

ریزجلبک‌ها، منابع آینده تولید انرژی زیستی

امیر امیدوار، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز، amir.omidvar@gmail.com

چکیده

با جهش سریع و باورنکردنی به سوی صنعتی شدن و به دنبال آن بالا رفتن سطح استاندارد زندگی و شکوفایی و رونق اقتصادی کشورها در یکصد سال اخیر، نیاز به منابع سوخت پایدار، ارزان و پاک بیش از پیش نمایان شده است. محدودیت منابع سوخته‌های فسیلی، مشکلات زیست محیطی ناشی از احتراق اینگونه سوخته‌ها و بالا رفتن قیمت حامل‌های انرژی از جمله مهمترین عواملی است که جوامع مدرن و صنعتی را با چالش‌های بزرگی روبرو کرده است. به همین دلیل روز به روز استفاده از سوخته‌های زیستی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در حال حاضر زیست سوخته‌ها اغلب از گیاهان روغنی، پسماند روغنهای خوراکی و یا چربیهای حیوانی تولید می‌شوند. محدودیت منابع و مواد خام اولیه برای تولید زیست سوخته‌ها یکی از مهمترین مشکلات بر سر راه استفاده از این سوخته‌هاست. منابع جلبکی (جلبکها و ریزجلبکها) به دلیل ظرفیت بالای روغن و سرعت رشد زیاد منابع مناسبی برای تولید زیست سوخت به نظر می‌رسند. در سالیان اخیر تحقیقات زیادی در مورد استفاده از ریزجلبکها به عنوان مواد اولیه تولید زیست سوخت انجام شده است. هدف اصلی این نوشتار معرفی منابع جلبکی، روش تولید و همچنین بررسی مزایا و معایب آنهاست.

کلید واژگان: جلبک، زیست سوخت، انرژی

نباتی تغذیه شود و موجب توسعه کشاورزی گردد. این روغن‌ها را می‌توان از له کردن دانه برخی از گیاهان استحصال نمود. اگرچه تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده، اما با ورود نفت خام ارزان قیمت این موضوع تا مدتها به دست فراموشی سپرده شد. در دهه‌های اخیر محدودیت منابع سوخته‌های فسیلی و آلاینده‌گی ناشی از آنها باعث شده است تا دوباره به موضوع سوخته‌های زیستی توجه ویژه شود. بطوریکه کمیسیون اروپا اعلام کرد که تا سال ۲۰۱۰ باید ۵/۷۵٪ از سوخت مصرفی از منابع زیستی تأمین گردد.

در واقع امروزه دو پارامتر نگاه اقتصادی و دلواپسی‌های زیست محیطی مهمترین عوامل تعیین کننده در سیاست‌های بخش انرژی هستند. در حال حاضر انرژی لازم در بخش حمل و نقل به شدت به سوخته‌های فسیلی وابسته است. در طی فرآیند احتراق اینگونه سوخته‌ها مقدار زیادی گاز دی اکسید کربن و آلاینده‌های خطرناک دیگر وارد جو زمین می‌شوند که می‌توانند باعث آلودگی هوا، تشدید اثرات گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین شوند. برای کنترل میزان گازهای گلخانه‌ای در جو زمین لازم است که چرخه کربنی در اتمسفر زمین به گونه‌ای بسته شود. به عبارت دیگر باید گازهای گلخانه‌ای به نوعی بازیافت شوند و به محصولات مفید تبدیل شوند. بهترین راه برای بستن چرخه کربن استفاده از منابع بیولوژیک یا زیستی مانند گیاهان است. منابع زیستی با استفاده از فرآیند فتوسنتز می‌توانند گازهای گلخانه‌ای را بازیافت نمایند. بدین ترتیب ایده اصلی استفاده از سوخته‌های زیستی شکل گرفت.

۲- سوخته‌های زیستی

زیست سوخته‌ها در واقع، مخلوطی از مونو آلکیل استرهای زنجیره‌های اسیدهای چرب هستند که معمولاً از فرآیند استریفیکاسیون (esterification) روغنهای گیاهی، چربی‌های حیوانی و یا پسماند روغنهای خوراکی به دست می‌آیند. بررسی‌ها نشان داده است که نمی‌توان از روغنهای گیاهی بطور مستقیم به عنوان جایگزین مناسبی برای سوخت دیزل

۱- نگاهی اجمالی بر زیست انرژی

پژوهش‌های مربوط به بیوانرژی یا زیست انرژی تولید سوخت مایع زیستی برای جایگزینی نفت خام یا سوخته‌های فسیلی مشابه است.

سوخته‌های مایع زیستی اغلب به سه روش ترموشیمی، سنتز و تخمیر تولید می‌شوند [۱]. آذرکافت یکی از ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های ترموشیمی و فرآیندسازی سوخت است. آذرکافت اصولاً به فرآیندهایی گفته می‌شود که هدف آن گردآوری مواد فرار و چگال کردن آنها برای تولید یک سوخت مایع است.

روش دیگر سنتز یا ساخت مصنوعی سوخته‌های مایع است. این روش با گاز سازی آغاز می‌شود بطوریکه یک سامانه گاز ساز با استفاده از اکسیژن گازی تولید می‌کند که مقدار زیادی از آن را H_2 ، CO و CO_2 تشکیل می‌دهد. سپس با واکنش جابه‌جایی سعی می‌کنند نسبت H_2 و CO را به مقداری که در تولید نهایی لازم است تنظیم کنند [۱].

با روش تخمیر اغلب اتانول تولید می‌شود. تخمیر یک فرآیند بیولوژیک بی‌هوازی است که در آن قند به الکل تبدیل می‌شود. بر خلاف متانول که می‌تواند جانشین بنزین شود، اتانول را نمی‌توان جایگزین بنزین نمود. اتانول به عنوان بهبود دهنده می‌تواند به گازوییل استفاده شود و اصلاً سوختی بنام گازول تولید نماید. برای تولید الکل نیاز به منابع قندی است. که این قند می‌تواند از نیشکر استحصال شود. البته نشاسته موجود در سیب زمینی، ذرت و گندم را نیز می‌توان به قند تبدیل نمود و برای تولید اتانول استفاده کرد. در حال حاضر برزیل یکی از بزرگترین تولیدکننده‌های اتانول از بقایای نیشکر است. پروژه تولید اتانول در برزیل در سال ۱۹۷۵ آغاز شد و تا مدتها از اتانول به عنوان سوخت استفاده شد تا اینکه با ورود نفت ارزان قیمت بازار اتانول نیز رو به افول گذاشت [۱].

ایده اصلی و اولیه استفاده از سوخته‌های زیستی به نوعی به سال ۱۹۱۱ بر می‌گردد. در سال ۱۹۱۱ رودولف دیزل بیان کرد که موتور دیزل می‌تواند با روغنهای

ژلاتینی به خود گرفته و پمپاژ آن با مشکل روبرو می‌شود. البته این نقص به راحتی با اضافه کردن افزودنیهای خاصی به سوخت برطرف می‌گردد. همچنین به دلیل وجود اکسیژن بیشتر در زیست سوختها، دمای احتراق آنها نیز به مراتب بالاتر از سوختهای فسیلی می‌باشد. این امر احتمال وجود اکسیدهای نیتروژن را در آلاینده‌های خروجی اگزوز افزایش می‌دهد [۶]. این مشکل را نیز می‌توان با تنظیم زمان بندی پاشش سوخت تا حد زیادی مرتفع نمود [۳]. زیست سوختها را اغلب از منابع گیاهی مانند دانه‌های روغنی، چربیهای حیوانی، پساب و یا فاضلاب‌هایی که منبع آلی دارند و یا حتی از پسماند روغنیهای خوراکی [۳ و ۴] به دست می‌آورند. در امریکا روغن سویا یکی از مهمترین منابع تولید سوخت سبز (زیست سوخت) است. روغن کانولا، خرما، ذرت و نارگیل از جمله دیگر منابع مرسوم تولید زیست سوخت در کانادا و اروپا هستند.

۳- جلبک‌ها منابع غنی روغن

منابع گیاهی مرسوم برای تولید زیست سوخت نمی‌توانند نیاز روز افزون به منابع سوخت را برآورده کنند. برای تولید این مواد زمینهای قابل کشت زیادی مورد نیاز است. همچنین نرخ رشد این گیاهان و فرکانس محصول دهی آنها کند است. نیاز به انرژی‌های فسیلی نسبتاً زیاد، مصرف آب بالا، اثرات فرسایش خاک، رقابت با غذا و عدم هماهنگی با زیر ساختهای موجود از جمله مشکلات عمده دیگر بر سر راه استفاده مواد خام نسل اول است. از سوی دیگر نرخ تولید آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای به شدت رو به افزایش است. با توجه به مشکلات مذکور به راحتی می‌توان چنین استنتاج نمود که بستن چرخه کربنی در محیط زیست و کنترل میزان گازهای گلخانه‌ای به وسیله مواد خام نسل اول تقریباً کاری غیر ممکن است. لذا باید به دنبال منابع مناسبتری رفت که بازدهی بالاتر و نرخ رشد سریعتری داشته باشند.

استفاده نمود. جرم مولکولی زیاد روغنهای گیاهی و لزجت نسبتاً زیاد آنها استفاده از روغنهای مذکور را به عنوان سوخت دیزل محدود می‌کند. روشها و فرآیندهای مختلفی برای کاهش لزجت روغنهای گیاهی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به رقیق سازی (dilution)، گرماکافت (pyrolysis) و فرآیند استریفیکاسیون اشاره نمود. در بین روشهای مذکور فرآیند استریفیکاسیون بیشتر از سایر روشها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زیست سوختها ویژگیهای ارزنده‌ای دارند که آنها را به عنوان جایگزین‌های مناسبی برای سوختهای فسیلی مطرح کرده است. سوختهای زیستی غیر سمی هستند، در طبیعت به راحتی تجزیه می‌شوند و سازگاری زیادی با محیط زیست دارند. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از سوختهای زیستی باعث کاهش آلاینده‌ها از جمله مونوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، هیدروکربنهای سوخته نشده و ذرات معلق می‌شود [۲-۵]. تقریباً ده درصد وزنی سوختهای زیستی را اکسیژن تشکیل می‌دهد. وجود چنین سهمی از اکسیژن در ساختار زیست سوختها باعث بهبود فرآیند احتراق و کاهش آلاینده‌هاست [۶]. در ترکیب زیست سوختها گوگرد، ترکیبات آروماتیک و ترکیبات فلزی وجود ندارد. نبود گوگرد در ساختار زیست سوختها علاوه بر حذف اکسیدهای گوگردی در هوا، از اثرات خوردگی ناشی از ترکیبات گوگردی در داخل موتور نیز می‌کاهد [۷]. همچنین زیست سوختها عملیات روغنکاری و روانسازی را در موتور بهبود می‌دهند. معمولاً سوختهای فسیلی مشکلات روانکاری را به دنبال دارند. این مشکل ریشه در فرآیند گوگردزایی سوخت دارد. اغلب در طی عملیات گوگردزایی ترکیبات قطبی هتروسایکلک نیتروژن که نقش عمده‌ای در بهبود روانکاری دارند همراه با گوگرد حذف می‌شوند. در کنار مزیت‌های بسیار زیاد سوختهای زیستی، این سوختها معایبی نیز دارند. یکی از نقاط ضعف اینگونه سوختها در زمان شروع به کار موتور در محیطهای سرد رخ می‌نماید. در چنین شرایطی زیست سوخت کمی حالت

گازهای خروجی نیروگاهها و یا سایر سازوکارهای صنعتی تأمین نمود. جلبکها در آبهای با PH مختلف قابل رشد هستند از آب شرب گرفته تا آبهای شور و بدمزه و یا حتی فضلابها. نیاز جلبکها به مواد مغذی نسبت به سایر مواد خام نسل اول به مراتب کمتر است. این امر به خاطر ساختار ساده تک سلولی آنهاست. از جمله مهمترین مواد مغذی مورد نیاز برای رشد جلبکها نیتروژن و فسفر است که می‌توان آنها را از کودهای شیمیایی سنتی تهیه نمود. البته این مواد در فضلابها به حد کافی وجود دارد که اگر از فضلاب برای رشد جلبکها استفاده شود نیاز آنها به مواد مغذی اضافی به شدت کاهش می‌یابد.

تکثیر و پرورش جلبکها معمولاً به دو صورت زیر انجام می‌گیرد:

- استفاده از استخرهای باز
- استفاده از فتو بیو رآکتورهای بسته

روش استخر باز یک روش ساده و بسیار ارزان قیمت است. حجم این استخرها می‌تواند از ۱۰۰ لیتر تا ۱۰ میلیارد لیتر متغیر باشد. استخرهای باز در عین سادگی و صرفه اقتصادی با مشکلات و معضلاتی نیز روبرو هستند. این استخرها اغلب در زمینهای با مساحت بسیار بزرگ (در حد چند هکتار) باید بنا شوند که این امر خود محدودیت بزرگی به شمار می‌آید. از سوی دیگر کنترل شرایط محیط رشد در روش استخر باز کار چندان ساده‌ای نیست. حتی گاهی به علت باز بودن فضای استخر به محیط اتمسفر امکان نفوذ و رشد گونه‌های جلبکی ناخواسته و نامناسب در داخل استخر وجود دارد. در روش استخر باز ارسال و نقل و انتقال گاز دی اکسید کربن با مکانیزم انتقال جرم طبیعی صورت می‌گیرد. از آنجا که تنها ۰/۰۳۶ درصد از هوای اتمسفر را دی اکسید کربن تشکیل می‌دهد، انتقال این گاز به داخل استخر با محدودیتهایی همراه است. بدین منظور برای انتقال بهتر گاز دی اکسید کربن از روش حباب زنی استفاده می‌شود که باز هم به دلیل باز بودن استخرها، بخش اعظمی از گاز انتقال یافته می‌تواند فرار

جلبکها دارای خصوصیات و ویژگیهای زیستی و فنی زیادی هستند که می‌توانند ما را در جهت غلبه بر این مشکلات یاری دهند. جلبکها در جذب و استفاده از نور خورشید بازدهی بسیار بیشتری نسبت به گیاهان زمینی دارند و آلاینده‌های مضر را مصرف می‌کنند و نیاز به منابع کمتری دارند. جلبکها هیچگونه رقابتی با منابع غذایی نسل بشر ندارند و استفاده از آنها در تولید سوخت هیچگونه محدودیتی را در منابع غذایی به دنبال ندارد. نرخ رشد جلبکها زیاد است و تقریباً در هر روز از هر متر مربع ۱۰ تا ۵۰ گرم جلبک استخراج می‌شود. در مقایسه با منابع نسل اول مانند ذرت و سویا، جلبکها دوره رشد بسیار کوتاهی دارند بطوریکه تقریباً در هر ۲۴ ساعت به حداکثر رشد خود می‌رسند و در هر ۳/۵ ساعت مقدارشان دو برابر می‌شود [۸]. در جدول (۱) میزان روغن استخراج شده و مقدار زمین زراعی لازم برای رشد جلبکها و منابع گیاهی مرسوم مانند ذرت و سویا با هم مقایسه شده است:

جدول ۱. مقایسه مقدار روغن و میزان زمین لازم برای استحصال جلبکها و مواد خام مرسوم [۸]

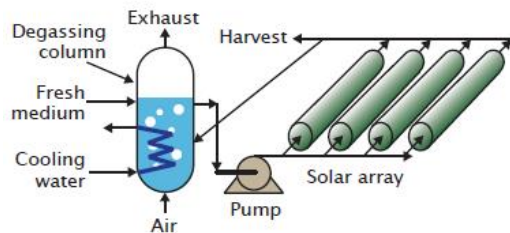
ماده اولیه	میزان روغن (گالن بر جریب بر سال)	زمین لازم (میلیون جریب)
ذرت	۱۸	۲۲۲۲
سویا	۴۸	۸۳۳
کانولا	۱۲۷	۳۱۵
خرما (پالم)	۶۳۵	۶۳
ریزجلیک (۱۰٪ روغن)	۱۲۰۰	۳۳
ریزجلیک (۵۰٪ روغن)	۱۰۰۰۰	۴

۴- شیوه‌های رشد و تکثیر جلبکها

جلبکها برای رشد و نمو امکانات و منابع خاصی نیاز ندارند و نیازهای آنها در حد نیازها اولیه مانند آب، دی اکسید کربن، نور خورشید و مواد مغذی است. در اغلب مناطق نور خورشید به اندازه کافی وجود دارد. گاز دی اکسید کربن لازم برای رشد جلبکها را می‌توان از



Photobioreactors



شکل ۲. نمایی کلی از روش فتو بیو راکتور بسته [۸]

بر طبق تحقیقات انجام شده این گونه خاص جلبکی علاوه بر نرخ سریع رشد و ظرفیت لیپیدی نسبتاً بالا، محیط کشت بسیار ساده و ارزان قیمتی دارد بطوریکه حتی در شرایط اقلیمی ایران بطور طبیعی نیز قابل رشد و تکثیر است. نتایج برخی تحقیقات انجام شده نشان داده است که سوخت به دست آمده از این سویه جلبکی خواص بسیار مشابهی با سوخت دیزل فسیلی دارد [۱۲]. بطوریکه زیست سوخت جدید نسبت به برخی از زیست سوختهای مرسوم و مورد استفاده در اروپا و امریکا از جمله سویا و کانولا متیل استر عملکرد بسیار مطلوبتری دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که زیست سوخت جدید نسبت به زیست سوخت بدست آمده از برخی ریز جلبکهای دیگر مانند کلرلا (Chlorella) نیز از کیفیت بسیار بالاتری برخوردار است.

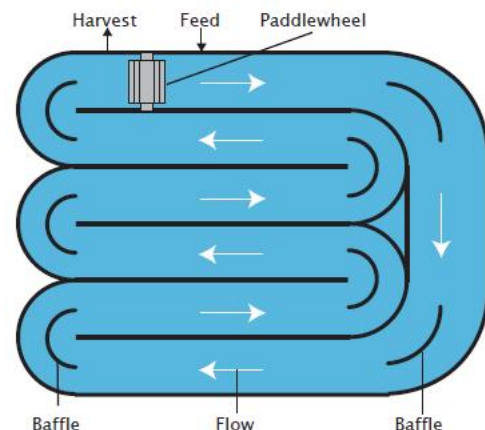
۶- تراز انرژی

تراز انرژی یا همان نسبت برگشت پذیری انرژی (Energy Payback Ratio) یکی از عوامل و

کند. در شکل (۱) نمایی کلی از استخرهای باز نشان داده شده است. در روش استفاده از فتو بیو راکتورهای بسته تقریباً معایب فوق الذکر تا حد زیادی مرتفع شده است. در شکل (۲) نمایی از یک فتو بیو راکتور رسم شده است. تنها عیب این روش هزینه نسبتاً بالاتر نسبت به روش استخر باز است.



Open ponds



شکل ۱. نمایی کلی از استخرهای باز [۷]

۵- گونه‌های جلبکی مرسوم در تولید زیست سوخت

تاکنون گونه‌های مختلفی از ریز جلبکها از جمله کلرلا (Chlorella)، دونالیا (Dunaliella) و اسپروولینا (Spirulina) با هدف تولید سوخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۹ و ۱۰]. این گونه‌های جلبکی در کشور ما نیز قابل رشد و پرورش هستند. به تازگی گونه خاصی از ریز جلبک کللامیدوموناس (Chlamydomonas) با نام MCCA ۰۲۶ در برخی نواحی جنوبی ایران (استان فارس) شناسایی شد که می‌تواند به عنوان منبع مناسبی برای تولید سوخت سبز مورد استفاده قرار گیرد [۱۱].

خواهد کرد و به زودی زمانی فرا خواهد رسید که زیست سوخت‌های جلبکی مقرون به صرفه خواهند شد.

۸-مراجع

۱. پرتوی، ع. "انرژی‌های نو، انرژی برای آینده‌ای پایدار"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۶، چاپ اول.
۲. Erazo, J., Sequera, A., Parthasarathy, R., and Gollahalli, S.R., "Comparison of spray characteristics of biodiesel and diesel fuel," AIAA ۴۸۱۶, ۲۰۰۷.
۳. Murillo, S., Líguez, J.L., Porterio, J., Geranada, E., and Morán, J.C., "Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines," Fuel, ۸۶, pp ۱۷۶۵-۱۷۷۱, ۲۰۰۷.
۴. زوزی، ع. قبادیان، ب. توکلی هسجین، ت. فیض الله نژاد، م. و باقرپور، ح. "تأثیر ترکیب سوخت‌های دیزل و بیودیزل حاصل از پسماند روغن‌های خوراکی در عملکرد موتور اشتعال تراکمی (CI)", "نشریه علمی-پژوهشی سوخت و احتراق، سال اول، شماره اول، شهریور ۱۳۸۷.
۵. نجفی، ب. پیروزپناه، و. و قبادیان، ب. "تأثیر استفاده از بیودیزل در کاهش آلایندگی موتور دیزل،" مجموعه مقالات اولین کنفرانس احتراق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، بهمن ماه ۱۳۸۴.
۶. Tyson, S.K., "Biodiesel handling and use guidelines," US Department of Energy DOE/GO; ۱۰۲۰۰۴, ۱۹۹۹.
۷. Almeida, S.C.A., Belchior, C.R., Nascimento, M.V.G., Viera, L.S.R., and Fleury, G., "Performance of a diesel generator fuelled with palm oil," Fuel, ۸۱, pp ۲۰۹۷-۲۱۰۲, ۲۰۰۲.
۸. Wen, Z. and Johnson M.B., "Microalgae as a feedstock for biofuel production," Virginia State University, Publication ۴۴۱-۸۸۶.
۹. Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae," Biotechnology Advances, ۲۵, pp ۲۹۴-۳۰۶, ۲۰۰۷.
۱۰. Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae beats bioethanol," Trends in Biotechnology, ۲۶, ۳, pp ۱۲۶-۱۳۱, ۲۰۰۸.
۱۱. Morowvat, M.H., Rasoul-Amini, S., and Ghasemi, Y., "Chlamydomonas as a "new" organism for biodiesel production," Bioresource Technology, ۱۰۱, pp ۲۰۵۹-۲۰۶۲, ۲۰۱۰.
۱۲. امیدوار، ا. و امینی، ا. "پیش بینی خواص فیزیکی و مشخصات قطره سازی زیست سوخت به دست آمده از ریزجلبک

مفاهیم مهم در انتخاب منابع سوخت‌های زیستی است. تراز انرژی در واقع بیانگر نسبت انرژی دریافتی از زیست سوخت به انرژی‌های ورودی و داده شده به آن است که البته ممکن است بخشی از انرژی‌های داده شده یا مصرف شده در طی فرآیند تولید زیست سوخت از منابع فسیلی تأمین شده باشد. مقدار تراز انرژی زیست سوخت به شدت به فرآیند تولید آن بستگی دارد. بطوریکه اگر فرآیندهای تولیدی طوری طراحی شوند که از انرژی‌های تجدید پذیر دیگر مانند انرژی خورشیدی بهره ببرند و یا از انرژی هدر رفت صنایع دیگر در راستای تولید زیست سوختها استفاده شود، بالانس انرژی مثبت خواهد شد و استفاده از زیست سوختها به مراتب مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. بمقدار بالانس انرژی برای نیروگاههای برقایی نزدیک به ۳۰۰ است. برای چوب این مقدار بین ۱۰ تا ۲۰ است. برای اتانول تولید شده از دانه جو مقدار بالانس انرژی ۱ است. این در حالی است که مقدار بالانس انرژی برای سوخت‌های زیستی نزدیک به ۳ است. البته همانطور که اشاره شد با بهینه سازی فرآیندهای تولید زیست سوختها می‌توان این نسبت را به مراتب افزایش داد.

۷-زیست سوخت‌های جلبکی در آینده نزدیک

در سال ۲۰۰۷ میلادی هزینه تولید روغن از یک گونه ریزجلبکی با ظرفیت چربی ۳۰٪ با استفاده از روش فتو بیو راکتورهای بسته با ظرفیت ۱۰۰۰۰ تن در سال تقریباً برابر با ۱۰/۵ دلار برای هر گالن تخمین زده شد [۸]. البته این مبلغ بدون در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به تبدیل روغن به زیست سوخت، هزینه حمل و ارسال سوخت و مالیات محاسبه شد. این در حالی است که در همان زمان هزینه سوخت فسیلی برای هر گالن چیزی حدود ۴ دلار بود! در حال حاضر هزینه بالای تولید زیست سوخت‌های جلبکی بزرگترین چالش اینگونه سوختهاست. اما در چند سال آینده با محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و رشد روز افزون قیمت آنها از یک سو و با بهینه سازی فرآیندهای تولید زیست سوخت‌های جلبکی از سوی دیگر، شرایط تغییر

کلامیدوموناس، " نشریه علمی-پژوهشی سوخت و احتراق،
سال سوم، شماره دوم، زمستان ۸۹.