بررسی امکان تولید سوخت بیودیزل از میکروجلبک

بهمن نجفی[۱]، امیرحسین زمزمیان[۲] ، محمدامین حجازی[۳] ، مهدی ترکیان[۴]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۷/۴/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۸۷/۷/۲۶

چکیده:

پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی و بحران‌های زیست محیطی محققان را بر آن داشته تا به دنبال سوخت‌های جایگزینی باشندکه هم تجدیدپذیر بوده و هم آلودگی کمتری ایجاد کنند. سوخت‌های بیولوژیک و مخصوصا بیودیزل به عنوان یک سوخت جایگزین در موتورهای دیزل فعلی می‌باشد. بیودیزل استرهای اسید چرب است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید بیودیزل می‌شود، اما این روغن‌ها به عنوان غذا مطرح بوده و نمی‌توانند منابع مناسبی برای تولید سوخت باشند. در این میان میکروجلبک‌ها با قابلیلت رشد سریع و تولید حجم بالای روغن می‌توانند به عنوان منبعی برای تولید بیودیزل، می‌توانند مطرح باشند. میکروجلبک‌ها نسبت به گیاهان روغنی دارای درصد روغن بیشتری می‌باشند و قابلیت پرورش در آب و هوای مختلف را دارند. فرآیند تولید بیودیزل از میکروجلبک شامل سه مرحلهٔ پرورش، روغن‌کشی و تبدیل روغن به بیودیزل می‌باشد که در این تحقیق به نحوهٔ انجام این سه مرحله پرداخته شده است.

کلمات کلیدی:
بیودیزل، میکروجلبک، سوخت‌هاي جایگزین.

۱) دانشگاه محقق اردبیلی، استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، Bahman_Najafi@yahoo.com
۲) پژوهشگاه مواد و انرژی، استادیار.
۳) مؤسسه تکنولوژی غرب و شمالغرب ایران ، استادیار .
۴) دانشگاه محقق اردبیلی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی .

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه

در حال حاضر مهمترین منبع تامین انرژی در بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی، خانگی و حمل‌ونقل سوخت‌های فسیلی و مشتقات آن می‌باشد اما در استفاده از سوخت‌های فسیلی دو مشکل وجود دارد، یکی پایان‌پذیری این سوخت‌ها و دیگری آلودگی محیط زیست ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی. برای مقابله با این دو مشکل دانشمندان به فکر استفاده از انرژی‌های جایگزین هستند. منابع مختلفی به عنوان انرژی‌های جایگزین مطرح هستند و تحقیقات گسترده‌ای بر روی آنها صورت گرفته است. سوخت‌های جایگزین باید سازگار با موتورهای موجود بوده و از نظر اقتصادی نیز با صرفه باشند. همچنین قابل دسترس و دوستدار محیط زیست باشند [۲]. در این میان سوخت‌های بیولوژیک می‌توانند به عنوان یک انرژی جایگزین، مزیت تجدیدپذیر بودن و کاهش آلودگی به هنگام احتراق را دارا باشند[۴].

انرژی‌های بیولوژیک مانند چوب و مواد بیوماس دیگر، از مدت‌ها قبل شناخته شده و بشر همواره از آن سود جسته است اما امروزه انرژی‌های بیولوژیک به صورت‌های جدیدتری وارد عرصه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به بیودیزل اشاره کرد. بیودیزل استرهایی اسید چرب است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید شده و به عنوان سوخت در موتورهای دیزل قابل استفاده است. این سوخت بسیار شبیه به گازوئیل متداول بوده و برای استفاده از آن لازم به ایجاد تغییرات اساسی در موتور دیزل نیست[۲]. هنگام احتراق بیودیزل، آلودگی کمتری نسبت به گازوئیل تولید می‌کند لذا سوختی دوستدار محیط‌زیست به شمار می‌رود.

امکان تولید بیودیزل از میکروجلبک

بیودیزل از روغن‌های طبیعی تولید می‌شود اما این منابع به عنوان یک منبع غذایی نیز مطرح هستند، بنابراین تولید بیودیزل از روغن‌های خوراکی، مناسب نبوده و به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیست. سوال اینجاست چه منابعی می‌توانند به عنوان منبع تولید بیودیزل مطرح شوند؟ منابعی به عنوان منبع تولید بیودیزل مناسب هستند که غیرخوراکی بوده و از طرفی قیمت ارزانتری داشته باشند. میکروجلبک‌ها می‌توانند چنین خصوصیاتی داشته باشند زیرا دارای سرعت رشد بالایی بوده و حجم روغن زیادی را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند[۹]. در جدول(۱) به برخی از گیاهان روغنی و میزان تولید روغن آنها در واحد سطح مزرعه، آورده شده است، میزان تولید روغن از میکروجلبک نسبت به آفتابگردان در حدود ۷۰ /۷ برابر است[۱۳].

جدول(۱): گیاهان روغنی و میزان تولید روغن از آنها

نوع گیاه	جلبک	آفتاب‌گردان	سویا	جاتروفیا[1]	راپ‌سِد
میزان تولید روغن (kg/m^2)	۰/۷۵۷۳	۰/۰۸۰۷	۰/۰۵۰۴	۰/۱۶۳۶	۰/۱۰۲۵

[۹]
1) Jatropha
2) Rapseed

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

ولی در صورت تولید انبوه آن، هزینه‌ها کاهش می‌یابد[۶]. میکروجلبک‌ها از پتانسیل بالایی برای تولید انرژی برخوردار هستند ولی در حال حاضر، هزینه تولید بیودیزل از میکروجلبک بدلیل تولید آزمایشگاهی آن، بالاتر از سوخت‌های دیگر است. برای کاستن هزینه تولید می‌توان از راه‌کارهایی مانند، تغذیه میکروجلبک از فاضلاب، استفاده از بیوماس باقیمانده از میکروجلبک روغن‌کشی شده در تولید متانول، استفاده از انرژی بیوماس باقیمانده در تولید انرژی الکتریسته اولیه مورد نیاز و استفاده از دی‌اکسیدکربن ناشی از سوختن بیودیزل برای پرورش میکروجلبک استفاده کرد[۵]. همچنین امکان تولید مصنوعی میکروجلبک به کمک فتوبیوراکتورها را نیز وجود دارد که پرورش آن را در شرایط مختلف اقلیمی امکان‌پذیر می‌کند و در نتیجه سوخت حاصل از آن دارای مزیت در «دسترس بودن» می‌باشد[۵].

مراحل تولید بیودیزل از میکروجلبک

تولید بیودیزل از میکروجلبک شامل سه مرحله پرورش میکروجلبک، استخراج روغن و تبدیل روغن به بیودیزل می‌شود. برای پرورش میکروجلبک از دو سیستم، حوضچه‌های روباز و فتوبیوراکتور استفاده می‌کنند[۶]. برای روغن‌گیری از پرس‌سرد و یا حلال‌های شیمیایی بهره می‌گیرند. برای تبدیل روغن میکروجلبک به بیودیزل معمولا از فرآیند ترانس استریفیکاسیون استفاده می‌شود[۲و۱۰]. هر چند که می‌توان به کمک روش پیرولیز نیز روغن بدست آمده از میکروجلبک را به سوخت قابل استفاده در موتور تبدیل کرد که البته محصول نهایی بیودیزل نبوده و در واقع روغنی هست که ویسکوزیته آن پایین آورده شده است[۱۱]. در تحقیق حاضر امکان تولید بیودیزل از میکروجلیک از مرحله کشت تا تولید محصول نهایی که همان بیودیزل می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

پرورش میکروجلبک: جلبک‌ها از دسته آغازیان و ساده‌ترین موجودات واجد کلروفیل هستند که با فتوسنتز مواد غیرارگانیک را به مواد ارگانیک تبدیل می‌کنند. میکروجلبک‌ها عموما دارای سرعت رشد بالایی بوده و قابلیت تولید حجم روغن بالایی را دارند[۱۲].

جدول۲ : میزان روغن برخی از میکروجلبک‌ها

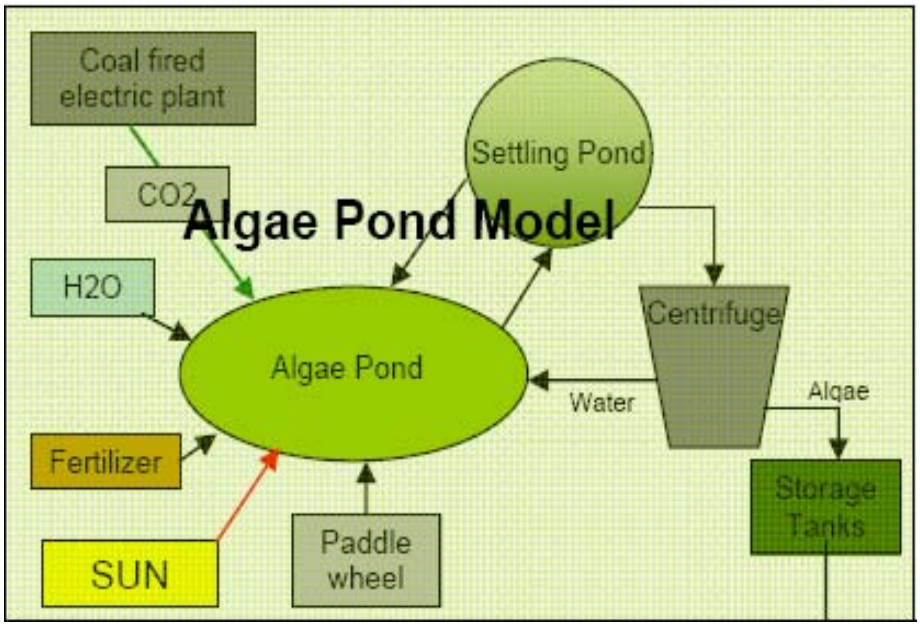
نوع میکروجلبک	بوتریکوسیوس[1]	کلرلا[2]	اسچیزوچیرتیوم[3]	نیزتسچیا[4]	نانوکلروپیسیس[5]
میزان روغن (درصد)	۲۷-۲۵	۳۲ – ۲۸	۷۷ – ۵۰	۴۷ – ۴۵	۶۸ – ۳۱

[۶]

1) Botryococeus
2) Chlorella
3) Schizochytrium
4) Nitzschia
5) Nannochloropsis

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

با استفاده از ارقام مرغوب میکروجلبک‌ها با سرعت رشد بالا می‌توان به میزان روغن بالاتری در سیستم‌های پرورش مصنوعی دست یافت ولی استفاده از ارقام بومی میکروجلبک‌ها به دلیل سازگاری بیشتر با محیط در اولویت قرار می‌گیرد. بیوماس حاصل از جلبک دارای یک فرمول کلی $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$ بوده و برای پرورش آن احتیاجات غذایی کمی مورد نیاز است. این مواد عبارتند از: نور، آب، دی‌اکسیدکربن، نمک و مواد مغذی مانند آهن، فسفر، نیترات. آب دریا به همراه املاحی چون فسفات و نیترات و مقدار کمی مواد مغذی می تواند محیطی مناسب برای پرورش میکروجلبک باشد. نکته قابل توجه در مورد میکروجلبک‌ها استفاده از فاضلاب برای پرورش آن هست. به این ترتیب می توان هم مسئله آلودگی فاضلاب را با پرورش میکروجلبک‌ها برطرف نمود و هم یک منبع ارزان قیمت و رایگان برای تولید بیوماس میکروجلبک و در پی آن انرژی پیدا کرد[۶].

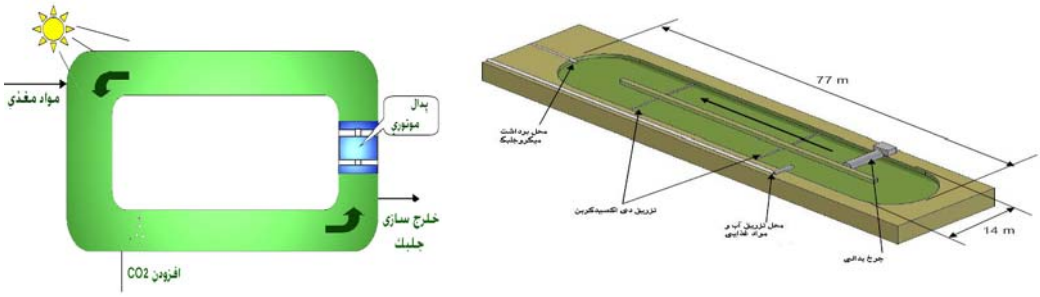


شکل (۱): مواد لازم برای پرورش میکروجلبک

میکروجلبک‌ها در طبیعت به فراوانی در محیط‌های مختلف یافت می‌شوند اما برای کشت و تولید آنها از دو روش عمده استفاده می‌کنند: حوضچه های روباز و فتوبیوراکتورهای لوله‌ای[۵].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۱) حوضچه‌های روباز[1]: این حوضچه‌ها عبارتند از یک سری کانال‌های رو باز و بهم پیوسته‌ای که عمدتا از جنس سیمان می‌باشند. عمق حوضچه‌ها کم و تا حدود ۳۰ سانتیمتر هست تا نور به ته کانال‌ها نفوذ کند. در طراحی این حوضچه‌ها مساحت سطح نسبت به حجم آن حالت بحرانی‌تری دارد چون در این حوضچه‌ها مسئله دریافت نور فاکتور مهم و محدود کننده بحساب می‌آید. در این حوضچه‌ها برای گردش آب از چرخ‌های پدالی استفاده می‌شود. مواد مغذی عمدتا بعد از این چرخ پدالی به آب اضافه می‌شود و دی‌اکسیدکربن در چند جای مختلف به محیط کشت اضافه می‌گردد. برداشت میکروجلبک قبل از اتمام سیکل گردش در پشت چرخ پدالی انجام می‌شود. از جمله معایب پرورش جلبک در حوضچه‌های روباز می‌توان به تبخیر آب، عدم استفاده بهینه از دی‌اکسیدکربن، عملکرد پایین، آلودگی میکروجلبک با دیگر میکروارگانیزم‌ها اشاره کرد ولی پایین بودن هزینه‌های تولید و سادگی کاربرد آن در مقیاس وسیع از مزایای این روش می‌باشد[۵].



شکل (۲): حوضچه‌های روباز پرورش میکروجلبک

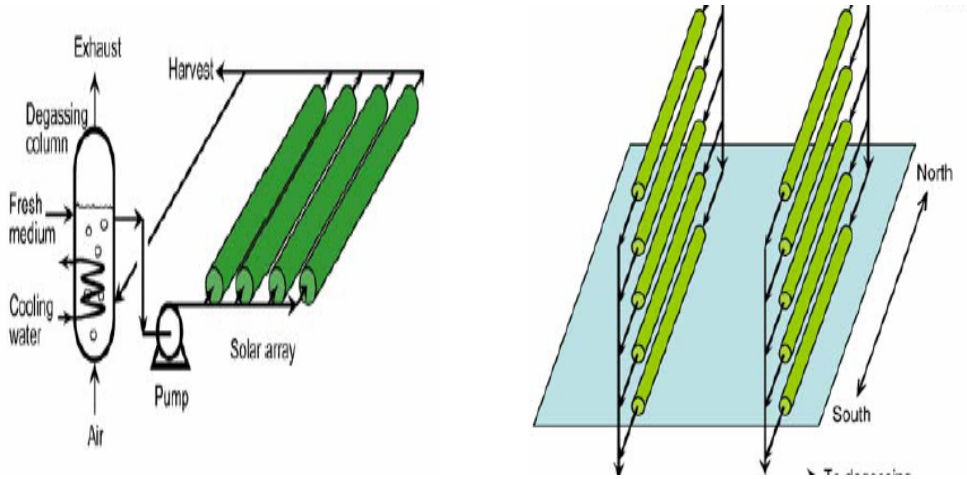
۲) فتوبیوراکتور[2]: فتوبیوراکتورها شامل مدارهای بسته و پوشیده‌ای از آب می‌باشند که شرایط مناسبی برای رشد جلبک با عملکرد بالاتر بوجود می‌آوردند. شکل فتوبیوراکتورها یا به صورت لوله‌های مارپیچ هست که عمدتا در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا به صورت لوله‌های مستقیم که در واحدهای گلخانه‌ای به کار می‌روند[۱۵]. ساختمان فتوبیوراکتورها شامل لوله‌های شفاف پلاستیکی یا شیشه‌ای، کالکتورخورشیدی، مخزن، پمپ، خنک‌کننده و منطقه گازربایی برای خارج‌کردن اکسیژن، می‌باشد. لوله‌ها در سه شکل مارپیچی، استوانه‌ای و افقی قرار می‌گیرند. به دلیل اهمیت نفوذ نور خورشید و رسیدن آن به تمام بیوماس میکروجلبک قطر لوله‌ها معمولا از ۱۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند. طول لوله‌ها نباید

1) Raceway Ponds
2) Photobioreactor

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

بیش از ۸۰ متر باشد زیرا میکروجلبک‌ها در عمل فتوسنتز خود اکسیژن آزاد می‌کنند و در صورت طولانی بودن طول لوله‌ها احتمال اکسیداسیون آنها وجود دارد البته طول موثر لوله‌ها به غلظت بیوماس، چگالی نور، سرعت جریان و غلظت اکسیژن داخل لوله‌ها بستگی دارد. ممکن است کالکتور خورشیدی (مکانی که لوله‌ها در آن قرارمی‌گیرند تا نور خورشید را دریافت کنند) با ورقه‌های سفید پوشیده شود تا احتمال دریافت نور خورشید توسط لوله‌ها بیشتر باشد.

سیستم کاری فتوبیوراکتورها به این صورت می‌باشد که میکروجلبک اولیه که به عنوان مایه تلقیح شناخته می‌شود به همراه آب داخل مخزن ریخته می‌شود و از آنجا توسط پمپ به لوله‌هایی که در کالکتور خورشیدی قرار دارند هدایت و پمپاژ می‌شود. مواد مغذی بعد از پمپ به آن افزوده شده و دی‌اکسیدکربن در چندین مکان به داخل لوله‌ها تزریق می‌شود. برای اینکه اکسیژن موجود در داخل لوله‌ها باعث از بین رفتن میکروجلبک‌ها نشود در منطقه‌ای به اسم منطقه گازربایی[1] اکسیژن از محلول کشت جدا می‌شود. همچنین سیستم ممکن است به یک خنک‌کننده نیز مجهز باشد تا دمای محیط کشت قابل کنترل شود. بهترین دما برای پرورش میکروجلبک‌ها بین ۲۰ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در انتهای لوله‌ها محلول کشت وارد یک مخزن بزرگ می‌شود و از آنجا برداشت انجام می‌گیرد که برای برداشت، می‌توان مخلوط آب و میکروجلبک را فیلتر کرده و یا از دستگاه‌های سانتریفوژ بهره برد[۶].



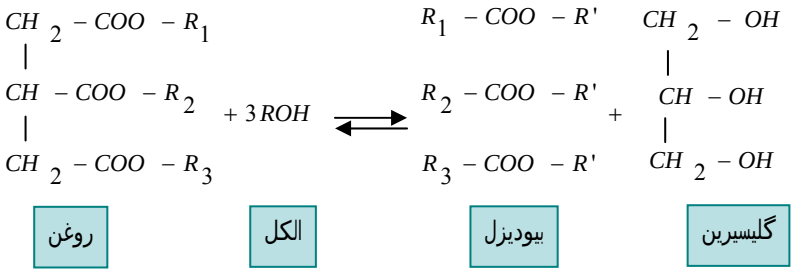
شکل (۳) : نمایی از فتوبیوراکتورهای مختلف

1) Degassing zone

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

روشهای استخراج روغن از میکروجلبک: روغن‌کشی از میکروجلبک‌ها بـه دو روش پـرس سـرد[1] و اسـتفاده از حـلال[2] صورت می‌گیرد. پرس سرد به دلیل اینکه عملکرد پایینی دارد امروزه در صنعت هم خیلی کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. تـا استخراج به کمک محلول با استفاده از حلال‌هایی که قادرند چربی را در خود حل کنند، انجام می‌گیرد. مهمترین حلالی که در صنعت استفاده می شود، حلال هگزان است البته از حلال های دیگری مثل اتانول و بنزن هم مـی‌تـوان اسـتفاده کـرد. میکروجلبک دارای دیواره سلولی بسیار سختی است بنابراین لازم است تا قبل از روغـن‌کـشی از آن، دیـوارۀ سـلولی آن بـا روش مکانیکی(ساییدن به کمک ذرات شن) یا شیمیایی(استفاده از اسیدها) شکسته شود[۳].

روشهای تولید بیودیزل از روغن میکروجلبک: تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از روغـن خـالص در موتـور، مناسـب نیستند بنابراین لازم است تا ساختار زنجیره‌های هیدروکربنی روغن به اجزاء سـاده‌تـری شکـسته شـوند کـه ایـن کـار بـه روش‌های مختلفی مانند پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس‌استریفیکاسیون انجام می‌گیرد[۲و۴]. از بین ایـن روش‌هـا، روش ترانس‌استریفیکاسیون[3] به لحاظ سادگی کاربرد بیشتری دارد. این فرآیند شبیه به فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که بـه جای آب، الکل جایگزین می‌شود. بدین منظور مولکول‌های ترکیبات روغن یا چربی با یک الکل مانند متانول و یا اتانول در حضور یک کاتالیزور اسیدی یا قلیایی شرکت کرده و OH الکل مورد اسـتفاده جـایگزین زنجیـره هیـدروکربنی موجـود در روغن می‌شود. در نتیجه استرهایی با ساختمان مولکولی جدید به نام استرهای متیل یا اتیل اسید چرب بوجود مـی‌آیـد کـه تشابه زیادی با گازوئیل شماره ۲ دارند[۲و۷]. میزان کاتالیزور مصرفی برابر ۱- ۰/۵ درصد وزنـی روغـن مـی‌باشـد. نـسبت استوکیومتریک برای واکنش نسبت ۳ به ۱ مولی الکل به روغن اسـت ولـی عمومـا در صـنعت از نـسبت ۶ بـه ۱ اسـتفاده می‌کنند که این به دلیل اطمینان از پیشرفت سریع و انجام کامل واکنش بوده و از نظر اقتصادی نیز باصرفه می‌باشد. یکـی از محصولات با ارزش در فرآیند ترانس استریفیکاسیون گلسیرین است که در صـنایع مختلـف از جملـه داروسـازی و مـواد آرایشی کاربرد دارد. در شکل(۱) فرآیند تبدیل روغن به بیودیزل نشان داده شده است[۲و۸].

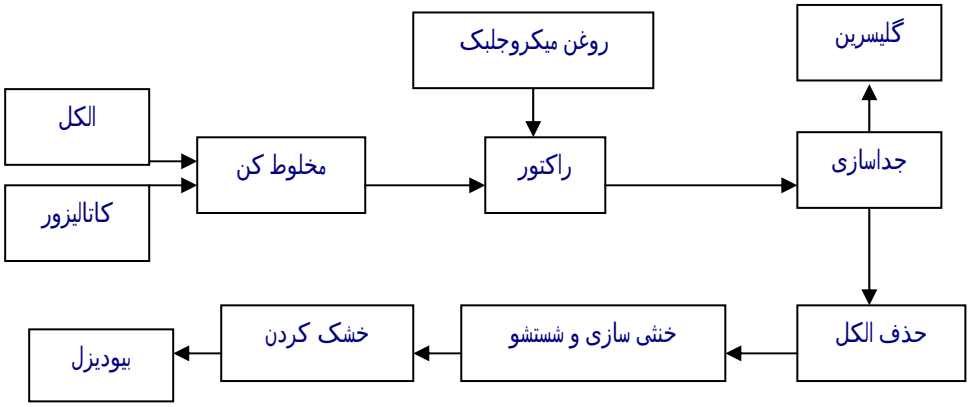


شکل (٤): فرآیند تبدیل روغن به بیودیزل

1) Cold press
2) Solvent
3) Transestrification

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

ترانس‌استریفیکاسیون از نظر اقتصادی با صرفه بوده و روش ساده تری می‌باشد معمولا از این روش استفاده می‌کنند. این فرآیند شبیه تولید بیودیزل از سایر روغن‌های گیاهی می‌باشد[۱۰]. در این فرآیند نیز یکی از محصولات فرعی با ارزش گلیسرین است که در مرحله جداسازی از محصول جدا می‌شود. برای خشک کردن بیودیزل بعد از مرحله شستشو از روش تبخیر در خلاء استفاده می‌شود.



شکل(۵): فرآیند تولید بیودیزل از میکروجلبک

برای اینکه بتوان از روغن میکروجلبک به عنوان سوخت در موتورهای دیزل استفاده نمود، باید ساختار تری‌گلیسیردهای آن شکسته شده و ویسکوزیته آن کاهش پیدا کند. برای این کار می‌توان علاوه بر ترانس‌استریفیکاسیون، از فرآیند پیرولیز نیز بهره گرفت. در روش پیرولیز، ویسکوزیته روغن به کمک حرارت بالا و در حضور هوا یا نیتروژن کاهش می‌یابد. محصول نهایی در این فرآیند بیودیزل نیست بلکه روغنی هست که ویسکوزیته آن کاهش پیدا کرده و برای استفاده در موتور بهینه شده است[۱۱].

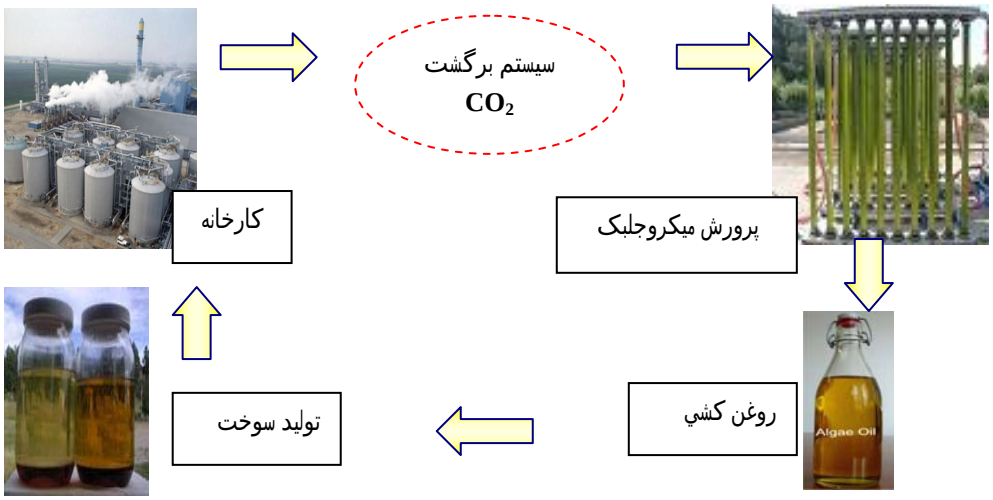
بحث و نتیجه گیری

میزان مصرف گازوئیل در ایران طبق آمار ارائه شده از طرف وزارت نفت برابر ۳۰/۵۵ میلیارد لیتر در سال ۱۳۸۶ می‌باشد [۱۷] و از طرفی میزان مصرف روغن در ایران برابر ۱/۲ میلیون تن هست که از این مقدار فقط ۱۲/۵٪ آن در داخل تولید می‌شود و مابقی یعنی در حدود ۸۵۰ هزار تن روغن گیاهی وارد کشور می‌شود[۱۴] لذا تولید سوخت جایگزین برای گازوئیل، از دانه‌های روغنی مناسب نیست. از طرف دیگر، با اتمام منابع سوخت‌های فسیلی و به وجود آمدن بحران انرژی در جهان، کشور ایران نیز با آن روبرو خواهد شد، بنابراین یافتن منابع جدید انرژی نه تنها انتخاب نیست بکه یک الزام است. میکروجلبک‌ها این قابلیت را دارند که بتوانند به عنوان منبعی مطمئن برای انرژی مطرح باشند. میکروجلبک‌ها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

رشد سریعی داشته به طوری که در مدت ۲۴ ساعت توده بیوماس به دو برابر افزایش می‌یابد و قابلیت سازگاری با محیط‌های مختلف را دارند و حتی می‌توانند در آب و هوای سرد و خشن پرورش یابند.

میکروجلبک‌ها می‌توانند در واحدهای کوچک تولید انرژی در خدمت کارخانجاتی که مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن تولید می‌کنند، باشند. در یک سیستم تولید سوخت به کمک میکروجلبک، با طراحی یک واحد جذب دی‌اکسیدکربن می‌توان میکروجلبک را پرورش داد و سوخت بیو دیزل تولید نمود [۵].



شکل (۸) : سیستم تولید بیودیزل از میکروجلبک در یک کارخانه

در تولید اقتصادی سوخت از جلبک، می‌توان از بیوماس باقیمانده از میکروجلبک روغن‌گیری‌شده، به عنوان غذای حیوانی و یا کود استفاده کرد و یا از آن به کمک تخمیر، الکل اتانول تولید کرد. همچنین از گلیسیرین تولید شده در عملیات ترانس‌استریفیکاسیون می‌توان در صابون‌سازی و یا صنایع آرایشی استفاده کرد. جهت کاهش هزینه‌های تولید می‌توان از آب دریا به همراه بعضی از مواد مغذی مانند فسفات و نیترات جهت محیط کشت میکروجلبک استفاده کرد. همچنین از فاضلاب برای تغذیه میکروجلبک می‌توان بهره گرفت. با طراحی فتوبیوراکتورهای مناسب می‌توان سرعت رشد میکروجلبک را افزایش داده و از مرگ و میر آن جلوگیری کرد. به کمک علم ژنتیک می‌توان تغییراتی از قبیل، افزایش فتوسنتز موثر برای افزایش عملکرد بیوماس، افزایش سرعت رشدی بیوماس، افزایش حجم روغن بیوماس، بهبود محدودهٔ دما برای کاهش هزینه‌های خنک کردن، حذف پدیده اشباع نوری، کاهش قابلیت فتواکسیداسیون که باعث آسیب سلول‌ها می‌شود، را انجام داد تا هزینه‌های تولید را کاهش داده و قابلیت میکروجلبک‌ها را افزایش دهیم[۶].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

منابع

[۱] کوچکی. ع.، "کارایی انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.، شماره ۱۵۸، ۱۳۷۸.

[۲] نجفی،ب. پیروزپناه، و. قبادیان،ب. ۱۳۸۵، "فرآیند احتراق و آلایندگی موتور دوگانه سوز با استفاده از سوخت گاز طبیعی و بیودیزل"، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

[۳] پروانه.و، "کنترل کیفی و آزمایش‌های مواد غذایی"، انتشارات دانشگاه تهران، شمارهٔ ۱۴۸، ۱۳۷۱.

[4] A.H. Scragg, J. Morrison, S.W. Shales. 2003. "The use of a fuel containing Chlorella vulgaris in a diesel engine". Faculty of Applied Sciences, Centre for Research in Environmental Systems, Pollution and Remediation,University of the West of England, Frenchay, Bristol BS16 1QY, UK.

[5] A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: "Biodiesel from Algae".

[6] Yusuf Chisti .13 February 2007. "Biodiesel from microalgae". New Zealand, Institute of Technology and Engineering, Massey University.

[7] Weing.Z, "production of sunflower oil ethyl ester for use as a Biodiesel fuel", Canada,Toronto university,2000.

[8] J.Van Gerpen, B. Shanks, and R.Pruszko. 2004. Biodiesel Analytical Methods, Subcontractor Report, Iowa State University

[9] Sazdanof,N. and Guezennec,Y. 2006. "Modeling and Simulation of the Algae to Biodiesel Fuel Cycle". Ms.c thesis, Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University, USA.

[10] Xu,H. and Miao,X. and Wu,Q. 2006. "High quality biodiesel production from a microalga Chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters". Jurnal of Biotechnology 126, pp.499-507.

[11] Xiaoling Miao, Qingyu Wu, Changyan Yang. "Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels". 2003. Department of Biological Sciences and Biotechnology, Tsinghua University, PR China c Institute of Process Engineering.

[12] http://www.mardoman.com/diet/algae.aspx

[13] http://rifr.blogfa.com/cat-2.aspx

[14] http://www.hamshahrionline.ir/News/?id=9233

[15] E. Molina, J.Ferna´ndez, F.G. Acie´n, Y.Chisti. 2000. "Tubular hotobioreactor design for algal cultures". Department of Chemical Engineering, Uni_ersity of Almerı´a, E-04071 Almeria, Spain.

[16] http://www.farsnews.com/newstext.php?nn=8612250285

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]