

بررسی توانایی ترسیب کربن ریزجلبک *Chlorella vulgaris* در آب‌های با شوری متفاوت

مهری شعبانی^{۱*}، محمدحسین صیادی^۲، محمدرضا رضایی^۳

۱. دانشجوی گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند mh_sayadi@birjand.ac.ir

۳. دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند mrrezaei@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه استفاده از کشت ریزجلبک‌ها برای کاهش دی‌اکسید کربن توجه ویژه‌ای را در سراسر دنیا به خود جلب کرده است. این آزمایش با استفاده از پرورش استوک خالص ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۳ تیمار و ۳ تکرار در محیط آب مقطر، آب دریای شبیه‌سازی شده و آب طبیعی به مدت ۸ روز انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که این ریزجلبک بیشترین تولید زیست‌توده و به دنبال آن بیشترین میزان ترسیب کربن پس از طی ۸ روز در آب طبیعی با مقادیر 0.068 (g/L/d) و 0.111 (g/L/d) داشته و نرخ رشد آن 0.131 (day⁻¹) است. مقدار پارامترهای مذکور در آب مقطر به ترتیب برابر 0.057 (g/L/d)، 0.115 (day⁻¹) و 0.093 (g/L/d) است. این نتایج بیان می‌کند که با پرورش این ریزجلبک در آب شهری به‌رغم شور بودن، می‌توان گام بزرگی در ترسیب کربن برداشت. نتایج آماری آزمون توکی نشان داد که بین نرخ تولید زیست‌توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول‌ها در تیمارهای مختلف شوری آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بنابراین، شوری آب در میزان رشد و ترسیب کربن ریزجلبک کلرلا وولگاریس تأثیر متفاوتی داشته است.

کلیدواژه

آب شور، بیرجند، ترسیب کربن، کلرلا وولگاریس، گازهای گلخانه‌ای.

۱. سرآغاز

افزایش درجه حرارت جهانی در حدود ۱/۹ درجه سلسیوس و افزایش میانگین سطح دریا به میزان ۳/۸ متر شود (Stewart and Hessami, 2005). در سال‌های اخیر، آثار گرم‌شدن کره زمین به خسارات شدیدی در اکوسیستم انسان و محیط‌زیست منجر شده است، از آن جمله می‌توان به ذوب یخ‌های قطبی، مرگ گسترده مرجان‌های دریا به دلیل بالا رفتن دمای آب، امواج گرمای شدید که

گرم‌شدن کره زمین به دلیل افزایش سطح دی‌اکسید کربن در جو به‌منزله یکی از چالش‌های اصلی در قرن حاضر شناخته می‌شود به طوری که CO₂ مسئول ۵۸/۸ درصد از تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان است (Bacon and Bhattacharya, 2007). پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰، مقدار CO₂ جو ممکن است به ۵۷۰ppm برسد و سبب

طی مدت طولانی لازم است. بدین دلیل چن و همکاران (۲۰۱۲) تحقیقی روی اسپیرولینا کشت‌داده‌شده در بیوراکتور نوری (۳۰ متر مکعب) با استفاده از CO₂ ناشی از نیروگاه انجام دادند و نشان داده شد که این بیوراکتور با حجم ۳۰ متر مکعب قادر به جذب ۲۲۳۴ کیلوگرم CO₂ در هر سال بود (Chen, et al., 2012). فرانسیسکو و همکاران پیشرفت‌های شایان توجهی از نرخ تثبیت CO₂ خالص اعم از *Spirulina obliquus* برای جلبک ۱۶/۸۵g/l/day تا *Aphanothece* ۴۰/۳۲g/l/d برای سیانو باکتر میکروسکوپی به دست آوردند (Francisco, et al., 2010). در تحقیقات فن و همکاران با استفاده از بیوراکتور نوری به منظور افزایش نرخ تثبیت CO₂ از طریق کلرلا وولگاریس، نرخ تثبیت ۶/۶l/day به دست آمد (Fan, et al., 2007). هیراتا و همکاران (۱۹۹۶) کلرلا وولگاریس را در غلظت ۳ درصد CO₂ به مدت ۸ روز کشت داده‌اند و به تثبیت دی اکسید کربن به میزان ۸۶۵mgCO₂ L⁻¹ d⁻¹ رسیده‌اند (Hirata, et al., 1996). در مطالعه‌ای دیگر کلرلا وولگاریس، یک ریزجلبک سبز، تحت غلظت‌های ۰/۳۶ درصد (کربن اتمسفری) تا ۲۰ درصد CO₂ رشد داده شده است (Chinnasamy, et al., 2009).

چالش بزرگ جهان امروز به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گرم‌شدن و تغییر اقلیم، ناشی از اثر گازهای گلخانه‌ای است. یکی از راهکارهای شناخته‌شده که به کاهش کربن اتمسفری و بهسازی وضع موجود کمک می‌کند، ترسیب کربن از طریق پوشش گیاهی است، اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب شیرین و شرایط کشت گیاهان به دلیل کمبود منابع آب و اقلیم خشک این منطقه محدود است، باید راهکارهای دیگری برای استفاده بهینه از آب‌های شور و منابع آبی در دسترس این مناطق ارائه شود. یکی از بهترین گزینه‌های پیشنهادی پرورش جلبک‌ها در این منابع آبی و استفاده از آن‌ها در زمینه‌های کاربردی است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر میزان شوری‌های متفاوت آب (آب مقطر به منزله نمونه عاری از

فعالیت‌های کشاورزی را مختل کرده است و در سلامت انسان و وقوع مکرر خشکسالی و بیابان‌زایی تأثیر می‌گذارد. اشاره کرد (Sayadi, et al., 2011; Yang, et al., 2012). عواقب تمام این پدیده‌ها همراه افزایش قیمت روزافزون انرژی سبب بالابردن آگاهی عمومی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش سهم شخصی هر فرد در انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است (Yang, et al., 2012).

ریزجلبک‌ها در اکوسیستم‌های مختلف وجود دارند. تاکنون بیش از ۵۰ هزار گونه ریزجلبک شناخته و حدود ۳۰ هزار گونه از آن‌ها مطالعه شده است (Mata, et al., 2010). ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های پروکاریوتی یا یوکاریوتی فتوسنتزکننده‌ای هستند که به سرعت رشد می‌کنند و با توجه به ساختار تک‌سلولی یا چندسلولی ساده‌ای که دارند در محیط‌های مختلف رشد می‌کنند. سیانو باکتری‌ها نمونه‌هایی از ریزجلبک‌های پروکاریوتی و جلبک سبز و دیاتوم‌ها نمونه‌هایی از یوکاریوت‌ها هستند (Mata, et al., 2010). ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌هایی با سرعت رشد بالا هستند که ۱۰۰ بار سریع‌تر از گیاهان رشد می‌کنند و می‌توانند زیست‌توده خود را در کمتر از یک روز به دو برابر مقدار اولیه افزایش دهند. با توجه به ساختار سلولی ساده و نرخ رشد بالا، انتظار می‌رود ریزجلبک‌ها دارای بازده تثبیت زیستی ۱۰-۵۰ برابر بیشتر از گیاهان باشند (Khan, et al., 2009). علاوه بر این، گزارش شده است که سلول‌های ریزجلبک‌ها حاوی حدود ۵۰ درصد کربن‌اند، که در آن ۱/۸ کیلوگرم CO₂ با تولید ۱ کیلوگرم زیست‌توده ریزجلبکی تثبیت می‌شود (Yusuf, 2007). از این رو ریزجلبک‌ها قادرند با توانایی بالا کربن را تثبیت زیستی کنند و از سوی دیگر، برای تولید سوخت زیستی تجدیدپذیر نیز استفاده می‌شوند (Sayadi, et al., 2011).

بیشتر تحقیقات در زیست‌پالایی CO₂ در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده و آزمایش‌هایی در مقیاس پایلوت برای ارزیابی زیست‌پالایی خالص CO₂ به طور مستمر و

دارای ۶/۸pH بوده است. حجم محیط کشت پرورش داده شده در هر بیوراکتور ۱۰ لیتر بوده است. شرایط نوری فراهم شده در این پژوهش به صورت دوره‌های ۱۲ ساعت تاریکی/روشنایی با نور ۳۵۰۰ لوکس بوده است. تمامی آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی و دمای محیط انجام شد که مقدار دمای محیط بین حداقل ۲۵ و حداکثر ۳۱ درجه سیلسیوس با میانگین دمایی ۲۸ درجه سیلسیوس بوده است. pH ابتدایی بیوراکتورها پس از افزودن محیط کشت مایع و حجم مشخص ریزجلبک‌ها در ۶/۸ تنظیم شد. هوادهی با استفاده از پمپ هوا (RESUN AC-9603) با مشخصات فشار هوای ۰/۱۲MPa طی دوره به صورت مداوم انجام شد.

۲.۲. آماده‌سازی محیط کشت آب دریای شبیه‌سازی شده

در مطالعه حاضر، محیط کشت حاوی آب دریای شبیه‌سازی شده با استفاده از ترکیبات و مقادیر ارائه شده از سوی کالکین (۱۹۶۵) فراهم شده که شرح آن در جدول ۱ آورده شده است (Culkin, 1965). در برخی از مطالعات آب دریای شبیه‌سازی شده جایگزین آب دریای طبیعی است و دلیل این امر کاهش تأثیرات بیولوژیکی و فراهم آوردن امکان ایجاد مایع قابل تکرار با مواد و ترکیب شناخته شده است.

نمک (شاهد)، آب شهری و در دسترس منطقه و آب دریای شبیه‌سازی شده) در توانایی رشد ریزجلبک کلرلا وولگاریس و به دنبال آن توانایی این ریزجلبک در ترسیب کربن اتمسفری (۰/۰۳ درصد) است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. شرایط و محیط کشت ریزجلبک

نمونه خالصی از ریزجلبک کلرلا وولگاریس از پژوهشکده آبی‌پروری آب‌های داخلی تهیه و در محیط کشت BBM^۱ پرورش داده شد (Ramanan, et al., 2009). سپس با حجم مشخص ۱ لیتر به داخل هر راکتور انتقال داده شد.

جلبک کلرلا وولگاریس در سه راکتور صفحه تخت در محیط آب مقطر، آب دریای شبیه‌سازی شده و آب طبیعی (بیرجند) با مقادیر متفاوت هدایت الکتریکی (اندازه‌گیری شده از طریق EC متر مدل Istek Model 915 PDC) به ترتیب ۳μs/cm، ۱۵۰۰μs/cm، ۳۴۰۰۰μs/cm به مدت ۸ روز پرورش داده شد. آب بیرجند با میانگین pH ۷/۸۳، سختی آب ۱۰۰۰mg/l، میزان کربنات و بی‌کربنات آن به ترتیب ۴/۳۹mg/l و ۳۳۹/۷ و هدایت الکتریکی آن ۱۵۰۰μs/cm است. مقدار CO₂ محلول پس از هوادهی لازم برای کاهش آن، ۸ppm در محیط‌های کشت به میزان یکسان اندازه‌گیری و ثبت شد. آب مقطر استفاده شده

جدول ۱. ترکیبات به کار برده شده در محیط کشت حاوی آب دریای شبیه‌سازی شده (Culkin, 1965)

مقادیر موجود (g/Kg)	یون
۱۹/۳۵۳	Cl ⁻
۱۰/۷۶	Na ⁺
۲/۷۱۲	SO ₄ ²⁻
۱/۲۹۴	Mg ²⁺
۰/۴۱۳	Ca ²⁺
۰/۳۸۷	K ⁺
۰/۱۴۲	HCO ₃ ⁻
۰/۰۶۷	Br ⁻
۰/۰۰۸	SR ²⁺
۰/۰۲۶	H ₃ BO ₃
۰/۰۰۱	F ⁻

۳.۲. بیوراکتورهای نوری صفحه تخت

ریزجلبک‌ها در راکتورهای شیشه‌ای تخت به ابعاد $40 \times 40 \times 40$ سانتی‌متر با سیستم هوادهی عمقی به منظور بررسی توانایی کلرلا وولگاریس در ترسیب کربن اتمسفری پرورش داده شدند. بیوراکتورهای نوری صفحه مسطح نوعی از راکتورهای بسته‌اند که معمولاً در یک زاویه با افق مماس‌اند و در برخی موارد نیز به شکل عمود نسبت به زمین دیده شده‌اند (Hu, et al., 1996).

۴.۲. شمارش سلولی و اندازه‌گیری وزن خشک

در این مطالعه شمارش سلولی به صورت مستقیم با استفاده از لام توما^۲ در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی $40 \times$ انجام شد. تعداد سلول‌ها در روزهای اول، چهارم، ششم و هشتم شمارش شد. وزن خشک سلولی (g/L) از طریق سانتریفیوژکردن ۱۰ میلی‌لیتر از هر نمونه در دور 4500 RPM به مدت ۳۰ دقیقه انجام و پس از آن در آون در دمای 105°C درجهٔ سیلیسیوس به مدت ۴۰ دقیقه خشک شد. شایان یادآوری است که هر یک در ۳ تکرار بررسی شد.

۵.۲. محاسبهٔ تولید زیست‌توده

تولید زیست‌توده در این مطالعه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد که در آن پارامترهای P نشان‌دهندهٔ زیست‌تودهٔ تولیدشده (g/L/d) ، X_0 (g/L) زیست‌تودهٔ ابتدایی و X_t (g/L) مقدار زیست‌توده در زمان t (روز) است (Tang, et al., 2011).

$$P_{\text{overall}} (\text{g/L/d}) = (x_t - x_0) / (t_t - t_0) \quad (1)$$

۶.۲. محاسبهٔ نرخ رشد

نرخ رشد ویژه براساس وزن خشک سلولی از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (Tang, et al., 2011):

$$\mu (\text{day}^{-1}) = (\ln (x_t/x_0)) / (t_t - t_0) \quad (2)$$

۷.۲. نرخ تثبیت کربن

نرخ تثبیت کربن (R) برای کلرلا وولگاریس با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Tang, et al., 2011):

$$R_{\text{CO}_2} (\text{gCO}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}) = C_c P (m_{\text{CO}_2} m_c^{-1}) \quad (3)$$

که در این رابطه:

R_{CO_2} : نرخ تثبیت CO_2 ($\text{gCO}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$), P: بهره‌وری زیست‌توده ($\text{g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$), C_c : کسری از کربن در زیست‌توده (g/g), m_{CO_2} : جرم مولی کربن دی اکسید (g/mol) و m_c : جرم مولی کربن (g/mol) است. کربن موجود در وزن خشک سلولی ریزجلبک ۵۰ درصد در نظر گرفته شد (W/W) که مرتبط با نیاز $1/83$ گرم CO_2 برای تولید ۱ گرم وزن خشک سلولی ریزجلبک‌هاست (Kumar and Das, 2012).

۸.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌های خام در نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۷ رابطهٔ بین نرخ تولید زیست‌توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول‌ها با تیمارهای مختلف شوری به کمک آزمون توکی و ضریب اطمینان ۹۹ درصد سنجیده شد.

۳. نتایج و بحث

در این مطالعه ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۳ نمونهٔ آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی به حجم ۱۰ لیتر و به مدت ۸ روز کشت داده و میانگین نتایج ۳ تکرار مرتبط با تولید زیست‌توده، نرخ رشد ویژه و نرخ تثبیت کربن اتمسفری برای محیط‌های کشت تحت ECهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در محیط کشت حاوی آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی تولید بهره‌وری زیست‌تودهٔ جلبک کلرلا وولگاریس پس از پایان ۸ روز به ترتیب (g/L/d) 0.057 ، 0.025 ، 0.068 است که نشان می‌دهد آب طبیعی ($\text{EC}=1500$) تولید بیشتری از زیست‌توده داشته است.

جدول ۲. مقادیر میانگین تولید زیست توده، نرخ رشد ویژه و نرخ تثبیت کربن ریز جلبک کلرلا وولگاریس در ۸ روز

نرخ تثبیت کربن (R) ($\text{gCO}_2 \text{L}^{-1} \text{d}^{-1}$)				نرخ رشد ویژه (μ) (d^{-1})				تولید زیست توده (P) ($\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}$)				محیط کشت
روز ۴-۱	روز ۶-۴	روز ۸-۶	روز ۸-۱	روز ۴-۱	روز ۶-۴	روز ۸-۶	روز ۸-۱	روز ۴-۱	روز ۶-۴	روز ۸-۶	روز ۸-۱	
۰/۱۴۸	۰/۰۳۳	۰/۰۴۵	۰/۰۹۳	۰/۱۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۲۶۶	۰/۰۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۰	۰/۰۹۰	آب مقطر ($\text{EC}=3\mu\text{s/cm}$)
۰/۰۵۳	۰/۰۱۶	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰	۰/۰۳۳	آب دریای شبیه سازی شده ($\text{EC}=3400\mu\text{s/cm}$)
۰/۱۲۷	۰/۰۸۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۱	۰/۱۳۱	۰/۰۸۵	۰/۰۷۷	۰/۱۸۲	۰/۰۶۸	۰/۰۶۵	۰/۰۵۰	۰/۰۷۸	آب طبیعی ($\text{EC}=1500\mu\text{s/cm}$)

اتمسفری به ترتیب (g/L/d) ۰/۱۳ و ۰/۱۵ بوده است (Tang, et al., 2011) که مشابه نرخ تثبیت کربن در محیط کشت آب طبیعی در این مطالعه است.

جدول ۳ میانگین شمارش سلولی را که به روش مستقیم شمارش از طریق لام توما و میکروسکوپ انجام شده است نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود از روز اول تا هشتم روند رشد سلولی در کلرلا وولگاریس در دو محیط کشت آب مقطر و آب طبیعی رو به افزایش بوده، اما در محیط آب دریای شبیه سازی شده به دلیل شوری بالای آب این تعداد روند افزایشی نداشته و در واقع می توان گفت که به دلیل اینکه ریز جلبک کلرلا وولگاریس نوعی ریز جلبک آب شیرین است (صلواتیان، ۱۳۸۲)، آب دریای شبیه سازی شده با شوری بالا مانع رشد این جلبک پس از روز ۴م شده است.

با توجه به جدول ۳ بیشترین رشد سلولی در آب طبیعی در پایان روز هشتم مشاهده شده است. در آب دریای شبیه سازی شده روند رشد و تکثیر سلولی به دلیل شوری بسیار بالا و نامساعد بودن محیط برای این ریز جلبک

ماکزیم تولید زیست توده طی دوره در روز چهارم کشت با مقدار ۰/۰۹ تولید در آب مقطر مشاهده شد. در مطالعه اولیازولا و همکارانش (۲۰۰۰) روی ریز جلبک *Haematococcus pluvialis* تولید زیست توده ۰/۰۵۲ (g/L/day) بوده است (Olaizola, 2000). نرخ رشد ویژه برای این ریز جلبک در ۳ محیط کشت پس از طی دوره ۸ روزه به ترتیب مساوی (d^{-1}) ۰/۱۵، ۰/۱۹ و ۰/۱۳ است. پایین ترین نرخ رشد مربوط به کشت ریز جلبک کلرلا وولگاریس در آب دریا ($\text{EC}=3400$) است. در مطالعه کومار و همکاران (۲۰۱۴) روی *Chlorella sorokiniana* در محیط کشت بدون تزریق کربن نرخ رشد این ریز جلبک (day^{-1}) ۰/۴۲ بوده است (Kumar, et al., 2014). نرخ تثبیت کربن از طریق ریز جلبک کلرلا وولگاریس در ۳ محیط کشت آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی به ترتیب برابر (g/L/d) ۰/۰۹۳، ۰/۰۴۱، ۰/۱۱۱ است که بیشترین نرخ تثبیت کربن اتمسفری در آب طبیعی است. در مطالعه تنگ و همکاران (۲۰۱۱) روی دو ریز جلبک *Chlorella pyrenoidosa* و *Scenedesmus obliquus* نرخ تثبیت کربن

غلظت عناصر (هدایت الکتریکی EC) از جمله کلسیم بعد از میزان مؤثر آن‌ها در رشد جلبک‌ها در محلول آبی افزایش یابد رشد جلبک‌ها از جمله جلبک کلرا وولگاریس و تعداد آن‌ها کاهش خواهد یافت (صلواتیان و فلاحی، ۱۳۸۴).

آب شیرین بسیار آهسته انجام شده و از روز چهارم به بعد رشد کندی داشته، به طوری که توانایی ترسیب کربن این ریزجلبک در محیط کشت‌هایی با شوری بالا پایین است. مطالعه صلواتیان و فلاحی (۱۳۸۴) نشان داد که هرچه

جدول ۳. میانگین تعداد سلول‌های شمارش شده طی دوره ۸ روزه کشت ریزجلبک وولگاریس (Cell/L/day)

روز هشتم	روز ششم	روز چهارم	روز اول	شمارش سلولی (در هر لیتر) محیط کشت
۱۰×۱۰ ^۷	۸×۱۰ ^۷	۷×۱۰ ^۷	۳×۱۰ ^۷	آب مقطر
۶×۱۰ ^۷	۵×۱۰ ^۷	۵×۱۰ ^۷	۳×۱۰ ^۷	آب دریای شبیه‌سازی شده
۱۲×۱۰ ^۷	۹×۱۰ ^۷	۶×۱۰ ^۷	۳×۱۰ ^۷	آب طبیعی

جدول ۴. مقایسه بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه و مطالعات پیشین

منابع	پارامترهای اندازه‌گیری شده			درصد کربن	ریزجلبک
	بهره‌وری و تولید زیست توده (g/L/day)	نرخ رشد ویژه (day ⁻¹)	نرخ تثبیت کربن (g/L/day)		
Lam and Lee, 2013	۰/۰۳۱	۰/۱۵۶	۰/۰۶۳	۰/۰۳ ^a	<i>Chlorella vulgaris</i>
Chiu, et al., 2008	۰/۵۳۷	۰/۲۳۰	-	۰/۰۳	<i>Chlorella sp</i> (محیط کشت: آب دریای شبیه‌سازی شده)
Kumar, et al., 2014	۰/۱۳	۰/۴۲	۱/۷۴	۰/۰۳	<i>Chlorella sorokiniana</i>
	۰/۰۵۷	۰/۱۵	۰/۰۹۳	۰/۰۳	آب مقطر
	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۴۱		آب شور
	۰/۰۶۸	۰/۱۳	۰/۱۱۱		آب طبیعی
					مطالعه حاضر <i>Chlorella vulgaris</i>

^a غلظت CO₂ در هوا حدود ۰/۰۳ است.

برای پرورش ریزجلبک *Chlorella sp* استفاده شده و نرخ رشد ویژه و تولید زیست توده این جلبک در بستر بدون تزریق CO₂، به ترتیب (day⁻¹) ۰/۲۳ و ۰/۵۳ بوده است

در مطالعه حاضر بیشترین نرخ رشد و تولید مربوط به راکتوری است که حاوی آب طبیعی بوده است. در مطالعه چيو و همکارانش (۲۰۰۸) از آب دریای شبیه‌سازی شده

مصارف خوارکی و دارویی نیز دارد. با توجه به نتایج این تحقیق بیشترین رشد زیست توده و سلولی در آب طبیعی مشاهده شد و در آب دریای شبیه سازی شده روند رشد و تکثیر سلولی به دلیل شوری بالا و نامساعد بودن محیط برای این ریز جلبک آب شیرین کند انجام شده است، به طوری که توانایی ترسیب کربن این ریز جلبک در محیط کشت هایی با شوری بالا پایین است. بنابراین، جلبک کلرا وولگاریس در هدایت الکتریکی $1500 \mu\text{s}/\text{cm}$ (آب طبیعی) رشد خوبی داشته است و توان ترسیب کربن بالایی را از خود نشان داد. بنابراین، می توان این جلبک را به رغم اینکه مختص آب های شیرین است در منطقه مورد مطالعه (بیرجند و خراسان جنوبی) نیز پرورش داد.

۵. تشکر و قدردانی

از همکاری های ارزشمند مسئولان محترم دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند به منظور فراهم کردن امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این تحقیق و سرکار خانم دکتر مریم فلاحی به جهت راهنمایی های لازم در کلیه مراحل تحقیق تشکر و قدردانی می شود.

یادداشت ها

1. Bold's Basal Medium
2. Thoma haemocytometer .

(Chiu, et al., 2008). این در حالی که در مطالعه حاضر در محیط کشت آب دریای شبیه سازی شده (با شوری بسیار بالاتر) این نرخ ها به $0.19/\text{day}^{-1}$ و 0.25 کاهش یافته است. نتایج تحقیق لم و لی (Lam and Lee, 2013) انطباق زیادی با نتایج این مطالعه در محیط کشت آب مقطر دارد (جدول ۳)، با این تفاوت که تولید زیست توده و نرخ تثبیت کربن در مطالعه حاضر بالاتر است، اما نرخ ویژه رشد در هر دو مطالعه در محیط شامل آب مقطر (با هدایت الکتریکی پایین) 0.15 (g/L/d) است.

نتایج آماری طبق آزمون توکی نشان داد که بین نرخ تولید زیست توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول ها در تیمارهای مختلف شوری آب اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بنابراین، شوری آب در میزان رشد و ترسیب کربن ریز جلبک کلرا وولگاریس تأثیر متفاوتی داشته است.

۴. نتیجه گیری

در مناطق خشک و نیمه خشک که منابع آب شیرین در آن و شرایط کشت گیاهان به دلیل کمبود منابع آب و اقلیم خشک این مناطق نیز محدود است، یکی از بهترین راهکارهای پیشنهادی پرورش جلبک ها در این منابع آبی است که ضمن تثبیت گازهای گلخانه ای (دی اکسید کربن) کاربردهای دیگری از جمله تولید سوخت تجدید پذیر و

منابع

- صلواتیان، م. ۱۳۸۲. «بررسی تأثیر غلظت های مختلف عناصر کلسیم و منیزیم بر میزان رشد و بیوماس جلبک سبز کلرلا وولگاریس»، پایان نامه کارشناسی، مرکز آموزش علمی - کاربردی میرزا کوچک خان رشت، صص ۸۱.
- صلواتیان، م.، فلاحی، م. ۱۳۸۴. «بررسی اثر غلظت های مختلف کلسیم بر میزان رشد و بیوماس جلبک سبز کلرلا وولگاریس»، مجله شیلات ایران، شماره ۱۴ (۱): صص ۷۹-۸۶.

Bacon, R.W., Bhattacharya, S. 2007. Growth and CO₂ emissions: how do different countries fare. Climate change series, paper no. 113. Washington DC: World Bank, Environment Department.

Chen, H.W., Yang, T.S., Chen, M.J., Chang, Y.C., Lin, C.Y. 2012. Application of power plant flue gas in a photobioreactor to grow Spirulina algae, and a bioactivity analysis of the algal water-soluble polysaccharides, *Bioresource Technology*. 120: pp. 256-263.

Chinnasamy, S., Ramakrishnan, B., Bhatnagar, A., Das, K.C. 2009. Biomass production potential of a wastewater Alga

- Chlorella vulgaris ARC 1 under elevated levels of CO₂ and temperature. *International Journal of Molecular Sciences*. 10: pp. 518–32.
- Chiu, S-Y., Kao, C-Y., Chen, C-H., Kuan, T-C., Ong, S-C., Lin, C-S. 2008. Reduction of CO₂ by a high-density culture of Chlorella sp. in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource Technology*. 99(9): pp. 3389–96.
- Culkin, F. 1965. The major constituents of seawater. In: (J.P. Riley and G. Skirrow, eds) *Chemical Oceanography*, 1st Ed., pp. 121-161. Academic Press
- Fan, L.H., Zhang, Y.T., Cheng, L.H., Zhang, L., Tang, D.S., Chen, H.L. 2007. Optimization of carbon dioxide fixation by Chlorella vulgaris cultivated in a membrane-photobioreactor. *Chemical Engineering and Technology*. 30: pp. 1094–1099.
- Francisco, É.C., Neves, D.B., Jacob-Lopes, E., Franco, T.T. 2010. Microalgae as feedstock for biodiesel production: carbon dioxide sequestration, lipid production and biofuel quality. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 85: pp. 395–403.
- Hirata, S., Hayashitani, M., Taya, M., Tone, S. 1996. Carbon dioxide fixation in batch culture of Chlorella sp. using a photobioreactor with a sunlight-collection device. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. 81(5): pp 470-472.
- Hu, Q., Richmond, A. 1996. Productivity and photosynthetic efficiency of Spirulina platensis as affected by light intensity, cell density and rate of mixing in a flat plate photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*. 8: pp. 139–145.
- Khan, S.A., Rashmi Hussain, M.Z., Prasad, S., Banerjee, U.C. 2009. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13: pp. 2361–2372.
- Kumar, K., Banerjee, D., Das, D. 2014. Carbon dioxide sequestration from industrial flue gas by Chlorella sorokiniana. *Bioresource Technology*. 152: pp. 225–33.
- Kumar, K., Das, D. 2012. Growth characteristics of Chlorella sorokiniana in airlift and bubble column photobioreactors. *Bioresource Technology*. 116: pp. 307–313.
- Lam, M.K., and Lee, K.T. 2013. Effect of carbon source towards the growth of Chlorella vulgaris for CO₂ bio-mitigation and biodiesel production. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 14: pp. 169–176.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 14: pp. 217–232.
- Olaizola, M. 2000. Commercial production of astaxanthin from Haematococcus pluvialis using 25,000 liter outdoor photobioreactors. *Journal of applied Phycology*. 12: pp. 499-506.
- Ramanan, R., Kannan, K., Deshkar, A., Yadav, R., Chakrabarti, T. 2010. Enhanced algal CO₂ sequestration through calcite deposition by Chlorella sp. and Spirulina platensis in a mini-raceway pond. *Bioresource Technology*. 101: pp. 2616–22.
- Sayadi, M.H., Ghatnekar, S. D., Kaviani, M. F. 2011. Algae a promising alternative for biofuel *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*. 1(2): pp.112-124.
- Stewart, C., and Hessami, M-A. 2005. A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. *Energy Conversion and Management*. 46: pp.403–20.
- Tang, D., Han, W., Li, P., Miao, X., Zhong, J. 2011. CO₂ biofixation and fatty acid composition of Scenedesmus obliquus and Chlorella pyrenoidosa in response to different CO₂ levels. *Bioresource Technology*. 102: pp. 3071–3076.
- Yang, C.-Y., Fang, Z., Li, B., Long, Y.-F. 2012. Review and prospects of Jatropha biodiesel industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: pp. 2178–2190.
- Yusuf, C. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25: pp. 294–306.