ارزیابی تولید سوخت بیودیزل از میکروجلبک در یک فتوبیوراکتور و تعیین برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن

طیبه موذنی[۱]، مریم صدرنیا*[۱]، رضا حاجی حسینی[۳]

*msadrnia@yahoo.com

۱- گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

چکیده

بیودیزل متیل استر یا اتیل استر روغن‌های طبیعی می‌باشد که شباهت زیادی به گازوئیل دارد و می‌تواند به عنوان یک سوخت جایگزین در موتورهای دیزل استفاده شود. دراین تحقیق تولید بیودیزل از میکروجلبک در یک فتوبیوراکتور و برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش مخلوط میکروجلبک کشت داده شده از آب راکد، در یک فتوبیوراکتور در دو شدت نور ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ لوکس پرورش و میزان بیومس تولید شده مقایسه شد. بیومس تولیدی از نور ۸۰۰۰ لوکس پس از جداسازی و خشک شدن تحت فرایند ترانس استریفیکاسیون مستقیم قرارگرفته و بیودیزل تولید گردید. آنالیز پروفایل اسیدهای چرب تشکیل دهنده بیودیزل با استفاده از GC/MS تعیین گردید. برخی از خصوصیات بیودیزل تولید شده نظیر چگالی، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش و نقطه انجماد مورد مطالعه قرار گرفت. حداکثر نرخ رشد ویژه در شدت نور۸۰۰۰ لوکس ۰/۷ (در روز) و در شدت نور۱۶۰۰۰ لوکس ۰/۵۹ (در روز) بود. علاوه بر این، زمان دو برابر شدن سلول ها و میزان تولید بیومس در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس نسبت به شدت نور ۱۶۰۰۰ لوکس برتری داشت. نتایج GC/MS نشان داد که ۵۷/۵۹ درصد وزن خشک میکروجلبک متشکل از انواع لیپید بوده و بیودیزل حاصل از ترانس استریفیکاسیون آن، حاوی ۵۰/۳۱ ٪ اسید چرب اشباع و ۴۹/۶۹٪ اسید چرب غیراشباع بود. اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک (C16:0) با ۳۹/۱۶٪، اسیداستئاریک (C18:0) ۹/۶۵٪، اسیدآراشیدیک (C20:0) ۰/۷۹٪، اسید مارژریک (C17:0)۰/۷۱٪ و اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک(C18:2) با ۲۷/۴۰ درصد، اسیداولئیک (C18:1) با ۲۰/۰۴ و اسید پالمیتولئیک (C16:1) ۲/۲۵ درصد بیودیزل تولیدی را تشکیل دادند. چگالی بیودیزل تولید شده برابر با ۰/۸۵۳ گرم بر سانتیمتر مکعب و نقطه ابری شدن و نقطه ریزش آن ۳- و ۱۰- درجه سانتی‌گراد بود. نتایج تحقیق نشان داد که امکان کشت میکروجلبک در فتوبیوراکتور با به حداقل رساندن هزینه و زمان وجود دارد. همچنین پروفایل اسیدهای چرب و خواص فیزیکی بیودیزل تولید شده، حاکی از آن بود که بیودیزل حاصل از میکروجلبک دارای کیفیت بالایی بوده و روش تبادل استری مستقیم می‌تواند گزینه مناسبی جهت تولید بیودیزل، نسبت به سایر روش‌ها باشد.

لغات کلیدی : بیودیزل ، میکروجلبک ، فتوبیوراکتور

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

مقدمه

استفاده از سوخت‌های فسیلی، افزایش انتشارگازهای گلخانه‌ای و ایجاد پدیده گرمایش جهانی را در پی داشته و باعث توجه بیشتر به منابع انرژی پایدار با انتشار آلودگی کم شده است (Huang *et al*., 2010). استفاده از سوخت‌های زیستی به عنوان سوخت جایگزین نفت و گاز مورد توجه بسیاری قرار گرفته است که می‌تواند هزینه تولید انرژی و نگرانی‌های حاصل از بکارگیری سوخت‌های فسیلی را پایین آورد و سبب ارتقاء امنیت انرژی شود (Brennan *et al*., 2010). در مورد انرژی‌های جایگزین، سوخت مطلوب سوختی است که از لحاظ فنی امکان‌پذیر، از لحاظ زیست‌محیطی قابل قبول و دارای سهولت دسترسی و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد (Rawat *et al*., 2013). بیودیزل یکی از مهم‌ترین سوخت‌های زیستی است که تقریباً درتمام وسایل نقلیه صنعتی مورد استفاده برای کشاورزی، حمل و نقل و تجارت بکارگرفته می‌شود. در دهه گذشته، صنعت تولید بیودیزل رشد چشمگیری در جهان داشته است بطوریکه در هر دو سال بیش از دو برابر می‌شود (Gouveia, 2011). بیودیزل یک سوخت جایگزین، غیر سمی و تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست است (Gunawan *et al*. , 2011).

بر اساس تعریف استاندارد تست و مواد آمریکا (ASTM) بیودیزل شامل منوآلکیل استرهای اسیدهای چرب با زنجیره بلند است که از مواد خام چرب تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌گردد. بهترین منبع برای تولید بیودیزل میکروجلبک می‌باشد در حالیکه تجمع لیپید در سلول‌های میکروجلبک در محدوده ۷۵-۲۵٪ وزن خشک آن می‌باشد که بالاترین میزان تولید را داراست. میکروجلبک منبع بالقوه و اقتصادی بیودیزل است، زیرا دارای تولید بالا بوده و نیازی به زمین زراعی یا آب سالم ندارد (Huang *et al*., 2010). از اینرو، تولید بیودیزل از میکروجلبک‌ها یک گام نویدبخش به عنوان سوخت جایگزین مناسب برای موتور دیزل می‌باشد. ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های فتوسنتزی یوکاریوت یا پروکاریوت با ساختار تک سلولی یا چند سلولی ساده می‌باشند که رشد سریعی دارند و در شرایط سخت قادر به زندگی می‌باشند. سیانوباکتری‌ها[1] نمونه‌هایی از ریزجلبک‌های پروکاریوتی و جلبک ای سبز[2] و دیاتوم‌ها[3] نمونه‌هایی از ریزجلبک‌های یوکاریوتی هستند. تاکنون گونه‌های مختلفی از میکروجلبک‌ها از جمله کلرلا[4]، دونالیلا[5] و اسپیرولینا[6] با هدف تولید سوخت بررسی شده‌اند (Chisti, 2007). مهم‌ترین اسیدهای چرب تولید شده توسط میکروارگانیسم های مولد چربی شامل میریستیک اسید (C14:0)، اسید پالمیتیک (C16:0)، استئاریک اسید (C18:0)، اولئیک اسید(C18:1)، لینولئیک اسید(C18:2) می‌باشد که اجزاء اصلی سوخت زیستی هستند.

در این تحقیق تولید بیودیزل از میکروجلبک در دو شدت نور، مقایسه شده و برخی خواص فیزیکی و شیمیایی بیودیزل تولیدی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تولید بیومس میکروجلبک

به منظور کشت نمونه میکس، نمونه‌های آب راکد حاوی میکروجلبک تهیه گردید. مخلوط میکروجلبک در محیط کشت combo با pH حدود ۷ کشت داده شد. این محیط کشت اصلاح شده، از محیط کشت Guillard و WC Lorenzen's گرفته شده است. از محیط کشت combo برای رشد سیانوباکتری‌ها، کریپتوفیت‌ها، جلبک‌های سبز و دیاتوم‌ها در آب شیرین استفاده می‌شود (Kilham *et al*., 1998) .

محیط کشت به ازاء هر لیتر حاوی عناصراصلی به مقدار ذیل بود:

$CaCl_2.2H_2$, ۳۶/۷۶ mg; $MgSO_4.7H_2O$,۳۶/۹۷ mg; K_2HPO_4, 8/71 mg; $NaNO_3$,۸۵/۳۶ mg; $Na_2SiO_3.9H_2O$, ۲۸/۴۲ mg; H_3BO_3 ,۲۴ mg

[1] Cyanophyceae
[2] Chlorophyta
[3] Bacillariophyta
[4] Chlorella
[5] Dunaliella
[6] Spirulina

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

عناصر کمیاب به ازای هر لیتر محیط کشت افزوده شد که شامل مواد ذیل در یک لیتر می‌باشد:
$Na_2EDTA.2H_2O$,۴/۳۶ mg; $FeCl_3.H_2O$,۱ mg; $MnCl_2.H_2O$, ۰/۱۸ mg; $CuSO_4.5H_2O$,۰/۰۰۱ mg; $ZnSO_4.7H2O$,۰/۰۲۲ mg; $CoCl_2.6H_2O$, ۰/۰۱۲ mg; $NaMoO_4.2H_2O$, ۰/۰۲۲mg; H_2SeO_3, ۰/۰۰۱۶ mg; Na_3VO_4,۰/۰۰۱۸ mg

مقدار مایه تلقیح[1] جهت راه اندازی هر دوره کشت میکروجلبک با نسبت حجمی ($V_{inoculation}/V_{media}$) ۱۰٪ بود(Wang *et al.*, 2010). یعنی به ۹۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت، ۱۰۰ میلی‌لیتر از مایه تلقیح افزوده شد. روشنایی(منبع نور) از طریق لامپ نوری LED سفید یخی میکروجلبک با شدت نورهای ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ لوکس تأمین شد. هوادهی (منبع کربن) میکروجلبک در طول دوره رشد درون فتوبیوراکتور، از طریق پمپ هوا و به طور مداوم انجام گردید. کنترل pH در طول دوره رشد میکروجلبک به صورت روزانه انجام و اطلاعات آن ثبت گردید. دمای محیط کشت ها به صورت روزانه به کمک دماسنج جیوه‌ای مورد کنترل قرار گرفت. کشت میکروجلبک در pH حدود ۷ و درجه حرارت حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. دوره روشنایی (L) وتاریکی(D) توسط تایمر اتوماتیک به صورت تناوب (L: D/ ۸/۱۶ ساعت اعمال گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای رشد

رشد میکروجلبک به صورت روزانه (هر ۲۴ ساعت) و با سه تکرار از طریق اندازه‌گیری جذب نوری توسط اسپکتوفتومتر(UNICO-UV/Vis2150) در طول موج ۷۵۰ نانومتر تعیین گردید (Chioccioli *et al.*, 2014). شمارش جلبک‌ها به صورت روزانه و با استفاده از لام هموسیتومتر و با روش پیشنهادی (مارتینز و همکاران، ۱۹۷۵) انجام شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک با روش پیشنهادی Strickland و Parsons (۱۹۷۲) به طور روزانه از محیط حاوی جلبک مقدار۱۰ میلی لیتر برداشته شده و پس از سانتریفوژ بوسیله کاغذهای صافی غشایی از قبل وزن شده، فیلتر و در دستگاه آون مدل (Gallenkamp) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز قرار داده شد (Velasco *et al.*, 2016).
میزان سرعت رشد ویژه و زمان دو برابر شدن جمعیت جلبک با استفاده از رابطه‌های ذیل محاسبه شد: Tang *et al.*, 211; Anderse, 2005)

$$\mu(d^{-1})=\ln(N_t/N_0)/(t-t_0)$$

$$DT= \ln 2/ \mu$$

μ، ضریب رشد ویژه(در روز) و N_t تراکم سلولی در زمان t و N_0 تراکم سلولی درآغاز مرحله رشد (t_0) می باشد.

تولید بیودیزل و آنالیز پروفایل اسیدهای چرب

در این تحقیق از روش ترانس استریفیکاسیون مستقیم برای تولید بیودیزل استفاده شد (Ehimen *et al.*, 2010). در این روش جلبک در انتهای مرحله لگاریتمی رشد برداشت و با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰دقیقه سانتریفیوژ شد. خمیر میکروجلبک در دستگاه آون در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت دو شبانه روز خشک شد. سپس پودر بیومس خشک میکروجلبک، در فالکون پلاستیکی ریخته و سپس بازاء هر ۱ گرم بیومس ۱۰ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک/متانول (با نسبت حجمی۱:۱۰) به آن اضافه گردیده و درب ظرف محکم بسته شد. محتویات فالکون در دمای کنترل شده ی ۹۰ درجه سانتی‌گراد درون بن ماری به مدت ۴۵ دقیقه همزده شده و سپس فالکون در محیط قرار داده شد تا دمای آن کاهش یافته و به دمای محیط برسد. در نهایت به محلول فوق بازاء هر ۱ گرم بیومس ۶ سی سی حلال هگزان افزوده و درب ظرف را محکم بسته و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در بن ماری به مدت ۱۵ دقیقه حرارت دهی و همزدن ادامه یافت. سپس نمونه از بن ماری خارج شده و پس از انجام فرایند میعان هگزان و رسوب بیومس سلولی، جدایی دو فاز از یکدیگر صورت گرفت. لایه فوقانی، فاز آلی و حاوی لیپید محلول در هگزان بوده و لایه زیرین، فاز آبی که شامل کلروفیل و سایر اجزای سلولی بود. در

[1] Stock

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

انتهای کار فاز آلی توسط سرنگ جدا شد. برای بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود، نمونه ی مشتق سازی شده به آزمایشگاه مرکز تحقیق و توسعه دانشگاه صنعتی شریف ارسال گردید.

دستگاه GC/MS مورد استفاده مدلGC:HP6890 ،MSD:HP5973 ساخت شرکت Agilent امریکا بود. این دستگاه مجهز به ستونTRB-5MS با طول ۳۰ متر ، قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر، ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر می باشد. دتکتور دستگاه از نوع FID و هلیوم نیز با میزان ۱ میلی متر/دقیقه به عنوان گازحامل استفاده شد.ترکیبات تشکیل دهنده اسید چرب بر حسب درصد اسید چرب کل و بر اساس پیک‌های بدست آمده از آنالیز محاسبه گردید و در نهایت به تفسیر اطلاعات بدست آمده از آنالیز پرداخته شد.

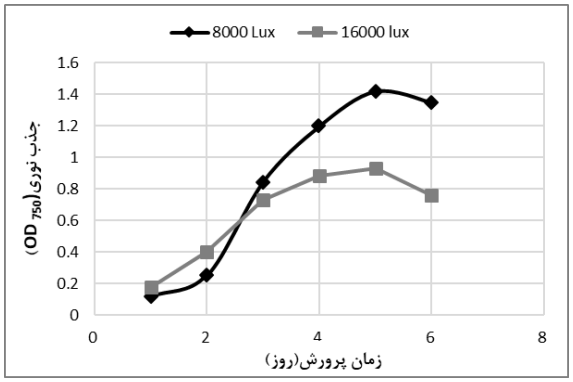
بررسی برخی از خصوصیات فیزیکی بیودیزل

برای اندازه گیری چگالی از دستگاه چگالی‌متر دیجیتال تحت استاندارد ASTM D4052 استفاده شد. از دستگاه Pour/Cloud point tester ASTM D97-D2500 جهت سنجش شاخص‌های نقطه ابری شدن، و نقطه ریزش استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه دمای نقطه انجماد برای یک ماده ناخالص، حدود ۵ درجه سانتی‌گراد از دمای نقطه ریزش کمتر می‌باشد، نقطه انجماد سوخت زیستی تولید شده محاسبه گردید.

نتایج

تولید بیومس میکروجلبک

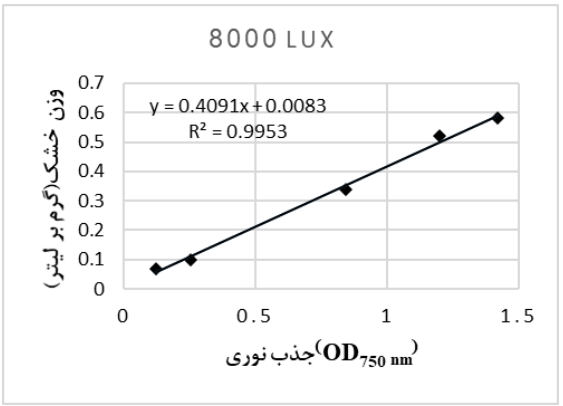
شکل ۱ رشد بر اساس جذب نوری در دو شدت نور ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ لوکس را نشان می دهد. در روزهای چهارم و پنجم، میکروجلبک دارای بیشترین میزان رشد بوده و پس از آن وارد فاز سکون کوتاه مدتی گشته و نهایتاً وارد فاز مرگ می‌شود. بیشینه جذب نوری (OD) میکروجلبک در شدت نورهای ۸۰۰۰ و۱۶۰۰۰ لوکس بترتیب برابر با ۱/۴۲ و ۰/۹۳ بود. حداکثر تعداد سلول در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس در OD=۱/۴۲ به $۲۶/۰۸\times۱۰^{۶}$ $cell.ml^{-۱}$ و در شدت نور ۱۶۰۰۰ لوکس در OD=۰/۹۳ به $۱۰^{۶}\times$ ۱۸/۶۸ $cell.ml^{-۱}$ رسید.



شکل ۱: نمودار نقطه ای رشد میکروجلبک برحسب جذب نوری/زمان در دو شدت نور ۸۰۰۰ و۱۶۰۰۰ لوکس

Figure 1: Microalgae Growth Point Diagram in Optical / Time Absorption at Two Light Intakes of 8000 and 16000 lux.

شکل ۲ مربوط به منحنی کالیبراسیون وزن خشک/جذب نوری در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس می باشد. وزن خشک سلولی در آغاز مرحله لاگ برابر با ۰/۰۷ گرم بر لیتر و در انتهای فاز رشد لگاریتمی (OD=۱/۴۲) به ۰/۵۸ گرم بر لیتر رسید.



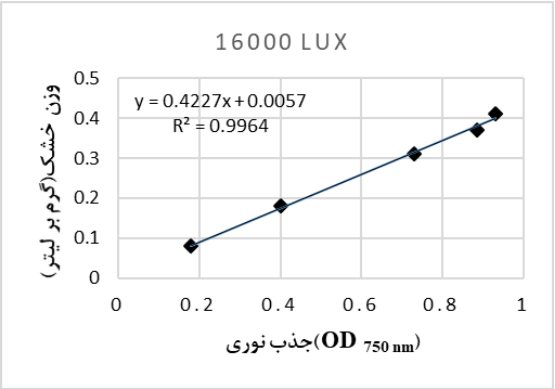
شکل۲: منحنی کالیبراسیون وزن خشک/جذب نوری در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس

Figure 2: Dry weight / light absorption calibration curve at 8000 lux light intensity.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

مقدار وزن خشک میکروجلبک در شدت نور۱۶۰۰۰ لوکس در آغاز مرحله لاگ با (OD=۰/۱۸) برابر با ۰/۰۸ گرم بر لیتر و در انتهای فاز رشد لگاریتمی با (۰/۹۳ =OD)مقدار ۰/۴۱ گرم بر لیتر بود (شکل۳).



شکل ۳: منحنی کالیبراسیون وزن خشک/جذب نوری در شدت نور ۱۶۰۰۰ لوکس

Figure 3: Dry weight / light absorption calibration curve at 16,000 lux light intensity.

حداکثر نرخ رشد ویژه در شدت نور۸۰۰۰ لوکس ۰/۷ (در روز) و در شدت نور۱۶۰۰۰ لوکس ۰/۵۹ (در روز) می باشد. همچنین زمان دو برابر شدن سلول ها، در شدت نور۸۰۰۰ لوکس ($DT=۰/۹۹d^{-1}$) و در شرایط نوری ۱۶۰۰۰ لوکس معادل ($DT=۱/۱۷\ d^{-1}$) به دست آمد.

تولید بیودیزل و آنالیز پروفایل اسیدهای چرب

لیپید استخراج شده از بیومس میکروجلبک در شرایط بهینه رشد (شدت نور۸۰۰۰ لوکس) و پس از فرایند ترانس استریفیکاسیون مستقیم جهت شناسایی و تعیین درصد اسیدهای چرب موجود در آن، با دستگاه GC/MS مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج بدست آمده از آنالیز با دستگاه GC/MS نشان داد که ۵۷/۵۹ درصد وزن خشک میکروجلبک متشکل از انواع لیپید بوده است. پروفایل و مقدار اسیدهای چرب بدست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.

مقدار ۵۰/۳۱ درصد اسیدچرب مربوط به اسیدهای چرب اشباع و ۴۹/۶۹ درصد مربوط به اسید چرب غیراشباع می باشد. اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک (C16:0) با ۳۹/۱۶ درصد، اسید استئاریک (C18:0) ۹/۶۵ درصد، اسید آراشیدیک (C20:0) ۰/۷۹ درصد، اسید مارژریک (C17:0) ۰/۷۱ درصد و اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک (C18:2) با ۲۷/۴۰ درصد، اسید اولئیک (C18:1) با۰۴/ ۲۰ و اسید پالمیتولئیک (C16:1) ۲/۲۵ درصد بیودیزل تولیدی را تشکیل دادند.

جدول ۱: پروفایل و مقدار اسیدهای چرب بدست آمده از بیومس میکروجلبک

Table 1: Profile and amount of fatty acids obtained from microalgae biomass.

نماد علمی ترکیب	نماد علمی ترکیب	نام عمومی ترکیب	مقدار اسید چرب از وزن خشک(٪)	مقدار اسید چرب از لیپید کل سلول(٪)
C16:0	Hexadecanoic acid	اسید پالمیتیک(اشباع)	۲۳/۳۳	۳۹/۱۶
C16:1 n-7	9-Hexadecenoic acid	اسید پالمیتولئیک(غیراشباع)	۱/۳۴	۲/۲۵
C17:0	Heptadecanoic acid	اسید مارژریک(اشباع)	۰/۴۲	۰/۷۱
C18:0	Octadecanoic acid	اسید استئاریک(اشباع)	۵/۷۵	۹/۶۵
C18:1 n-9	9-Octadecenoic acid	اسید اولئیک(غیراشباع)	۱۱/۹۴	۲۰/۰۴
C18:2 n-6	9,12-Octadecadienoic acid	اسید لینولئیک(غیراشباع)	۱۶/۳۲	۲۷/۴۰
C20:0	Eicosanoic acid	اسید آراشیدیک (اشباع)	۰/۴۷	۰/۷۹
	جمع کل		**۵۷/۵۹**	**۱۰۰**

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

بررسی برخی از خصوصیات فیزیکی بیودیزل

نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی و سایر ویژگی های فیزیکی بیودیزل تولیدی (جدول۲) نشان داد که چگالی بیودیزل برابر با ۰/۸۵۳، نقطه ابری شدن برابر ۳- درجه سانتی‌گراد، نقطه ریزش ۱۰- درجه سانتی‌گراد و نقطه انجماد برابر ۱۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات فیزیکی بیودیزل تولید شده

Table 2: Physical characteristics of produced biodiesel.

خصوصیات	روش مورد استفاده	مقدار
چگالی(kg/lit)	D4052 ASTM	۰/۸۵۳
نقطه ابری شدن (□C)	D2500 ASTM	-۳
نقطه ریزش(□C)	ASTM D97	-۱۰
نقطه انجماد (□C)	-	-۱۵

بحث

Kilham و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که محیط کشت combo، محیط مصنوعی مناسب برای رشد و تکثیر میکروجلبک های آب شیرین و زئوپلانکتون‌ها می باشد (Kilham *et al.*, 1998). استفاده از محیط کشت combo در این تحقیق نشان داد، این محیط کشت اصلاح شده از محیط کشت Guillard و ۱۹۷۲ WC Lorenzen's برای رشد انواع میکروجلبک مناسب است. نتایج تحقیقات Cheirsilp و همکاران (۲۰۱۲) بر اثر شدت نور بر رشد میکروجلبک *Chlorella* sp. و *Nannochloropsis* sp. نشان داد که این دو نوع میکروجلبک در شدت نور ۱۰۰۰۰- ۸۰۰۰ لوکس نور سفید بیشترین میزان تولید بیومس را دارند (Cheirsilp *et al.*, 2012)

تحقیقات سیف آبادی و همکاران (۱۳۸۹) که بر روی اثر سه شدت نور و دوره های متناوب روشنایی/ تاریکی انجام گرفت، حاکی از آن است که بالاترین نرخ رشد ۱/۱۳ در روز در شدت ۱۰۰میکرومول فوتون بر متر مربع در ثانیه و دوره نوری ۸:۱۶ تولید شده است.

استفاده از دو شدت نور سفید مورد استفاده در این پژوهش به حصول نتایج متفاوتی انجامید. هر گاه میزان نور دریافتی توسط جلبک کمتر از آستانه مورد نیاز آن باشد، جلبک قادر به کسب انرژی لازم و عمل فتوسنتز نخواهد بود و در شدت نور بالاتر از آستانه تحمل آن به دلیل آسیب وارده به رنگدانه‌های جمع کننده نور، فتوسنتز متوقف می‌شود (Richmond, 2004) .

روند رشد در دو شدت نور در انتهای فاز رشد لگاریتمی نشان داد که حداکثر تعداد سلول ها و میزان وزن بیومس خشک در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس بترتیب برابر با $۲۶/۰۸\times۱۰^{۶}$ $cell.mL^{-۱}$ و ۰/۵۸ گرم بر لیتر و در شدت نور ۱۶۰۰۰ لوکس برابر با $۱۸/۶۸\times۱۰^{۶}$ $cell.mL^{-۱}$ و ۰/۴۱گرم بر لیتر بود. نرخ رشد ویژه و زمان دو برابر شدن در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس بترتیب معادل با ۰/۷ ، ۰/۹۹ و در شدت نور ۱۶۰۰۰ لوکس برابر با ۰/۵۴ ، ۱/۲۸ حاصل شد. نتایج مربوط به وزن خشک زیست توده در طول دوره رشد میکروجلبک تا انتهای فاز لگاریتمی حاکی از آن بود که میزان زیست توده خشک با تعداد سلول‌های شمارش شده و جذب نوری رابطه مستقیم دارد و با افزایش تعداد سلول ها، جذب نوری افزایش یافته و متناسب با آن وزن زیست توده خشک افزایش می‌یابد.

نتایج رشد سلولی در دو شدت نوری نشانگر بالاتر بودن نرخ رشد ویژه و میزان تولید بیومس بیشتر در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس نسبت به شدت نور۱۶۰۰۰ لوکس بود. همچنین مقایسه زمان دو برابر شدن سلول ها در شدت نورهای مختلف نشان داد، مدت زمان لازم برای دو برابر شدن سلول‌ها دارای اختلاف می‌باشد. کمترین زمان برای دو برابر شدن سلول‌ها، در شدت نور۸۰۰۰ لوکس($d^{-۱}$ DT=۰/۹۹) و بیشترین در شرایط نوری ۱۶۰۰۰ لوکس معادل ($d^{-۱}$ DT=۱/۱۷) بدست آمد. با توجه به نتایج حاصل شده از رشد میکروجلبک در دو شدت نور مورد آزمون، فرآیند تولید بیومس در شدت نور ۸۰۰۰ لوکس به عنوان شدت نور مناسب، در دوره روشنایی : تاریکی ۸:۱۶ در دمای ۳۰ و pH حدد ۷ انجام گرفت.

با توجه به اینکه لیپید تولید شده در میکروجلبک یک محصول درون سلولی است، بایستی جهت استخراج آن از

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

روش‌های شکست سلولی استفاده شود تا اینکه لیپید در معرض حلال استخراج کننده قرار گیرد. از سویی، روش های فیزیکی شکست سلولی در اغلب موارد پرهزینه بوده و از لحاظ اقتصادی و مصرف انرژی سبب غیراقتصادی بودن فرایند تولید بیودیزل از ریزجلبک می گردند. بنابراین، بهره گیری از روش های ساده و کم هزینه جهت استخراج بسیار حائز اهمیت می باشد. تولید بیودیزل که در آن از لیپید های تصفیه شده استفاده می شود، شامل ۷۰٪ کل هزینه‌های تولید می‌شود. بنابراین، تسهیل جداسازی لیپید میکروجلبک یک تکنیک مفید برای کاهش هزینه‌های تولید بیودیزل از میکروجلبک می‌باشد (Hidalgo *et al*., 2013). در تبادل استری مستقیم، استخراج لیپید و ترانس استریفیکاسیون در یک مرحله و توسط واکنش مستقیم از تبدیل لیپید به بیودیزل انجام می‌شود. Wahlen و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که با استخراج اسیدهای چرب از غشای فسفولیپیدی سلول‌های میکروجلبک، بازده تولید بیودیزل افزایش می‌یابد (Wahlen *et al*., 2011). نتایج تحقیقات Johnson و Zhiyou (۲۰۰۹) برای تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون مستقیم از میکروجلبک *Schizochytrium limacinum* نشان داد بازده بیودیزل در این روش بسیار بالاتر بوده و از سویی، محتوای اسیدچرب حاصل از بیومس مرطوب در ترانس استریفیکاسیون مستقیم نسبت به بیومس خشک به طور قابل توجهی پایین‌تر می‌باشد و استفاده از بیومس خشک در این روش امری ضروری است. در پژوهش حاضر با استفاده از انجام فرآیند ترانس استریفیکاسیون مستقیم بر بیومس خشک، زمان واکنش تبادل استری به حداقل رسانده شد و تولید بیودیزل تسهیل گردید.

براساس گزارش‌های قبلی (Knothe, 2008) ، پالمتیک، استئاریک، اولئیک و لینولئیک اسید به عنوان شایع‌ترین اسیدهای چرب موجود در بیودیزل شناخته شده‌اند. Feng و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که اسیدهای چرب C16 و C18 در میکروجلبک‌ها به مقدار زیاد وجود دارند. همچنین نیمی از اسیدهای چرب سنتز شده مربوط به اسیدهای چرب اشباع و نیمی دیگر مربوط به اسیدهای چرب غیر اشباع و اسید اولئیک بیشترین اسید چرب سنتز شده است (Feng *et al*., 2011). در تحقیق حاضر عمده ترین اسیدهای چرب متشکله بیودیزل تولید شده عبارت از اسید پالمیتیک (C16:0) ، اسید اولئیک (C18:1 n-9)، اسید لینولئیک (C18:2 n-6) و اسید استئاریک (C18:0) بودند. همچنین میزان اسید چرب اشباع بیودیزل ۵۰/۳۱٪ و اسید چرب غیراشباع ۴۹/۶۹ ٪ بود. نتایج بدست آمده در این تحقیق مشابه نتایج پژوهش‌های مذکور می‌باشد.

تعیین چگالی، نقاط ریزش و ابری شدن برای سوخت هایی که در مناطق سردسیر مورد استفاده هستند بسیار حائز اهمیت است. حد مجاز برای نقاط ریزش و ابری شدن بسته به شرایط آب و هوایی مصرف کننده باید تعیین شود (Canakci *et al*., 2008).

ترکیان بلداجی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از جلبک کلرلا ولگاریس تولید بیودیزل نموده و خصوصیات فیزیکی این سوخت را مورد بررسی قرار داند. چگالی سوخت تولیدی آنها برابر با ۰/۸۶۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. چگالی، نقطه ابری شدن و ریزش سوخت دیزل مرسوم مورد استفاده بترتیب برابر با ۰/۸۲۸۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب ، ۲- و ۳- درجه سانتی‌گراد است (حمید مشهدی میغانی و همکاران، ۱۳۸۷). چگالی، نقطه ابری شدن[1]، نقطه ریزش[2] و نقطه انجماد از مهمترین ویژگی‌های مورد بررسی جهت کاربرد بیودیزل در موتور خودرو هستند. مطالعات بسیاری نشان داده است که مشخصات مذکور به طور گسترده‌ای تابع ترکیب اسیدهای چرب سوخت بیودیزل است. چگالی بیودیزل تولیدی در تحقیق حاضر برابر با ۰/۸۵۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در صورت مقایسه نقطه ابری شدن و نقطه ریزش نمونه بیودیزل تولیدی با سوخت دیزل مرسوم مورد استفاده، شاخصه‌های مذکور برای بیودیزل تولیدی ۳- و ۱۰- و برای سوخت دیزل مرسوم ۲- و ۳- است. با توجه به اینکه هر چه نقطه ابری شدن پایین‌تر باشد، قابلیت استفاده از سوخت در شرایط سرد بالا می‌رود و احتمال گرفتگی فیلتر و مجاری سیستم سوخت رسانی کاهش می ابد و همچنین این نکته

[1] Cloud point
[2] Pour point

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

که نقطه ریزش پایین ترین دمایی است که جریان سوخت هنوز می‌تواند پمپاژ شود و کمترین دمایی است که می‌توان از سوخت استفاده کرد، در نتیجه، بیودیزل تولیدی از نظر این شاخصه‌ها دارای کیفیت بسیار بالاتری نسبت به سوخت دیزل مرسوم بوده و امکان استفاده از آن بخصوص در فصول سرد سال و مناطق سرد بسیار بیشتر است. همچنین استفاده از بیودیزل تولیدی، در دماهای کمتر امکان‌پذیر بوده و استفاده از آن سبب اختلال در عملکرد موتور و سیستم سوخت رسانی نمی‌شود. دلیل این امر می‌تواند مربوط به وجود اسیدهای چرب غیراشباع به میزان نزدیک به ۵۰٪ کل محتویات لیپید بیودیزل باشد. این امر از تشکیل ترکیبات مومی شکل در دماهای نه چندان پایین ممانعت می‌کند و موجب پایین آمدن نقطه ابری شدن و ریزش می‌گردد. این پدیده نقش مهمی در بهبود عملکرد موتور و امکان نگهداری آن دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کشت میکروجلبک برای تولید بیودیزل با به حداقل رساندن هزینه و زمان در تمام مراحل فرآیند تولید، انجام گردید. نتایج نشان داد که امکان کشت میکروجلبک در فتوبیوراکتور و استحصال بیودیزل با کیفیت مناسب از آن وجود دارد. همچنین پروفایل اسیدهای چرب و خواص فیزیکی بیودیزل تولید شده، حاکی از آن بود که بیودیزل حاصل از میکروجلبک دارای کیفیت بالایی بوده و روش تبادل استری مستقیم گزینه مناسبی جهت تولید بیودیزل، نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

منابع

ترکیان بلداجی م.، نجفی ب. و حجازی م.ا. ۱۳۸۹. تولید بیودیزل از ریزجلبک Chlorella vulgaris و تعیین برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن. مجله علوم پایه.۹۹-۱۱۰ :(۱/۷۸) دانشگاه آزاد اسلامی

سیف آبادی، س.ج.، امینی خوئی، ز. و رمضانپور،ز.، ۱۳۸۹. اثر شدت و دوره های نور بر رشد و زیتوده میکرو جلبک Chlorella vulgaris. مجله علمی شیلات ایران. ۱۳۸۹; ۱۹ (۳) : ۲۰-۱۱ DOI:10.22092/ISFJ.2017.109952

مشهدی میغانی، ح.، الماسی، م.، باخدا، ح. و محسنی فر، م.، ۱۳۸۷. مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متیل استر روغن سویا به عنوان بیودیزل با سوخت دیزل مرسوم در ایران، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، انجمن مهندسی ماشین های مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد کشاورزی و COI: NCAMEM05_107

Andersen R. A., Kawachi M. 2005. Traditional Microalgae Isolation Techniques, Biology, DOI:10.1016/b978-012088426-1/50007-x

Brennan, L. and Owende, P., 2010. Biofuels from Microalgae— A Review of Technologies of Production, Processing and Extraction of Biofuels and Co-Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2, 2010,pp. 557–577. DOI:10.1016/j.rser.2009.10.009

Canakci M., Sanli H., 2008. Biodiesel production from various feed stocks and their effects on the fuel properties, Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, Volume 35, Issue 5, pp 431–441, DOI: 10.1007/s10295-008-0337-6

Cheirsilp, B. and Torpee, S., 2012. Enhanced growth and lipid production of microalgae under mixotrophic culture condition: Effect of light intensity, glucose concentration and fed batch cultivation. *Bioresource*

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

Technology, 110, 510–516. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.01.125

Chioccioli, M., Hankamer, B. and Ross, I.L., 2014. Flow Cytometry Pulse Width Data Enables Rapid and Sensitive Estimation of Biomass Dry Weight in the Microalgae Chlamydomonas reinhardtii and Chlorella vulgaris. *PLoS ONE*, 9(5): e97269. doi:10.1371/journal.pone.0097269.

Chisti , Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 1221, 15(3), 194-326. doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001

Ehimen, E.A., Sun, Z.F., Carrington, C.G., 2010. Variables affecting the in situ transesterification of microalgae lipids. *Fuel*, 89, 677–684. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.10.011

Feng, D., Chen, Z., Xue, S. and Zhang, W., 2011. Increased lipid production of the marine oleaginous microalgae Isochrysis zhangjiangensis (Chrysophyta) by nitrogen supplement. *Bioresource Technology*, 102(12), pp. 6710-6716. DOI:10.1016/j.biortech.2011.04.006

Gouveia, L., 2011. Microalgae as a Feedstock for Biofuels, SprimgerBriefs in Microbiology.

Gunawan, S., Maulana, S., Anwar, K. and Widjaja, T., 2011. Rice bran, a potential source of biodiesel production in Indonesia. *Industrial Crops and Products*, 33(3): 624-62. DOI:10.1016/j.indcrop.2010.12.027.

Hidalgo P., Toro C., Ciudad G., Navia R., 2013. Advances in direct trans esterification of microalgal biomass for biodiesel production, Reviews in Environmental Science and BioTechnology, Volume 12, Issue 2, pp 179–199, DOI: 10.1007/s11157-013-9308-0

Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X. and Chen, G., 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy*, 87(1), 38–46. DOI.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.016

Johnson m., Zhiyou W., 2009. Production of Biodiesel Fuel from the Microalga Schizochytrium limacinum by Direct Transesterification of Algal Biomass Energy Fuels, 23, 10, 5179-5183**,** doi.org/10.1021/ef900704h

Kilham, S. Kreeger, D., Lynn, S., Goulden, C. and Herrera, L., 1998. COMBO:a defined freshwater culture medium for algae and zooplankton. *Hydrobiologia*, 377:147–159. DOI: 10.1023/A:1003231628456

Knothe, G., 2008. "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties. *Energy & Fuels*, 22, 1358-1364.

Rawat, I., Kumar, R.R., Mutanda, T. and Bux, F., 2013. Biodiesel from microalgae : A critical evaluation from laboratory to large scale production. *Applied Energy*, 103, 444–467. doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.004

Richmond A., 2004. Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors: an overview, Hydrobiologia, Volume 512, Issue 1–3, pp 33–37,

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

DOI:10.1023/B:HYDR.0000020365.06145.36

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. ,1972. A Practical Hand Book of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, pp 143–157

Tang, D., Han, W., Li, P., Miao, X. and Zhong, J., 2011. CO2 biofixation and fatty acid composition of Scenedesmus obliquus and Chlorella pyrenoidosa in response to different CO2 levels. *Bioresource Technology*, 102, 3071–3076. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.047

Velasco, L., Carreram S. and Barros, J., 2016. Isolation, culture and evaluation of *Chaetoceros muelleri* from the Caribbean as food for the native scallops, *Argopecten nucleus* and *Nodipecten nodosus*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(3): 557-568. DOI: 10.3856/vol44-issue3-fulltext-14.

Wahlen, D. Bradley, Robert M. Willis and Lance, C. Seefeldt., 2011. Biodiesel production by simultaneous extraction and conversion of total lipids from microalgae, cyanobacteria, and wild mixed-cultur. *Bioresource Technology*, 102, 2724–2730. DOI:10.1016/j.biortech.2010.11.026

Wang, L., Min, M., Li, Y. and Chen, P., 2010. Cultivation of Green Algae Chlorella sp. in Different Wastewaters from Municipal Wastewater Treatment Plant. *Applied Biochemistry* and *Biotechnology*, 162:1174–1186. DOI 10.1007/ s12010–009–8866–7

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]

Evaluation of biodiesel production from micro-algae in a photobioreactor and study of its physical and chemical properties

Moazeni T.[1]; Sadrnia M.[1*]; Haji Hosseini R.[1]

*msadrnia@yahoo.com

1-Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Biodiesel methyl ester or ethyl ester is a natural oil that is very similar to diesel and can be used as an alternative fuel for diesel engines. Micro-algae are able to produce and store high amounts of lipids. In this research, the production of biodiesel fuel from microalgae was investigated in a biofilm and some of its physical and chemical properties were determined.this study, a mixture of microalgae cultured from stagnant water was compared in a photobioreactor at two light intensities of 8000 and 16000 lux and the amount of biomass produced. The biomass produced under the light intensity of 8000 lux after isolation and drying was subjected to a direct trans-esterification process and biodiesel was produced.Analysis of biodiesel constituents of fatty acids was determined using GC / MS. Some biodiesel characteristics, such as density, cloudy point, spin point, and freezing point, were also studied. The light intensity of 8000 lux was superior to the magnitude of doubling of cells, specific growth rate and biomass production compared to 16000 lux light intensity, and was used to produce microalgae biomass. The results of GC / MS showed that biodiesel resulting from transesterification of lipid micro-algae contained 50. 31% saturated fatty acid and 49.69% unsaturated fatty acid. Pallic acid saturated fatty acids (C16: 0) with 39.16%, acetatanic acid (C18: 0), 65.6%, arachidic acid (0.72% C20: 0%), margaric acid (0.17% C17: 0%) and acids The unsaturated linoleic fat (C18: 2) with 27.47%, acidulic acid (C18: 1) with 20.04 and palmitoleic acid (C16: 1) formed 25.2% biodiesel. The produced biodiesel was 0.853 g / cm3 and the cloud was cloudy and its dropping point was 3- and 10 ° C.The results of the study showed that the microalgae culture in the photobiovert can be minimized by minimizing the cost and time. Also, fatty acid profiles and biodiesel physical properties indicated that the micro-algae biodiesel was of high quality and direct steady-state exchange could be a good option for producing biodiesel, as compared to other methods.

Keywords: Biodiesel, Microalgae, Photobioreactor

*Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-11]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1399.29.1.4.2]