

تولید بیودیزل از میکرو جلبک *Chlorella Vulgaris* و تعیین برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن

## مهدی ترکیان بلداجی\*

گروه صنایع غذایی، واحد ورامین، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین - پیشوا، ایران

## بهمن نجفی

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

## محمدامین حجازی

پژوهشگاه بیوتکنولوژی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲۹

## چکیده

**مقدمه:** پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی و آلودگی زیست محیطی ناشی از احتراق آن، موجب بحران انرژی و بحران زیست محیطی شده است. در همین راستا سوخت‌های جایگزین و در راس آن بیودیزل بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌اند.

**هدف:** منشاء تولید بیودیزل روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی می‌باشد. میکرو جلبک‌ها با قابلیت رشد سریع و تولید حجم بالای روغن می‌توانند به عنوان منبعی جدید برای بیودیزل مطرح باشند.

**روش بررسی:** در این تحقیق از میکرو جلبک *Chlorella vulgaris* برای تولید بیودیزل استفاده گردید. برای پرورش میکرو جلبک از فتوبیوراکتور کانالی سرپوشیده استفاده گردید. دمای °C ۲۵، pH ۶/۷ و شدت نور (μ.mol.photon/m<sup>2</sup>.s) به ۲۳۰ به عنوان شرایط محیط رشد میکرو جلبک انتخاب شد. به دلیل سخت بودن دیواره سلولی این نوع میکرو جلبک، دیواره آن با دستگاه آلتراسونیک در دمای °C ۴۰ شکسته شد و جهت عملکرد بهتر و تولید اقتصادی‌تر، بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون و با متیلاسیون مستقیم بر روی پودر میکرو جلبک، تولید

گردیده و به کمک حلال هگزان از بیوماس میکروجلبک استخراج شد. سپس سوخت بیودیزل تولید شده با استفاده از دستگاه GC-MASS آنالیز گردید.

**نتایج:** اسیدهای چرب ۱۸ کربنه با ۵۴٪ بیشترین نوع اسید چرب موجود در بیودیزل می باشد. اسید لینولئیک با ۴۷٪، اسید پالماتیک با ۲۰٪ و اسید لینوسریک با ۱۹٪ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده اند. نقطه ریزش و نقطه ابری شدن بیودیزل به ترتیب ۱۱- و ۰°C بدست آمد. همچنین ارزش حرارتی بیودیزل  $\text{kJ/kg}$  ۴۰۹۰۰ تعیین گردید.

**نتیجه گیری:** هر چند وجود برخی از اسیدهای چرب اشباع نشده باعث افزایش نقطه ابری شدن و نقطه ریزش گردید اما میکروجلبکها با رشد سریع می تواند به عنوان یک منبع خوب برای تولید بیودیزل مطرح شوند.

**واژه های کلیدی:** بیودیزل، میکروجلبک، فتوبیوراکتور، اسید چرب

#### مقدمه

در حال حاضر مهمترین منبع تامین انرژی مورد نیاز انسان، چه در بخش صنعت و حمل و نقل و چه در بخش خانگی و کشاورزی، سوخت های فسیلی و مشتقات آن می باشد، این در حالی است که کاهش شدید منابع سوخت های فسیلی و صنعتی شدن اکثر کشورها و وابستگی آنها به انرژی و در نتیجه افزایش قیمت جهانی سوخت، موجب بحران انرژی شده است و از طرف دیگر افزایش مصرف سوخت و عدم دقت در نحوه مصرف آن باعث ایجاد بحران زیست محیطی در سطح جهان گردیده است. این دو بحران موجب شده تا محققان و دانشمندان، دنبال منابع تجدیدپذیری از انرژی باشند. انرژیهای بیولوژیک به عنوان یک انرژی جایگزین مطرح شده اند که برای استفاده از آن نیاز چندانی به تغییر در موتور نیست.

بیودیزل متیل استر یا اتیل استر روغن های طبیعی می باشد که شباهت زیادی به گازوئیل شماره ۲ دارد و می تواند به عنوان یک سوخت جایگزین در موتورهای دیزل استفاده شود. برای تولید بیودیزل لازم است تا ساختار تری گلیسیریدهای روغن های طبیعی به اجزای ساده تری شکسته شود که این کار به سه روش پیرولیز، میکرومولسیون و ترانس استریفیکاسیون انجام می شود. از بین این روش ها روش ترانس استریفیکاسیون به لحاظ سادگی کاربرد بیش تری دارد. این فرآیند شبیه به فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب الکل جایگزین می شود. بدین منظور مولکول های ترکیبات روغن یا چربی با یک الکل مانند متانول یا اتانول در حضور یک کاتالیزور اسیدی یا قلیایی شرکت کرده و OH الکل مورد استفاده جایگزین زنجیره هیدروکربنی موجود در روغن می شود در نتیجه استرهایی با ساختمان مولکولی جدید به نام استرهای آلکیل اسید چرب بوجود می آید.<sup>(۱)</sup>

از روغن های گیاهی، چربی های حیوانی و روغن پسماند می توان برای تولید بیودیزل استفاده کرد. اما تولید بیودیزل از روغن های خوراکی باعث بوجود آمدن رقابت شدید در بازار خواهد شد و قیمت روغن به سرعت اوج می گیرد اما روغن های غیر خوراکی نظیر روغن میکروجلبک می تواند چاره کار باشد.

گونه‌ای از میکرو جلبک‌ها قادر به تولید روغن زیاد هستند. نوعی از این میکرو جلبک‌ها قادرند تا ۷۰٪ وزن خشک خود روغن تولید کنند. میکرو جلبک‌ها قابلیت سازگاری با محیط‌های مختلف را دارند و در شرایط مختلف قادر به رشد می‌باشند. میکرو جلبک‌ها حتی می‌تواند از مواد آلوده و فاضلاب برای تغذیه خود استفاده کند و با آب دریا آبیاری شود.<sup>(۲)</sup>

میکرو جلبک *Chlorella vulgaris* به دلیل رشد سریع و قابلیت سازش با شرایط محیطی مورد توجه قرار گرفته و برای مصارف مختلف کشت می‌شود. این جلبک در شرایط مختلف محیطی و با توجه به مواد مغذی که در اختیارش قرار می‌گیرد قادر است مواد مختلفی از جمله چربی را در بافت خود ذخیره کند. این ویژگی باعث گردید تا محققان به این میکرو جلبک نگاه تازه‌ای داشته باشند. تبدیل روغن جلبک به بیودیزل همان فرآیندی را دنبال می‌کند که طی آن روغن‌های گیاهی به بیودیزل تبدیل می‌شوند.<sup>(۳)</sup>

## مواد و روشها

### کشت میکرو جلبک

برای کشت و تولید میکرو جلبک، از دستگاه فتوبیوراکتور استفاده گردید. میکرو جلبک *Chlorella vulgaris* مورد نیاز از پژوهشگاه بیوتکنولوژی غرب و شمالغرب ایران تهیه گردید. قبل از کشت در داخل فتوبیوراکتور ابتدا باید مایه تلقیح آماده شود بدین منظور سه محیط کشت یک لیتری کاملاً استریل شده آماده گردید (مواد لازم برای تهیه محیط کشت با توجه به نیاز غذایی میکرو جلبک آماده شد) و سپس به هر یک از آنها به میزان ۵۰ CC میکرو جلبک زنده اضافه شده و به مدت دو هفته در اتاق فتوترون<sup>۱</sup> در دمای ۲۵°C قرار داده شدند. در این تحقیق از فتوبیوراکتوری که در شکل شماره (۱) نشان داده شده است استفاده گردید. این فتوبیوراکتور شامل یک کانل روبسته‌ای بود که آب به کمک یک چرخ پدالی که با یک الکتروموتور لینک شده بود به گردش در می‌آمد. قطر چرخ پدالی ۱۵ cm سانتی متر و سرعت گردش آن ۱۷۰ rpm بود. نور مورد نیاز برای کشت از طریق دو عدد پروژکتور و تعدادی لامپ فلورسنت مهیا می‌شد.

شدت نور  $230 \mu\text{mol}\cdot\text{photon}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  تنظیم گردید (میزان نور با دستگاه Light meter YK-2001LX

ساخت کشور تایوان اندازه گیری شد). فتوبیوراکتور مجهز به سیستم گرمایش و سرمایش خودکار بود که کنترل گرما را به صورت اتوماتیک انجام می‌داد. دمای بهینه برای کشت میکرو جلبک ۲۵ °C است. به منظور کنترل pH از تزریق گاز دی‌اکسید کربن استفاده گردید. pH مناسب برای کشت میکرو جلبک کلرلا ۶/۷ می‌باشد.<sup>(۳)</sup>

هوادهی در دو نقطه، یکی قبل از چرخ پدالی و دیگری بعد از چرخ پدالی با شدت 3 lit/min صورت می‌گرفت.

میزان مصرف دی‌اکسید کربن برابر ۰/۵ لیتر در ثانیه بود. مساحت سطح فتوبیوراکتور ۰/۶ m<sup>2</sup> و آب تا ارتفاع ۱۵ cm به داخل آن ریخته شد. بدین ترتیب مواد مغذی مورد نیاز برای حجم ۹۰ لیتر آماده گردید و به محیط کشت اضافه شد.



شکل ۱ - نمایی از فتوبیوراکتور استفاده شده در این تحقیق

سپس مایه تلقیح در داخل فتوبیوراکتور ریخته شد. با رشد میکروجلبک غلظت محیط کشت افزایش می‌یابد و به دلیل مصرف مواد غذایی و همچنین نفوذ نکردن نور به قسمت‌هایی پایینی، رشد آنها متوقف شده و بعد از این مرحله، مرگ و میر میکروجلبک‌ها شروع می‌شود. در مرحله‌ای که رشد میکروجلبک‌ها متوقف شده و عملاً تراکم آنها ثابت می‌ماند زمان برداشت شروع می‌شود. به منظور جدا سازی میکروجلبک، از دستگاه سانتریفوژ (مدل Allegra X-22r) استفاده شد.

بعد از سانتریفوژ کردن خمیر میکروجلبک کلرلا بدست آمد. توده سلولی میکروجلبک در دستگاه فریزدرایر (مدل Savant Novalyphe NL 500 lyophilizer) تحت خلا ۰/۱ mbar و در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  - به مدت ۱۲ ساعت خشک شد.<sup>(۴)</sup>

#### تعیین سرعت رشد میکروجلبک

در این تحقیق به منظور تعیین میزان رشد میکروجلبک از چگالی نوری محیط کشت استفاده گردید<sup>(۵)</sup>. به این منظور هر ۲۴ ساعت چگالی نوری محیط کشت با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-1601 PC ساخت SHIMADZU ژاپن) اندازه گیری شد

#### مراحل تولید بیودیزل

برای تولید بیودیزل ابتدا می‌بایست روغن میکروجلبک را خارج کرده و سپس به روش ترانس استریفیکاسیون روغن استخراج شده به بیودیزل تبدیل شود. اما در این تحقیق از یک روش ارزان قیمت برای تولید بیودیزل استفاده شده است بدین ترتیب که روغن در داخل بیوماس میکروجلبک متیل شده و فقط متیل استر اسیدچرب که در واقع همان بیودیزل است از میکروجلبک استخراج شد. یعنی در واقع عمل متیلاسیون در داخل بیوماس میکروجلبک صورت می‌گیرد بدین ترتیب مرحله روغن گیری حذف شده و لذا تولید بیودیزل آسانتر و در

عین حال اقتصادی تر می‌گردد. در این تحقیق از سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیزور و متانول استفاده شد.

#### تولید متوکسید سدیم

مقدار ۲۵ gF گرم هیدرواکسید سدیم وزن شده، به آرامی به ۴۰۰ cc الکل متانول اضافه گردید و برای انحلال زودتر و راحت‌تر الکل به آرامی گرم شد. محلول بدست آمده را اصطلاحاً متواکسیدسدیم گویند.

#### شکستن دیواره سلولی

از آنجایی که میکروجلبک *Chlorella vulgaris* دارای دیواره سلولی سختی می‌باشد و ممکن است این دیواره در استخراج متیل استر اسیدچرب ایجاد اشکال کند باید آنرا شکست. برای شکستن دیواره سلولی از دستگاه آلتراسونیک استفاده شد. خمیر میکروجلبک بدست آمده در داخل دستگاه آلتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴۰ °C قرار داده شد. بدین ترتیب دیواره سلولی میکروجلبک تخریب گردیده و سپس به آن سدیم متوکسید اضافه گردید.<sup>(۴)</sup>

#### افزودن متوکسید سدیم به پودر میکروجلبک

سدیم متوکسید تولید شده به پودر میکروجلبک اضافه شده و کاملاً با آن مخلوط گردیده تا یک سوسپانسیون بدست آید.

#### افزودن هگزان به سوسپانسیون تولید شده

بعد از شکستن دیواره سلولی و افزودن سدیم متوکسید به آن به مدت ۴ ساعت مخلوط بهم زده شده و سپس مخلوط به ظرف فشار استیلی منتقل گردید و به آن هگزان اضافه شد. از هگزان به منظور خارج کردن متیل استر اسیدچرب از بیوماس استفاده شد. بعد از افزودن هگزان به مخلوط درب ظرف را محکم بسته و برای اطمینان از تخریب سلولی، ظرف دوباره در داخل دستگاه آلتراسونیک قرار داده شد و دما بر روی ۷۰ °C درجه تنظیم گردید، همچنین ظرف تحت فشار استیل بر روی ۳ اتمسفر تنظیم گردید. فشار و درجه حرارت بالا به خارج شدن متیل استر کمک می‌کند. بعد از رسیدن فشار به ۳ اتمسفر، ظرف فشار به حمام آب سرد منتقل گردید.

#### ختی سازی

در این مرحله چون از سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیزور استفاده شده است، از اسید کلریدریک (HCL) برای انجام عملیات ختی سازی استفاده گردید و pH به ۷ رسانده شد.

#### جداسازی

به منظور جداسازی بیودیزل تولید شده، ابتدا مخلوط به مدت ۵ ساعت به حالت سکون قرار داده شده تا میکروجلبک و مواد جامد آن رسوب کند. فاز مایع از فاز جامد جدا گردیده و برای اطمینان از عدم وجود ناخالصی‌ها و میکروجلبک در آن، عمل فیلتراسیون انجام شد.

## حذف هگزان

برای حذف هگزان، روش تبخیر در خلاء به کار برده شد بدین منظور از دستگاه روتاری وکیوم<sup>۱</sup> استفاده گردید. دما بر روی  $80^{\circ}\text{C}$  و فشار بر روی  $0/1$  اتمسفر تنظیم گردید تا هگزان، آب و الکل باقیمانده به طور کامل از بیودیزل جدا شود. در نهایت محلول بدست آمده، رنگی سبز مایل به زرد داشت.

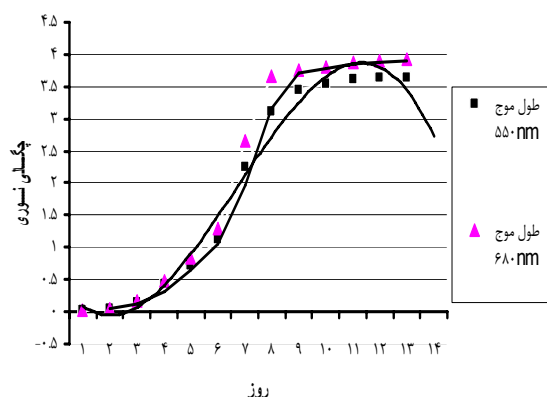
## استفاده از خاک رنگبری

بعد از حذف هگزان عملیات رنگبری صورت گرفت، در این مرحله از خاک رنگبری به این منظور استفاده شد. خاک رنگبری به میزان  $5\%$  وزنی بیودیزل به آن اضافه گردیده و دمای بیودیزل تا  $40^{\circ}\text{C}$  درجه افزایش یافت و محلول در حدود ۱۵ دقیقه در این دما نگه داشته شده و سپس از کاغذ صافی عبور داده شد. در این مرحله بیودیزل تولید شده رنگ زردتری به خود گرفت اما کلروفیل آن به طور کامل حذف نشد.

## نتایج و بحث

## سرعت رشد میکروجلبک

نمودار رشدی این میکروجلبک که در نمودار ۱ نشان داده شده است نمایان می کند که رشد میکروجلبک به صورت لگاریتمی بوده و بیشترین رشد آن در روزهای چهارم تا نهم اتفاق می افتد و بعد از آن رشد میکروجلبک به دلیل کاهش مواد مغذی و همچنین بالارفتن غلظت محیط کشت و عدم نفوذ نور در آن کند شده و در روزهای دوازدهم به بعد شیب خط تقریباً افقی شده و از روز چهاردهم رشد متوقف می شود که این می تواند به دلیل اتمام مواد غذایی و یا کدر شدن محیط و عدم نفوذ نور در آن باشد. از روی نمودار می توان متوجه شد که دو روز طول کشیده تا میکروجلبک به محیط عادت کرده و با محیط سازگار شود. به عبارت ساده تر فاز تاخیری رشد میکروجلبک دو روز طول کشیده است.



نمودار ۱- منحنی رشد میکروجلبک بر اساس چگالی نوری<sup>۲</sup>

## عملکرد بیوماس میکروجلبک

مساحت اشغال شده توسط فتوبیوراکتور  $0/6m^2$  و حجم آن در حدود ۹۰ لیتر می‌باشد. میزان بیوماس تولیدی در مدت دو هفته ۴۱ گرم ماده خشک بود. در صورتی که از یک فتوبیوراکتور ۱۰۰۰۰ لیتری استفاده شود میزان تولید بیوماس در مدت دو هفته ۴۵۵۵ گرم بیوماس خشک میکروجلبک خواهد بود این در حالی است که می‌توان فتوبیوراکتور را به گونه‌ای طراحی کرد که فقط  $10m^2$  زمین اشغال کند و این نشان از قابلیت بالای این میکروجلبک در تولید بیوماس است.

## میزان تولید بیودیزل از میکروجلبک

در این تحقیق از روش استخراج مستقیم متیل استر از بیوماس استفاده با توجه به میزان متیل استر استخراج شده از بیوماس میکروجلبک، با کمک دستگاه سوکسله، عملکرد این میکروجلبک در تولید بیودیزل  $8/73\%$  وزن خشک برآورد گردید که عملکرد پایینی محسوب می‌شود و از این حیث این نوع میکروجلبک برای تولید بیودیزل مطلوب نمی‌باشد و با توجه به هزینه‌های تولید بهتر است گونه‌های با درصد روغن بالا استفاده شوند.

## خواص فیزیکی و شیمیایی سوخت بیودیزل خالص

برای بیودیزل تولید شده خواصی شامل چگالی، ویسکوزیته، نقطه‌ی ابری شدن، نقطه‌ی ریزش و ارزش حرارتی مطابق با استاندارد ASTM اندازه‌گیری شده و با گازوئیل خالص مورد مقایسه قرار گرفت.

- چگالی بیودیزل مطابق با استاندارد ASTM D4052 با استفاده از روش وزنی اندازه‌گیری شد.
- ویسکوزیته بیودیزل نیز مطابق استاندارد ASTM D445 به کمک ویسکوزیته‌متر موئین و در دمای  $40^{\circ}C$  اندازه‌گیری شد.<sup>(۶)</sup>

- نقطه‌ی ابری شدن دمایی است که اولین شبکه‌های مومی در داخل سوخت ایجاد می‌شود. هر چقدر این نقطه بالاتر باشد قابلیت استفاده از سوخت در شرایط سرد پایین آمده و احتمال گرفتگی فیلتر و مجاری سیستم سوخت رسانی افزایش می‌یابد. نقطه ابری شدن بیودیزل مطابق با استاندارد ASTM D2500 اندازه‌گیری شد.<sup>(۷)</sup>

- نقطه‌ی ریزش دمایی است که سوخت از جریان یافتن باز می‌ماند و کمترین دمایی است که می‌توان از سوخت استفاده کرد. استفاده از سوخت در دماهای کمتر از نقطه ریزش باعث اختلالات در عملکرد موتور و قطعات سیستم سوخت رسانی می‌شود. این نقطه برای بیودیزل مطابق استاندارد ASTM D97 اندازه‌گیری شد.<sup>(۸)</sup>

- ارزش حرارتی: محتوای انرژی یک سوخت، به مقدار گرمایی گفته می‌شود که یک سوخت در شرایط محیطی آزاد کرده و می‌سوزد.<sup>(۹)</sup> ارزش حرارتی، مطابق استاندارد ASTM D240 به وسیله‌ی بمب کالریمتر اندازه‌گیری شد. در این تحقیق از کالریمتر Pars Paygeer مدل PM-52 برای اندازه‌گیری ارزش حرارتی بیودیزل استفاده گردید. نتایج بدست آمده در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- برخی خواص تعیین شده برای سوخت بیودیزل حاصل از میکروجلبک

| خواص                       | روش اندازه گیری | مقدار تعیین شده | واحد   |
|----------------------------|-----------------|-----------------|--------|
| نقطه‌ی روشنایی             | D93             | ۱۴۵             | °C     |
| ویسکوزیته سینماتیک در ۴۰°C | D445            | ۶۳۷۱            | S      |
| عدد ستان                   | D613            | ۶۰              | -      |
| نقطه‌ی ابری شدن            | D2500           | ۰               | °C     |
| نقطه‌ی ریزش                | D97             | -۱۱             | °C     |
| ارزش حرارتی                | D240            | ۴۰۹۰۰           | Kj/kg  |
| چگالی در ۲۵°C              | روش وزنی        | ۰/۸۶۱           | Kg/Lit |

### آزمون GC-MASS

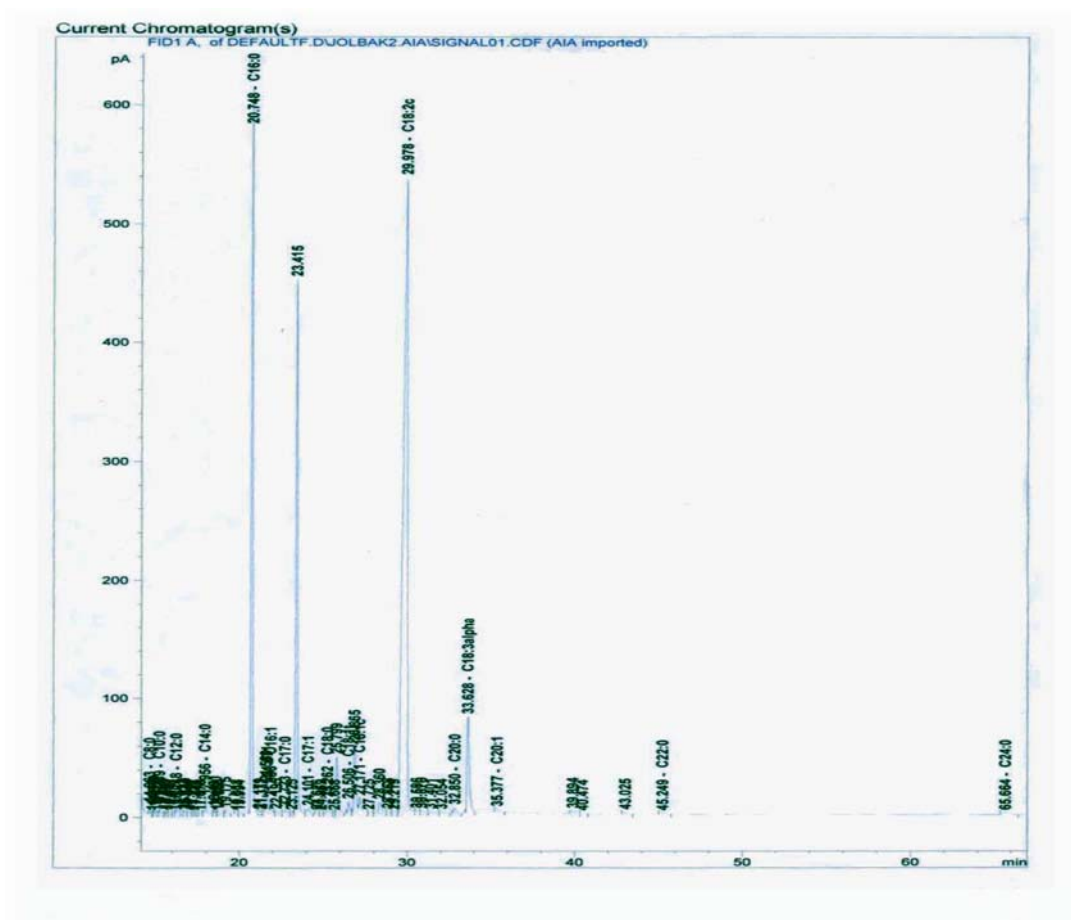
نتایج حاصل از آزمون GC-MASS در شکل ۲ و جدول ۲ آورده شده است. میکروجلبک *Chlorella vulgaris* دارای گستره وسیعی از اسیدهای چرب است که از اسیدهای چرب ۸ کربنی شروع شده و به اسیدهای چرب ۲۴ کربنی و یا حتی بیشتر نیز می‌رسد. گوناگونی اسیدهای چرب، این میکروجلبک را منحصر به فرد کرده است. انتظار می‌رود که بیودیزل حاصل از میکروجلبک بیشتر به صورت متیل لینولئیک بوده که در حدود ۵۰٪ از جرم موجود در بیودیزل را به خود اختصاص داده است. برای اینکه بتوان فرمولی برای بیودیزل حاصل از میکروجلبک کلرلا بدست آورد، میانگینی از اسیدهای چرب موجود در بیودیزل در نظر گرفته می‌شود.

اسید چرب لینولئیک با ۴۷/۳۳٪ بیشترین نوع اسدی چرب موجود در بیودیزل می‌باشد. بعد از آن اسیدهای چرب پالماتیک با ۲۰/۵۵٪، اسید چرب لینوسریک با ۱۹٪ و اسید چرب اولئیک با ۷/۱٪ بیشترین سهم موجود در بیودیزل را به خود اختصاص داده‌اند. وجود برخی از اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اسید لینولئیک در بیودیزل حدس زدن فرمول مولکولی را برای این نوع ماده سخت می‌کنند اما می‌توان با توجه به درصد استرهای موجود در سوخت مطابق جدول (۴-۲)، فرمول کلی  $C_{19}H_{37}O_2$  برای آن پیشنهاد داد که مطابق آن جرم یک مول سوخت بیودیزل، ۲۹۷ گرم تعیین گردید. تعداد هیدورژن‌های کمتر نسبت به کربن، بیان کننده وجود پیوندهای دوگانه در استر تولیدی می‌باشد.

### آزمون IR

همانطور که اشاره شد برای تولید بیودیزل از یک روش جدید استفاده شده است و جهت تست بیودیزل تولید شده از آزمون IR استفاده گردید. برای اینکه بتوان نتایج تست را با منبعی مقایسه کرد ابتدا یک متیل استر از روغن آفتابگردان تولید کرده و از آن تست گرفته شد سپس از بیودیزل تولید شده از میکروجلبک نیز تست گرفته شده و با





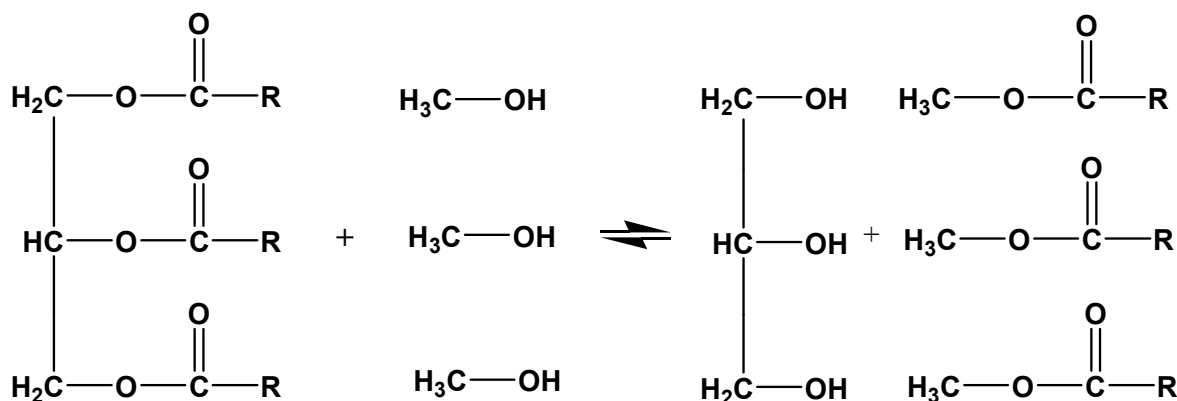
شکل ۲- نتایج آزمون GC-MASS بیودیزل تولید شده،

جدول ۲- ترکیبات اسید چرب موجود در بیودیزل میکروجلبک

| میزان برحسب % | اسیدهای چرب        |
|---------------|--------------------|
| ۰/۱۳          | C <sub>8</sub>     |
| ۰/۱۷          | C <sub>10</sub>    |
| ۰/۲۴          | C <sub>12</sub>    |
| ۰/۴۷          | C <sub>14</sub>    |
| ۲۰/۵۵         | C <sub>16</sub>    |
| ۰/۸۷          | C <sub>17</sub>    |
| ۷/۱           | C <sub>18:1c</sub> |
| ۴۷/۲۳         | C <sub>18:2c</sub> |
| ۰/۳۲          | C <sub>20</sub>    |
| ۰/۹           | C <sub>22</sub>    |
| ۱۹            | C <sub>24</sub>    |

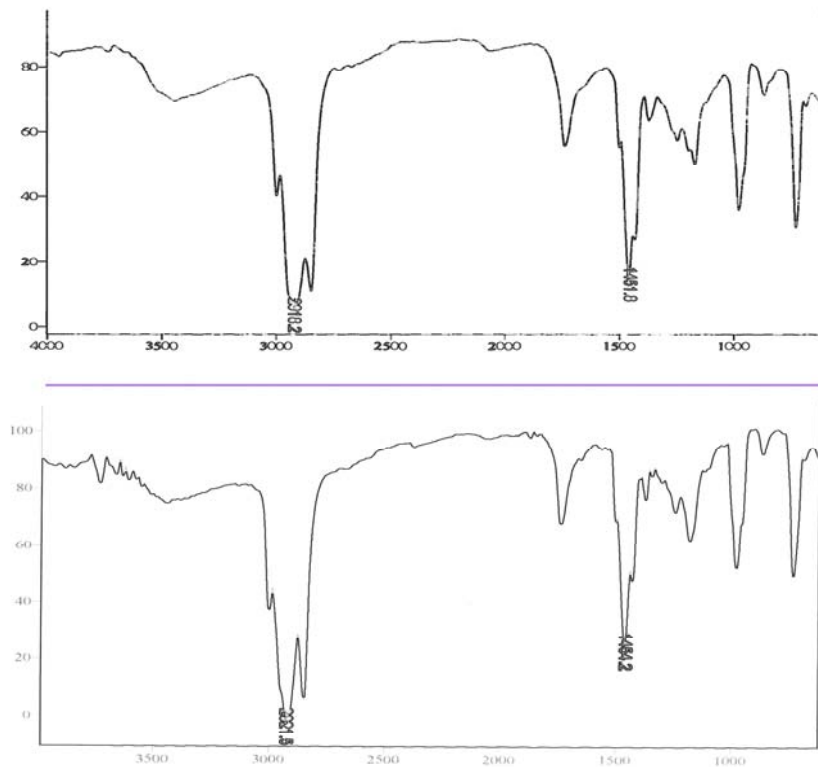
بیودیزل شده و با بیودیزل روغن آفتابگردان مورد مقایسه قرار گرفت هر چند که اسیدهای چرب روغن آفتابگردان و بیودیزل باهم متفاوت است اما ماهیت هر دو یکی است و از نظر شیمیایی می توان آنها را باهم مقایسه کرد. در شکل زیر نتایج کامل از آزمون IR آورده شده است. چون هر پیوند دارای فرکانس ارتعاش طبیعی خاصی است و نیز چون یک پیوند بخصوص در دو مولکول مختلف در دو محیط متفاوت قرار داشته، بنابراین، هیچ گاه دو مولکول با ساختمانهای متفاوت جذب مادون قرمز یا به عبارت بهتر، طیف مادون قرمز مشابهی نمی دهند (اگر چه ممکن است که بعضی از فرکانسهای جذب شده در دو مولکول مشابه باشند، اما هیچگاه دو مولکول مختلف، طیف مادون قرمز کاملاً یکسانی را نخواهند داشت) بنابراین، طیف مادون قرمز را می توان مانند اثر انگشت در انسان برای شناسایی مولکولها به کار گرفت. با مقایسه طیف مادون قرمز دو ماده که تصور می رود مشابه باشند، می توان پی برد که آیا واقعا آنها یکی هستند یا نه. اگر تمام جذبها در طیف دو مولکول بر یکدیگر منطبق شوند، آن وقت به احتمال قریب به یقین دو ماده یکسان هستند.<sup>(۱۰)</sup>

با توجه به فرمول مولکولی بیودیزل و وجود گروههای عاملی شناخته شده در این ترکیب، طیف IR را اینگونه می توان تفسیر کرد که وجود پیکهای در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ nm بیانگر وجود گروه (C-O-C) می باشد که در مولکول بیودیزل نیز موجود بوده و به عنوان یک گروه عاملی استر شناخته شده است و پیک آن منطبق بر پیک حاصل از بیودیزل آفتابگردان می باشد. همچنین پیکهای موجود در محدوده ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ بیانگر وجود گروه عاملی کربونیل (C=O) بوده و پیک، با طول موج ۲۹۱۸nm وجود ترکیبات آلیفاتیک<sup>۲</sup> را تایید می کند که این سه نوع گروه عاملی در مولکول بیودیزل موجود می باشند.



شکل ۳- فرآیند تبدیل روغن به بیودیزل با واکنش ترانس استریفیکاسیون. R نشان دهنده گروه استری بوده که می تواند یکسان بوده و یا باهم متفاوت باشند (اگر گروه R ها باهم متفاوت داشته باشند به آن تری استر گویند)

<sup>1</sup>. Infrared  
<sup>2</sup>. Aliphatic



شکل ۴- طیف مادون قرمز بیودیزل میکروجلبک (تصویر بالا) و روغن آفتابگردان (تصویر پایین)

### نتیجه گیری

#### دوره رشد میکروجلبک

دوره رشدی میکروجلبک به سه دوره، فاز تاخیری، رشد لگاریتمی و دوره مرگ و میر تقسیم می شود. بهترین زمان برای برداشت میکروجلبک در صورتی که شرایط بهینه برای رشد آن مهیا باشد دو هفته بعد از کشت آن در داخل دستگاه فتوبیوراکتور می باشد. رشد تاخیری میکروجلبک دو روز به طول می انجامد و بعد از آن رشد لگاریتمی شروع می شود.

#### تولید بیودیزل و خواص فیزیکی آن

الف) درجه‌ی خلوص الکل تاثیر زیادی در پیشرفت واکنش متیلاسیون و تبدیل روغن به متیل استل را دارد.  
 ب) کاتالیزور نقش زیادی در تولید بیودیزل دارد. کاتالیزورهای بازی عملکرد بهتری دارند. میزان مصرف کاتالیزور معمولاً ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی روغن می باشد.  
 ج) جهت شکستن دیواره سلولی میکروجلبک استفاده از دستگاه آلتراسونیک عملکرد بهتری داشته و میزان استحصال بیودیزل از دیواره های شکسته شده به کمک این فرآیند بیشتر و راحتتر می باشد.

چ) گرم کردن بیوماس تا دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و مخلوط کردن اولیه بیوماس با آب و تولید خمیر بیوماس جهت شکستن دیواره سلولی، بسیار مناسب می باشد.

#### خواص بیودیزل

الف) بیودیزل حاصل از میکروجلبک نسبت به سوخت گازوئیل، ویسکوزیته و چگالی بالاتری دارد اما ارزش حرارتی آن نسبت به سوخت گازوئیل پایین تر است.

ب) سوخت بیودیزل نسبت به سوخت گازوئیل نقطه ابری شدن و نقطه ریزش بالاتری دارد که استفاده از این سوخت را در مناطق سردسیر محدود می کند.

ج) اسدهای چرب ۱۸ کربنه بیشترین نوع اسد چرب موجود در بیودیزل حاصل از میکروجلبک بوده و اسید لینولئک با ۴۷٪ بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است

د) وجود برخی از اسیدهای چرب اشباع نشده باعث گردید تا نقطه ریزش و ابری شدن این بیودیزل نسبت به بیودیزلهایی که از اسیدهای چرب اشباع شده تشکیل شده اند پایین تر بوده و به این دلیل استفاده از آن در مناطق سردسیرتر میسر تر باشد.

#### References:

1. Shaine Tyson, K., *Biodiesel Handling and Use Guidelines*, U.S. Department of Energy, U.S.A. (2004).
2. Yusuf Chisti, C., *Biotechnol. Adv.*, **25**, 294 (2007).
3. Tarik, Z., *Microalgae Grown in Photobioreactor for Mass Production of Biodiesel*, Rutgers university press, U.S.A (2008).
4. Sazdanof, N., and Guezennec, Y., *Modeling and Simulation of the Algae to Biodiesel Fuel Cycle.*, Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University, USA (2007)
5. El-Hassn. B., and Emilio, M., *Process Biochem.*, **35**, 951 (2000).
6. Yeoung, S., and Jong, Moon., P., *Korean J. Chem. Eng.*, **14**, 790 (1997).
7. Weing, Z., *Renewable Energy*, **23**, 229 (2000).
8. Lang, X., Dalai, A.K., and Bakhshi, N.N., *Bioresource Technol.*, **80**, 53 (2001).
9. Rranjbar, I., and Gausem Zadeh, H., R., *Engine. and Tractor Powere.*, Tabriz University Press, Iran (2000).
10. Sadaghi, M.M., and Saedi, M., *Recognition of Organic Combinations by Spectrometry*, Esfahan University press, Iran (1999).
11. Xu, H., Miao, X., and Wu, Q., *J. Biotechnol.*, **126**, 499 (2006).