مروری بر امکان‌سنجی کشت ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ایران

پیروز شکری خطیبی [۱]، احمد بناکار [۲،*]، برات قبادیان [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (pirooz.shokri@modares.ac.ir)
۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (ah_banakar@modares.ac.ir)
۳. استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (ghobadib@modares.ac.ir)

چکیده

ریزجلبک‌ها در سال‌های اخیر با استقبال شایان ملاحظه‌ای در سطح جهانی مواجه شده‌اند، که از دلایل عمده آن می‌توان به مصارف گوناگون در صنایع مختلف و نرخ رشد بسیار بالای آن‌ها اشاره کرد. ریزجلبک‌ها منابعی تجدیدپذیر، پایدار، و باصرفه‌ی اقتصادی برای تولید زیست سوخت‌ها، داروهای زیستی، و مصارف غذایی هستند. ریزجلبک‌ها دارای قابلیت بسیار مهم تبدیل دی‌اکسید کربن هوا به محصولات قابل‌استفاده‌ای ازجمله کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، و سایر ترکیبات زیستی فعال می‌باشند. در مرور پیش رو به مزایای ریزجلبک‌ها در تأمین امنیت، تولید زیست سوخت‌ها و ترکیبات متنوع زیست فعال و بررسی عوامل مؤثره در رشد ریزجلبک‌ها و تطبیق آن‌ها با شرایط آب‌وهوای برخی از نواحی ایران پرداخته می‌شود؛ تا بتوان با کمترین هزینه، بیشترین بازدهی را در تولید ریزجلبک کلرلا وولگاریس شاهد بود. بهترین مناطق برای کشت کم‌هزینه این نوع از ریزجلبک، نیمه جنوبی ایران و حاشیه خلیج‌فارس شناخته شد. در انتها نیز توصیه‌هایی برای مناطق دیگر به‌منظور کشت این نوع از جلبک‌ها ارائه‌شده است.

کلمات کلیدی: *امنیت غذایی و انرژی، زیست‌توده، انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست سوخت، پدافند غیرعامل، دی‌اکسید کربن، ایران.*

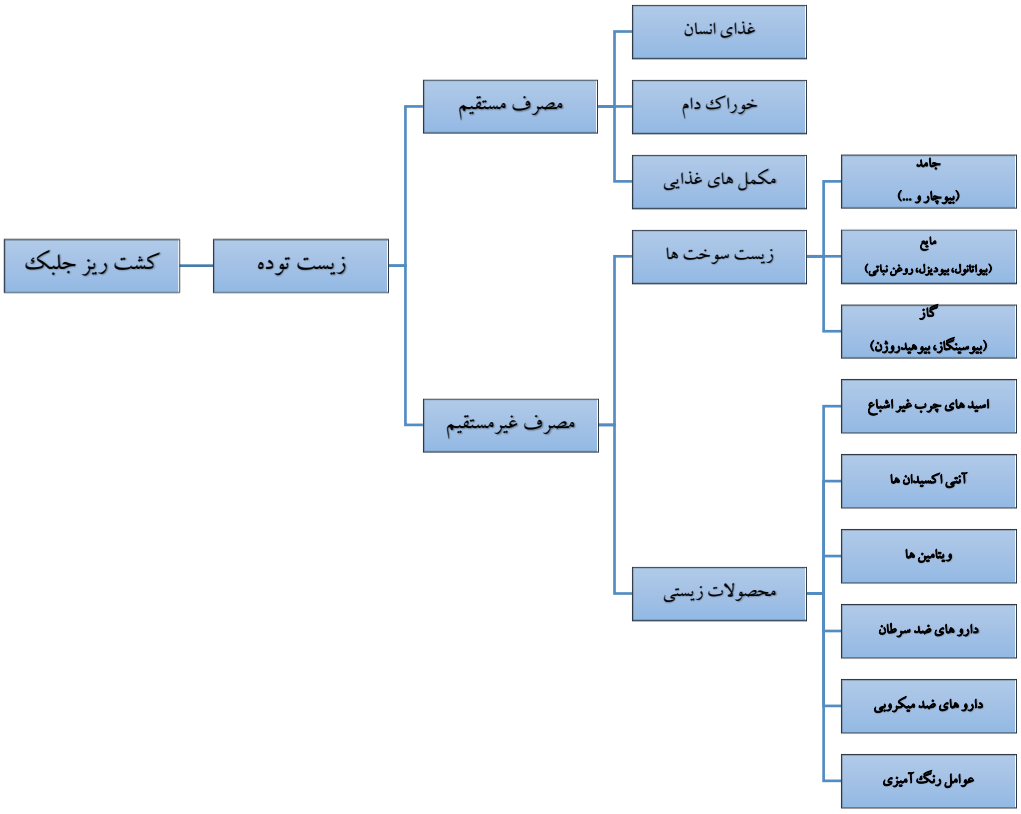
*نویسنده مسئول: ah_banakar@modares.ac.ir

مروری بر امکان‌سنجی کشت ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ایران

مقدمه

جلبک‌ها موجودات زنده‌ی فتوسنتز کننده‌ای هستند که در زیستگاه‌های آبی، شامل دریاچه‌ها، استخرها، رودخانه‌ها، اقیانوس‌ها، و حتی فاضلاب‌ها رشد می‌کنند، و می‌توانند بازه‌های وسیعی از دما، شوری، مقادیر pH ، شدت‌های مختلف نور و شرایط صحراها و آب‌های پشت سد را تحمل کنند و حتی می‌توانند به‌تنهایی و یا در همزیستی با دیگر جانداران رشد کنند[۲]. جلبک‌ها ازلحاظ اندازه به دودسته‌ی درشت جلبک‌ها و ریزجلبک‌ها دسته‌بندی می‌شوند. درشت جلبک‌ها (علف‌های دریایی)، پرسلولی و قابل‌مشاهده با چشم غیرمسلح، درحالی‌که ریزجلبک‌ها تک‌سلولی‌هایی میکروسکوپی هستند.

ریزجلبک‌ها منابع غنی از ترکیبات کربنی هستند که قابلیت استفاده برای تولید زیست سوخت‌ها، مکمل‌های غذایی، دارویی، و محصولات آرایشی را می‌توانند داشته باشند[۳]. آن‌ها همچنین دارای مصارفی برای تصفیه فاضلاب و جذب دی‌اکسید کربن هوا هستند. ریزجلبک‌ها بازه‌ی وسیعی از محصولات زیستی، ازجمله پلی ساکاریدها، لیپیدها، رنگ‌دانه‌ها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، ترکیبات زیست فعال، و آنتی اکسیدآن‌ها را تولید می‌کنند (شکل ۱)[۴]. در دهه‌های اخیر کشت صنعتی ریزجلبک به‌منظور تولید زیست سوخت و محصولات زیستی به‌صورت فزاینده‌ای افزایش‌یافته است[۵].



شکل ۱: فرایند تولید و مصرف ریزجلبک و محصولات قابل‌تولید از آن[۳].

ریزجلبک و امنیت

رشد سریع جمعیت در جهان، باعث افزایش مداوم نیاز جهانی به انرژی سوخت می‌شود. استفاده روزافزون مصرف سوخت‌های فسیلی به دلیل تجدید ناپذیر بودن و ناپایداری، باعث رسیدن آن‌ها به نقطه اتمام می‌شود. پس سوخت‌های زیستی فرصتی رو به رشد در سطح جهان برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی هستند. بعضی از کشورهای توسعه‌یافته در حال حاضر سوخت‌های زیستی را در سطح تجاری تولید می‌کنند. سوخت‌های زیستی از منابع زیست‌توده متنوعی ازجمله گیاهان خوراکی، ضایعات گیاهی، میوه‌ها، قسمت‌های چوبی گیاهان، زباله، و جلبک‌ها می‌تواند تولید شود [۶ و ۷]. ویژگی‌های مهم زیست سوخت‌های تولیدشده از زیست‌توده را می‌توان تجدید پذیری و تأثیر چشم‌گیر آن در کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی نام برد. زیست سوخت‌ها ازجمله سوخت‌های جلبکی دارای سطح اکسیژن ۱۰-۴۵٪ هستند و میزان خیلی پایینی از گوگرد را منتشر می‌کند درحالی‌که سوخت‌های پایه نفتی، دارای سطح انتشار بسیار بالای گوگرد هستند. زیست سوخت‌ها سوختی غیر آلاینده، قابل‌دسترسی محلی، همیشه در دسترس، پایدار و قابل‌اعتماد هستند که از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند. سوخت‌های بر پایه ریزجلبک دوست دار محیط‌زیست، غیر سمی و باقابلیت بسیار مهم ترسیب دی‌اکسید کربن جهان هستند. گزارش‌شده است که ۱ کیلوگرم از زیست‌توده جلبکی می‌تواند ۱/۸۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن را تثبیت کند درحالی‌که بعضی از گونه‌های جلبک، در کنار CO_2 ، NOx و SOx را نیز به‌عنوان ماده غذایی استفاده و در صورت احتراق زیست‌توده آن‌ها میزان کمتری از این آلاینده‌ها را منتشر می‌کنند[۸]. ۵۰٪ از وزن خشک زیست‌توده جلبکی را دی‌اکسید کربن تشکیل می‌دهد[۹]. تمرکز فعلی بر روی ریزجلبک به‌عنوان یک ماده خام برای تولید زیست انرژی و فراورده کردن نیاز روزافزون برای زیست سوخت‌ها، غذای انسان، خوراک حیوانات، و محصولات باارزش شیمیایی است[۱۰].

بیودیزل تولیدشده از ریزجلبک ازلحاظ مشخصات احراز شده، از محدودیت‌های کیفیت توافق شده در ASTM[1] تبعیت می‌کند. یک مقایسه بین مشخصات عمومی روغن فسیلی و روغن زیستی که از ریزجلبک به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد که روغن زیستی ریزجلبک دارای ارزش حرارتی پایین‌تر، گرانروی کمتر و چگالی بیشتر نسبت به روغن فسیلی می‌باشد (جدول ۱)[۱۱]. در این میان ریزجلبک کلرلا وولگاریس دارای ظرفیت بالایی برای استفاده در تولید بیودیزل و بیوگاز و یا در صنایع دارویی برای مکمل‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها و تغذیه انسان و دام و شیلات و بسیاری از استفاده‌های دیگر ازجمله تصفیه هوا و فاضلاب می‌باشد(جدول ۲)[۱۲].

جدول ۱: مقایسه‌ای از ویژگی‌هایی از روغن فسیلی و روغن زیستی به‌دست‌آمده از ریزجلبک [۱۱].

ویژگی‌ها	یکا	استاندارد	روغن زیستی از ریزجلبک	روغن فسیلی
چگالی	kg/l	ASTM D-6751	۱/۱۶	۰/۷۵- ۱
گرانروی	Pa.s	ASTM D-445	۰/۱ در ۴۰ درجه سلسیوس	۲-۱۰۰۰
ارزش حرارتی	$Mj.kg^{-1}$	ASTM D-6751	۲۹	۴۲
پایداری	-	ASTM D-6751	به‌اندازه سوخت‌های فسیلی پایدار نیست	-

جدول ۲: تجزیه بیوشیمیایی و عنصری کلرلا وولگاریس[۱۲].

شماره	ترکیب بیوشیمیایی	غلظت (mg/g) در زیست‌توده خشک به‌دست‌آمده در محیط کشت BBM	غلظت (mg/g) در زیست‌توده خشک به‌دست‌آمده در محیط کشت فاضلاب
۱	پروتئین	34.56 ± 1.33	36.56 ± 1.28
۲	کربوهیدرات	41.09 ± 0.92	42.13 ± 0.85
۳	کلروفیل کل	32.76 ± 0.78	35.76 ± 0.61
۴	کاروتنوئیدها	29.63 ± 0.79	32.14 ± 0.66
۵	کربن	21.73 ± 0.21	20.42 ± 0.33
۶	نرخ تثبیت کربن (CO_2)	26.03 ± 0.08	25.88 ± 0.12
۷	لیپیدها	28.20 ± 0.89	28.68 ± 0.82
۸	کلسیم	21.03 ± 0.43	24.64 ± 0.36
۹	پتاسیم	18.92 ± 0.17	19.09 ± 0.14
۱۰	سدیم	13.08 ± 0.21	13.21 ± 0.18
۱۱	نیتروژن	15.61 ± 0.73	16.32 ± 0.33

با توجه به امنیت غذایی و انرژی می‌بایست نظر ویژه‌ای به این ریزجلبک داشت. در ادامه این تحقیق شرایط بهینه رشد این ریزجلبک بررسی و تلاش می‌شود مناطق مساعد رشد در ایران معرفی شوند. لازم به ذکر است که به دلیل عدم سکونت در مناطق لم‌یزرع و مرزی به دلیل عدم وجود اشتغال، در صورت توجه به مزیت تولید و کشت ریزجلبک در نواحی خشک و عاری از سکونت می‌توان به توزیع سکنه و کمک به افزایش امنیت مرزها کمک بسزایی کرد.

منطقه موردمطالعه

کل مساحت کشور ایران، با وسعتی در حدود ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومترمربع بین محدوده ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرارگرفته است. خط ساحلی ایران شامل ۲۴۴۰ کیلومتر در خلیج‌فارس و دریای عمان و ۷۴۰ کیلومتر در حاشیه دریای خزر است. رودخانه‌های اصلی ایران کارون با ۸۳۰ کیلومتر، کرخه با ۷۰۰ کیلومتر، سفیدرود با ۱۰۰۰ کیلومتر و زاینده‌رود با ۴۰۰ کیلومتر طول هستند[۱۳].

شرایط مؤثر درکشت ریزجلبک کلرلا وولگاریس

دما، pH ، نور، مقدار و نوع مواد مغذی، شوری، هوادهی و اختلاط (نرخ جریان دی‌اکسید کربن) معیارهای عمده در فتوسنتز و نرخ رشد ریزجلبک‌ها هستند که ناظر به این شرایط می‌توان کشت را تحت کنترل دقیق تمام شرایط انجام داد تا بیشترین نرخ تولید را داشت که به دلیل مصرف بالای انرژی، مانع مقرون‌به‌صرفه بودن محصول تولیدی می‌شود[۱۴]. پس لازم است بهترین موقعیت جغرافیایی را به‌منظور تأمین شرایط مطلوب کشت ریزجلبک کلرلا وولگاریس، احراز کرد.

۱. نور

ریزجلبک‌ها هم به‌طور دقیق مانند تمام گیاهان برای فتوسنتز نیاز به نور دارند و نور یکی از مهم‌ترین عوامل رشدشان می‌باشد. تثبیت کربن به‌عنوان یک واکنش گرماگیر، نیازمند انرژی است و این به‌طور عمده از طریق نور فراورده می‌شود. این انرژی سلول‌های ریزجلبک

را برای انجام فرایند فتوسنتز فعال می‌کند تا بتوانند دی‌اکسید کربن را جذب کرده و اکسیژن را به‌عنوان پسماند آزاد کنند[۱۵]، که این نیز می‌تواند به‌عنوان مزیت تصفیه هوا در حد قابل‌توجهی برای ریزجلبک‌ها در نظر گرفته شود.

شدت نور نقش مهمی را در رشد ریزجلبک‌ها بازی می‌کند، اما میزان موردنیاز آن وابسته به شرایط کشت ازجمله، عمق و تراکم درکشت ریزجلبک‌ها است بطوریکه در عمق‌های بالا باید شدت نور افزایش پیدا کند تا نور به تمام محیط کشت برسد (برای مثال ۱۰۰۰ لوکس برای ظرف‌های ارلن-مایر مناسب است، ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ لوکس برای حجم‌های بالا موردنیاز می‌باشد)[۱۶]. لازم به ذکر است که شدت نور خورشید رسیده به سطح زمین در زمستان، ۱۰۰۰۰ لوکس و در تابستان ۱۰۰۰۰۰ لوکس به‌طور تقریبی اندازه‌گیری شده است.

ازلحاظ ساعات روشنایی/تاریکی مناسب برای رشد، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، بهترین زمان برای رشد جلبک به‌دست‌آمده است[۱۷]. با توجه به میزان ساعات آفتابی در مناطق مختلف ایران، می‌توان تمام مناطق را ازلحاظ متوسط ساعات آفتابی در طول سال مناسب برآورد کرد که در این میان نیمه جنوبی کشور و مناطق حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان دارای حداکثر ساعات آفتابی هستند و کمترین ساعات آفتابی مربوط به شهرهای حاشیه دریای خزر می‌باشد[۱۸].

۲. دما

یکی از مهم‌ترین عوامل رشد و تکثیر ریزجلبک‌ها دما می‌باشد. در صورت انتخاب منطقه‌ای با میانگین دمای نزدیک به دمای بهینه کشت، می‌توان با استفاده کمتر از انرژی به میزان محصول بیشینه رسید.

ریزجلبک کلرلا وولگاریس اغلب در دمایی بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس فعالیت مناسب دارد و در دمای پایین‌تر از ۱۶ درجه سلسیوس رشد به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. مساعدترین دمای موردنیاز برای تولید بیشینه جرم زیست‌توده توسط این ریزجلبک دمای ۳۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شده است[۱۹]. با توجه به اقلیم ایران و متوسط دمای مناطق مختلف آن، می‌توان بندرعباس و اهواز و بوشهر را بهترین مراکز استان با میانگین دمای بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس[۱]، مناسب‌ترین مناطق برای کشت ریزجلبک ازلحاظ دما نام برد.

۳. شوری

جلبک‌ها توانایی تحمل مقدار شوری بین ۱۲-۴۰ گرم بر لیتر را دارند و ازآنجاکه کلرلا وولگاریس یک ریزجلبک آب شیرین است، توانایی تحمل شوری بالا را مانند جلبک‌های دریایی را ندارد و برای بازدهی حداکثر می‌توان از تیمار BBM برای این ریزجلبک استفاده کرد[۲۰]؛ اما با شوری آب دریا نیز می‌توان آن را کشت کرد. مشاهده‌شده که اگر از آب‌های عمیق استفاده شود، نسبت به آب‌های سطحی بازدهی بهتری را نتیجه خواهد داشت[۲۱]. با توجه به موارد فوق‌الذکر بهترین مناطق ازلحاظ این پارامتر کشت، حواشی رودخانه‌ها و خطوط ساحلی شناخته شد. با توجه به دسته‌بندی ریزجلبک کلرلا وولگاریس که از جلبک‌های آب شیرین است، نیازی به سنجش این پارامتر به‌منظور مقایسه مناطق نیست.

۴. اسیدیته (pH)

بازه pH برای اغلب کشت‌های جلبکی بین ۷ تا ۹ و بازه بهینه آن ۸/۲-۸/۷ می‌باشد. در صورت مهیا نبودن pH مناسب، امکان از بین رفتن کشت و شکست بسیاری از فرایندهای سلولی وجود دارد. بسته به نوع کشت، ریزجلبک کلرلا وولگاریس می‌تواند در محدوده pH بین ۴ تا ۱۰ رشد کند که بهترین نتیجه در بازه بین ۹-۱۰ به‌دست‌آمده است[۲۲ و ۲۳].

در صورت افزایش pH براثر رشد جلبکی، می‌توان با اضافه کردن دی‌اکسید کربن به‌وسیله هوادهی مانع از رسیدن pH به مقدار حداکثری شد. تنظیم این شرط کشت، ارتباطی به موقعیت جغرافیایی و آب‌وهوا نداشته و تنها یک سامانه کنترلی قابلیت تنظیم آن را دارد. البته وجود یک منبع پایدار دی‌اکسید کربن، مانند کارخانه یا منطقه‌ای شهری برای کنترل میزان pH لازم به نظر می‌رسد.

۵. هوادهی/اختلاط

مخلوط کردن برای ممانعت از ته‌نشین شدن جلبک‌ها ضروری است، تا تمامی سلول‌ها بتوانند به میزان یکسانی از نور و مواد مغذی استفاده کنند و هم‌چنین بدین‌وسیله باید مانع از چند دمایی درکشت شد. دلیل دیگر برای این کار، تبادل مناسب گاز محیط کشت با هوا است که هم باعث دفع اکسیژن تولیدشده در محیط کشت به هوا شده و هم تأمین‌کننده دی‌اکسید کربن لازم برای فتوسنتز از هوا است. در بخش pH به نقش دی‌اکسید کربن در تنظیم اسیدیته مناسب، اشاره‌شده است. البته باید این را هم مدنظر داشت که تمامی گونه‌های جلبکی نسبت به اختلاط شدید نمی‌توانند بی‌تفاوت باشند و تحمل کنند. تولید بیشینه زیست‌توده در حالتی اتفاق می‌افتد که نرخ جریان هوا ۱۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه باشد[۲۴].

این شرط کشت موفق، وابستگی خاصی به محدوده جغرافیایی معینی ندارد و در هرجایی می‌توان این امر را محقق کرد.

۶. مواد مغذی

عمده مواد لازم برای تولید و رشد ریزجلبک‌ها ازجمله کلرلا وولگاریس، کربن، نیتروژن و فسفر هستند. منابع تأمین این مواد بسیار متنوع می‌باشند، اما بهترین منابع ازلحاظ هزینه، سطح دسترسی و حفظ محیط‌زیست، پسماند کارخانه‌ها و شهرها هستند. نیتروژن و فسفر از اجزای اصلی آلایندگی آب‌های موجود در فاضلاب‌های شهری و کارخانه‌ها هستند که در تصفیه ثانویه می‌توان به‌وسیله ریزجلبک‌ها آن‌ها را در قالب نیترات و فسفات جذب کرد و آب تصفیه‌شده را به ارمغان آورد. میزان جذب این مواد به‌وسیله کلرلا وولگاریس بین ۷۰ تا ۹۰ درصد ورودی، اندازه‌گیری شده است[۲۵-۲۷].

نتیجه‌گیری

بنا بر شرایط محدوده مذکور ازنظر دریافت انرژی خورشیدی در بین کشورهای دیگر جهان در رده‌های بالا قرار دارد، با نظر به مساحت بالای اراضی غیرقابل‌کشت در کشور ایران، استفاده از ریزجلبک که نیازی به خاک قابل‌کشت ندارد، می‌تواند دارای مزیتی مضاعف برای کشت آن باشد، که البته در صورت نیاز به آب، با توجه به خط ساحلی در جنوب کشور (۲۴۴۰ کیلومتر) که عمدتاً خالی از سکنه است، می‌تواند به‌منظور افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌های تولید و امنیت موردتوجه قرار گیرد.

با توجه به جمع‌بندی تمامی ضرورت‌های کشت ریزجلبک اعم از دمای مناسب، آب، شوری، مواد مغذی، pH، هوادهی و نور، همچنین با التفات به ضرورت‌های امنیتی (انرژی، جغرافیایی، غذایی) و زیست‌محیطی، می‌توان مناطق ایران را به سه رده ازلحاظ امکان‌سنجی وجود شرایط و لزوم انجام کشت ریزجلبک تقسیم‌بندی کرد(جدول ۲).

رده ۱: به دلیل وجود تمامی شرایط مساعد کشت، قابلیت راه‌اندازی استخرهای روباز در حاشیه دریا و رودخانه‌ها به‌منظور کشت گسترده وجود دارد. علاوه بر آن به‌منظور تصفیه هوای شهرها و گازهای منتشرشده توسط کارخانه‌ها، یا تصفیه ثانویه فاضلاب‌ها برای حذف نیترات و فسفات‌ها از آب می‌تواند به کار گرفته شود.

رده ۲: بنا بر دسترسی به یک سری از شرایط مطلوب، کشت گسترده در تمام‌روزهای سال مقرون‌به‌صرفه نمی‌نماید، پس در صورت نیاز می‌توان بنا بر حد نیاز، از گلخانه‌ها و فتوبیوراکتورها استفاده کرد و باید شرایط ناقص را با صرف انرژی مهیا نمود. در این مناطق با توجه به

ظرفیت تصفیه حداکثری هوا توسط ریزجلبک مذکور، می‌توان به‌عنوان یک واحد تصفیه گر به‌منظور بهبود محیط‌زیست شهری نیز استفاده کرد.

رده ۳: با توجه به احراز حداقلی شرایط محیطی برای کشت ریزجلبک در این مناطق، تنها در صورت احتیاج منطقه‌ای یا تولید محصولی باارزش افزوده بالا و یا نیل به اهدافی خاص می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

لازم به ذکر است که تولید ریزجلبک در هیچ منطقه‌ای غیرممکن نیست و تنها نیاز به صرف انرژی بیشتری می‌تواند داشته باشد.

جدول ۳: مقایسه منابع قابل‌دسترس در مناطق مختلف ایران و دسته‌بندی مناطق بر اساس آن‌ها

رده	مناطق جغرافیایی	قابلیت دسترسی آسان به شرایط مناسب به‌منظور تولید ریزجلبک کلرلا وولگاریس				
		دی‌اکسید کربن (دود)	نیترات و فسفات (فاضلاب)	نور	دما	آب
۱	اهواز، بندرعباس، بوشهر، چابهار، بندرلنگه، آبادان، خرمشهر، عسلویه، جاسک	☒	☒	☒	☒	☒
۲	اراک، بیرجند، بجنورد، قزوین، همدان، کرمانشاه، خرم‌آباد، خوی، مشهد، ارومیه، سبزوار، سنندج، شاهرود، شهرکرد، تبریز، تهران، زنجان، بم، اصفهان، فسا، ایرانشهر، کرمان، شیراز، یزد، زابل، زاهدان، کرج	☒	☒	☒	☐	☐
۳	بندر انزلی، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر، رشت، آمل، گنبدکاووس، ساری	☐	☒	☐	☐	☒

مراجع

۱. ناشناس، ۱۳۹۴، سرزمین و آب‌وهوا (فصل اول)، سالنامه آماری کشور، مرکز آمار ایران.

2. V. Evangelista, L. Barsanti, A.M. Frassanito, V. Passarelli, P. Gualtieri, 2007, Algal Toxins : Nature, Occurrence , Effect and Detection NATO Science for Peace and Security Series.
3. Das P, Aziz SS, Obbard JP. 2011. Two phase microalgae growth in the open system for enhanced lipid productivity. Renewable Energy, 36(9):2524–8.
4. Brennan L, Owende P. 2010. Biofuels from microalgae- a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable Sustainable Energy Revews. 14: 557–77.
5. Plaza M, Herrero M, Cifuentes A, Ibanez E. 2009. Innovative natural functional ingredients from microalgae. J Agricultural Food Chemistry. 57:7159–70
6. I. Harun, L. Yahya, M.N. Chik, N.N.A. Kadir, M.A.M.A. Pang, 2014. Effects of Natural Light Dilution on Microalgae Growth, International Journal of Chemical Engineering and Applications. 5(2): 112–116.
7. Ho SH, Chen WM, Chang G. 2010. Scenedesmus obliquus CNW-N as a potential candidate for CO_2 mitigation and biodiesel production. Bioresource Technology.101(22):8725–30.
8. Gendy TS, El-Temtamy SA. 2013. Commercialization potential aspects of microalgae for biofuel production: an overview. Egypt J Pet. 22:43–51.
9. Singh J, Gu S. 2010. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. Renew Sustain Energy Rev. 14:2596–610.
10. M. Paul Abishek, J. Patel, A. Prem Rajan, 2014. Algae Oil: A Sustainable Renewable Fuel of Future, Biotechnology Research International. 1–8.

11. A.L. Ahmad, N.H.M. Yasin, C.J.C. Derek, J.K. Lim, 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15(1):584–593.
12. Kumar P S. 2017. Cultivation and Chemical Composition of Microalgae Chlorella vulgaris and its Antibacterial Activity against Human Pathogens. Journal of Aquaculture & Marine Biology. 5(3).
13. Ghobadian B. 2012. Liquid biofuels potential and outlook in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16(7): 4379–4384.
14. Slade R, Bauen A. 2016. Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. Biomass and Bioenergy. 53:29–38
15. I. Harun, L. Yahya, M.N. Chik, N. Nadia, A. Kadir, M.A. Mohd, 2014. Effects of Natural Light Dilution on Microalgae Growth, International Journal of Chemical Engineering and Applications. 5(2) :112-116.
16. P. Coutteau, 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture: Micro-algae. FAO. Belgium, FAO Fisheries Technical Paper.
17. Khoeyi Z.A, Seyfabadi J, Ramezanpour Z, 2012. Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalgae, Chlorella vulgaris, Aquaculture International. 20: 41–49.
18. Rahimzadeh F, Pedram M, C. Kruk M. 2014. An examination of trends in sunshine hours over Iran. Meteorological Applications. 21: 309-315
19. Mohammadi F, Arabian D, Khalilzadeh R. 2016. Investigation of effective parameters on biomass and lipid productivity of Chlorella vulgaris. Periodicum Biologorum. 118(2), pp.123-129.
20. M.K. Enamala, S. Enamala, M. Chavali, J. Donepudi, R. Yadavalli, B. Kolapalli, T.V. Aradhyula, J. Velpuri, C. Kuppam, 2018. Production of biofuels from microalgae - A review on cultivation, harvesting, lipid extraction, and numerous applications of microalgae, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 94: 49–68.
21. Anbarasu M, Dharani G, Kirubagaran R, Gunasekaran R, Magesh PD, Ahmed MS, Saravanan N. 2016. Mass culture of marine microalgae, Chlorella vulgaris using deep sea water at Kavaratti Island, Chennai, National conference on recent trends in biotechnology.
22. Khalil ZI, Asker MM, El-Sayed S, Kobbia IA. 2010. Effect of pH on growth and biochemical of Donaliella and Chlorella. World J. Microbiology Biotechnology. 26: 1225-1231.
23. Gong O, Feng Y, Kang L, Luo M, Yang J. 2014. Effect of light DND pH on cell density of Chlorella vulgaris. The 6th International Conference of Applied Energy ICAE.
24. Kim DG, Lee C, Park SM, Choi Y.E. 2014. Manipulation of light wavelength at appropriate growth stage to enhance biomass productivity and fatty acid methyl ester yield using Chlorella vulgaris. Bioresource Technology. 159: 240-248.
25. Kumar PK, Krishna SV, Naidu SS, Verma K, Bhagawan D, Himabindu V. 2019. Biomass production from microalgae Chlorella grown in sewage, kitchen wastewater using industrial CO2 emissions: Comparative study. Carbon Resource Conversation. 2(2):126–33.
26. Zhao B, Su Y, Liu D, Zhang H, Liu W, Cui G. 2016. SO2/NOx emissions and ash formation from algae biomass combustion: Process characteristics and mechanisms. Energy. 113:821–830.
27. B. Hosseingholilou, A. Banakar, M. Mostafaei. 2019. Design and evaluation of a novel ultrasonic desalination system by response surface methodology, Desalination and Water Treatment. 164: 263–275.

Review on Feasibility of Chlorella Vulgaris Microalgae Cultivation in Iran

Pirooz Shokri Khatibi[1], Ahmad Banakar[2*], Barat Ghobadian[3]

1. MTech Student, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University of Tehran
2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University of Tehran
3. Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University of Tehran

Abstract

Microalgae have attracted considerable attention in recent years worldwide, which can mention due to their potential of numerous applications in various productions and their extremely high growth rates. Microalgae are renewable, sustainable, and economically viable sources of biofuels, bio medicals, and nutritional uses. Microalgae have the crucial ability to convert carbon dioxide from the atmosphere into usable products, including carbohydrates, lipids, and other bioactive compounds. The benefits of microalgae in securing, producing biofuels and various bioactive compounds discussed in the present review. Determining the parameters affecting microalgae growth and adapting them to the climatic conditions of some parts of Iran has discussed to determine if they can be decreased cost and maximize productivity. The best districts for the high efficiency and low-cost production of Chlorella Vulgaris has obtained in the southern half of Iran and the Persian Gulf. In the end, some proposes have given for the cultivation of those microalgae in other districts of Iran.

Key words: Energy & Food Security, Bio Mass, Renewable Energies, Bio Fuel, Passive Defense, Carbon Dioxide, Iran.

*Corresponding author
E-mail: ah_banakar@modares.ac.ir