

روش‌های برداشت و آبیگری ریزجلبک‌ها

مونا خلیلی، شهرزاد قدیری جعفریگلو، محمد پازوکی*

کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده انرژی

پیام‌نگار: mpazouki@merc.ac.ir

چکیده

آماده‌سازی ریزجلبک به منظور تولید زیست سوخت شامل سه مرحله کشت، برداشت و استخراج روغن می‌باشد. برداشت و آبیگری بهینه ریزجلبک‌ها از عمده‌ترین چالش‌ها در مقیاس صنعتی است. یکی از عوامل افزایش قیمت محصولات تولیدی ریزجلبک‌ها عدم وجود روشی مناسب برای برداشت آن از محیط کشت است. در این مقاله هدف بیان و مقایسه انواع روش‌های برداشت ریزجلبک‌ها از محیط کشت می‌باشد. روش‌های برداشت به سه گروه شیمیایی، مکانیکی و الکتریکی تقسیم می‌شوند. روش شیمیایی شامل منعقدسازی و تراکم‌سازی است که این دو فرایند برای برداشت ریزجلبک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشند. در روش‌های برداشت مکانیکی، سانتریفوژ روشی متداول است و بازدهی برداشت نسبتاً بالایی دارد اما به دلیل مصرف بالای انرژی، هزینه‌بر می‌باشد. در روش الکتریکی، انعقاد الکتریکی روشی جدید برای برداشت ریزجلبک است که در مقایسه با روش‌های دیگر بازدهی برداشت بالاتری دارد و انرژی کمتری مصرف می‌کند.

کلمات کلیدی: زیست سوخت، ریزجلبک، روش‌های برداشت ریزجلبک، آبیگری

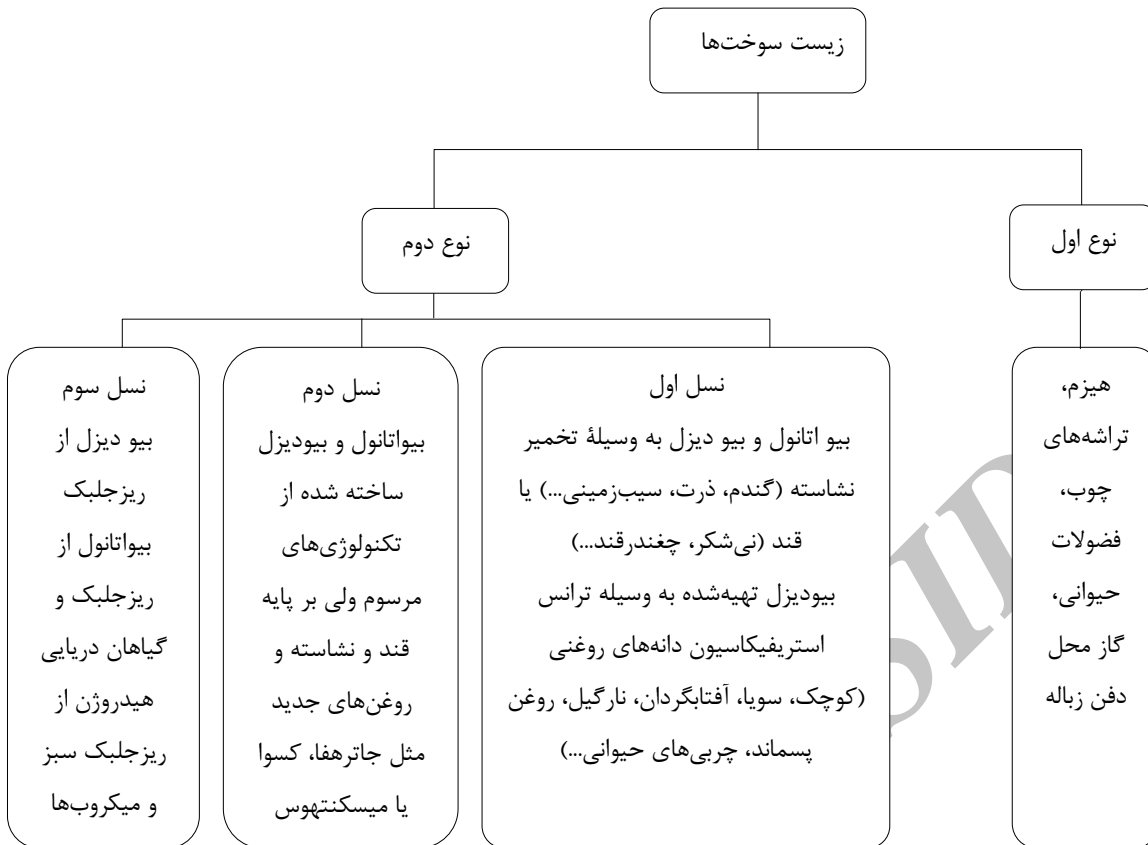
۱- مقدمه

سوخت‌های نوع دوم می‌توانند بر اساس پارامترهای مختلفی از قبیل نوع فناوری فرایند، نوع خوراک یا سطح توسعه در سه نسل اول، دوم و سوم، همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده، دسته‌بندی شوند [۲].

جایگزینی تمامی سوخت‌های سیستم حمل و نقل در دنیا به وسیله بیودیزل، نیازمند حجم عظیمی از بیودیزل به صورت سالانه است. دانه‌های روغنی، روغن بازیافت شده و روغن حیوانی نمی‌توانند این نیاز را به تنهایی برطرف سازند [۳]. استفاده از زیست سوخت نسل اول بحث و جدال زیادی را ایجاد نمود که دلیل اصلی آن تاثیر بر بازار غذای جهانی و امنیت غذایی بود [۴]. در نسل دوم زیست سوخت‌ها، هنوز فناوری رضایت بخشی در مقیاس تجاری به دست نیامده است. با برآورده نشدن تقاضای زیست سوخت توسط نسل اول و دوم رویکرد جهانی به سوی استفاده از ریزجلبک به عنوان

در چند دهه گذشته سوخت‌های فسیلی به بخش جدایی‌ناپذیر زندگی روزمره انسان تبدیل شده است که با توجه به تجدیدنپذیر بودن آن و نگرانی‌های زیست محیطی به وجود آمده، محققان در صدد جایگزین نمودن آن با منابع تجدیدپذیر می‌باشند [۱].

زیست سوخت‌ها مواد جامد، مایع یا گازی هستند که از مواد آلی مشتق شده و به طور کلی به دو دسته‌ی زیست سوخت‌های نوع اول و زیست سوخت‌های نوع دوم تقسیم می‌شوند. زیست سوخت‌های نوع اول مانند چوب بدون انجام هیچ فرایندی برای سوزاندن، غذا درست کردن و تولید الکتریسیته استفاده می‌شوند، در حالی‌که زیست سوخت‌های نوع دوم مانند بیواتانول و بیودیزل با انجام فرایند بر روی زیست توده‌ها به دست آمده و می‌توانند در وسایل نقلیه و فرایندهای مختلف صنعتی به کار گرفته شوند. هم‌چنین زیست



شکل ۱- دسته‌بندی زیست سوخت‌ها

روغن ریز جلبک نشان داده است که بخش برداشت و آگیری از توده ریز جلبک بیشترین مصرف انرژی از کل چرخه را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع این فرایند از اصلی‌ترین مشکلات پیشرفت تجاری و صنعتی‌سازی استفاده از ریز جلبک به عنوان زیست سوخت است. در حال حاضر روش‌های متعددی برای برداشت ریز جلبک وجود دارد. انتخاب تکنیک برداشت بستگی به خصوصیات ریز جلبک مانند اندازه چگالی و ارزش محصول مورد نظر دارد [۱۱]. به طور کلی برداشت میکرو جلیبک شامل دو مرحله به صورت زیر می‌باشد:

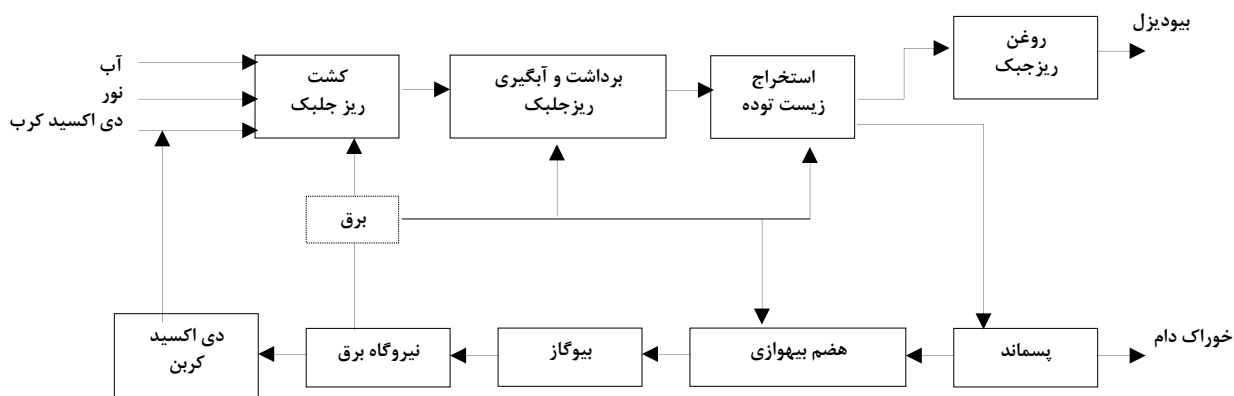
الف: برداشت توده‌ای: هدف جداسازی زیست توده از توده معلق می‌باشد که به غلظت زیست توده و فناوری‌های به کار گرفته شده از جمله منعقدسازی، شناورسازی و ته‌نشینی ثقلی بستگی دارد.

ب: تغلیظ کردن: هدف تغلیظ کردن ریز جلبک به همراه آب با تکنیک‌هایی چون سانتریفوژ، صاف کردن و تراکم‌سازی پس از برداشت توده‌ای می‌باشد. از این رو این مرحله بیشتر از برداشت توده‌ای انرژی مصرف می‌کند. در ادامه به تفصیل روش‌های برداشت ریز جلبک ارائه می‌شود.

زیست سوخت متمایل گردید. شکل (۲) روند تولید بیودیزل از ریز جلبک را نشان می‌دهد. برن و اوند [۵] موارد زیر را از امتیازات ریز جلبک به عنوان زیست سوخت بر شمرده‌اند:

۱- ظرفیت تولید در تمام طول سال [۶]، ۲- وجود رشد در محیط آبی، نیاز کمتری به مصرف آب نسبت به دانه‌های زراعی [۷]، ۳- قابلیت رشد در آب‌های شور و غیر آشامیدنی و همچنین زمین‌های غیر زراعی [۸]، ۴- سرعت رشد بالا به همراه گونه‌های متنوع دارای میزان روغن بالا (۲۰-۵۰٪) بر مبنای وزن خشک، ۵- بهبود کیفیت هوا [۳]، ۶- استفاده از فاضلاب به عنوان منبع تغذیه [۹]، ۷- تولید سایر مواد با ارزش مانند پروتئین، ۸- قابلیت استفاده به عنوان کود بعد از استخراج روغن [۱۰].

برای تولید بیودیزل از ریز جلبک، فرایند آماده‌سازی ریز جلبک شامل سه قسمت اصلی کشت، برداشت و آگیری و استخراج روغن می‌باشد. از جمله فرایندهایی که در مورد ریز جلبک‌ها بسیار مورد توجه و بررسی قرار گرفته است فرایند برداشت و آگیری ریز جلبک از محیط کشت است. نتایج تحلیل چرخه حیات تولید بیودیزل از



شکل ۲- تولید بیودیزل از ریز جلبک

۲- روش‌های برداشت ریز جلبک‌ها

روش‌های مختلف برداشت مانند صاف کردن، شناورسازی یا ته‌نشینی ثقلی می باشد [۱۲]. از متراکم‌سازی به همراه فرایند ته‌نشینی نیز می توان برای برداشت ریز جلبک استفاده کرد.

روش منعقدسازی که به صورت معمول استفاده می‌شود از نظر اقتصادی بسیار هزینه بر بوده و علاوه بر این، برای جداسازی ریز جلبک‌های پرورش داده شده در آب شور به منعقدکننده‌های شیمیایی اضافی برای منعقدسازی نیاز می‌باشد [۱۴]. برای این که از روش‌هایی که نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی دارند برای برداشت ریز جلبک اجتناب شود تحقیقات بر روی ریز جلبک‌هایی که بزرگتر بوده یا توانایی خودانعقادی دارند در حال انجام است.

در حال حاضر روش‌های برداشت بیشتر بر پایه شیمیایی و مکانیکی و به صورت جزیی بر پایه فرایندهای الکتریکی است. استفاده ترکیبی از این روش‌ها یا بکارگیری آن‌ها به صورت متوالی نیز مرسوم است. روش های زیستی نیز به منظور کاهش هزینه تمام شده در بخش برداشت تحت تحقیق و بررسی هستند و تا به امروز روشی به صورت واحد برای برداشت ریز جلبک تایید نشده است.

۱-۲ روش‌های برداشت بر پایه شیمیایی

منعقدسازی و متراکم‌سازی از روش‌های معمول برداشت می‌باشند. منعقدسازی اولین مرحله در فرایند برداشت توده‌ای است که هدف از آن متراکم‌سازی سلول‌های ریز جلبک برای افزایش اندازه موثر ذره می‌باشد [۵]. سلول‌های ریز جلبک دارای بار منفی می‌باشند که باعث جلوگیری از تراکم طبیعی سلول‌ها در محلول غوطه‌وری می‌شود. افزودن منعقدسازها مانند کاتیون‌های چند ظرفیتی و بسپارهای کاتیونی بار منفی را خنثی یا تعداد آن را کاهش می‌دهند [۱۲]. به خاطر بار ۳+ کاتیون، آهن و آلومینیم، سولفات آلومینیم، سولفات آهن و کلرید آهن گاهی به عنوان خنثی‌کننده و منعقدکننده استفاده می‌شوند [۱۳]. این فرایند به مقدار PH محیط بسیار حساس بوده و بیشترین میزان منعقدسازی در PH=7 برای آب تازه و پایین‌ترین میزان برای آب دریا ثبت شده است. متراکم‌سازی یکی از مراحل اولیه آماده‌سازی ریز جلبک برای



شکل ۳- انعقاد شیمیایی

۲-۲ روش‌های برداشت مکانیکی

سانتریفوژ کردن، برترین روش برای برداشت ریز جلبک به حساب می‌آید. در این روش با استفاده از نیروی گریز از مرکز بر پایه قانون استوک ریزجلبک‌های رشد داده شده از محیط کشت جدا می‌شوند که پس از آن جلبک‌ها را می‌توان با استفاده از تخلیه کردن مایع و یا استفاده همزمان از صافی هنگام سانتریفوژ کردن جدا کرد. اگرچه سانتریفوژ کردن روشی رضایت بخش برای جداسازی به حساب می‌آید ولی صدمات حاصل از تنش برشی در سرعت بالا بر روی سلولهای جلبک استفاده از این روش را محدود می‌سازد.

پارامترهایی که در روش سانتریفوژ کردن مهم و اساسی تشخیص داده شده و مطالعات بر روی آنها انجام شده است شامل: غلظت محصول تولیدی، انرژی مصرفی، هزینه نسبی، نحوه عملکرد و روش تغلیظسازی می‌باشد. اگرچه مطالعات مختلفی بر روی روش سانتریفوژ انجام شده ولی گسترده و کامل نیست. بررسی‌ها نشان داده‌اند که برداشت ریز جلبک به وسیله سانتریفوژ کردن دارای بازدهی بالاتری نسبت به سایر روشهای مکانیکی و شیمیایی برداشت است، که این بازدهی در برداشت میکروجلبک حدود ۹۵٪ گزارش شده است. اگرچه سانتریفوژ روش قابل قبولی می‌باشد ولی دارای محدودیت‌هایی است که از معایب این روش به شمار می‌آید. از جمله این محدودیت‌ها تنش برشی بالا است که نتیجه آن صدمه به سلول‌های ریزجلبک است، از دیگر محدودیت‌های این روش، مقرون به صرفه نبودن آن به خاطر مصرف بالای انرژی بویژه در مقیاس صنعتی می‌باشد، علاوه بر این اجزای قابل حرکت آن نیز، نیاز به نگهداری بالایی دارند [۵، ۱۵].

ته‌نشینی، روشی دیگر برای جداسازی ریزجلبک از محیط کشت است که بر پایه قانون استوک عمل می‌کند، یعنی خصوصیات ته‌نشینی ذرات معلق با استفاده از چگالی و شعاع سلول‌های جلبک و سرعت ته‌نشینی اندازه‌گیری می‌شود [۵]. ته‌نشینی یکی از روش‌های کم‌هزینه برداشت ریزجلبک است ولی به دلیل سرعت بسیار پایین، بیشتر برای ریزجلبک‌های بزرگ مانند اسپیرولینا مناسب است [۱۶].

صاف کردن یکی دیگر از روش‌های مکانیکی جداسازی ریزجلبک می‌باشد که به عنوان قابل رقابت‌ترین روش برداشت ریزجلبک به کار گرفته می‌شود. صاف کردن، انواع مختلفی دارد، مانند میکرو صاف کردن، مافوق صاف کردن، صاف کردن تحت خلأ و صاف کردن

فشاری. به طور کلی روش کار صاف کردن به این صورت است که محیط کشت شامل ریزجلبک، از صافی عبور داده می‌شود و جلبک در پشت صافی باقی می‌ماند، با ادامه کار لایه ضخیمی از جلبک به وسیله صافی از محیط جدا می‌شود. این روش برای برداشت ریزجلبک‌های نسبتاً بزرگ مانند کلاستروم و اسپیرولینا مناسب است و نمی‌تواند برای برداشت گونه‌های جلبک در ابعاد باکتری مانند سیندراسموس، دوناللا و کلردا استفاده شود [۱۷].

برای بازیابی سلول‌های کوچک ریزجلبک، میکرو صاف کردن غشایی و اولترا صاف کردن به عنوان روش‌های متعارف معرفی شده‌اند. روش صاف کردن غشایی برای سلول‌های ضعیف که برای جلوگیری از صدمه دیدن نیاز به غشاء با فشار انتقال پایین و سرعت جریان پایین دارند مناسب می‌باشد. برای فرایندهای با حجم پایین صاف کردن غشایی می‌تواند در مقایسه با سانتریفوژ اقتصادی‌تر باشد. برای حجم‌های بالا به علت هزینه زیاد مانند تعویض غشاء و پمپ کردن، در مقیاس بالا روش سانتریفوژ ممکن است برای برداشت ریزجلبک اقتصادی‌تر باشد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که صاف کردن فشاری با توجه به این‌که انرژی کافی، با توجه به غلظت مواد خام اولیه و محصول خروجی، مصرف می‌کند، به عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای آگیری ریزجلبک در نظر گرفته می‌شود [۱۲، ۱۷]. میکرو صاف کردن یکی از روش‌های کم‌هزینه برای فرایند برداشت ریزجلبک است. بررسی مصرف انرژی آن چشم انداز امیدوارکننده‌ای برای به‌کارگیری این فناوری در مقیاس‌های بزرگ به ما می‌دهد. علاوه بر این فناوری میکرو صاف کردن استفاده از سایر محصولات ریزجلبک با ارزش بالا و ارزش پایین را به صورت وسیعی امکان‌پذیر می‌سازد. [۱۸].

شناورسازی یکی دیگر از روش‌های جداسازی ریزجلبک از محیط کشت به صورت مکانیکی است که اساس آن، به دام انداختن سلول‌های ریزجلبک با پراکنده‌سازی ریز حباب‌های هوا می‌باشد، به این صورت که هوا یا گاز به سلول‌ها چسبیده و آن‌ها را به سطح مایع حمل می‌کند. این فرایند بر عکس فرایند انعقادسازی نیازی به اضافه کردن هیچ ماده شیمیایی ندارد. اگرچه شناورسازی به عنوان یک روش برداشت مطرح می‌شود ولی شواهد حاکی از قابلیت محدود تکنیکی و اقتصادی آن می‌باشد [۱۹]. اصلی‌ترین امتیاز روش شناورسازی بکارگیری آن برای مقیاس‌های بزرگ می‌باشد [۲۰].

۳-۲ روش برداشت الکتریکی

دکتر زنوزی با استفاده از روش انعقاد الکتریکی بازدهی برداشت میکرو جلبک را به ۹۸ درصد رساندند که تقریباً ۵ درصد بالاتر از دو روش سانتریفوژ و انعقاد شیمیایی می‌باشد. همچنین از نظر مصرف انرژی، انرژی مورد نیاز در چرخه حیات تولید بیودیزل از میکرو جلبک با استفاده از روش برداشت انعقاد الکتریکی ۶ برابر کمتر از استفاده از روش سانتریفوژ است.

الکتروفرویز از دیگر روش‌های الکتریکی جداسازی ریزجلبک از محیط کشت می‌باشد. در این روش نیز سلول‌های ریزجلبک به دلیل داشتن بارهای منفی در یک میدان الکتریکی تجمع پیدا می‌کنند [۲۳]. عدم نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی یکی از اصلی‌ترین مزیت‌های روش‌های الکتریکی است، عواملی که از جذابیت این روش می‌کاهد نیاز به توان الکتریکی بالا و همچنین قیمت بالای الکترودها در مقیاس صنعتی می‌باشد [۱۶].

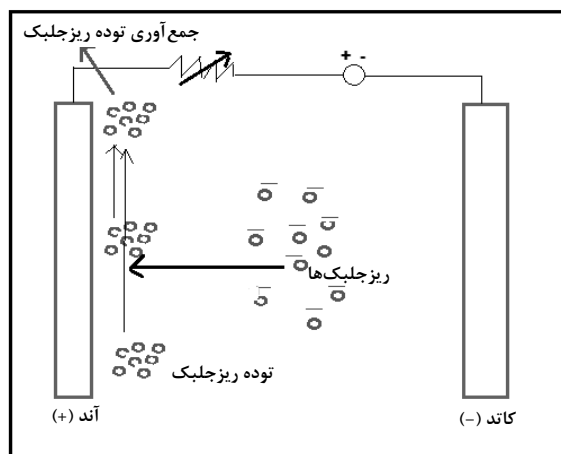
در جدول (۱) روش‌های برداشت ریزجلبک از محیط کشت با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۱- مقایسه روش‌های برداشت ریزجلبک از محیط کشت

روش‌های برداشت	مزایا	معایب
منعقدسازی و تراکم سازی	به کارگیری آسان	بسیار حساس به PH محیط، نیاز به منعقدکننده‌های شیمیایی اضافی در آب شور، مقرون به صرفه نبودن از نظر اقتصادی
سانتریفوژ	بازدهی بالا، مناسب برای ریزجلبک با سلول‌های ریز و درشت	صدمات حاصل از تنش برشی در سرعت بالا، مصرف بالای انرژی، مقرون به صرفه نبودن از نظر اقتصادی
صاف کردن	مناسب برای ریزجلبک با سلول‌های ریز و درشت، مصرف انرژی پایین	مقرون به صرفه نبودن در مقیاس بالا
شناورسازی	عدم نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی، بکارگیری آن برای مقیاس‌های بزرگ	قابلیت محدود تکنیکی و اقتصادی
ته‌نشینی	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی	به دلیل سرعت بسیار پایین مناسب برای ریزجلبک‌های بزرگ
انعقاد الکتریکی و الکتروفرویز	عدم نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی، بازدهی بسیار بالا	نیاز به توان الکتریکی بالا، قیمت بالای الکترودها در مقیاس صنعتی

انعقاد الکتریکی یکی از جدیدترین روش‌های برداشت ریزجلبک به روش الکتریکی است و عبارت است از تولید مواد منعقدکننده با استفاده از تجزیه الکتریکی الکترودهای فلزی. در این روش ریزجلبک‌های موجود در آب به وسیله یون‌های مثبت تولید شده توسط الکترودهای متصل به جریان الکتریکی خنثی شده و به علت آب‌گریز بودن به یکدیگر می‌چسبند و فرایند انعقاد فراهم می‌گردد [۲۱]. بار موجود در سطح سلول‌های ریزجلبک آنیونی است به همین دلیل برای انعقاد سلول‌ها کافیت که بار منفی بر روی سطح سلول‌ها خنثی شود. با این روش نیروی دافعه بین سلول‌ها از بین رفته و سلول‌ها به هم می‌چسبند و جداسازی آن‌ها از محیط کشت به آسانی صورت می‌گیرد. در روش انعقاد الکتریکی الکترودهای فولادی با فاصله مشخصی در داخل محیط کشت ریزجلبک قرار می‌گیرد و سپس جریان مستقیم به الکترودها اعمال می‌گردد. اختلاف ولتاژ به وجود آمده باعث می‌شود که کاتیون‌ها از سطح الکترودها جدا شده و وارد محیط کشت ریزجلبک شوند.

الکترودهای استفاده شده معمول در این روش از جنس آهن و آلومینیم هستند تا کاتیون‌های آزاد شده ۳ ظرفیتی، بار آنیونی بیشتری از سلول‌ها را خنثی نمایند. پارامترهای مهم در روش انعقاد الکتریکی عبارتند از: میزان شدت جریان مستقیم، مدت اعمال جریان، فاصله و مساحت الکترودها. برای داشتن بازدهی بالاتر باید شدت جریان اعمالی به الکترودها بالاتر، فاصله الکترودها کمتر و سطح تماس الکترودها بیشتر باشد [۲۲].



شکل ۴- سیستم برداشت ریزجلبک به روش انعقاد الکتریکی

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به نگرانی‌های موجود از اتمام سوخت‌های فسیلی، بشر به فکر جایگزینی این سوخت‌ها با زیست سوخت‌ها افتاده است. ریزجلبک‌ها به عنوان نسل جدید زیست سوخت‌ها به علت ظرفیت تولید بالا در تمامی طول سال و قابلیت رشد در محیط‌های سخت و کم آب، بهبود کیفیت هوا و همچنین استفاده به عنوان کود بعد از استخراج روغن مورد توجه قرار گرفته است. فرایند آماده‌سازی ریزجلبک برای تولید زیست سوخت شامل سه مرحله کشت، برداشت و استخراج روغن می‌باشد. بخش برداشت و آبیگری از توده ریزجلبک بیشترین مصرف انرژی از کل چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن ریزجلبک را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع این فرایند از اصلی‌ترین مشکلات پیش روی تجاری و صنعتی‌سازی استفاده از ریزجلبک به عنوان زیست سوخت است. در حال حاضر روش‌های برداشت، بیشتر بر پایه شیمیایی، مکانیکی و به صورت جزیی الکتریکی می‌باشد. سانتریفوژ کردن روش متداول برای برداشت ریزجلبک می‌باشد، ولی علیرغم بازدهی بالا مصرف انرژی آن زیاد است و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. در میان روش‌های مختلف برداشت، صاف کردن و انعقاد الکتریکی روش‌هایی هستند که برای به کارگیری در مقیاس بالا به لحاظ بازدهی زیاد و همچنین مصرف انرژی کمتر نسبت به سایر روش‌ها مناسب تشخیص داده شده‌اند.

مراجع

- [7] Dismukes, G.C., et al., "Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels". *Current Opinion in Biotechnology*, 19(3): p. 235-240, (2008).
- [8] Searchinger, T., et al., "Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change". *Science*, 319(5867): p. 1238-1240, (2008).
- [9] Cantrell, K.B., et al., "Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities". *Bioresource Technology*, 99(17): p. 7941-7953, (2008).
- [10] Spolaore, P., et al., "Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*", 101(2): p. 87-96, (2006).
- [11] Olaizola, M., "Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace". *Biomolecular Engineering*, 20(4-6): p. 459-466, (2003).
- [12] Molina Grima, E., et al., "Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics". *Biotechnology Advances*, 20(7-8): p. 4, 515-910 (2003).
- [13] Cabirol, N., et al., "Effect of aluminium and sulphate on anaerobic digestion of sludge from wastewater enhanced primary treatment". *Water Sci Technol*, 48(6): p. 235-40, (2003).
- [14] Harun, R., et al., "Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3): p. 1037-1047, (2010).
- [15] Bosma, R., et al., "Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae". *Journal of Applied Phycology*, 15(2): p. 143-153, (2003).
- [16] Uduman, N., et al., "Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels". *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(1): p. 012701-15, (2010).
- [17] Danquah, M.K., et al., "Dewatering of microalgal culture for biodiesel production: exploring polymer flocculation and tangential flow filtration". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(7): p. 1078-1083, (2009).
- [18] Bilad, M.R., et al., "Harvesting microalgal biomass using submerged microfiltration membranes". *Bioresource Technology*, 111(0): p. 343-352, (2012).
- [19] Wang, B., et al., "CO₂ mitigation using microalgae". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79(5): p. 707-718, (2008).
- [20] Greenwell, H.C., et al., "Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges". *Journal of The Royal Society Interface*, (2009).
- [21] Vandamme, D., et al., "Evaluation of electro-coagulation-flocculation for harvesting marine and freshwater microalgae". *Biotechnology and Bioengineering*, 108(10): p. 2. 2329-320, (2011).
- [۲۲] زنوزی، ع.، حجازی، م.، ا.، قبادی، ب.، بهینه‌سازی پارامترهای انعقاد الکتریکی در برداشت ریزجلبک از محیط کشت به منظور تولید محصولات خوراکی. بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۹۰).
- [23] Christenson, L. and R. Sims, Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29(6): p. 686-702, (2011).
- [1] Lam, M.K. and K.T. Lee, "Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward". *Biotechnology Advances*, 30(3): p. 673-690, (2012).
- [2] Nigam, P.S. and A. Singh, "Production of liquid biofuels from renewable resources". *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1): p. 52-6, (2011).
- [3] Chisti, Y., "Biodiesel from microalgae". *Biotechnology Advances*, 25(3): p. 294-306, (2007).
- [4] Moore, A., "Biofuels are dead: long live biofuels – Part one". *New Biotechnology*, 25(1): p. 6-12, (2008).
- [5] Brennan, L. and P. Owende, "Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2): p. 557-577, (2010).
- [6] Schenk, P., et al., "Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production". *BioEnergy Research*, 1(1): p. 20-43, (2008).