشت می‌شود یا قابلیت کشت آن در کشور وجود دارد، از دیگر اهداف این مطالعه است. طبق بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش، چهار راهکار قابل‌اجرا برای تأمین منابع تولید بیودیزل در ایران ارائه شده‌اند. این چهار راهکار شامل استفاده از ضایعات کشاورزی، استفاده از پسماندهای روغن پخت‌وپز، استفاده از ریزجلبک‌ها و نیز دانه‌های روغنی غیرخوراکی هستند. مطالعات نشان می‌دهند ایران با توجه به پتانسیل‌های بالایی که در کشت دانه‌های روغنی غیرخوراکی و ریزجلبک‌ها به‌ویژه تحت منابع آب و خاک شور (شور ورزی) دارد، می‌تواند بدون آسیب به منابع خوراکی و غذایی خود، به تولید سوخت بیودیزل پایدار دست پیدا کند.

۲ بخش نظری

۲-۱ منابع تولید بیودیزل

عوامل مهم برای تعیین منبع اولیه بیودیزل شامل میزان لیپید، اسید چرب آزاد، رطوبت، قابلیت تولید، میزان در دسترس بودن و از همه مهم‌تر، هزینه تولید است. همچنین، هزینه منابع اولیه از فاکتورهای مهم در تعیین قیمت نهایی بیودیزل است [۲۳،۲۴]. مواد اولیه مورد استفاده در فرایند تولید می‌توانند از منابع گیاهی [۱۱،۲۵-۲۷]، حیوانی [۲۸-۳۰]، جلبک‌ها [۳۱-۳۳]، روغن‌های مصرف‌شده ناشی از پخت‌وپز [۳۴-۳۸] و یا قارچ‌ها [۲۴،۳۹،۴۰] باشند. منابع غیرخوراکی برای تولید بیودیزل را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد. دسته اول، دانه‌های روغنی غیرخوراکی بوده که دارای درصد روغن بیشتر، هزینه تمام‌شده کمتر و آسیب کمتر به محیط‌زیست است و در نهایت بیودیزل تولیدی نیز کیفیت بالاتری دارد. شایان گفتن است که این راهکار عیب‌هایی نیز دارد. برای مثال این مواد شامل مقدار قابل‌توجهی ناخالصی ازجمله اسیدهای چرب آزاد، رطوبت و واکنش‌دهنده‌ها هستندکه برای حذف آن‌ها نیاز به مراحل فرآوری اضافی قبل از تولید است. دسته دوم ضایعات و پسماندها است. این دسته شامل دو گروه ضایعات و زائدات کشاورزی و پسماند روغن‌های پخت‌وپز هستند و ویژگی مهم آن‌ها، قیمت بسیار پایین است که موجب می‌شود بیودیزل تولیدی ارزان و اقتصادی بوده و بتواند با سوخت‌های فسیلی رقابت کند. در میان منابع غیرخوراکی، می‌توان باقی‌مانده (ضایعات و زائدات) محصولات کشاورزی و بیولوژیکی را بیشتر مورد توجه قرار داد؛ زیرا هم ارزان‌قیمت بوده و هم به میزان فراوان و به‌راحتی در دسترس هستند [۴۱]. دسته سوم که اخیراً مورد توجه محققان نیز قرارگرفته، استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع اولیه تولید بیودیزل است.

۲-۲ دانه‌های غیرخوراکی

دانه‌های غیرخوراکی ازلحاظ اقتصادی و محیط زیستی نقش مهمی در تولید بیودیزل دارند. استفاده از دانه‌های غیرخوراکی به‌جای دانه‌های خوراکی در تولید بیودیزل، موجب حفظ منابع غذایی و ایجاد تعادل بین منابع اولیه تولید انرژی و منابع غذایی می‌شود. کشت برخی از این دانه‌ها هم‌چون سالیکورنیا، علاوه بر تولید بیودیزل می‌توانند به‌منظور بیابان‌زدایی و حفظ محیط‌زیست نیز مورداستفاده قرار گیرد؛ به‌ویژه این که چنین گیاهانی تحت منابع آب نسبتاً شور و خاک شور نیز رشد و محصول‌دهی دارند.

دانه کرچک: در دهه‌های اخیر، پژوهشگران زیادی [۴۲-۴۴] روی استفاده از روغن دانه کرچک (Castor Bean) برای تولید بیودیزل تحقیق کرده‌اند. این گیاه برای رشد و محصول‌دهی به مراقبت‌های خاصی نیاز ندارد و از دسته گیاهان مقاوم محسوب می‌شود [۴۵]. دانه‌های این گیاه بین ۴۶ تا ۵۵ درصد روغن داشته و استفاده از آن به‌عنوان منبع اولیه تولید بیودیزل برای صنایع غذایی نیز مشکلی ایجاد نمی‌کند. آمارها نشان می‌دهند که می‌توان از هر هکتار تحت کشت این گیاه، بیش از ۱۱۸۸ کیلوگرم روغن خام تولید نمود که درنهایت به ازای هر هکتار، ۵۰۰ لیتر بیودیزل تولید می‌شود [۴۶]. بیودیزل تولیدی از روغن کرچک به‌مراتب هزینه کمتری نسبت به دانه‌های دیگر دارد و این به دلیل حلالیت بالای آن در الکل‌ها است که امکان تولید در دمای اتاق را نیز

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

شکل ۲ تصاویری از گیاه کرچک (چپ)، دانه کرچک (وسط) و بیودیزل تولیدی از روغن کرچک (راست) [۴۷]
Figure 2 Images of castor plant (left), castor seed (middle) and biodiesel produced from castor oil (right) [47]

فراهم می‌آورد. همچنین شایان گفتن است، گرانروی بیودیزل تولیدی از این روغن (۱۳/۷۵ (mm^2/s) است که نسبت به استانداردها بالا بوده و ممکن است استفاده از آن به‌تنهایی در موتورهای دیزل، مشکلاتی را ایجاد کند. تصاویری از گیاه کرچک و دانه آن و نیز بیودیزل تولیدی از روغن مستخرج از دانه کرچک در شکل ۲ نمایش داده شده است.

کتان کش: کتان کش (Camelina Sativa)، یکی دیگر از گیاهانی است که می‌توان برای تولید بیودیزل استفاده کرد. پژوهشگران [۴۸،۴۹] زیادی استفاده از دانه کتان کش را برای تولید بیودیزل پیشنهاد کرده‌اند. حسینی و همکاران [۵۰] در سال ۲۰۱۸ تأثیر بیودیزل تولیدی از این دانه را بر میزان کارایی و گازهای خروجی از موتور دیزل بررسی کردند، آن‌ها درصد خلوص بیودیزل تولیدی را ۹۸/۹۱ درصد گزارش کردند. در هر هکتار زمین زیر کشت، می‌توان نزدیک به یک تن کتان کش برداشت کرد [۵۱]. دوره رشد این گیاه حدود ۸۵ تا ۱۰۰ روز است. همچنین، نزدیک به ۵۰ درصد وزن دانه‌های این گیاه را روغن تشکیل می‌دهد که در بین دانه‌های غیرخوراکی، یک‌دانه جذاب برای تولید بیودیزل محسوب می‌شود. در شکل ۳ تصاویری از گیاه، دانه کتان کش و بیودیزل تولیدی از روغن مستخرج از دانه کتان کش قابل مشاهده است.

دانه بزرک: روغن دانه بزرک (Linseed) از لحاظ خواص شیمیایی، فیزیکی و اسیدهای چرب بسیار شبیه به روغن سویا بوده با این تفاوت که دانه و روغن سویا در صنایع غذایی کاربرد فراوان داشته اما دانه بزرک عموماً مصارف غیرخوراکی دارد. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهند، از هر هکتار زمین زیر کشت این گیاه به‌طور میانگین ۴۰۲ کیلوگرم روغن قابل‌تولید است [۵۲]. از سال ۲۰۰۰ به بعد پژوهشگران مختلفی، از جمله [۴۹،۵۲،۵۳]، استفاده از دانه بزرک برای تولید بیودیزل را پیشنهاد کرده‌اند. در سال ۲۰۱۸ نیز طاهرخانی و صدرعاملی [۵۴] مطالعات خود را با هدف بررسی فرایند تولید بیودیزل از دانه غیرخوراکی بزرک به روش استری شدن ترانس مستقیم و با استفاده از متانول به‌عنوان حلال و تتراهیدروفوران به‌عنوان حلال کمکی، انجام دادند. در این پژوهش و در شرایط بهینه، حداکثر مقدار متیل استر ۹۳/۱۵ درصد به دست آمد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد دانه بزرک به دلایلی هم‌چون داشتن روغن زیاد، اسیدهای چرب اشباع‌نشده زیاد، غیرخوراکی بودن و قیمت پایین‌تر نسبت به سایر دانه‌های روغنی، دارای اهمیت و کاربرد بالایی برای تولید بیودیزل است. تصاویری از گیاه بزرک و دانه آن و نیز بیودیزل تولیدی از روغن مستخرج از دانه بزرک در شکل ۴ نمایش داده شده است.

شکل ۳ تصاویری از گیاه کتان کش (چپ)، دانه کتان کش (وسط) و بیودیزل تولیدی از روغن کتان کش (راست) [۵۰]
Figure 3 Images of camelina Sativa (left), camelina Sativa seed (middle) and biodiesel produced from camelina Sativa oil (right) [50]

سالیکورنیا: اصولاً گیاه سالیکورنیا (Salicornia) در زمین‌های شور، نمکزارها، تالاب‌ها و در کنار دریاچه‌ها رشد می‌کند. سالیکورنیا دارای نزدیک به ۳۷/۹ درصد اسیدهای چرب، به‌ویژه C11:1 و C18:12 است [۵۵]. گرچه این گیاه نیز بومی ایران نیست؛ اما وزارت جهاد کشاورزی و سازمان حفاظت از محیط‌زیست

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

شکل ۴ تصاویری از گیاه بزرک (چپ)، دانه بزرک (وسط) و بیودیزل تولیدی از روغن دانه بزرک (راست) [۴۷]
Figure 4 Images of Linseed plant (left), Linseed (middle) and biodiesel produced from flaxseed oil (right) [47]

به‌منظور بیابان‌زدایی و مقابله با ریزگردها، هم‌اکنون در حاشیه دریاچه ارومیه نزدیک به ۳۰ هکتار و در جنوب کشور به‌ویژه در استان‌های هرمزگان، بوشهر، کرمان، سیستان و بلوچستان و خوزستان میزان ۱۵۰ هکتار از اراضی را به کشت این گیاه اختصاص داده است. شایان گفتن است که از هر هکتار زمین زیر کشت این گیاه، مقدار ۱۷ تا ۲۶ تن محصول تولید می‌شود [۵۶]. از سوی دیگر روغن این گیاه به‌دلیل میزان زیاد ساپونین موجود در آن، قابل‌استفاده به‌عنوان منبع غذایی و خوراکی نیست. بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان منبع مناسب غیرخوراکی برای تولید بیودیزل پیشنهاد کرد [۵۷،۵۸].

دانه گلرنگ: دانه گلرنگ (Safflower) (گل خشت) یکی از منابع مناسب و غیرخوراکی تولید بیودیزل است. نقاط ریزش و ابری شدن، نشان می‌دهند که بیودیزل حاصل از روغن گلرنگ مناسب برای مناطق سردسیر است. تصاویری از گیاه، دانه و بیودیزل تولیدی از دانه گلرنگ در شکل ۵ نشان داده شده است.

آلوئه ورا: آلوئه ورا (Aloe Vera) گیاهی است که در ایران بانام صبر زرد طبی هم شناخته می‌شود. این گیاه عمدتاً در مناطق گرم رشد می‌کند و خواص غذایی، دارویی و آرایشی دارد. سال ۱۳۹۲ تنها در استان هرمزگان بیش از ۱۱۴ هکتار زمین جهت کشت آلوئه‌ورا مورد بهره‌برداری قرار گرفته و به ازای هر هکتار بیش از ۱۰۰ تن برگ آلوئه‌ورا برداشت شد [۶۲]. مطابق گزارش‌های رسمی، میزان برداشت گیاه آلوئه ورا برای مصارف دارویی در استان اصفهان نیز ۳۵ تن گزارش شده است [۶۳]. از ویژگی‌های روغن این

شکل ۵ تصاویری از گیاه گلرنگ (چپ)، دانه گلرنگ (وسط) و بیودیزل تولیدی از روغن دانه گلرنگ (راست) [۴۷]
Figure 5 Images of safflower plant (left), safflower seed (middle) and biodiesel produced from safflower seed oil (right) [47]

دانه-های این گیاه حاوی بیش از ۴۵ درصد روغن است. این روغن دارای گرانروی مناسب بوده و همانند سویا و آفتابگردان برای تولید بیودیزل قابل‌استفاده است. این گیاه می‌تواند در هر هکتار ۶۵۳ کیلوگرم روغن تولید کند [۵۹]. پژوهشگران زیادی [۱۳،۲۱،۴۱،۶۰] استفاده از دانه گلرنگ را برای تولید بیودیزل مورد ارزیابی قرار دادند. تحویلداری و همکاران [۶۱] نیز از روغن گلرنگ برای تولید بیودیزل استفاده کردند. در این مطالعه تأثیر نسبت الکل به روغن و غلظت کاتالیزور موردبررسی قرار گرفت. مشاهدات این پژوهش نشان داد روغن گلرنگ حاوی بیش از ۷۵ درصد اسید لینولئیک است. همچنین، اسیدهای چرب اشباع‌نشده به بهبود نقطه ریزش و ابری شدن بیودیزل تولیدی کمک می‌کنند. درنهایت آن‌ها بیان کردند که مقادیر گیاه می‌توان به گرانروی اندک و دارا بودن بیش از ۸۷ درصد اسیدهای چرب اشباع‌شده اشاره نمود [۶۴].

گل سپیده: به‌عنوان یکی دیگر از منابع غیرخوراکی برای تولید بیودیزل که پژوهشگران [۶۵،۶۶] مورد مطالعه قرار داده‌اند، می‌توان از گل سپیده (Crambe) نام برد. این گیاه که به‌صورت خودرو وجود دارد و حتی آن را در زمین‌های کشت گندم به‌عنوان علف هرز می‌شناسند. تاوارس و همکاران گزارش کردند در هر هکتار زمین تحت کشت گیاه سپیده می‌توان ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوگرم روغن استخراج کرد [۶۶]. این گیاه اسیدهای چرب آزاد کمی دارد. امکان کاشت این گیاه در مناطق خشک و کم‌آبی نظیر ایران فراهم است. همچنین، بیودیزل تولیدی از آن عموماً برای کاربردهای روان‌کاری قابل‌استفاده است [۶۷،۶۸].

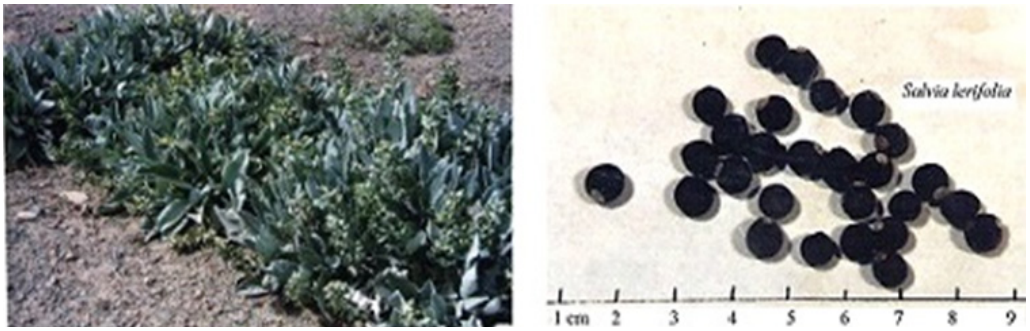
[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

کنگـر فرنگـی: کنگـر فرنگـی (Artichoke) عموماً متعلـق بـه مناطـق غربـی و مرکـزی حـوزۀ مدیترانـه اسـت؛ امـا در مناطـق نیمه‌خشـک ایـران هماننـد غـرب و دامنه‌هـای زاگـرس نیـز یافـت می‌شـود. در سـال ۱۳۹۶ تنهـا در چهـار شهرسـتان اصفهـان، آبیـک، ارسـجان و نهاونـد بیـش از ۲۵۰ تـن کنگـر از بیـش از ۷ هکتـار زمیـن تحـت کشـت برداشـت شـد [۶۳]. ایـن گیـاه کـه توانایـی رشـد بالایـی دارد، دارای هزینه‌هـای تولیـد بسـیار انـدک اسـت. کنگـر فرنگـی بـه شـرایط آب و هوایـی سـرد بسـیار مقـاوم بـوده و ویژگی‌هـای فیزیکـی بیودیـزل تولیـدی از روغـن ایـن گیـاه عمومـاً شـبیه بـه روغـن آفتابگـردان اسـت. لازم بـه ذکـر اسـت کـه ایـن گیـاه فقـط دارای ۲۵ درصـد روغـن اسـت؛ امـا می‌تـوان آن را به‌عنـوان یکـی از منابـع غیرخوراکـی مناسـب بـرای تهیـه بیودیـزل بررسـی کـرد [۶۹].

گل همیشـــه‌بهار: گل همیشـه‌بهار (Calendula Officinalis) نیـز پتانسـیل اسـتفاده به‌عنـوان یـک منبـع غیرخوراکـی پایـدار بـرای تولیـد بیودیـزل را دارد. ایـن گیـاه در اسـتان کهکیلویـه و بویراحمـد و عمومـاً در ارتفاعـات ایـن اسـتان به‌صـورت خـودرو می‌رویـد. همچنیـن به‌صـورت کاشـت در اسـتان‌های اصفهـان، مازنـدران، فـارس، همـدان و چهارمحـال و بختیـاری و در سـطح زیـر کشـت بیـش از ۲۳ هکتـار، کشـت می‌شـود [۷۰]. به‌طورکلـی از هـر هکتـار زمیـن زیـر کشـت ایـن گیـاه حـدود ۲۵۶ کیلوگـرم روغـن به دسـت می‌آیـد [۷۱].

نـوروزک: بیـش از پنجـاه گونـه گیاهـی از جنـس سـلیوا وجـود دارد کـه هفـده گونـه آن بومـی ایـران هسـتند. یکـی از آن‌هـا نـوروزک (Salvia Lerifolia) بـوده کـه از خانـواده نعنائیـان (Lamiaceae) اسـت. عواملـی همچـون سـازگاری بـا انـواع خاک‌هـای بی‌کیفیـت بـا مقادیـر بـالای نمـک، قابلیـت تحمـل شـرایط آب‌وهوایـی سـخت و مقاومـت در برابـر خشـکی، موجـب گسـترش اسـتفاده از ایـن گیـاه بـرای اهـداف بیابان‌زدایـی شـده اسـت [۱۸،۷۲،۷۳]. به‌طـور میانگیـن گیـاه نـوروزک دارای ۵۰ تـا ۵۶ درصـد چربـی اسـت. همچنیـن می‌تـوان سـالیانه بیـش از ۳۳۴۸ لیتـر در هـر هکتـار روغـن نـوروزک اسـتخراج کـرد [۷۴]. بنابرایـن، ایـن گیـاه به‌عنـوان منبـع غیرخوراکـی بـا تـوان بـالا بـرای تولیـد بیودیـزل معرفـی می‌شـود [۷۳،۷۴]. همچنیـن، از مزایـای روغـن نـوروزک می‌تـوان بـه محتـوای پاییـن اسـید چـرب آزاد آن (کمتـر از ۱ درصـد وزنـی) اشـاره کـرد کـه ایـن عامـل از ایجـاد فراینـد صابونی‌شـدن در هنـگام اسـتفاده از کاتالیـزور پایـه همگـن در واکنش‌هـای اسـتری شـدن ترانـس جلوگیـری می‌کنـد [۷۲]. تصاویـری از گیـاه نـوروزک و دانـه آن در شـکل ۶ نمایـش داده شـده اسـت. بـا توجـه بـه مزایـای مختلـف بیان‌شـده، نـوروزک یکـی از دانه‌هایـی اسـت کـه مـورد مطالعـه محققـان زیـادی [۱۸،۵۰،۷۲] قرارگرفتـه اسـت. حاجی‌نـژاد و همـکاران [۷۳] امکان‌سـنجی تولیـد بیودیـزل بـه روش اسـتری شـدن ترانـس بـا اسـتفاده از روغـن نـوروزک را بررسـی کرده‌انـد. آن‌هـا گـزارش کردنـد کـه ویژگی‌هـای سـوخت تولیـدی از نـوروزک بـا اسـتانداردهای EN ۱۴۲۱۴ مطابقـت داشـته و روغـن نـوروزک گزینـه مناسـبی بـرای تولیـد بیودیزل اسـت.

اســتبرق: اسـتبرق (Calotropis Procera) گونـه دیگـری از گیاهـان غیرخوراکـی مـورد مطالعـه بـرای تولیـد بیودیـزل



شکل ۶ تصاویری از گیاه نوروزک (چپ) و دانه آن (راست) [۷۳]
Figure 6 Image of Salvia Lerifolia plant (left) and its seeds (right) [73]

اسـت. مقاومـت بـالا در برابـر خشـکی و خشک‌سـالی، رویـش بـر روی سـنگ‌های اشـباع از سـدیم و در حاشـیه سـواحل دریاهایـی بـا آب‌شـور از خـواص ایـن گونـه گیاهـی اسـت [۷۵،۷۶]. همچنیـن بـا توجـه بـه شـرایط آب و هوایـی و اقلیمـی رشـد ایـن گیـاه، می‌تـوان ۲ تـا ۴۰ تـن گیـاه خشـک از هـر هکتـار زمیـن برداشـت نمـود. بیودیـزل به‌دسـت‌آمده از ایـن گیـاه، عـاری از گازهـای SO_2 ، NOX و هرگونـه ذرات معلـق اسـت [۷۵،۷۷]. بـا توجـه بـه مطالعـات صـورت گرفتـه، میـزان روغـن ایـن گیـاه در شـرایط اقلیمـی خـاص، ۲۶ درصـد تعیین‌شـده اسـت [۷۸].

بامیـه: بامیـه (Okra) یـک گیـاه بومـی کشـور ایـران بـوده کـه دانـه آن یـک منبـع غنـی از روغـن و پروتئیـن اسـت. ایـن گیـاه می‌توانـد شـرایط نامطلـوب محیطـی ماننـد خشـکی و شـوری را تحمـل کنـد. از سـوی دیگـر، مقـدار بـالای روغـن موجـود در بـذر آن، بامیـه را بـه منبـع مناسـب بـرای تولیـد بیودیـزل تبدیـل کـرده اسـت. نتایـج حاصـل از مطالعـات نشـان داده اسـت بـذر بامیـه حـاوی ۲۱/۷۲ درصـد

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

روغن خام است که خواصی شبیه به روغن کتان دارد. همچنین، بامیه بومی ایران قابلیت تولید روغن خام به میزان ۳۲۵ کیلوگرم در هر هکتار را دارد. طبق آخرین گزارش‌های رسمی، مساحت زیرکشت بامیه در ایران حدود ۱۰۳۸ هکتار است. بذر بامیه بومی ایران بیشتر از اسیدهای چربی همچون اسید لینولئیک (C۱۸:۲)، اسید پالمیتیک (C۱۶:۰) و اولئیک اسید (C۱۸:۱) تشکیل شده است که نشان‌دهنده پتانسیل خوب بامیه به‌عنوان منبع اولیه برای تولید بیودیزل است [۷۹]. موسوی و همکاران [۷۹] در سال ۲۰۱۸ به مطالعه پیرامون تولید بیودیزل از بامیه پرداختند. بر اساس این پژوهش، گیاه بامیه دارای ۲۰ درصد روغن بوده و می‌توان با کشت آن در هر هکتار تا ۳۲۵ کیلوگرم روغن بامیه تولید کرد. آن‌ها در این مطالعه گزارش کردند که بیودیزل تولیدی از روغن بامیه دارای خلوص ۹۶ درصد است. تصاویری از گیاه، دانه و بیودیزل تولیدی از دانه بامیه در شکل ۷ قابل مشاهده است.

ویژگی‌های ۱۲ دانه روغنی غیرخوراکی که هم‌اکنون در ایران کشت شده و یا قابلیت کشت آن‌ها در ایران وجود دارد، در جدول ۱ آورده شده است.

از تولید غلات ۰/۸۶درصد و از پسماند غلات ۰/۹ درصد است درصورتی‌که این میزان برای سایر کشورها در تولید ۲/۲ درصد و پسماند ۲/۳ درصد است [۸۲]. با توجه به میزان بالای پسماندهای کشاورزی در ایران، استفاده از این منابع به‌عنوان منابع اولیه غیرخوراکی برای تولید بیودیزل از اهمیت بالایی برخوردار بوده، لذا دولت باید به آن توجه جدی داشته باشد. با مدیریت پسماند کشاورزی می‌توان سهم خوبی از این منابع را به تولید انرژی در ایران اختصاص داد که خود نیازمند گسترش تحقیق و توسعه و ایجاد زیرساخت‌های لازم در این زمینه است. شکل ۸ میزان باقی‌مانده محصولات زراعی و غلات در ایران و ۱۰ کشور پیشرو در تولید سوخت‌های زیستی و میزان استفاده از آن‌ها در تولید بیودیزل را نشان می‌دهد.

یکی دیگر از پسماندهایی که می‌تواند پتانسیل بالایی برای تولید بیودیزل داشته باشد، پسماند روغن‌های پخت‌وپز است. آمارها نشان می‌دهد، از ۱/۵ میلیون تن روغن خوراکی پخت‌وپز، حدود ۲۰ درصد آن پسماند است [۳۶،۸۳]. شکل ۱ نشان‌دهنده مقایسه‌ای بین منابع سوخت‌های فسیلی و تجدیدپذیر در ایران است که هم‌چنان میزان منابع تجدیدپذیر کم بوده

شکل ۷ تصاویر گیاه بامیه (چپ)، دانه بامیه (وسط) و بیودیزل تولید شده از روغن بامیه (راست) [۷۹]

Figure 7 Image of okra plant (left), okra seeds (middle) and biodiesel produced from okra oil (right) [79]

۲-۳ ضایعات و پسماندها

سالانه در حدود ۴ میلیارد تن موادغذایی در جهان تولید می‌شود که از این مقدار حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد در اثر شرایط و روش‌های نامناسب برداشت، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، توزیع و مصرف، از بین می‌رود. در ایران نیز از حدود ۱۰۰ میلیون تن انواع محصولات کشاورزی تولید شده، به‌طور میانگین بیش از ۱۶ میلیون تن از آن‌ها به‌صورت ضایعات از چرخه مصرف خارج می‌شود. این مقدار ضایعات معادل محصولات تولید شده در سطحی معادل یک میلیون هکتار (۱۲ درصد سطح زیرکشت محصولات آبی) اراضی کشور است [۸۱].

سالانه در ایران چندین میلیون تن محصولات باقیمانده (Residue) (ضایعات و زائدات کشاورزی) تولید می‌شود و همین مورد موجب افزایش ضایعات کشاورزی شده است؛ البته بیشتر آن‌ها سوزانده می‌شوند [۸۲]. مطابق آمار رسمی، در حدود ۱۷ تا ۲۰ درصد محصولات کشاورزی کشور به پسماند تبدیل می‌شوند. سهم جهانی ایران و تولید بیودیزل با مواد غیرخوراکی مانند ضایعات کشاورزی می‌تواند این میزان را افزایش دهد [۴،۸۲]. محمدشیرازی و همکاران [۳۸] در سال ۲۰۱۴ مطالعات روی روغن پسماند حاصل از پخت‌وپز را باهدف تجزیه‌وتحلیل اقتصادی و انرژی حاصل از تولید بیودیزل را آغاز کردند. مشاهدات نشان دادند روغن پخت‌وپز بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را دارد. با توجه به تجزیه‌وتحلیل اقتصادی فرایند تولید بیودیزل از پسماند روغن های پخت و پز، شاخص نسبت سود به هزینه برابر ۲/۰۸۱ بود. همچنین میانگین بازده خالص و بهره‌وری حاصل از بیودیزل تولیدی به‌ترتیب ۱/۲۸۹ دلار بر لیتر معادل ۰/۹۴۶ دلار بر کیلوگرم بودند که این نشان‌دهنده پتانسیل بالای پسماند روغن‌های پخت‌وپز برای تولید بیودیزل است.

۲-۴ ریزجلبک‌ها

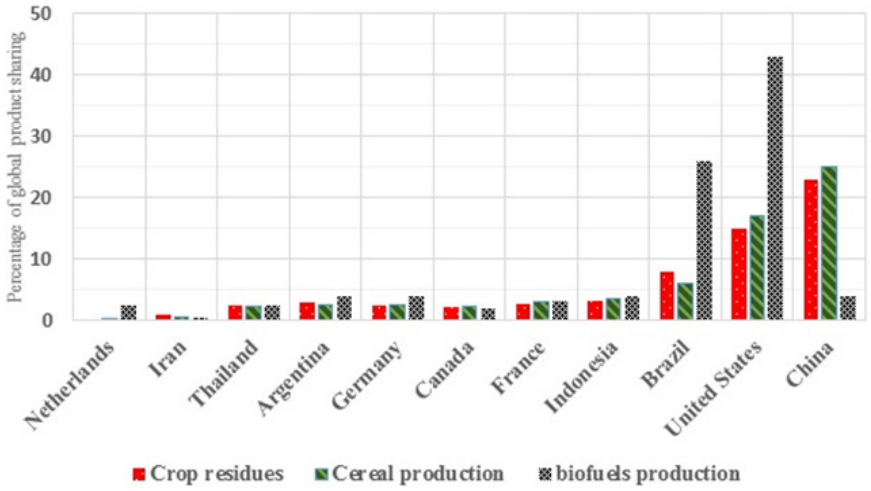
جلبک‌ها، اندام‌واره‌هایی مانند گیاهان بوده که فتوسنتز

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

جدول ۱ مقایسه دانه‌های غیرخوراکی بیودیزل
Table 1 Comparison of non-edible biodiesel seeds

Product	Percentage of available oil (percentage)	Major type of oil	Soap Number (mg KOH / g)	Oil viscosity (mm2 / s)	Spring planting period (days)	Specific weight of oil at 60 degrees Fahrenheit (kg / l)	Oil yield per hectare (Kg Oil / ha)	Cultivation area (ha)	Some areas are cultivated or have cultivation potential	Sulfur (percentage)	Biodiesel efficiency of oil (percentage)
Castor	46-55	Ricinoleic acid	176-187	297	140-190	0.926	1188	cultivation potential	West Azerbaijan, Hamedan, Semnan	0.0119	92-94 [47]
Camelina Sativa	~50	Linoleic acid alpha-Linolenic acid	185-194	33	90-120	0.912	490	35	Qazvin, Chaharmahal and Bakhtiari, Bushehr, Fars, Kermanshah	0.0089	50 <[59]
Linseed	35-45	Linoleic acid	180-196	27.7	90-150	0.873	402	cultivation potential	Wet areas of the north of the country	0.003	85-89 [47]
Salicornia	37.9	alpha-Linolenic acid Unsaturated fat	178-189	31.6	200-215	0.905	600	180	Hormozgan, Bushehr, Kerman, Sistan and Baluchestan, West Azerbaijan	-	45-55 [56]
Safflower	~45	C 18:30 Oleic acid	186-203	31.3	100-150	0.882	653	15038	Almost all parts of the country	0.000332	86 [47]
Aloe Vera	20-22	Folate	220-260	~25	180	1.2	4500	115000	Almost all parts of the country	-	-
Crambe	30-51	Erucic acid	160-175	53.6	-	0.9	589	Mostly self-grown	Dry and waterlogged areas	-	70-85 [66]
Artichoke	~25	Oleic acid alpha-Linolenic acid	194	95.2	240-270	0.916	530	7	Western regions of the country, Isfahan, Hamedan, Qazvin	-	79 [80]
Calendula Officinalis	~35	Phenolic acid	116.8	-	90-100	-	256	23	Isfahan, Mazandaran, Fars	-	50 <[59]
Salvia Lerifolia	50-56	alpha-Linolenic acid Oleic acid	160	34	160	0.905	3348	Mostly self-grown	South Khorasan, Semnan, Isfahan, Fars, Chaharmahal and Bakhtiari	-	86-97 [73]
Calotropis Procera	~ 21-26	alpha-Linolenic acid Oleic acid	196	36.58	120-130	0.912	-	Mostly self-grown	South Khorasan, Sistan and Baluchestan, South Kerman, Hormozgan, Fars, Khuzestan, Bushehr	-	-
Okra	~2.2	alpha-Linolenic acid Palmitic acid Oleic acid	183-196	2.3	60	0.547	325	1038	Khuzestan, Isfahan, Khorasan	-	90-93 [79]



شکل ۸ سهم باقی‌مانده محصولات زراعی، تولید غلات و تولید سوخت‌های زیستی در ایران و ۱۰ کشور برتر تولیدکننده سوخت زیستی در جهان [۸۲]
Figure 8 The share of crop residues, cereal production, and biofuels production in Iran and the top 10 biofuel producers in the world [82]

می‌کنند و بر اساس اندازه و مورفولوژی به دودسته اصلی جلبک‌های دریایی و ریزجلبک طبقه‌بندی می‌شوند. مطالعات روی آن‌ها از سال ۱۹۷۰ آغازشده؛ اما هزینه و محدودیت‌های فنی مانع از گسترش آن‌ها شد. امروزه مطالعات روی این مواد به‌عنوان خوراک بیودیزل توسعه‌یافته است. برخلاف سایر محصولات، جلبک‌ها به‌سرعت رشد کرده و اغلب آن‌ها غنی از روغن هستند. معمولاً میزان روغن آن‌ها بین ۱۵ تا ۷۵ درصد وزن زیست‌توده خشک است [۸۴]. بیودیزل تولیدی از ریزجلبک‌ها می‌توانند تا بیش از ۹۰ درصد بازده و خلوص را دارا باشند. ریزجلبک‌ها می‌توانند تا ۲۵۰ برابر سویا در یک هکتار تولید بیودیزل داشته باشند [۸۵]. طبق آمارها در سال ۱۳۹۴، برای جایگزینی کل دیزل مصرفی ایران با بیودیزل، به ۳۶/۵ میلیون مترمکعب بیودیزل نیاز بوده است [۸۶]. استفاده از محصولات زراعی خوراکی، پسماند روغن‌های پخت‌وپز [۸،۸۷]، ضایعات کشاورزی و چربی حیوانات، قادر به پاسخگویی به این میزان نیاز نیستند. با استفاده از میکروجلبک‌ها این راهکار تا حد زیادی تغییر کرده تا جایی که اختصاص ۰/۰۸ تا ۰/۱۹ درصد از کل زمین‌های زراعی کشور به کشت جلبک، می‌تواند بخش قابل توجهی از نیاز بیودیزل کشور (تا ۵۰ درصد) را برآورده سازد [۸۴]. در جدول ۲ داده‌های مقایسه‌ای بین دو نوع ریزجلبک به عنوان دو منبع خوراک مختلف و مساحت موردنیاز برای کشت آن‌ها همراه با میزان بازدهی برای تولید ۵۰ درصد بیودیزل مورد نیاز ایران، ارائه‌شده است.

۳ نتایج و بحث

۳-۱ پتانسیل‌سنجی منابع غیرخوراکی

برای ارزیابی و پتانسیل‌سنجی دانه‌های روغنی و سایر منابع غیرخوراکی چندین پارامتر مهم وجود دارند. اولین پارامتر اثرگذار، درصد روغن موجود در دانه‌های روغنی است. هر چه این درصد بالاتر باشد، دست‌یابی آسان‌تر و ارزان‌تر به منابع اولیه، بیشتر است.
همان‌گونه که انتظار می‌رود، میزان روغن در دانه‌های روغنی غیرخوراکی متفاوت است که می‌تواند یکی از معیارهای مناسب برای انتخاب نوع دانه غیرخوراکی برای کشت و تولید بیودیزل محسوب شود. البته این معیار در کنار معیارهای دیگری مانند بازده بیودیزل تولیدی، بازدهی روغن در هر هکتار، عدد صابونی‌شدن (جهت تعیین سهولت جداسازی بیودیزل تولیدی)، گرانروی و طول دوره کشت معتبر بوده و منجر به ارائه

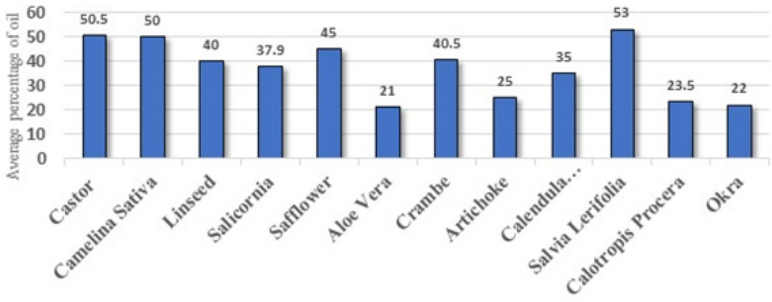
جدول ۲ مقایسه دو نوع ریزجلبک به‌عنوان منبع تولید بیودیزل در ایران [۸۴]
Table 2 Comparison of two types of microalgae as a source of biodiesel production in Iran [84]

Product	Oil Yield[1] (liter per hectare)	Land area required to produce %50 of the country›s biodiesel	Percentage of land required to produce %50 of the country›s biodiesel required from all of Iran›s arable land
Microalgae (type one)[2]	136900	0.13	0.08
Microalgae (type two)[3]	58700	0.31	0.18

1 Oil yield based on biomass productivity in photo bioreactor; 2 70% (by weight) of oil in biomass; 3 30% (by weight) of oil in biomass

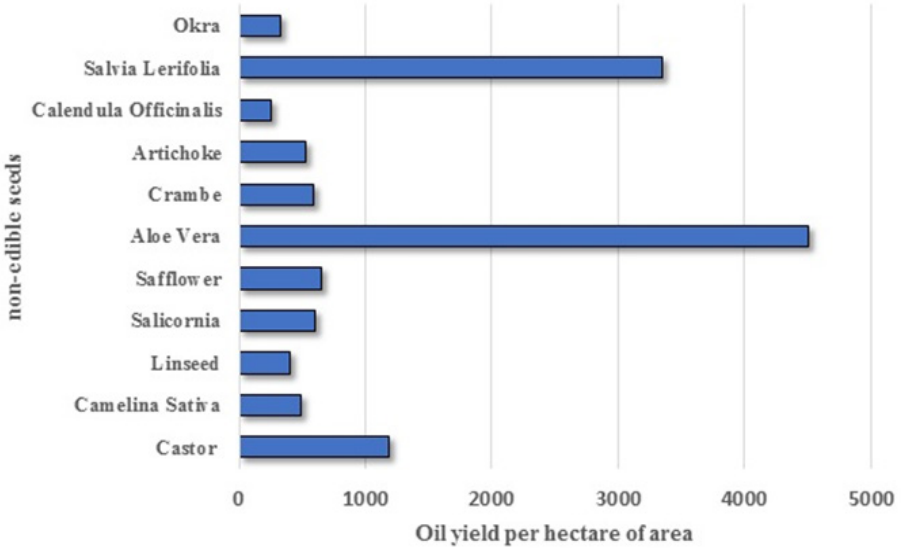
[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

دیدگاه جامعی برای تولید بیودیزل می‌شود. دانه‌های مختلف با توجه به ساختار و بافت آن‌ها، درصدهای روغن متفاوتی دارند. با توجه به شکل ۹ برخی دانه‌ها همچون کرچک، کتان کش و نوروزک دارای ۵۰ درصد یا بیش‌تر روغن بوده که از این لحاظ نسبت به سایر دانه‌ها مناسب‌تر هستند. همچنین برخی دانه‌ها همانند بزرک، سالیکورنیا، گلرنگ، گل سپیده و گل همیشه‌بهار نیز دارای درصد روغن مناسبی هستند. همان‌گونه که بیان شد، بررسی درصد روغن موجود در دانه به‌تنهایی نمی‌تواند تعیین‌کننده پتانسیل دانه در این شکل مشاهده می‌شود، منابعی همچون آلوئه‌ورا و دانه‌های نوروزک و کرچک دارای بازدهی روغن بالایی در هر هکتار هستند. در این میان، گیاهان دیگری مانند گلرنگ، سالیکورنیا، گل سپیده و بزرک نیز دارای بازدهی مناسبی برای کشت و استخراج روغن هستند. شایان گفتن است که گیاه آلوئه‌ورا دارای میزان بازدهی بالایی بوده اما مشکلات این گیاه در تولید بیودیزل مانند عدد صابونی‌شدن بالا موجب شده تا استقبال از این گیاه نسبت به سایر منابع تولید بیودیزل، کاهش یابد.



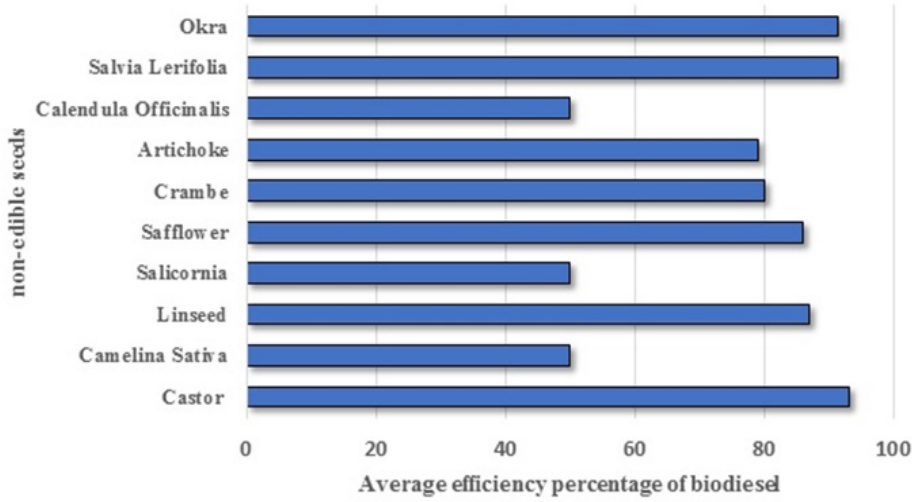
شکل ۹ میانگین درصد روغن موجود در دانه‌های مختلف گیاهان غیرخوراکی
Figure 9 Average percentage of oil in different seeds of non-edible plants

غیرخوراکی باشد. تمایل نداشتن دولت و کشاورزان به اختصاص زمین‌های زراعی جهت کشت دانه‌های غیرخوراکی موجب می‌شود تا کشت گیاهان غیرخوراکی که در سطح کمتر، میزان روغن بیشتری از آن‌ها استخراج می‌شود، پراهمیت‌تر جلوه کنند. به همین دلیل، میزان بازدهی روغن در هر هکتار به‌عنوان دومین پارامتر اثرگذار بر پتانسیل‌سنجی برای منابع مختلف در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است. همان‌گونه که سومین پارامتر اثرگذار، بازده بیودیزل تولیدی از هر دانه غیرخوراکی است که می‌تواند به‌عنوان معیاری تأییدکننده برای پتانسیل‌سنجی منابع غیرخوراکی در نظر گرفته شود. این بازده برای گیاهان تحت بررسی در شکل ۱۱ ارائه شده است. از این شکل نیز مشاهده می‌شود که بازده بیودیزل تولیدی برای دانه‌هایی همچون کرچک، نوروزک و بامیه بالای ۹۰ درصد و برای بزرک، گلرنگ، گل سپیده و کنگر فرنگی بین ۵۰



شکل ۱۰ بازدهی روغن در هر هکتار از سطح زیرکشت دانه‌های مختلف غیرخوراکی
Figure 10 Oil yield per hectare of area under cultivation of different non-edible seeds

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]



شکل ۱۱ میانگین درصد بازده بیودیزل تولیدی از دانه‌های مختلف غیرخوراکی
Figure 11 Average efficiency percentage of biodiesel produced from different non-edible seeds

تا ۹۰ درصد هستند. شایان گفتن است، گرچه بیودیزل تولیدی از گیاه بامیه دارای بازده بالایی است اما درصد روغن موجود در این گیاه نسبت به سایر دانه‌های معرفی‌شده کمتر و در حدود تنها ۲۰ درصد است.

به‌منظور پتانسیل‌سنجی دقیق‌تر و درک بهتر تأثیر هم‌زمان شش پارامتر (۱) میانگین درصد روغن موجود در دانه، (۲) بازدهی روغن در هکتار، (۳) میانگین درصد بازده بیودیزل تولیدی، (۴) میانگین طول دوره کشت، (۵) میانگین عدد صابونی‌شدن، و (۶) گرانروی، داده‌های جدول ۱ به صورت نرمال شده در شکل ۱۲ نمایش داده شده‌اند. برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش تغییر مقیاس min-max بهره گرفته شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، برآیند شش عامل مورد نظر به خصوص سه عامل مهم اول نشان می‌دهد که دانه نوروزک پتانسیل بیشتری بخصوص به لحاظ درصد روغن موجود در دانه و بازدهی روغن در هر هکتار نسبت به سایر دانه‌ها دارد. پس از دانه نوروزک، دانه کرچک از پتانسیل خوبی برخوردار است و سپس دانه‌های گلرنگ و بزرک را می‌توان دانه‌های مناسب برای تولید بیودیزل معرفی نمود. در بین دو دانه دیگر نیز به‌ترتیب دانه‌های گل سپیده و کنگر فرنگی قابل‌بررسی و ارزیابی هستند.

به‌طورکلی با توجه به شش معیار ذکرشده می‌توان اظهار کرد که در میان گیاه‌های نامبرده، به‌ترتیب نوروزک و کرچک بیشترین پتانسیل برای تبدیل‌شدن به منبع غیرخوراکی بیودیزل را دارا هستند. دو گیاه گلرنگ و گل سپیده نیز به‌دلیل دارا بودن سطح زیرکشت بالا در کشور و دو گیاه بزرک و کنگرفرنگی به‌دلیل بازده مناسب، گزینه‌های خوبی برای تولید بیودیزل هستند. همچنین گیاه سالیکورنیا نیز علاوه بر دارا بودن درصد بالای روغن و بازده بالا، به‌دلیل نیاز بسیار اندک به آب و بیابان‌زدایی گزینه مناسبی برای تولید بیودیزل است.

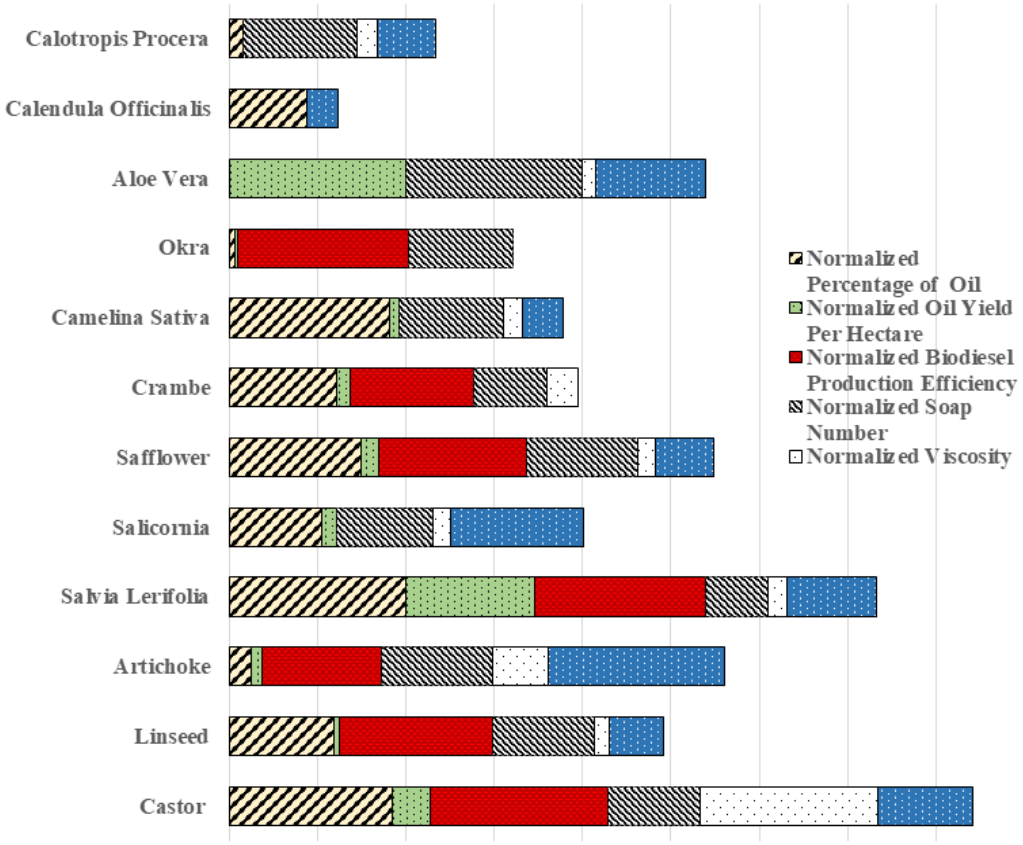
از سوی دیگر، همان‌گونه که بیان شد، استفاده از ضایعات و پسماندهای کشاورزی و همچنین استفاده از پسماندهای روغن پخت‌وپز، دو پتانسیل دیگر تولید بیودیزل محسوب می‌شوند. میزان پسماندهای روغن پخت‌وپز در ایران سالیانه بیش از ۳۰۰ هزار تن و میزان ضایعات و پسماندهای گندم در کشور سالیانه بیش از ۷/۵ میلیون تن است.

یکی دیگر از منابع معرفی‌شده ریزجلبک‌ها بوده که از پتانسیل خوبی برای تولید بیودیزل برخوردار هستند. در شکل ۱۳، مقایسه ریزجلبک‌ها با سه دانه غیرخوراکی منتخب (نوروزک، کرچک و گلرنگ) صورت پذیرفته است. همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، ریزجلبک‌های دارای بازدهی روغن معنادارتری در هر هکتار نسبت به سایر منابع غیرخوراکی بررسی‌شده است. همچنین در معیار اصلی دیگر که شامل درصد روغن موجود بوده، ریزجلبک‌های با ۷۵ درصد روغن موجود پیشتاز است. ریزجلبک‌های در مهم‌ترین معیار موردبررسی (بازده بیودیزل تولیدی) نیز نسبت به سایر منابع عملکرد قابل قبولی داشته و باعث می‌شود با بررسی این سه معیار در کنار هم به توان از ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع غیرخوراکی خوبی برای تولید بیودیزل نام برد. شایان گفتن است سه معیار دوره کشت بهاره، گرانروی و عدد صابونی‌شدن برای ریزجلبک‌ها بسیار متغیر بوده، اما به نظر می‌رسد معیارهای ذکرشده نیز برای ریزجلبک‌ها در مقایسه با سایر منابع قابل‌قبول و مناسب باشد.

۳-۲ تأثیر سیاست‌ها و مشوق‌های دولتی

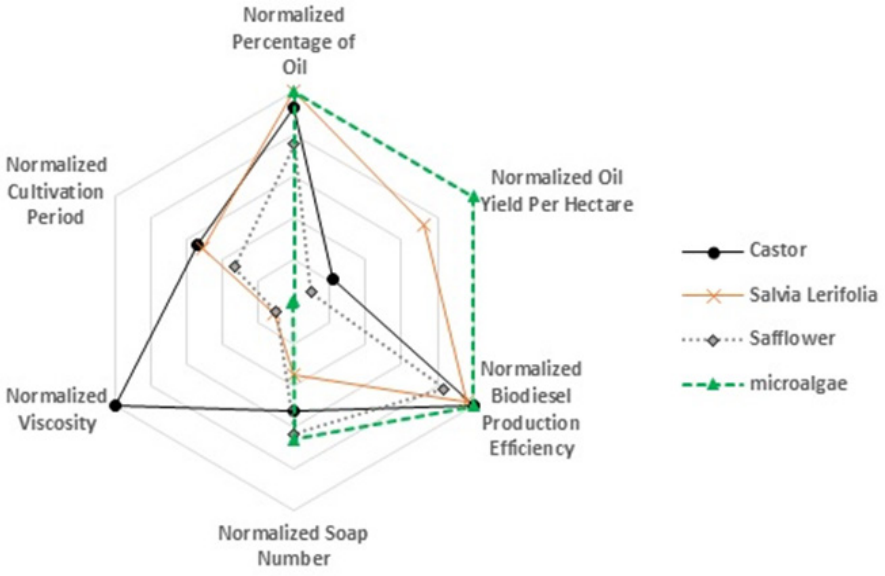
به‌طورکلی، سیاست‌های حوزه انرژی ممکن است شامل معاهدات بین‌المللی، قانون فعالیت‌های تجاری، مشوق‌هایی برای سرمایه‌گذاری، دستورالعمل‌های

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]



شکل ۱۲ مقایسه هم‌زمان شش پارامتر نرمال شده (ن.ش.) دانه‌های غیر خوراکی مورد مطالعه در این پژوهش

Figure 12 Simultaneous comparison of six normalized parameters of non-edible seeds studied in this study



شکل ۱۳ مقایسه پتانسیل‌سنجی ریزجلبک با دانه‌های غیرخوراکی منتخب

Figure 13 Comparison of microalgae potential metering with selected non-edible seeds

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

تولید انرژی، تبدیل و استفاده از انرژی، مالیات بر مصرف انرژی و مواردی از این دست باشند. در ایران با توجه به قیمت ارزان انرژی و سوخت، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، سیاست‌های انرژی فعلی بر مسائل محیط‌زیستی ازجمله فناوری‌های دوست‌دار محیط‌زیست برای افزایش عرضه انرژی و تشویق تولید انرژی پاک، استفاده کارآمدتر از انرژی، جلوگیری از آلودگی هوا، اثرات گلخانه‌ای (عمدتاً کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید)، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب‌وهوا متمرکز شده‌اند. بدیهی است تصمیم‌گیری مدیران ارشد و سیاست‌های انرژی کشور به‌طور مستقیم بر توسعه و پیشرفت صنعت بیودیزل اثرگذار هستند. ساختار دولت به‌ویژه وزارتخانه‌های نفت، نیرو و جهاد کشاورزی و نیز سازمان حفاظت محیط‌زیست، نقش اساسی در تعیین این خط سیر دارند. از طرف دیگر، با توجه به این‌که استفاده از دانه‌های خوراکی برای تولید بیودیزل ممکن است موجب کمبود منابع غذایی و افزایش قیمت آن‌ها شود، توصیه می‌شود که سیاست‌گذاران با هدف جهت‌دهی به توسعه استفاده از دانه‌های غیرخوراکی کمک کنند.

۳-۲-۱ سیاست‌گذاری سوخت‌های تجدیدپذیر در کشورهای جهان

کشور آلمان یکی از کشورهای پیشرو در عرصه سیاست‌گذاری و حمایت از سوخت‌های تجدیدپذیر است [۴۱]. قانون منابع سوخت‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۰ تصویب و اجرایی شد که محورهای مهم این قانون سیاست تشویق نیروگاه‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، تعیین مالیات‌های مناسب انرژی، نظام تبادل نشر محدود و تعیین تعرفه‌های تشویقی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیری همچون انرژی خورشیدی، بادی، آبی و زیست‌توده است.

گزارشی در سال ۲۰۰۸ میلادی منتشر شدکه نشان می‌دهد، هند دارای سومین و بزرگترین محدوده محیط‌زیستی در جهان بوده و استفاده از آن درحال حاضر دو برابر ظرفیت زیستی این کشور است. پیش‌بینی می‌شود که اقتصاد آن طی دو دهه آینده ۷ تا ۸ درصد رشد کند. هند احتمالاً تنها کشوری در جهان است که یک وزارتخانه کامل و اختصاصی برای تولید انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر دارد. این وزارتخانه عمدتاً مسئول تحقیق و توسعه، حفاظت از مالکیت معنوی و همکاری بین‌المللی، ارتقا و هماهنگی در منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد، آبی‌کوچک، بیوگاز و انرژی خورشیدی است. دولت هند درحال گسترش استفاده از اتانول ساخته شده از نیشکر، بیوگاز حاصل از فاضلاب مناطق روستائی و بیودیزل ساخته شده از درختان موجود در آن کشور (از قبیل Jatropha Karanja ، وMahua) است. علاوه‌بر این، هند درحال تبدیل شدن به بازاری روبه‌رشد برای انرژی‌های خورشیدی، بادی و برق‌آبی است [۸۸].

۳-۲-۲ سیاست‌گذاری سوخت‌های تجدیدپذیر در ایران

در ایران، کمیته سوخت‌های‌زیستیِ کارگروه بیوتکنولوژی محیط‌زیستِ ستاد توسعه زیست فَناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به‌دنبال بهره‌مندی از منابع ضایعاتی داخل کشور برای تولید بیودیزل (گازوئیل زیستی) است.

در وزارت جهادکشاورزی نیز در سال ۱۳۹۷ کارگروه مدیریت پسماند و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در معاونت امور باغبانی این وزارتخانه تشکیل شده است. هدف این کارگروه برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری و ایجاد ارزش افزوده تولیدات باغی کشور است [۸۹]. برنامه‌های وزارت جهادکشاورزی در طول برنامه‌های توسعه چهارم (۱۳۸۹- ۱۳۸۴) و پنجم (۱۳۹۰-۱۳۹۴) در حوزه صنایع تبدیلی و تکمیلی محصولات کشاورزی عبارت بوده‌اند از [۹۰]:

- در راستای اهداف کمی، پیش‌بینی شده بود که در برنامه چهارم توسعه صنایع تبدیلی و تکمیلی، درصد ضایعات کشاورزی باید به نصف کاهش یابند. البته پیش‌بینی کاهش ضایعات در برنامه پنجم توسعه به‌ترتیب فوق صورت نگرفته است.
- در سال‌های پایانی برنامه چهارم، سند مدیریت کاهش ضایعات برای استفاده در برنامه پنجم توسعه تهیه و مقرر شد برای اجرای این سند در سال‌های برنامه پنجم توسعه، اقدامات مطالعاتی و اجرایی لازم برنامه‌ریزی و عملیاتی شوند.

حال درصورتی‌که دولت و حاکمیت سیاست‌های مذکور را نیز برای دانه‌های غیرخوراکی در نظر گرفته و اعمال کند، می‌توان رونق استفاده از دانه‌های غیرخوراکی برای تولید بیودیزل را انتظار داشت. همچنین مرور تجربه کشورهای دیگر در این عرصه (مثلاً تجربیات کشور هندوستان در زمینه بیوگاز) نیز کمک شایانی به‌سرعت گرفتن فعالیت‌ها و پرهیز از آزمون و خطاهای پرهزینه می‌نماید.

نهاد متولی دیگر در این حوزه، وزارت نفت است. در چشم‌انداز صنعت نفت و گاز ایران در افق ۱۴۰۴ اهداف متنوعی ذکر شده است که برخی از آنان در جهت اصلاح الگوی مصرف، استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و برخی دیگر در راستای تعیین میزان تولید و صادرات است؛ مجلس شورای اسلامی ایران، قوانینی را در ارتباط با سیاست‌گذاری انرژی در کشور تصویب کرده است. یکی از این قوانین به شرح زیر است: وزارت نفت مکلف است به‌منظور مدیریت تقاضا و اجرای سیاست‌های مرتبط با بهینه‌سازی مصرف سوخت در بخش‌های مختلف مصرف، کمک به توسعه کاربرد انواع فناوری‌های نوین تبدیل انرژی

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

در بخش‌های مختلف مصرف، کاهش هزینه‌های دراز مدت ناشی از تقاضای انرژی، تدوین معیارها، ضوابط و دستورالعمل‌های مرتبط با بهینه‌سازی مصرف انرژی و جایگزینی اقتصادی حامل‌های انرژی، همراه با توسعه به‌کارگیری پتانسیل‌های محلی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به اصلاح اساسنامه و وظایف شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت اقدام کند [۹۱]. همچنین مطابق قانون برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵-۱۳۹۹) انرژی زیستی- بند ۳۸ ماده «ص»، وزارت نفت مکلف است ۱ درصد از اعتبارات طرح‌های توسعه‌ای سالیانه شرکت‌های تابعه خود را جهت توسعه و به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص دهد [۹۲].

۴ نتیجه‌گیری

عواملی مانند نگرانی‌های ناشی از تأمین انرژی پایدار، افزایش روز افزون تقاضای انرژی، مسائل محیط زیستی، کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید، افزایش جمعیت و شهرنشینی، گسترش صنایع و توسعه حمل‌ونقل در کشور، همگی ضرورت توجه ویژه به سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر در ایران را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، وجود منابع کشاورزی و وجود زیرساخت‌های توسعه آن به‌ویژه برای منابع غیرخوراکی همگی باعث می‌شود تا بیودیزل به‌عنوان سوختی پاک و پایدار که قابلیت جایگزینی با بخشی از سوخت دیزل و پاسخگویی نیازهای کشور را دارد، مطرح باشد؛ اما تا امروز برنامه جامع و مدونی برای تولید بیودیزل در ایران وجود نداشته است. به نظر می‌رسد یکی از دلایل این امر، عدم وجود برنامه برای تأمین منابع اولیه ارزان قیمت است. دلیل دیگر، نگرانی مسئولین و مدیران از کمبود مواد غذایی در کشور است که بر اثر استفاده از منابع خوراکی برای تولید بیودیزل بوجود خواهد آمد. با وجود این‌که منابع تولید بیودیزل بسیار وسیع است، اما مطالعات نشان می‌دهند منابع غیرخوراکی نسبت به منابع خوراکی ارزان‌تر بوده و همچنین استفاده از منابع غیرخوراکی نگرانی‌ها برای تهدید صنایع غذایی را هم برطرف می‌کند. بنابراین لزوم جایگزینی منابع غیرخوراکی به‌جای منابع خوراکی برای توسعه صنعت بیودیزل در ایران، احساس می‌شود. بر اساس آمار منتشر شده در سال ۱۳۹۴ برای حذف کامل دیزل مصرفی کشور و جایگزین کردن بیودیزل با آن، به ۳۶/۵ میلیون مترمکعب بیودیزل نیاز است. باهدف تولید بیودیزل با منابع غیرخوراکی می‌توان چند پیشنهاد زیر را ارائه داد:

- استفاده از ضایعات و زائدات کشاورزی یکی از پیشنهادهایی است که پتانسیل آن هم اکنون در کشور موجود است و تنها مستلزم مدیریت درست و هدایت آن‌ها به سمت تولید بیودیزل است.
- با توجه به وجود بیش از ۳۰۰ هزار تن پساند روغن‌های پخت‌وپز، این مورد نیز یکی دیگر از پتانسیل‌های بالقوه‌ای است که با مدیریت آن می‌توان میزان زیادی از نیاز بیودیزل کشور و هم دغدغه‌های ناشی از مشکلات محیط‌زیستی دفع این پساندها را برطرف کرد.
- پیشنهاد استفاده از ریزجلبک‌ها به‌دلیل بازدهی بالای روغن در هر هکتار و بازدهی بالای بیودیزل تولیدی از آن، می‌تواند موردتوجه قرار گیرد. همچنین اختصاص تنها ۰/۱۹ درصد از زمین‌های کشاورزی کشور یا شوره‌زارهای (منابع آب و خاک شور) موجود در کشور به کشت ریزجلبک، موجب پاسخگویی به بخشی از نیازهای بیودیزل می‌شود.
- با توجه به پتانسیل‌های کشاورزی در ایران، منطقی‌ترین و پایدارترین پیشنهاد برای تولید بیودیزل سرمایه‌گذاری‌های میان‌مدت و بلندمدت برای کشت برخی از دانه‌های روغنی غیرخوراکی است. در این خصوص باید الویت کشت با استفاده از آب‌های کم‌کیفیت و یا پس‌آب‌های حاصل از تصفیه خانه‌های شهری و صنعتی باشد تا کمتر سهم آب کشاورزی در تولید محصولات خوراکی تحت تأثیر تولید بیودیزل قرار گیرد. دانه‌های غیرخوراکی نوروزک، کرچک، گلرنگ و گل سپیده به‌دلیل بازدهی روغن زیاد و بازده بالای ۸۰ تا ۹۰ درصد تولید بیودیزل، از گزینه‌های جذاب در بین دانه‌های غیرخوراکی هستند. همچنین، گیاه سالیکورنیا با توجه به قابلیت بالای آن برای بیابان‌زدایی و جلوگیری از ریزگردها و پس از آن استفاده به‌عنوان خوراک بیودیزل، می‌تواند یکی دیگر از گزینه‌های جذاب محسوب شود. یکی دیگر از دانه‌های غیرخوراکی که پتانسیل کشت آن در ایران وجود داشته و با توجه به بازده بالای تولید بیودیزل آن می‌توان از آن به‌عنوان یکی از منابع غیرخوراکی مناسب برای تولید بیودیزل در ایران نام برد، گیاه بزرک است.

با توجه به منابع معرفی‌شده و همچنین تصمیم‌گیری به موقع برای اعمال سیاست‌ها، حمایت‌ها و مشوق‌های دولتی، به نظر می‌رسد پتانسیل‌های لازم برای تولید بیودیزل ارزان قیمت در ایران و جایگزینی آن به‌عنوان سوخت پایدار، طی برنامه مدون میان‌مدتی وجود داشته باشد.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

مراجع

[1] World Energy Council, World Energy Issues Monitor, London, 2017.

[2] Deputy of Research and Human Resources, Information Technology and Statistics Office, Monthly Report on Water and Electricity Industry Statistics in March 2017, Http://Isn.Moe.Gov.Ir/Getattachment/Eb0084de962-e46-aa-A95c8269-cec945c0/, avilable in 15 Jun 2019.

[3] Bakhoda H., Almassi M., Moharamnejad N. Moghaddasi R. and Azkia M., Energy Production Trend in Iran and its Effect on Sustainable Development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ,1339–1335 ,16 2012.

[4] Hosseini S. E., Andwari A. M., Wahid M. A. and Bagheri G., A Review on Green Energy Potentials in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013 ,545–533 ,27.

[5] Ghobadian B., Liquid Biofuels Potential and Outlook in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012 ,4384–4379 ,16.

[6] Maleki M., Solvent Production of Biodiesel in a Semi-Industrial Micro-Reactor Pilot Using a Homogeneous Catalyst, Faculty of Energy, BSc Thesis, Kermanshah University of Technology, September 2017.

[7] Buyukkaya E., Effects of Biodiesel on A DI Diesel Engine Performance, Emission And Combustion Characteristics, Fuel, –3099 ,89 2010 ,3105.

[8] Mohadesi M., Aghel B., Maleki M. and Ansari A., Biodiesel Production Using Recycled Edible Oil in a Micro Pilot, Fifth International Conference on Applied Research in Chemistry and Chemical Engineering With Emphasis on Iranian Indigenous Technologies, 2018.

[9] Brennan L. and Owende P., Biofuels from Microalgae—A Review of Technologies for Production, Processing, and Extractions of Biofuels and Co-Products, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ,577–557 ,14 2010.

[10] Obernberger I., Biedermann F., Widmann W. and Riedl R., Concentrations of Inorganic Elements in Biomass Fuels and Recovery in The Different Ash Fractions, Biomass And Bioenergy., 1997 ,224–211 ,12.

[11] Ambat I., Srivastava V. amd Sillanpää M., Recent Advancement in Biodiesel Production Methodologies Using Various Feedstock : A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018 ,369–356 ,90.

[12] Singh D., Sharma D., Soni S. L., Sharma S., Kumar Sharma P. and Jhalani A., A Review on Feedstocks, Production Processes, and Yield for Different Generations of Biodiesel, Fuel, ,262 2020 ,116553.

[13] Madadi M., Abbas A. and Zahoor, Green Biodiesel Production Potential From Oil Seeds in Iran, International Journal of Life-Sciences Scientific Research, 14] .2017 ,904–895 ,3]

Nejad A. S. and Zahedi A. R., Optimization of Biodiesel Production as A Clean Fuel for Thermal Power Plants Using Renewable Energy Source, Renewable Energy, 2018 ,374–365 ,119.

[15] Somnuk K., Soysuwan N. and Prateepchaikul G., Continuous Process for Biodiesel Production From Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Using Helical Static Mixers as Reactors, Renewable Energy, ,110–100 ,131 2018.

[16] Jindapon W. and Ngamcharussrivichai, C., Heterogeneously Catalyzed Transesterification of Palm Oil With Methanol to Produce Biodiesel Over Calcined Dolomite: The Role of Magnesium Oxide, Energy Conversion and Management, 2018 ,1321–1311 ,171.

[17] Xie W., Han Y. and Wang H., Magnetic Fe3O4 / MCM41- Composite-Supported Sodium Silicate as Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production, Renewable Energy, ,125 2018 ,681–675.

[18] Dehghani Soufi M., Ghobadian B., Atashgaran M., Mousavi S. M. and Najafi, G., Biolubricant Production From Edible and Novel Indigenous Vegetable Oils: Mainstream Methodology, and Prospects and Challenges in Iran, Biofuels, Bioproducts and Biorefining, ,13 2019 ,849–838.

[19] Mohammadi F., Rahimi M., Parvareh A., Feyzi M. and Faizi M., Biodiesel Production From Soybean Oil Using Ionic Liquid as A Catalyst in A Microreactor, Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2018 ,114–102 ,15.

[20] López-Guajardo E., Ortiz-Nadal E., Montesinos-Castellanos A., Nigam D. P. K. and Nigam K. D. P., Process Intensification of Biodiesel Production Using A Tubular Micro-Reactor (TMR): Experimental and Numerical Assessment, Chemical Engineering Communications, 2015 ,563–557 ,204.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[21] Tran D. T., Chang J. S. and Lee D. J., Recent Insights Into Continuous-Flow Biodiesel Production Via Catalytic and Non-Catalytic Transesterification Processes, Applied Energy, 2017 ,409–376 ,185.
[22] Lin L., Cunshan Z., Vittayapadung S., Xiangqian S. and Mingdong D., Opportunities and Challenges for Biodiesel Fuel, Applied Energy, 2011 ,1031–1020 ,88.
[23] Demirbas A., Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels, Energy Conversion and Management, 2009 ,34–14 ,50.
[24] Enweremadu C. C. and Mbarawa M. M., Technical Aspects of Production and Analysis of Biodiesel from Used Cooking Oil—A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009 ,2224–2205 ,13.
[25] Issariyakul T. and Dalai A. K., Biodiesel From Vegetable Oils, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014 ,471–446 ,31.
[26] Demirbas A., Bafail A., Ahmad W. and Sheikh M., Biodiesel Production From Non-Edible Plant Oils, Energy Exploration & Exploitation, 2016 ,318–290 ,34.
[27] Veljković V. B., Biberdžić M. O., Banković-Ilić I. B., Djalović I. G., Tasić M. B., Nježić Z. B. and Stamenković O. S., Biodiesel Production From Corn Oil: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018 ,548–531 ,91.
[28] Maghami M., Sadrameli S. M. and Ghobadian B., Production of Biodiesel From Fishmeal Plant Waste Oil Using Ultrasonic and Conventional Methods, Applied Thermal Engineering, 2015 ,579–575 ,75.
[29] Alptekin E., Canakci M. and Sanli H., Biodiesel Production From Vegetable Oil and Waste Animal Fats in a Pilot Plant, Waste Management, 2014 ,21054–2146 ,34.
[30] Šánek L., Pecha J., Kolomazník K. and Bařinová M., Pilot-Scale Production of Biodiesel From Waste Fats and Oils Using Tetramethylammonium Hydroxide, Waste Management, 2016 ,637–630 ,48.
[31] Zhou D., Qiao B., Li G., Xue S. and Yin J., Continuous Production of Biodiesel From Microalgae by Extraction Coupling With Transesterification Under Supercritical Conditions, Bioresource Technology, –609 ,238 2017 ,615.
[32] Wahidin S., Idris A., Yusof N. M., Kamis N. H. H. and Shaleh S. R. M., Optimization of The Ionic Liquid-Microwave Assisted One-Step Biodiesel Production Process From Wet Microalgal Biomass, Energy Conversion and Management, 2018 ,1404–1397 ,171.
[33] Hidalgo P., Ciudad G., Schober S., Mittelbach M. and Navia R., Improving The FAME Yield of In Situ Transesterification From Microalgal Biomass Through Particle Size Reduction and Cosolvent Incorporation, Energy And Fuels, 2015 ,832–823 ,29.
[34] Borah M. J., Devi A., Saikia R. A. and Deka D., Biodiesel Production From Waste Cooking Oil Catalyzed By In-Situ Decorated Tio2 on Reduced Graphene Oxide Nanocomposite, Energy, 2018 ,889–881 ,158.
[35] Mohadesi M., Aghel B., Maleki M. and Ansari, A., The Use of KOH/Clinoptilolite Catalyst in Pilot of Microreactor for Biodiesel Production From Waste Cooking Oil, Fuel, ,263 2020 ,116659.
[36] Mohadesi M., Aghel B., Maleki M. and Ansari A., Study of The Transesterification of Waste Cooking Oil for The Production of Biodiesel in A Microreactor Pilot: The Effect of Acetone as The Co-Solvent, Fuel, ,117736 ,273 2020.
[37] Borah M. J., Devi A., Saikia R. A. and Deka, D., Biodiesel Production From Waste Cooking Oil Catalyzed by In-Situ Decorated Tio2 on Reduced Graphene Oxide Nanocomposite, Energy, 2018 ,889–881 ,158.
[38] Mohammadshirazi A., Akram A., Rafiee S. and Bagheri Kalhor E., Energy and Cost Analyses of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014 ,49–44 ,33.
[39] Monteiro M. R., Kugelmeier C. L., Pinheiro R. S., Batalha M. O. and Da Silva César A., Glycerol From Biodiesel Production: Technological Paths for Sustainability, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018 ,122–109 ,88.
[40] Srivastava A. and Prasad R., Triglycerides-Based Diesel Fuels Anjana, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ,4 2000 ,133–111.
[41] Go A. W., Sutanto S., Ong L. K., Tran-Nguyen P. L., Ismadji S. and Ju Y.-H., Developments in In-Situ (Trans) Esterification for Biodiesel Production: A Critical Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016 ,305–284 ,60.
[42] Thakkar K., Shah K., Kodgire P. and Kachhwaha S. S., In-Situ Reactive Extraction of

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

Castor Seeds for Biodiesel Production Using The Coordinated Ultrasound – Microwave Irradiation: Process Optimization and Kinetic Modeling, Ultrasonics Sonochemistry, ,14–6 ,50 2018.
[43] Keera S. T., Sabagh S. M., El and Taman A. R., Castor Oil Biodiesel Production and Optimization, Egyptian Journal of Petroleum, 2018.
[44] Baskar G., Selvakumari I. A. E. and Aiswarya R., Biodiesel Production From Castor Oil Using Heterogeneous Ni Doped Zno Nanocatalyst, Bioresource Technology, ,250 2018 ,798–793.
[45] Chakrabarti M. H. and Ahmad R., Trans Esterification Studies on Castor Oil as A First Step Towards Its Use in Bio Diesel Production, Pakistan Journal of Botany, ,1157–1153 ,40 2008.
[46] Meneghetti S. M. P., Meneghetti M. R., Wolf C. R., Silva E. C., Lima G. E. S., Coimbra M. D. A., Soletti J. I. and Carvalho S. H. V., Ethanolysis of Castor and Cottonseed Oil: A Systematic Study Using Classical Catalysts, Journal of the American Oil Chemists› Society, ,822–819 ,83 2006.
[47] Ahmad M., Khan M., Zafar M. and Sultana S., Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties, 2012.
[48] Waraich E. A., Ahmed Z., Ahmad R., Yasin Ashraf M., Saifullah Naeem M. S. and Rengel Z., Camelina Sativa, A Climate Proof Crop, Has High Nutritive Value and Multiple-Uses: A Review, Australian Journal of Crop Science, –1551 7 2013 ,1559.
[49] Pilgeram A. L., Sands D. C., Boss D., Dale N., Wichman D., Lamb P., Lu C., Kirkpatrick M., Thompson B. and Johnson D. L., Camelina Sativa , A Montana Omega3- and Fuel Crop, Proceedings of the Sixth National Symposium Creating Markets for Economic Development of New Crops and New Uses, 2007 ,131–129.
[50] Hoseini S., Najafi G., Ghobadian B., Yusaf T. and Ebadi M., The Effects of Camelina "Soheil" as A Novel Biodiesel Fuel on The Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine, Applied Sciences, 2018 ,1010 ,8.
[51] General Office Of Cotton, Oilseeds, Industrial Plants And Tehran Rice Self-Sufficiency Plan, Criteria, Indicators And Standards For Oilseed Production, Tehran, 2010.
[52] Stenberg C., Svensson M. and Johansson M., A Study of The Drying of Linseed Oils With Different Fatty Acid Patterns Using Rtir-Spectroscopy and Chemiluminescence (Cl), Industrial Crops and Products, ,272–263 ,21 2005.
[53] Hashemzadeh Gargari M. and Sadrameli S. M., Investigating Continuous Biodiesel Production From Linseed Oil in The Presence of A Co-Solvent and A Heterogeneous Based Catalyst in A Packed Bed Reactor, Energy, ,148 2018 ,895–888.
[54] Taherkhani M. and Sadrameli S. M. M., An Improvement and Optimization Study of Biodiesel Production From Linseed Via In-Situ Transesterification Using A Co-Solvent, Renewable Energy, 2018 ,794–787 ,119.
[55] Austenfeld F., Nutrient Reserves of Salicomia Europaea Seeds, Physiologia Plantarum, 1986 ,450–446 ,68.
[56] Desai P. D., Dave A. M. and Devi S., Alcoholysis of Salicornia Oil Using Free and Covalently Bound Lipase on to Chitosan Beads, Food Chemistry, 2006 ,199–193 ,95.
[57] Ahmadi H., Norouzi J., Rahimi M. and Rahmatzade B., Extraction and Evaluation of Physicochemical Properties of Salicornia. Journal of Nutrition Science and Food Industry, 2016 ,74-67:(1)11.
[58] Patel M. K., Pandey S., Brahmbhatt H. R., Mishra A. and Jha B., Lipid Content and Fatty Acid Profile of Selected Halophytic Plants Reveal a Promising Source of Renewable Energy, Biomass And Bioenergy, 2019 ,32–124:25.
[59] Bart J. C., Palmeri N. and Cavallaro S., Biodiesel Science And Technology From Soil To Oil. Animal Genetics, 60] .2008]
Safieddin Ardebili M., Ghobadian B., Najafi G. and Chegeni A., Biodiesel Production Potential From Edible Oil Seeds in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ,3044–3041 ,15 2011.
[61] Tahvildari K., Esmaeili S. and Mehrdad Sharif A. A., Studying Some Effective Parameters on Transesterification Reaction to Produce Biodiesel From Safflower Oil Article, International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2013 ,297–292 ,5.
[62] Hormozgan is the second producer of aloe vera in the country, https://www.isna.ir/news/khalijefars15282-/, available in 31 Nov 2019.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[63] Isfahan Agricultural Jihad Organization, Statistics of Isfahan Chapter 4: Agriculture-Forestry-Fisheries, Isfahan, 2018.
[64] Mohammadi H., Mahdianmahforouzi M. and Ashoornejad Gh., Feasibility Study of Aloe Vera Cultivation in Bushehr Province, Geographical Studies of Arid Regions, ,10-9 ,3 2012 ,17-1.
[65] Mohammadpour H., Sadrameli S. M., Eslami F. and Asoodeh, A., Industrial Crops & Products Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Moringa Peregrina Oil With Response Surface Methodology and Comparison With Soxhlet Method, Industrial Crops and Products, 2019 ,116–106 ,131.
[66] Tavares G. R., Massa T. B., Gonçalves J. E., Da Silva C. and Dos Santos W. D., Assessment of Ultrasound-Assisted Extraction of Crambe Seed Oil for Biodiesel Synthesis by In Situ Interesterification, Renewable Energy, ,111 2017 ,665–659.
[67] Wang Y., Tang J., Chu C. and Tian J., A Preliminary Study on The Introduction and Cultivation of Crambe Abyssinica in China, an Oil Plant for Industrial Uses, Industrial Crops and Products, 2000 ,52–47 ,12.
[68] De Aguiar C. M., Santos K. A., Sampaio S. C. and Martin C. A., Crambe Abyssinica Hochst. Oil. In Fruit Oils, Chemistry And Functionality, 2019 ,450-433.
[69] Encinar J. M., González J. F., Rodríguez J. J. and Tejedor A., Biodiesel Fuels From Vegetable Oils: Transesterification of Cynara C Ardunculus L. Oils With Ethanol, Energy & Fuels, 2002 ,450–443 ,16.
[70] National Forests And Rangelands Research Institute, Quantitative And Qualitative Identification of Active Ingredients of 553 Species of Iranian Medicinal and Aromatic Plants, 2015.
[71] Smartt, J. and Haq, N., Domestication, Production and Utilisation of New Crops. International Centre for Underutilised Crops, Southampton, 1997.
[72] Gholami A., Pourfayaz F., Hajinezhad A. and Mohadesi M., Biodiesel Production From Norouzak (Salvia Leriifolia) Oil Using Choline Hydroxide Catalyst in A Microchannel Reactor, Renewable Energy, 2019 ,1001–993 ,136.
[73] Hajinezhad A., Abedi S., Ghobadian B. and Noorollahi Y., Biodiesel Production From Norouzak (Salvia Lerifolia) Seeds as an Indigenous Source of Bio Fuel in Iran Using Ultrasound, Energy Conversion and Management, 2015 ,140–132 ,99.
[74] Hajinezhad A. and Katooli M. H., Study on Nutritional Values of a Novel Plant in Iran-Nowruzak- and Its Application in Producing Biofuels, Sustainable Chemistry and Pharmacy, 2018 ,117–112 ,10.
[75] Rathore M. and Meena R., Potential of Utilizing Calotropis Procera Flower Biomass as A Renewable Source of Energy, J Phytol, –78 2 2010 ,83.
[76] Radhaboy G., Pugazhvadivu M., Ganeshan P. and Ramshankar P., Analysis of Thermo Chemical Behaviour of Calotropis Procera Parts for Their Potentiality, International Journal of Ambient Energy, 2019 ,7–1 ,0.
[77] Sobral H., Batista D. A., Borges D. M. J. and Da S., Evaluation of Thermally Treated Calotropis Procera Fiber for The Removal of Crude Oil on The Water Surface, Materials (Basel), 2019 ,3894 ,12.
[78] Barbosa M. O., De Almeida-Cortez J. S., Da Silva S. I. and De Oliveira A. F. M., Seed Oil Content and Fatty Acid Composition From Different Populations of Calotropis Procera (Aiton) W. T. Aiton (Apocynaceae), Journal of the American Oil Chemists Society, –1433 ,91 2014 ,1441.
[79] Moosavi S. A., Aghaalikhani M., Ghobadian B. and Fayyazi, E., Okra: A Potential Future Bioenergy Crop in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ,524–517 ,93 2018.
[80] Jaliliantabar F., Ghobadian B., Carlucci A. P., Najafi G., Ficarella A., Strafella L., Santino A. and De Domenico S., Comparative Evaluation of Physical and Chemical Properties, Emission and Combustion Characteristics of Brassica, Cardoon and Coffee Based Biodiesels as Fuel in A Compression-Ignition Engine, Fuel, –156 ,222 2018 ,174.
[81] Mirmajidihashtjin A., Familmomen R. and Goudarzi F., Reducing Agricultural Waste The Main Strategy In Promoting Food Security, Agricultural Technical And Engineering Research Institute, Tehran, 2016.
[82] Karimi Alavijeh, M., Yaghmaei, S., Biochemical Production Of Bioenergy From Agricultural Crops And Residue In Iran. Waste Management 2016 ,394–52:375.
[83] Mohadesi M., Aghel B., Maleki M. and

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]

Ansari A., Production of Biodiesel From Waste Cooking Oil Using a Homogeneous Catalyst: Study of Semi-Industrial Pilot of Microreactor, Renewable Energy, 2019 ,682–677 ,136.
[84] Tabatabaei M., Tohidfar M., Jouzani G. S., Safarnejad M. and Pazouki M., Biodiesel Production From Genetically Engineered Microalgae: Future of Bioenergy in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011 ,1927–1918 ,15.
[85] Sharif Hossain A. B., Salleh A., Boyce A. N., Chowdhury P., Naqiuddin M., Biodiesel Fuel Production From Algae As Renewable Energy. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 2008 ,254–4:250.
[86] Akhavanmahdavi M., Gheshlaghi R. and Saghi, Gh., Wastewater Treatment and Biodiesel Production Using Microalgae from Municipal Wastewater on a Semi-Pilot Scale: a Case Study of Mashhad Wastewater, Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2018.
[87] Aghel B., Mohadesi M., Ansari A. and Maleki, M., Pilot-Scale Production of Biodiesel From Waste Cooking Oil Using Kettle Limescale as A Heterogeneous Catalyst, Renewable Energy, 2019 ,214–207 ,142.
[88] Ayat, N., Futurology of India, The Parliament of The Islamic Republic of Iran Publications, Tehran, 2019.
[89] Deputy Minister of Horticulture and Ministry of Jihad Agriculture, https:// horticulture.maj.ir/, available in 18 Sep 2020.
[90] Behzadnasab, J., Evaluation of Performance and Conversion and Complementary Industries of The Ministry of Jihad-E-Agriculture in The Period of The Fourth and Fifth Economic, Social and Cultural Development Programs of Iran, Publications of The Ministry of Jihad and Agriculture, Tehran, 2017.
[91] Maleki A., Energy Policy, Sharif University of Technology, Tehran, 2011.
[92] Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs., Investigation of Bioeconomy Development Policies in The World and Iran, Deputy of Infrastructure Research and New Technologies, Tehran, 2017.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-11-23]