

## جداسازی زی توده (بیوماس) میکرو جلبک از محیط کشت با استفاده از تکنولوژی انعقاد الکتریکی

مریم عابدی<sup>۱\*</sup>، علی گنجیان خناری<sup>۲</sup>، فائزه حیدری<sup>۳</sup>، ساناز درویش زاده<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه صنایع شیمیایی، دانشکده فنی امام محمد باقر (ع) ساری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، مازندران، ایران.

۲- گروه پژوهشی شیلات و آلاینده‌های آبی خزر (کاسپین)، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ساری، ایران.

۳- پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقاتی علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

۴- دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی، آمل، ایران.

m.abedi80@gmail.com

### چکیده

جمع‌آوری میکرو جلبک یک فرایند دو مرحله‌ای است که عبارتست از جداسازی فاز مایع‌رویی از زی توده (Biomass) یا جامد که بعد از تولید انبوه آغاز می‌شود. هدف از این تحقیق جمع‌آوری زی توده (رسوب‌دهی و یا لخته‌سازی) میکرو جلبک کلرلا با انعقاد الکتریکی و تعیین مناسب‌ترین مقدار ولتاژ و آمپر جهت رسوب‌دهی سلول‌های میکرو جلبک کلرلا می‌باشد. در مطالعه حاضر، امکان استفاده از روش انعقاد الکتریکی (الکتروفلوکولاسیون) برای برداشت زی توده میکرو جلبک کلرلا از محیط کشت مورد آزمایش قرار گرفت. در این بررسی بعد از دوره رشد میکرو جلبک (حداکثر ۱۵ روز) از ۶ تیمار و سه تکرار در بشرهای یک لیتری از سوسپانسیون میکرو جلبک کلرلا با ولتاژهای (۳/۵، ۹، ۱۴/۲، ۲۸/۲۶، ۴۹، ۳۱/۸) و آمپرهای متفاوت (۰/۲، ۰/۰۶، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد سرعت لخته شدن میکرو جلبک کلرلا با افزایش آمپر و ولتاژ رابطه مستقیم داشته به طوری که در تیمار با آمپر ۰/۴ و ولتاژ ۳۱/۸ سلول‌های میکرو جلبک کلرلا شروع به بهم چسبیدن و لخته شدن کردند. در این تیمار با توجه به آمپر و ولتاژ بالاتر نسبت به تیمارهای دیگر سرعت جداسازی و جمع‌آوری سلول‌های میکرو جلبک (زی توده) بیشتر و در زمان کوتاه‌تری از محیط کشت جدا شدند و در سطح آب شناور شدند؛ بدین صورت که بعد از دو دقیقه سلول‌های میکرو جلبک کلرلا شروع به لخته شدن و بهم چسبیدن کردند و کل زمان تا جمع‌آوری کامل زی توده حدود ۱۴ دقیقه از سوسپانسیون خارج شده و تمام زی توده بصورت لخته روی آب شناور شد، بقیه آب کاملاً شفاف و بدون میکرو جلبک کلرلا بوده‌است. در صورتی که در تیمار با ولتاژ ۲/۵ و آمپر ۰/۲ پایین تر بعد از ۵۴ دقیقه شروع به لخته شدن و بعد از ۲۵۸ دقیقه کل زی توده میکرو جلبک کلرلا لخته و جمع‌آوری شدند. بین تیمارها و زمان‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت. میکرو جلبک کلرلا پس از انعقاد الکتریکی در تیمارهای مختلف نشان داد که سلول‌ها در شرایط خوبی از نظر شکل قرار داشته و تفاوت قابل تشخیصی بین آن‌ها و سلول‌های غیر فلوکوله در زیر میکروسکوپ نوری دیده نشد. این تحقیق به روشنی نشان داده‌است که انعقاد الکتریکی روش موثر برای لخته‌سازی سلول میکرو جلبک کلرلا بوده و از آنجایی که بازیابی زی توده میکرو جلبک یک مرحله مهم در فرایند تولید زی توده میکرو جلبک می‌باشد و هزینه قابل توجهی از تولید میکرو جلبک را شامل می‌شود، این روش می‌تواند با هزینه بسیار پایین قابل اجرا باشد.

واژگان کلیدی: جداسازی، میکرو جلبک کلرلا، تکنولوژی انعقاد الکتریکی.

### مقدمه

جلبک‌ها یکی از مهمترین ارگانیزم‌های آبی بوده و از جمله اولین موجودات زنجیره غذایی محسوب می‌شوند. تنوع این ارگانیزم‌های آبی بسیار بالاست و به بیش از ۳۰۰۰۰ گونه تخمین زده شده و در اکثر اکوسیستم‌های آبی پراکنش دارند. از بین این جلبک‌ها، تعداد محدودی به صورت تجاری مورد پرورش قرار می‌گیرند که از عمده‌ترین آنها می‌توان به *Berg-Nilsen, 2006*، *Chlorella*، *Haematococcus*، *Dunaliella* اشاره نمود (۲۰۰۶). پرورش جلبک‌ها نسبت به گیاهان خشکی‌زی، دارای مزایایی است که می‌توان به توانایی پرورش آنها در سیستم‌های پایدار، برداشت آنها در تمام طول سال، پایین بودن میزان مواد ساختاری در پیکره آنها، قابلیت هضم و مصرف تمام پیکره سلولی و

سهولت در افزودن CO<sub>2</sub> مورد نیاز برای رشد آنها به محیط کشت اشاره نمود. (Barak, ۱۹۸۰; Benemann, ۱۹۸۷). جلبک‌ها قابلیت رشد در زمین‌ها و مکان‌های غیر کشاورزی و غیر قابل کشت را نیز دارند و در شرایط متغیر آب و هوایی می‌توانند رشد کنند. جلبک‌ها برای رشد به نور خورشید، کربن دی‌اکسید و مواد مغذی نیاز دارند. مصرف کربن دی‌اکسید توسط جلبک باعث حذف آن از هوا و کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌شود. ایران به دلیل داشتن آب شور فراوان، نور خورشید و زمین زیاد و میزان تولید کربن دی‌اکسید بالا مکان مناسبی برای جلبک‌ها می‌باشد (گلزاری و همکاران ۱۳۹۵).

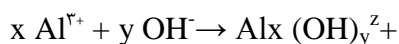
به طور کلی جلبک‌ها دارای کاربردهای متنوعی در صنایع دارویی، تحقیقات علمی، تولید مواد غذایی برای انسان، دام و آبزیان می‌باشند. مواد استخراج شده از جلبک‌ها برای تولید انواع آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین C و E، اسیدهای چرب غیراشباع، آنزیم‌های متنوع، مواد پلیمری با خواص کاربردی بالا، مواد بیولوژیک مانند پپتیدها، ایزوتوپ‌ها، انواع آمینواسیدهای آزاد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، بسیاری از جلبک‌ها برای حذف بیولوژیک بسیاری از آلاینده‌های آب و هوا استفاده می‌شوند (Berg-Nilsen, ۲۰۰۶; Barbosa et al, ۲۰۰۳). از جمله مهمترین جلبک‌های اقتصادی و با ارزش غذایی بالا، که توسط محققین بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است، می‌توان به دو نمونه جلبک *Spirulina sp* و *Chlorella sp* اشاره نمود. کلرلا دارای بیش از ۵۰٪ پروتئین و ۱۲/۴٪ لیپید بوده و سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین B<sub>۶</sub> و ویتامین B<sub>۱۲</sub> (متیل کوبالامین) و اسپوروپولین (کاهش سمیت نوروتوکسین‌ها و فلزات سنگین) می‌باشد. از مهمترین خواص بالینی جلبک کلرلا، می‌توان به کاهش کلسترول در خون و کبد، کاهش فشار خون، دیابت، جلوگیری از پوکی استخوان، بهبود یبوست، زخم معده و کم‌خونی اشاره نمود. همچنین عملکرد مفید این جلبک در بهبود و تقویت سیستم ایمنی، کاهش آلرژی، کند شدن روند رشد تومورهای سرطانی و کاهش عملکرد ویروس‌ها، به اثبات رسیده‌است (Kanno and Kazie, ۲۰۰۵).

با توجه به اهمیت تکثیر و پرورش میکرو جلبک در صنایع آبی‌پروری و صنایع مختلف از جمله تغذیه انسانی، دام و طیور، داروسازی، بیودیزل (سوخت سبز)، کود سبز و نبود اطلاعات جامع و مفید در زمینه میکرو جلبک در کشور خصوصاً جداسازی میکرو جلبک (تولید انبوه) از سوسپانسیون آن، نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر ضروری است. بازیابی بیوماس (زی توده) میکرو جلبک که معمولاً به یک یا بیش از یک فرآیند جداسازی جامد-مایع نیاز دارد، یک مرحله مهم در فرآیند تولید بیوماس میکرو جلبک بوده و بین ۲۰ تا ۳۰ درصد کل هزینه‌های مربوط به تولید را شامل می‌شود. انتخاب تکنولوژی جمع-آوری محصول در تولید اقتصادی بیوماس میکرو جلبک بسیار تعیین کننده‌است. لخته‌سازی میکرو جلبک اولین مرحله در فرآیند جمع‌آوری توده می‌باشد. هدف از انجام این مرحله متراکم نمودن سلول‌های میکرو جلبکی به منظور افزایش سایز موثر ذرات می‌باشد (Mata et al., ۲۰۱۰). لخته‌سازی یک مرحله مقدماتی پیش از سایر روش‌های جمع‌آوری می‌باشد. روش‌های متداول در جمع‌آوری میکرو جلبک‌ها شامل: سانتریفیوژ، فیلتراسیون، رسوب‌دهی، انعقاد و شناورسازی می‌باشد (Shelef et al., ۱۹۸۴; Grima et al., ۲۰۰۳).

سه جنبه کلی در ارزیابی عملکرد این روش‌ها وجود دارد که عبارتند از: ۱) بهره‌وری این روش‌ها یعنی درصد میکرو جلبک بازیابی شده از کل پروسه تولید ۲) مقدار ماده جامد در میکرو جلبک بدست آمده ۳) نرخ برداشت محصول (درصد حذف آب) (Uduman, ۲۰۱۰). از آنجایی که در اکثر کشورهایی که تولید بالای میکرو جلبک در صنایع مختلف را دارند جهت رسوب دادن از روش انعقاد الکتریکی استفاده می‌شود و همچنین تاکنون در ایران به طور جدی و علمی این کار مورد استفاده قرار نگرفته‌است. با توجه به فواید و تولید آسان میکرو جلبک‌ها و امکانات موجود جهت کاهش هزینه تولید پروتئین از منابع جلبکی نسبت به محصولات دیگر کشاورزی، بررسی روش‌های مختلف جمع‌آوری میکرو جلبک‌ها بسیار ضروری به نظر می‌رسد، تا بتوان با معرفی روش مناسب گامی برای کاهش هزینه تولید پروتئین گیاهی و فواید حاصل از آن در صنایع دیگر برداشته شود.

## مواد و روش‌ها

در این آزمایش، استوک خالص میکروجلبک سبز کلرلا از آزمایشگاه کشت جلبک گروه پژوهشی شیلات و آلاینده‌های آبی خزر (کاسپین-ساری) تهیه گردید. میکروجلبک کلرلا بعد از خالص‌سازی در شرایط استریل از لوله آزمایش به ارلن‌های ۲۵۰ و بعد از چند روز به ارلن‌های بزرگتر انتقال پیدا کرد. برای انجام کار میکروجلبک سبز کلرلا در ظروف شیشه‌ای ارلن‌های ۵ لیتری شرایط آزمایشگاهی با محیط کشت (TMRL(AG) در دمای میانگین  $25 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و دوره نوری میکسوتروف D۱۲ / L۱۲ و لوکس نوری  $350 \pm 350$  طی یک دوره ۱۵ روزه کشت داده شد تا به تولید انبوه رسید. بعد از دوره رشد، میکرو جلبک کلرلا جهت جداسازی زی‌توده (بیوماس) از فاز مایع، سوسپانسیون میکروجلبک کلرلا در بشرهای یک لیتری که شامل ۶ تیمار و هر تیمار ۳ تکرار با دستگاه انعقاد الکتریکی (الکتروفلوکولاسیون) با الکتروود آلومینیوم انجام گردید. برای انجام این آزمایش شرایط دما، PH، نوع الکتروود و فاصله الکتروودها از هم یکسان در نظر گرفته شده‌است و شش تیمار با ولتاژ و آمپر متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).  
زمانی که آلومینیوم به‌عنوان آند استفاده می‌شود، واکنش شیمیایی زیر رخ می‌دهد (Mouedhen et al, ۲۰۰۸)



جدول ۱. میزان ولتاژ و آمپر در تیمارهای مختلف

| تیمارها                     | ولتاژ V= | آمپر A= |
|-----------------------------|----------|---------|
| T <sub>۱</sub> =تیمار اول   | ۳/۲      | ۰/۰۲    |
| T <sub>۲</sub> =تیمار دوم   | ۹        | ۰/۰۶    |
| T <sub>۳</sub> =تیمار سوم   | ۱۴/۲     | ۰/۱     |
| T <sub>۴</sub> =تیمار چهارم | ۲۶/۹     | ۰/۲     |
| T <sub>۵</sub> =تیمار پنجم  | ۲۸/۳     | ۰/۳     |
| T <sub>۶</sub> =تیمار ششم   | ۳۱/۸     | ۰/۴     |

در این پژوهش میکروجلبک کلرلا با تراکم مشابه (تعداد سلول در میلی‌لیتر) در سه تکرار با آمپر و ولتاژ مختلف در یک طرح کاملا تصادفی متعادل (CRD) مورد آزمایش قرار گرفت و سرعت (زمان به دقیقه) لخته‌شدن میکروجلبک کلرلا بدست آمده از هر تیمار به ثبت رسید.

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Excel ۲۰۰۷ و SPSS ۱۸ مورد آنالیز آماری قرار گرفت و پارامترهای میانگین، انحراف معیار، خطا معیار، حداقل و حداکثر دست‌بندی محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از (ANOVA) و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۹۵ درصد استفاده گردید (Zar, ۱۹۸۴; Toyub et al., ۲۰۰۸).

## نتایج

## ۱-۱ مطالعه آزمایشگاهی اثرات موثر الکتروفولوکیشن (انعقاد الکتریکی) جهت جمع آوری محصول (زی توده)

در این بررسی تعداد سلول اولیه میکروجلبک کلرلا تقریباً  $25 \times 10^6$  تعداد در میلی لیتر بوده است. نتایج آنالیز واریانس یک-طرفه (میانگین، انحراف معیار) در محیط‌های کشت مختلف میکروجلبک کلرلا در تیمارهای مختلف در جدول (۲) آورده شده است.

## ۱-۲ ولتاژ، آمپر و زمان در تیمارهای مختلف

در تیمار یک با ولتاژ ۳ و آمپر ۰/۰۲ بعد از روشن شدن دستگاه و پس از ۵۴ دقیقه اولین نشانه لخته شدن سلول‌های میکروجلبک کلرلا مشاهده گردید. در این تیمار سرعت لخته شدن سلول‌های میکروجلبک کلرلا بسیار آهسته صورت گرفت و در این زمان سلول‌های لخته شده در سطح بالایی مایع جمع گشتند. در زمان‌های مختلف این لایه ضخیم تر و در نهایت بعد از زمان ۲۵۸ دقیقه کل سلول‌های میکروجلبک در سطح بالایی بشر به صورت لایه ضخیم در آمده که به راحتی جمع آوری گشت و آب زیرین کاملاً شفاف و روشن شد. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه بین زمان‌های مختلف رسوبدهی میکروجلبک کلرلا نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد می باشد ( $P < 0/05$ ) (جدول ۲، شکل‌های ۱ و ۲).

در تیمار دوم با ولتاژ ۹ و آمپر ۰/۰۶، بعد از ۱۱ دقیقه اولین لخته و بهم چسبندگی سلول‌ها اتفاق افتاد و نسبت به تیمار اول سریع تر لخته سازی سلول‌های میکروجلبک کلرلا صورت گرفت، این زمان تقریباً بیش از چهار برابر سرعت لخته سازی و جمع آوری محصول نسبت به تیمار اول بوده است و ضخامت زی توده در زمان‌های بعدی بیشتر و در نهایت در زمان ۶۸ دقیقه، کل سلول‌های میکروجلبک کلرلا بهم چسبیده و در سطح آب شناور شدند و لایه زیرین زی توده کاملاً شفاف شد. به جز زمان‌های ۳۹ و ۴۲ دقیقه و ۴۲ و ۴۵ در یک گروه قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی داری را نشان نمی دهند ( $P > 0/05$ ). ولی با گروه‌های دیگر اختلاف داشتند ( $P < 0/05$ ) (جدول ۱، شکل‌های ۱ و ۳).

تیمار سوم با ولتاژ ۱۴ و آمپر ۰/۱ انجام شد و بعد از ۹ دقیقه، اولین لخته و بهم پیوستگی سلول‌های میکروجلبک کلرلا اتفاق افتاد. در زمان‌های بیشتر رنگ سوسپانسیون کمتر و ضخامت لایه بالایی سلول‌های میکروجلبک کلرلا بیشتر شد به طوری که در زمان ۴۹ دقیقه کل سلول‌ها بهم چسبیده و آب کاملاً شفاف شد. درصد رسوبدهی اختلاف معنی داری بین زمان‌های مختلف نشان داده است ( $P < 0/05$ ) (جدول ۱، شکل‌های ۱ و ۴).

در تیمار چهارم با ولتاژ ۲۷ و آمپر ۰/۲ بعد از سه دقیقه سلول‌های میکروجلبک کلرلا روی سوسپانسیون جمع گشته و بهم چسبیدند و در زمان ۲۶ دقیقه کل سلول‌ها بهم چسبیده و لایه ضخیمی از زی توده میکروجلبک کلرلا را تشکیل دادند. به جز درصدهای ۴۰ و ۶۰ درصد که در یک گروه قرار گرفتند و بین این دو زمان اختلاف معنی داری مشاهده نگردید اما با گروه‌های دیگر و بین درصدها در زمان‌های مختلف اختلاف معنی دار بوده است (جدول ۱، شکل‌های ۱ و ۵).

تیمار پنجم با ولتاژ ۲۸ و آمپر ۰/۳ انجام شد. در این تیمار شروع لخته شدن و بهم چسبیدن زی توده میکروجلبک کلرلا بعد از ۲ دقیقه اتفاق افتاد. در نهایت زی توده میکروجلبک کلرلا در زمان ۲۱ دقیقه در لایه بالایی جمع آوری گردید و لایه‌های زیرین کاملاً شفاف و عاری از سلول‌های میکروجلبک شد. بین درصدهای ۲۰ و ۴۰ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نگردید ولی بین درصدهای مختلف (زمان‌ها) اختلاف معنی داری وجود داشته است (جدول ۱، شکل‌های ۱ و ۶).

در تیمار ششم با ولتاژ ۳۲ و آمپر ۰/۴ همانند تیمار پنجم بعد از ۲ دقیقه لخته شدن و بهم پیوستن زی توده میکروجلبک کلرلا رخ داد و بعد از ۱۴ دقیقه جمع آوری زی توده به اتمام رسید (شکل ۷). به طوری که بین زمان ۱۱-۱۳ (۶۰ و ۹۰ درصد) و ۱۳-۱۴ (۹۰ و ۱۰۰ درصد) در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. اما بین

این دو گروه و زمان‌های دیگر اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید با توجه به جدول (۱) و شکل (۱) با افزایش آمپر و ولتاژ زمان جمع‌آوری محصول به صورت چشمگیر کاهش نشان داد.

جدول ۲. درصد رسوبدهی میانگین (زمان  $\pm$  انحراف معیار) میکروجلبک کلرلا در زمان‌ها و تیمارهای مختلف

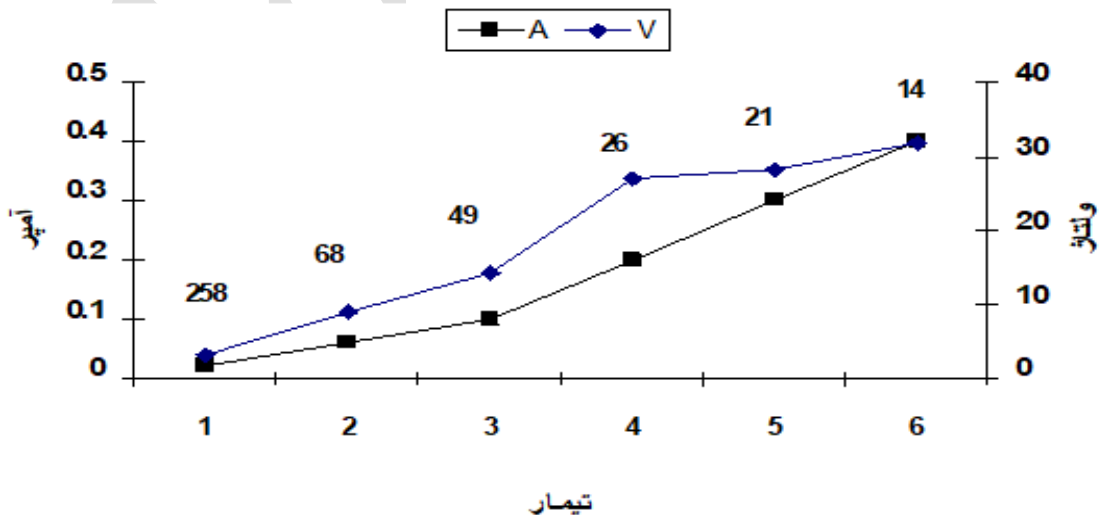
| انحراف معیار $\pm$ میانگین ( زمان : دقیقه) |                           |                           |                           |                            |                            | درصد رسوبدهی |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| T <sub>6</sub>                             | T <sub>5</sub>            | T <sub>4</sub>            | T <sub>3</sub>            | T <sub>2</sub>             | T <sub>1</sub>             |              |
| a <sub>2</sub> $\pm$ ۰/۶                   | a <sub>2</sub> $\pm$ ۰/۶  | a <sub>3</sub> $\pm$ ۰/۶  | a <sub>9</sub> $\pm$ ۰/۰  | a <sub>11</sub> $\pm$ ۱/۰  | a <sub>54</sub> $\pm$ ۴/۵  | ۰*           |
| b <sub>5</sub> $\pm$ ۰/۶                   | b <sub>5</sub> $\pm$ ۰/۶  | b <sub>6</sub> $\pm$ ۱/۵  | b <sub>17</sub> $\pm$ ۱/۰ | b <sub>39</sub> $\pm$ ۲/۱  | b <sub>112</sub> $\pm$ ۳/۵ | ۵%           |
| c <sub>8</sub> $\pm$ ۰/۶                   | c <sub>9</sub> $\pm$ ۰/۶  | c <sub>11</sub> $\pm$ ۱/۰ | c <sub>22</sub> $\pm$ ۰/۰ | bc <sub>42</sub> $\pm$ ۲/۷ | c <sub>133</sub> $\pm$ ۵/۵ | ۱۰%          |
| c <sub>9</sub> $\pm$ ۰/۶                   | d <sub>11</sub> $\pm$ ۰/۶ | d <sub>14</sub> $\pm$ ۱/۰ | d <sub>25</sub> $\pm$ ۰/۶ | cd <sub>45</sub> $\pm$ ۲/۱ | d <sub>167</sub> $\pm$ ۵/۰ | ۲۰%          |
| d <sub>10</sub> $\pm$ ۰/۶                  | d <sub>12</sub> $\pm$ ۰/۶ | e <sub>17</sub> $\pm$ ۱/۰ | e <sub>29</sub> $\pm$ ۲/۵ | d <sub>49</sub> $\pm$ ۱/۷  | e <sub>187</sub> $\pm$ ۵/۰ | ۴۰%          |
| e <sub>11</sub> $\pm$ ۰/۶                  | e <sub>15</sub> $\pm$ ۰/۶ | e <sub>19</sub> $\pm$ ۲/۰ | f <sub>34</sub> $\pm$ ۲/۵ | e <sub>55</sub> $\pm$ ۱/۵  | f <sub>200</sub> $\pm$ ۴/۰ | ۶۰%          |
| ef <sub>13</sub> $\pm$ ۰/۶                 | f <sub>17</sub> $\pm$ ۰/۶ | f <sub>22</sub> $\pm$ ۰/۶ | g <sub>40</sub> $\pm$ ۲/۰ | f <sub>61</sub> $\pm$ ۴/۶  | g <sub>236</sub> $\pm$ ۴/۵ | ۹۰%          |
| f <sub>14</sub> $\pm$ ۰/۰                  | g <sub>21</sub> $\pm$ ۰/۶ | g <sub>26</sub> $\pm$ ۳/۵ | h <sub>49</sub> $\pm$ ۳/۰ | g <sub>68</sub> $\pm$ ۳/۶  | h <sub>258</sub> $\pm$ ۴/۰ | ۱۰۰%         |

\* = شروع لخته شدن A=آمپر، V=ولتاژ

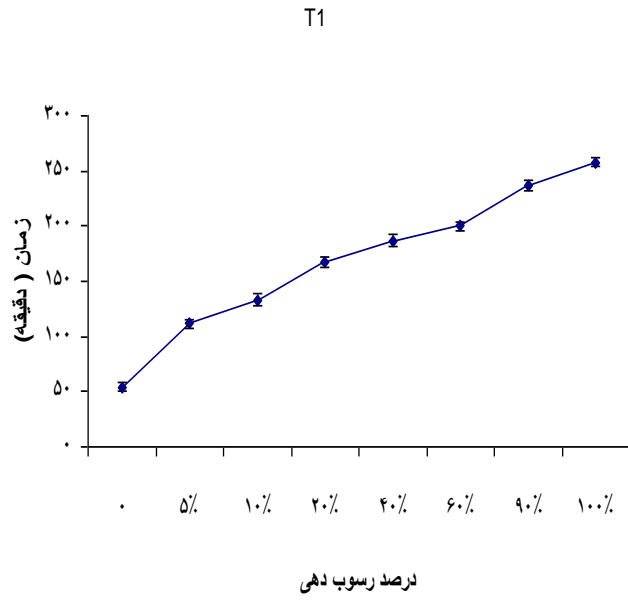
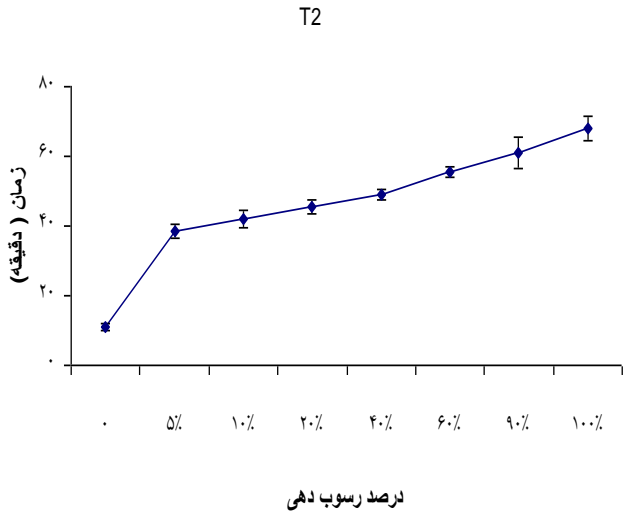
میانگین  $\pm$  ( انحراف از استاندارد) اعداد در یک سطر با حروف متفاوت با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری می باشند ( $P < 0,05$ )

T<sub>1</sub>: A=۰/۰۲ ; V= ۳/۲  
 T<sub>2</sub>: A=۰/۰۶ ; V=۹  
 T<sub>3</sub>: A=۰/۱ ; V= ۱۴/۲

T<sub>4</sub>: A=۰/۲ ; V= ۲۶/۹  
 T<sub>5</sub>: A=۰/۳ ; V= ۲۸/۳  
 T<sub>6</sub>: A=۰/۴ ; V= ۳۱/۸

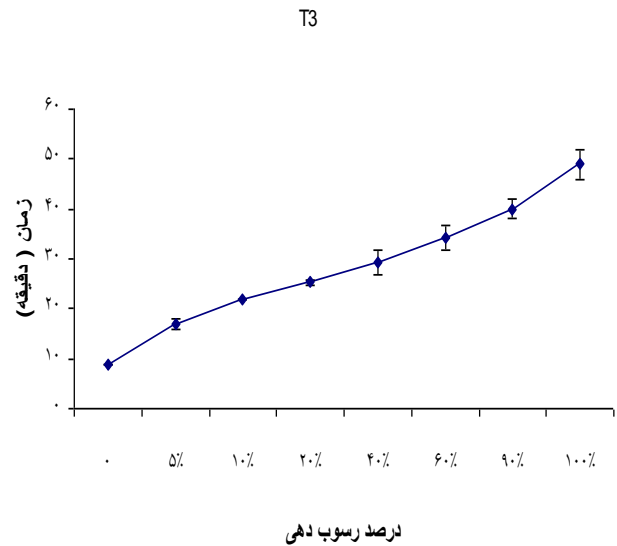
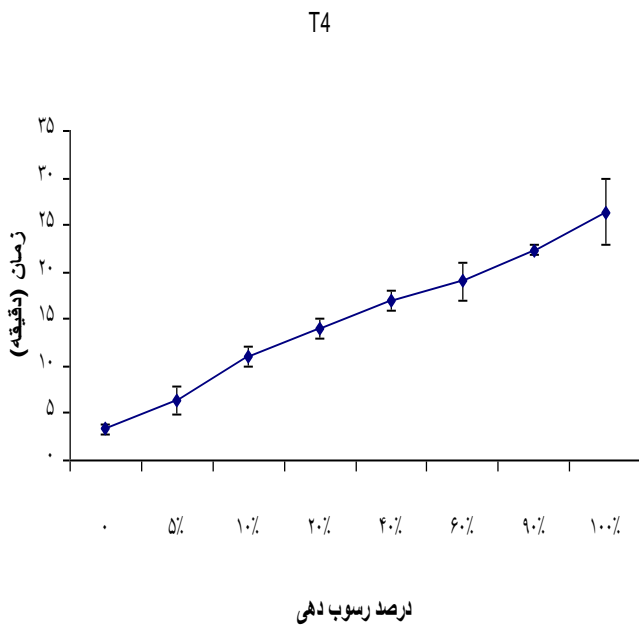


شکل ۱. ولتاژ و آمپر رسوبدهی میکروجلبک کلرلا در تیمارهای مختلف



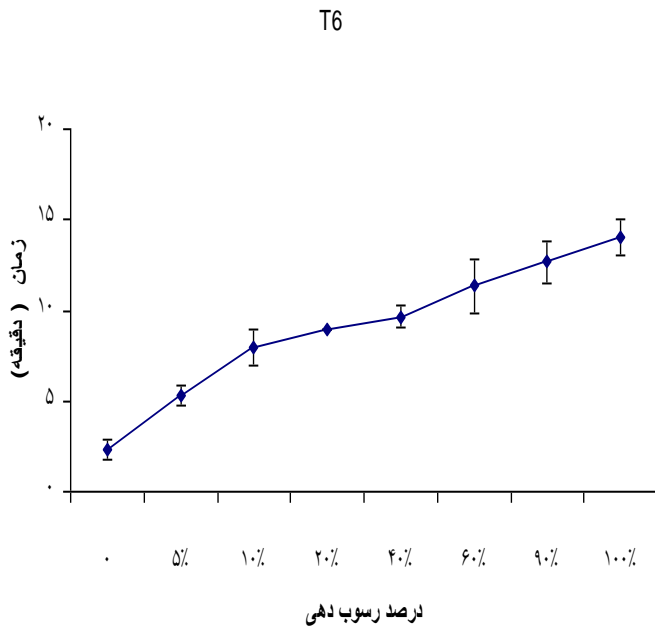
شکل ۳. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار دوم

شکل ۲. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار یک

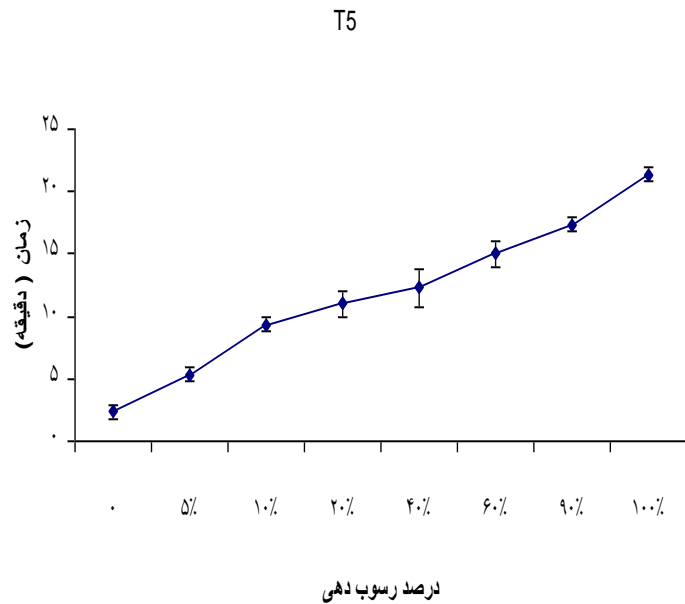


شکل ۵. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار چهارم

شکل ۴. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار سوم



شکل ۷. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار ششم



شکل ۶. درصد رسوب دهی میکروجلبک کلرلا در زمان های مختلف در تیمار پنجم

### بحث و نتیجه گیری

طی لخته سازی، سلول های پراکنده میکروجلبک ها متمرکز و به شکل ذرات بزرگتر تجمع می یابند. فلوکولاسیون می تواند با استفاده از چندین ماده شیمیایی مانند  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  انجام شود (Papazi et al, ۲۰۱۰).  
 Knuckey و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تنظیم pH با افزودن هیدروکسید سدیم به منظور برداشت سلول های *Chaetoceros calcitrans*, *C. muelleri*, *Thalassiosira pseudonana*, *Attheyasep tentrionalis*, *Nitzschia closterium*, *Skeletonema sp.*, *Tetraselmis suecica* and *Rhodomonas salina*, بیشتر از ۸۰ درصد دارد.

Harith و همکاران (۲۰۰۹) از هیدروکسید سدیم (NaOH) (۵M) و هیدروکسید پتاسیم (KOH) (۵M) برای فلوکولاسیون *Chaetoceros calcitrans* استفاده نمودند و در پایان بازدهی فلوکولاسیون با استفاده از هیدروکسید پتاسیم در مقایسه با هیدروکسید سدیم کمی بیشتر بود و بازدهی ۹۸٪ در  $PH = ۱۰/۲$  و بیشتر حاصل گردید.

Vandamme و همکاران (۲۰۱۰) برای فلوکولاسیون میکروجلبک های پاراکلرلا و سندسموس از نشاسته کاتیونی Greenfloc ۱۲۰ (CSG۱۲۰) استفاده نمودند که در غلظت ۲۰-۱۰ میلی گرم در لیتر بیشترین بازدهی بدست آمد و در غلظت مطلوب، بیش از ۹۰٪ زی توده برداشت شد. میزان برداشت با غلظت زی توده ارتباط مستقیم دارد. ارتباط خطی بین غلظت فولوکولانت و اندازه ذره در CSG برقرار است.

Salihon و Tao (۲۰۱۱) از کلراید فریک برای رسوب گیری از میکروجلبک استفاده نمودند و در غلظت ۱ مول در لیتر و pH برابر ۸/۴۵، بازدهی بیشتر از ۹۹٪ را بدست آوردند.

Aziz و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که با استفاده و افزایش غلظت سولفات آهن میلی گرم تا ۵۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان یک لخته ساز بازدهی مناسبی خواهد داشت.

همچنین گزارش شده است که سولفات آلومینیوم در مقایسه با سایر نمک های معدنی از لحاظ دزمناسب، pH و کیفیت برداشت شده از بقیه برتر بوده است. برخی از آنها در مقیاس صنعتی به ویژه در تصفیه فاضلاب نیز انجام می شود. مطالعات دیگری از فلوکولاسیون برای برداشت میکرو جلبک توسط Lee *et al.*, (۲۰۱۱) و McGarry (۱۹۷۰) انجام شده است که از دزهای به ترتیب ۳۰۰ و ۱۲۵ میلی گرم در لیتر  $Al^{3+}$  استفاده شده است.

Papazi و همکاران (۲۰۱۰) از فلوکولاسیون برای جداسازی بیوماس میکرو جلبک استفاده کردند و بازده ۶۰٪ را از *Chlorella minutissima* با افزودن یک گرم در لیتر  $Al_2(SO_4)_3$  و  $ZnCl_2$  به ترتیب در زمان ۱/۵ و ۶ ساعت بعد بدست آوردند. Balmer و Foulds (۱۹۸۶) مواد الکتروود مختلفی از جمله آلیاژ آلومینیوم، آهن، استیل، مس، برنج، برنز را به منظور تعیین تاثیر یون های مختلف فلزات بر تشکیل لخته و جداسازی مورد مطالعه قرار دادند نتایج این دو محقق نشان داده است که همه موادها در تولید لخته و درجه بالای از جداسازی مناسب بودند. بنابراین آنها پیشنهاد کردند ارزانتترین و در دسترس ترین ماده الکتروود باید استفاده گردد.

Fox (۱۹۸۳) در مطالعه ای خود اثر ولتاژ، جریان و فاصله ی بین کاتد و آند بر نرخ حذف میکرو جلبک ها (فاضلاب) بررسی نمود و نشان داد جمع آوری ریز جلبک ها را می توان تا حدود ۸۰٪-۹۵٪ در عرض ۳۵ دقیقه به دست آورد. ولتاژ پایین تر و فواصل بزرگتر بین آند و کاتد منجر به زمان بیشتری برای جدا کردن ریز جلبک خواهد شد که هرچند، در سطوح مختلف ولتاژ (۷۱۸-۷۸۵) شرایط متفاوت در زمان رسوب دهی مشاهده شد.

در تحقیقی که تاثیر ولتاژ، جریان و فاصله کاتد و آند بر نسبت حذف میکرو جلبک (موجود در فاضلاب) توسط Poelman (۱۹۹۷) ارائه گردید. نتایج نشان داد نسبت حذف میکرو جلبک می تواند به سطح ۸۰-۹۰ درصد در حدود ۳۵ دقیقه برسد و ولتاژ کمتر و فاصله بیشتر آنها و کاتدها منجر به افزایش زمان جداسازی میکرو جلبک می گردد. راندمان بازیابی نیز در سطوح ولتاژ متفاوت (۸۵ V - ۱۸۷) تقریباً در یک سطح می باشد.

گلزاری و همکاران (۱۳۹۵) گزارش دادند که شدت جریان کاربردی در راندمان جداسازی تاثیر گذار است. نتیجه های به دست آمده از بهینه سازی نشان داد که با اعمال شدت جریان الکتریکی  $1/6 \text{ mA/cm}$ ، به مدت  $17/65$  دقیقه درصد جداسازی بسیار دلخواهی (۹۶/۸٪) با کمترین هزینه قابل دستیابی است. همچنین برای دستیابی به چنین درصد حذفی نیازی به تنظیم pH نیست. مشهدی نژاد و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی پارامترهای موثری همانند الکترولیت و ... در راندمان برداشت میکرو جلبک با استفاده از روش انعقاد الکتریکی پرداختند. نتایج به دست آمده از مطالعه اثر غلظت های مختلف سدیم کلرید در راندمان برداشت میکرو جلبک نشان داد که افزایش غلظت الکترولیت باعث بهبود راندمان جداسازی میکرو جلبک می شود.

بعضی از محققان از جمله Vandamme *et al.*, (۲۰۱۱)؛ Xu *et al.*, (۲۰۱۰) فرایند انعقاد الکتریکی را برای جمع آوری میکرو جلبک با هدف تولید بیودیزل مورد مطالعه قرار دادند. Vandamme و همکاران (۲۰۱۱) گونه های *Chlorella vulgaris* و *Phaeodactylum tricornutum* به عنوان نمونه مورد مطالعه قرار دادند و به نتایج مشابهی دست یافتند؛ در شدت جریان کمتر ( $0.6 \text{ mA cm}^{-2}$ ) در مقایسه با شدت جریان بالاتر ( $3 \text{ mA cm}^{-2}$ )، زمان جمع آوری طولانی تر می شود، با این حال کارایی کلی جمع آوری میکرو جلبک در پایان کار نزدیک بهم بوده است.

در تحقیق حاضر نیز از الکتروود آلومینیوم استفاده گردید و فاصله ی بین کاتد و آند در همه تیمارها یکسان در نظر گرفته شده است و با توجه به سرعت لخته شدن میکرو جلبک کلرلا در آمپر و ولتاژهای مختلف، زمان رسوب دهی و لخته شدن آنها متفاوت بوده و دقیقاً با افزایش ولتاژ و آمپر زمان رسوب دهی کوتاه تر بوده است. و رابطه مستقیم بین زمان رسوب دهی و لخته-



شدن سلول‌های میکروجلبک کلرلا با افزایش آمپر و ولتاژ وجود داشته‌است. همچنین زمان رسوب‌دهی و لخته‌شدن در تیمار ۶ در زمان کمتری، زی‌توده میکروجلبک کلرلا از سوسپانسیون خارج شده و فاز مایع کاملاً شفاف و عاری از سلول‌های میکروجلبک بوده‌است.

Gao و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه اثر مواد مختلف الکترو، چگالی جریان، pH اولیه، تراکم سلولی اولیه جلبدک و همچنین اثر دما به حذف جلبدک از نمونه‌های تصفیه آب پرداختند و دریافتند استفاده از الکترو آلومینیوم عملکرد بهتری نسبت به الکترو آهن داشته و همچنین زمان کمتری لازم است تا میکروجلبک‌ها رسوب کند.

در این آزمایش مقدار PH، دما، نوع الکترو، و تراکم سلولی میکروجلبک کلرلا برای تمام تیمارها یکسان در نظر گرفته شده‌است و با توجه به این، واکنش سلول‌های میکروجلبک کلرلا با میزان آمپر و ولتاژ متفاوت بوده‌است. بطوریکه در تیمار یک با ولتاژ ۳/۲ و آمپر ۰/۰۲ شروع لخته شدن سلول‌های میکروجلبک کلرلا بعد ۵۴ دقیقه اتفاق افتاده در صورتی که در تیمار شش با افزایش ولتاژ و آمپر (۳۱/۸ و ۰/۴) شروع لخته شدن سلول‌های میکروجلبک بعد از ۲ دقیقه اتفاق افتاده‌است و زمان کمتری لازم داشت تا زی‌توده میکروجلبک کلرلا به صورت لخته و از آب جدا شود.

Sathi (۲۰۱۱) اثر آمپر و ولتاژهای مختلف بر دو استوک میکروجلبک MUR۲۳۰ و MUR۲۳۲ جهت لخته‌سازی مورد مطالعه قرار داد و نتایج نشان داد در لخته‌سازی با آمپر ۰/۱ سرعت لخته‌سازی خیلی آهسته بوده و چندین ساعت زمان می‌برد در حالیکه با افزایش ولتاژ زمان لخته‌سازی میکروجلبک کاهش یافته‌است. در این تحقیق اشاره شده با ولتاژ ۵۵ و آمپر ۵ بعد از چهار دقیقه بین ۹۰-۱۰۰ درصد سلول‌های میکروجلبک از سوسپانسیون خارج شده و لخته گردیدند. و همچنین با آمپر بیش از ۲۵ باعث کاهش روند لخته‌سازی میکروجلبک خواهد شد. در تحقیق Poelman و همکاران ۱۹۹۷ با آمپر ۱ و ولتاژ ۱/۵، ۷۵ دقیقه زمان نیاز است تا سلول‌ها لخته گردند.

نتایج در تحقیق حاضر نیز با افزایش آمپر از ۰/۰۲ به ۰/۴ و ولتاژ از ۳/۲ به ۳۱/۸ سرعت لخته شدن افزایش نشان داد بطوریکه از ۲۵۸ دقیقه در تیمار ۱ با افزایش ولتاژ و آمپر در تیمار ۶ به ۱۴ دقیقه زمان برای لخته‌سازی میکروجلبک کلرلا کاهش نشان داده‌است همچنین در تیمارهای ۴ و ۵ تقریباً مشابه تیمار ۶ سرعت لخته شدن سلول‌های میکروجلبک کلرلا نسبت به تیمارهای ۱، ۲ و ۳ بدلیل افزایش آمپر و ولتاژ بیشتر بوده‌است.

هزینه برداشت میکروجلبک‌ها به دلیل دارا بودن اندازه کوچک و میزان تغلیظ پائین‌شان در محیط کشت، به عنوان یک چالش بزرگ محسوب می‌گردد و بیش از ۳۰ درصد هزینه کل را در بر می‌گیرد (de la Noue and de Pauw, ۱۹۸۸). انجام برخی از این فرایندها نیازمند صرف انرژی زیاد می‌باشند. هنگامی که دانسیته سلول پایین باشد (معمولاً بین ۰/۳ تا ۵ گرم بر لیتر)، و اندازه سلول‌های جلبدک کوچک باشد (بین ۲۰ تا ۴۰ میکرومتر) بازیابی زی‌توده کار دشواری خواهد بود (Wang et al., ۲۰۰۸; Li et al., ۲۰۰۸). در مطالعه حاضر، امکان استفاده از روش الکتروفلوکولاسیون (جریان مستقیم برق) برای برداشت زی‌توده میکروجلبک کلرلا بررسی شد و با توجه به استفاده از الکترو مناسب (الکترو آلومینیوم) و با تغییر ولتاژ و آمپر در زمان لخته‌سازی و رسوب (برداشت محصول) تفاوت‌های بارزی دیده شد. با افزایش آمپر و ولتاژ در تیمارهای ۴ و ۵ و ۶ که از نظر زمان جمع‌آوری محصول تقریباً یکسان بودند و با توجه به هزینه کمتر انرژی می‌توان پیشنهاد نمود. که بین این سه تیمار، تیمار ۴ هزینه انرژی کمتری نیاز داشت. همچنین این روش نسبت به روش‌های سانتریفیوژ و فیلتراسیون هزینه انرژی کمتری نیاز دارد (Danquah et al., ۲۰۰۹). با توجه به نتایج بدست آمده با استفاده از انعقاد الکتریکی می‌توان جمع‌آوری و بازیابی زی‌توده میکروجلبک کلرلا با هزینه کمتر نسبت به فولوکولاسیون شیمیایی، انجام داد.

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، الکتروفلوکولاسیون (انعقاد الکتریکی) روشی موثر برای فلوکوله نمودن سلول‌های میکروجلبک کلرلا بوده، از این رو می‌تواند به عنوان یک روش مناسب و جایگزینی سودآور در بازیابی زی‌توده و تولید

میکرو جلبک تغلیظ شده برای استفاده در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی، بیودیزل و بالانس جیره غذایی دام، طیور و صنعت آبی پروری پیشنهاد نمود.

## منابع

گلزاری، ا. عبدلی، م.ع. خدادادی، ع. کرباسی، ع. ایمانیان، س. ۱۳۹۵. بررسی فرایندهای انعقاد الکتریکی و شیمیایی برای جداسازی میکرو جلبک های آب شور. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۳۵، شماره ۱.

مشهدی نژاد، ا. ریحانی، ر. سرمد، ج. زمانی، ح. ۱۳۹۴. جداسازی بیومس ریز جلبک تک سلولی *Chlorella sp.* با روش Electro-Coagulation-Flotation. فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبریان. سال سوم، شماره چهارم.

Aziz H. A., Alias S., Assari F., Adlan M. N., ۲۰۰۷ The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, colour and COD from semi-aerobic landfill leachate at controlled pH. Waste Manag Res ۲۵:۵۵۶-۵۶۵.

Balmer&foulds, ۱۹۸۶ Balmer L.M & Foulds A. W., ۱۹۸۶. Electroflocculation/ Electroflotation for the removal of oil from oil-in-water emulsions. Filtration& separation. ۲۳، ۳۶۶.

Barak, A. (۱۹۸۰) Research and development in applied algology and protein shortage problem. In : algae Biomass. Elsevier Biomedical press. pp:۲۱-۲۴

Barbosa MJ., Janssen, M., Ham, N., Tramper, J. and Wijffel, R. H. (۲۰۰۳) Microalgae Cultivation in air- lift reactors: Modelling biomass yield and growth rate as a function of mixing frequency. Biotechnology and Bioengineering. ۸۲:۱۷۰-۱۷۹

Berg-Nilsen, J., ۲۰۰۶. Production of Micro-algae Based Products. Nordic Innovation Centre, Oslo.

Benemann, J.R., Tillett, D and Weiman, J.C. (۱۹۸۷) Microalgae Biotechnology. Trends in Biotechnology. ۵:۴۷-۵۳

Danquah, E. Dewatering of microalgal culture for biodiesel production: exploring polymer flocculation and tangential flow filtration. Journal of Chemical Technology and Biotechnology ۸۴(۲۰۰۹): ۱۰۷۸-۱۰۸۳.

De la Noue, J. and de Pauw, N., (۱۹۸۸), The potential of microalgal biotechnology: A review of production and uses of microalgae, Biotechnology Advances, ۶, ۴, ۷۲۵-۷۷۰.

Fox, J.M. ۱۹۸۳. Intensive algal culture techniques. In: CRC Handbook of mariculture. Volume ۱. Crustacean Aquaculture. McVey J P (Ed.). CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA, pp ۴۳-۶۹.

Gao, S. Yang, J., Tian, J., Ma, F., Tu, G., Du, M. (۲۰۱۰). Electro-coagulation-flotation process for algae removal. Journal of Hazardous Materials ۱۷۷(۲۰۱۰): ۳۳۶-۳۴۳

Grima, M, E., Belarbi, E. H., Ación Fernandez, F. G., Robles Medina, A. and Chisti, Y., (۲۰۰۳), Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics, Biotechnology Advances, ۲۰, ۷-۸, ۴۹۱-۵۱۵.

Harith Z.T., Yusoff M.Y., Mohamed M.S., Shariff M., Ariff A. (۲۰۰۹) Effect of different flocculants on the flocculation performance of microalgae, *Chaetoceros calcitrans*, cells. African Journal of Biotechnology ۸(۲۱):۵۹۷۱-۵۹۷۸

Kanno, Toshihiro. Uyama, Kazie. (۲۰۰۵) *Chlorella vulgaris*: The powerful Japanese Medicinal Green Algae as a biological Response Modifier. Publicado por Woodland publishing.

Knuckey, R. M., Brown, M. R., Robert, R. and Frampton, D. M. F., (۲۰۰۶), Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds, Aquacultural Engineering, ۳۵, ۳, ۳۰۰-۳۱۳.

Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q. and Dubois-Calero, N., (۲۰۰۸), Biofuels from Microalgae, Biotechnology Progress, ۲۴, ۴, ۸۱۵-۸۲۰.

- McGarry MG (۱۹۷۰) Algal flocculation with aluminum sulfate and polyelectrolytes. Res J Water Pollut Control Fed ۴۲:۱۹۱-۲۰۱
- Mata, T. M., Martins, A. n. A. and Caetano, N. S., (۲۰۱۰), Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ۱۴, ۱, ۲۱۷-۲۳۲.
- Mouedhen, G. Fekia. M, Weryb, M.D.P., Ayedia, H.F. Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. Journal of Hazardous Materials. ۱۵۰(۲۰۰۸):۱۲۴-۱۳۵.
- Oh HM, Lee SJ, Park MH, Kim HS, Kim HC, Yoon JH, et al. Harvesting of *Chlorella vulgaris* using a bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM ۴۹. Biotechnol Lett ۲۰۰۱;۲۳: ۱۲۲۹-۳۴.
- Papazi A, Makridis P, Divanach P (۲۰۱۰) Harvesting *Chlorella minutissima* using cell coagulants. J Appl Phycol ۲۲:۳۴۹-۳۵۵
- Poelman, E., Shelef, G. Potential of electrolytic flocculation for recovery of micro-algae, Conservation and Recycling Resources, ۱۹(۱۹۹۷):۱-۱۰.
- Sathi, S, ۲۰۱۱. Culturing and Harvesting Marine Microalgae for the Large-scale Production of Biodiesel. Thesis of Masters of Engineering Science, in the school of Chemical Engineering. university of ADELIDE Australia.
- Shelef G., Sukenik A. & Green M., (۱۹۸۴), Microalgae Harvesting and Processing- A literature review, Haifa, Solar Energy Research Institute, Technion Research and development Foundation Ltd.,
- Tao and J. Salihon, "The Optimisation of levels of the variables pH and Concentration of Ferric chloride for Harvesting marine microalgae by flocculation," in Proceedings of the International Conference on Food Engineering and Biotechnology (IPCBBE), IACSIT Press, Singapore, ۲۰۱۱.
- Toyub, M.A, Miah, M.I, Habib, B. Rahman, M.M, (۲۰۰۸), Growth performance and nutritional value of *Scenedesmus obliquus* culture in different concentrations of sweetmeat factory media. Bang. J. Anim. Sci, ۳۷(۱): ۸۶-۹۳
- Uduman, N. Dewatering of microalgal cultures: a major bottleneck to algae-based fuels. Journal of Renewable Sustainable Energy. ۲ (۲۰۱۰), ۰۱۲۷۰۱.
- Vandamme, D. Robert, R., Frampton, D. M., Evaluation of Electro-coagulation-Flocculation for harvesting marine and freshwater microalgae, Biotechnology and Bioengineering, ۱۰(۲۰۱۱):۲۳۲۰-۲۳۲۹
- Vandamme D, Foubert I, Meesschaert B, Muylaert K (۲۰۱۰) Flocculation of microalgae using cationic starch Journal of Applied Phycology, vol ۲۲ (۴), ۵۲۵-۵۳۰.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N. and Lan, C., (۲۰۰۸), CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae, Applied Microbiology and Biotechnology, ۷۹, ۵, ۷۰۷-۷۱۸.
- Xu, L. Wang, F., Li, H., Hu, Z., Guo, C., Liu, C. Development of an efficient electroflocculation technology integrated with dispersed-air flotation for harvesting microalgae, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, ۸۵(۲۰۱۰):۱۵۰۴-۱۵۰۷
- Zar, J.H., (۱۹۸۴), Biostatistics. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. pp ۷۱۸.

## Isolation of micro-algae biomass from culture media using electrical coagulation technology

### Abstract:

Microalgae collection is a two-step process that involves separating the supernatant liquid phase from the biomass or solid phase that begins after mass production. The purpose of this study was to collect (coagulate or clot) the chlorella microalgae by electric coagulation and determine the most appropriate voltage and ampere for the deposition of chlorella microalgae cells. In the present study, the feasibility of using an electric coagulation (electroplating) method for the extraction of chlorella microalgae biomass from the culture media was investigated. In this study, after a microalgae growth period (maximum 10 days) of 6 treatments and three replicates in human one liter of chlorella microalgae suspension at voltages (3.0, 4.9, 14.2, 9, 28.26 And 31.8) and different amps (0.02, 0.06, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4) were evaluated. The results showed that the clotting rate of Chlorella microalgae was directly related to the increase in amperes and voltage, so that in the treatment with 0.4 amp and voltage of 31.8, Chlorella microalgae cells began to clot and clot. In this treatment, due to higher amperes and voltage, the isolates were faster than micro algae cells and were separated from the culture medium in a shorter time and floated on water surface.

Thus, after two minutes, the chlorella microalgae cells began to clot and stick together, and the whole time, about 14 minutes, until the complete mass was removed, the whole mass was floated on the water, the rest of the water completely. It was clear and without micro-algae chlorella. Whereas, in the treatment with 2.0 V and 0.02 amp treatment they started to clot after 04 minutes and after 208 minutes total microalgae mass was clotted and collected. There was a significant difference between treatments and different times. Chlorella microalgae after electro-coagulation in different treatments showed that the cells were in good condition and no detectable difference was observed between them and non-flocculated cells under light microscope. This research clearly demonstrates that electrical coagulation is an effective method for micro-algae cell clotting, and since microalgae biomass recovery is an important step in the microalgae biomass production process and involves a significant cost of microalgae production. However, this method can be implemented at a very low cost.

**Keywords:** Isolation, Chlorella microalgae, Coagulation technology.