پتانسیل استفاده از بیوچار جلبک‌های ماکروسکوپی *Enteromorpha compressa* و *Ulva lactuca* در بهبود کیفیت آب‌وخاک

حسین مولایی و امیدوار فرهادیان*

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۶

چکیده

جلبک‌ها کاربردهای متنوع دارند و می‌توان از آنها بیوچار تولید نمود. در این مطالعه عملکرد تولید آزمایشگاهی بیوچار دو گونه جلبک ماکروسکوپی *Enteromorpha compressa* و *Ulva lactuca* جمع‌آوری شده از خلیج‌فارس بررسی گردید. تولید بیوچارها در دماهای مختلف، محیط بدون اکسیژن و بررسی خصوصیات بیوچارهای تولیدی با روش استاندارد آنالیز خاک آمریکا انجام گرفت. نتایج نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بر وزن، pH، EC، محتوای کربن آلی، نیتروژن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم بیوچار جلبک‌ها دارد. بیوچار *E. compressa* و *U. lactuca* به ترتیب دارای تغییرات محتوای کربن آلی از ۹/۱ تا ۱۸/۲۲ درصد و ۱۲/۱۴ تا ۲۱/۲۵ درصد، pH ۸/۰۴ تا ۱۱/۷۱ و ۸/۱۷ تا ۱۲/۰۹، محتوای خاکستر ۱۳/۵۴ تا ۲۸/۵۷ و ۲۲/۶۵ تا ۴۳/۵۷ درصد، نیتروژن ۲/۱ تا ۳/۳ و ۲/۷ تا ۴/۱ درصد، پتاسیم ۷۳۲۳ تا ۸۸۳۱ و ۴۶۷۵ تا ۷۹۳۳ میلی اکی‌والان بر لیتر، سدیم ۲۶۴۸۵ تا ۳۳۵۳۱ و ۷۹۷۷ تا ۱۳۴۴۵ میلی اکی‌والان بر لیتر، کلسیم ۲۰تا ۱۶ و ۲۰تا ۳۲ میلی اکی‌والان بر لیتر و منیزیم ۱۷۲ تا ۴۸ و ۴۴۰ تا ۱۲ میلی اکی‌والان بر لیتر بودند. بنابراین بیوچار جلبک‌های ماکروسکوپی دارای مواد مغذی است که می‌تواند به‌منظور بهبود کیفیت خاک بطور مستقیم به خاک اضافه شود و سبب بهره‌وری بیشتر محصول گردد. علاوه براین بیوچار جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* را می‌توان در اصلاح خاک‌های اسیدی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، جلبک‌های ماکروسکوپی، *Enteromorpha compressa*، *Ulva lactuca*

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۲۹۱۸۰۶۶ ، پست الکترونیکی: omfarhad@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جلبک‌ها موجودات فتوسنتز کننده‌ای هستند که ازنظر اکولوژیک و اقتصادی کاربردهای متنوعی دارند. رشد سریع (۱۸) و قابلیت ذخیره مواد غذایی مثل فسفر و نیتروژن (۲۱) و جذب فلزات سنگین این موجودات را برای تصفیه محیط‌های آبی بسیار مناسب می‌سازد (۱۶). ازجمله کاربردهای جلبک‌ها می‌توان به تولید انرژی، زی-توده غذایی برای حیوانات و انسان، تولیدات دارویی، تولید سوخت زیستی، تصفیه آب و تولید بیوچار اشاره کرد (۶، ۱۱و ۲۹).

جلبک‌ها تنوع قابل‌توجهی در ساختار و شیمی دیواره سلولی خود دارند. دیواره سلولی جلبک‌ها حاوی گروه‌های عاملی مختلفی مثل هیدروکسیل، فسفوریل، آمین، کربوکسیل و سولفیدریل هستند و ترکیبات آلاینده می‌توانند از طریق این گروه‌ها به سطح سلول اتصال یابند (۲۵). جلبک‌های سبز به دلیل رشد سریع در محیط‌های غنی از مواد معدنی و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی زی‌توده زیادی تولید می‌کنند (۲۳) که برای کاربردهای متنوع ازجمله تولید بیوچار مناسب هستند. جلبک‌های دریایی گروه بزرگی را تشکیل می‌دهد که ازجمله رایج‌ترین این

جلبک‌ها می‌توان به *Cladophora*، *Chaetomorpha*، *Ulva*، *Hypnea* و *Enteromorpha* اشاره کرد (۲و ۱۷).

جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* از جلبک‌های شاخه Chlorophyta و خانواده Ulvaceae هستند که در سواحل جنوب ایران یافت می‌شوند (۷ و ۲۸) این جلبک‌ها به دلیل عدم نیاز به خاک زراعی و مواد غذایی زیاد ازنظر اقتصادی برای تولید بیوچار مقرون به‌صرفه هستند (۲ و ۱۷).

بیوچار از طریق سوزاندن زی‌توده در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن خیلی کم به دست می‌آید (۱۹). اضافه کردن بیوچار به خاک موجب افزایش نگه داشت آب و مواد غذایی، کم کردن نیاز به کود و افزایش دسترس‌پذیری مواد غذایی برای رشد زی‌توده می‌شود. بیوچار دارای سطحی با خلل و فرج زیاد و سطح ویژه بالا است که برای پالایش و جذب آلاینده‌ها از محیط‌های آبی کارایی بالایی دارد (۱، ۳ و ۱۵).

بیوچار تولید شده از جلبک‌ها دارای نیتروژن و مواد غیر آلی قابل استخراجی مثل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بالا است (۶ و ۲۷). بیرد و همکاران (۲۰۱۱) اطلاعات پایه‌ای فیزیکوشیمیایی و پتانسیل استفاده از ۸ گونه جلبک دریایی را ارائه دادند. آن‌ها گزارش دادند که بیوچارهای تولید شده محتوای کربن و مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی کمی داشته اما pH، خاکستر، نیتروژن و مواد غیرآلی مثل پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم بالایی دارند (۵). Bird و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر و کاربردهای جلبک‌های دریایی را به‌عنوان کود در خاک برای تولید زی‌توده گیاهی مورد بررسی قراردادند و بیان کردند که بیوچار جلبکی تأثیر معناداری بر میزان زی-توده گیاهی دارد (۶).

هدف از این مطالعه تولید، مشخصه یابی و معرفی بیوچار جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* برای اهداف مدیریت زیست‌محیطی مثل تصفیه آب و فاضلاب و بهبود خاک‌های فقیر و اسیدی است باتوجه به کمبود و نبود اطلاعات تحقیقی در خصوص این دو گونه جلبک ماکروسکوپی به‌عنوان بیوچار آن‌ها می‌توانند منبع مناسب و به‌صرفه برای انواع کاربردها باشند.

مواد و روشها

تهیه زی‌توده جلبکی: دو گونه جلبکی *E. compressa* و *U. lactuca* برای تولید بیوچار انتخاب شد. جلبک‌ها از خلیج‌فارس، جزیره قشم، به‌طرف درگهان، از منطقه بین کشندی، از موقعیت‌های جغرافیایی″۳۲ ′۵۷º ۲۶ شمالی و ″۲۷ ′۰۲ ۵۶º شرقی و ″۲۶ ′۵۷ º ۲۶ شمالی و ″۴۳ ′۰۱ º ۵۶ شرقی در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۲ جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. گونه‌های جلبکی با استفاده از کلید شناسایی کویت شناسایی شد. پس از شناسایی گونه‌ها با آب مقطر شسته شد و به‌منظور خشک‌کردن به مدت یک هفته در محیط آزمایشگاه به‌صورت هوا خشک نگهداری گردید. نمونه‌های خشک‌شده در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرارگرفت. سپس نمونه‌ها آسیاب گردیده و از الک ۲۰۰ میکرون عبور داده شد تا اندازه دانه‌ها همگن شود (۱۳).

شرایط اولیه پیرولیز: آزمایش‌های پیرولیز در دمای ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با روند افزایش دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بازمان انکوبات ۶۰ دقیقه، با مقدار اولیه ۱۵ گرم نمونه با استفاده از ظروف استیل در کوره پیرولیز تحت گاز نیتروژن مایع با شدت جریان ۱ لیتر در دقیقه انجام گردید (۸). پودر هر نمونه جلبکی درون ظرف‌های استیل دربسته ریخته شد و در کوره پیرولیز قرارگرفت و دستگاه در دمای ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در هر نوبت تنظیم شد و در هر مرحله پس از رسیدن دمای دستگاه به دمای موردنظر پس از ۶۰ دقیقه دستگاه را خاموش کرده و پس از پایین آمدن دما بیوچارهای تولیدشده از دستگاه خارج و وزن آن‌ها اندازه-گیری گردید. برای اطمینان از شرایط تولید و دقت دستگاه آزمایش تولید بیوچار با سه تکرار در هر دما انجام شد.

مشخصه یابی بیوچار: برای به دست آوردن خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوچارهای تولید شده طیف وسیعی از آزمایش‌ها با استفاده روش استاندارد آنالیز خاک آمریکا روی بیوچارهای تولیدشده انجام گرفت (۱۰). pH و ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌ها با تهیه عصاره بیوچارهای جلبکی با نسبت ۱گرم از بیوچار در ۱۰ میلی‌لیتر آب به دست آمد. کربن آلی، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون، نیتروژن با روش کلدال، سدیم و پتاسیم با نورسنجی شعله اندازه‌گیری شد (۱۴).

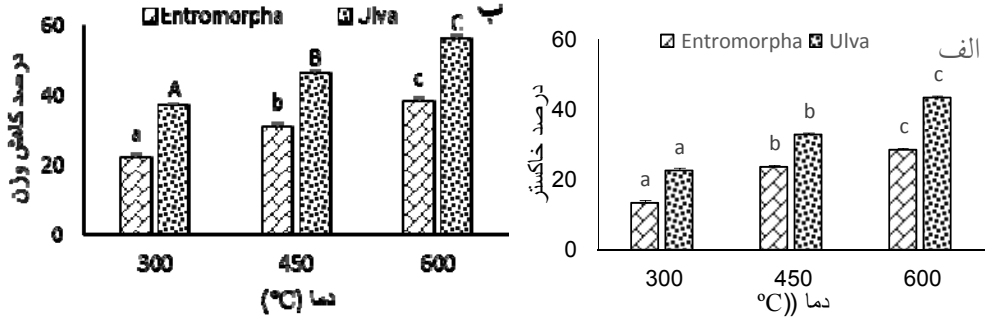
آنالیز و تجزیه تحلیل آماری: آنالیزهای آماری با استفاده از Minitab 16 انجام شد. برای مقایسه اختلاف بین گروه‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه با آزمون مقایسه میانگین توکی در سطح ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکو شیمیایی بیوچار جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* در جدول ۱ ارائه شده است. وزن نمونه‌های جلبکی پس از انجام پیرولیز کاهش یافت. شکل ۱ تغییرات وزن و میزان خاکستر بیوچارهای تولید شده را با افزایش دما نشان می‌دهد. دما تأثیر معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بر وزن بیوچارهای تولیدی داشت. هر دو گونه جلبکی دارای کارایی خوبی ازنظر وزن بیوچارهای تولیدی جهت مدیریت زیست‌محیطی بودند. در دماهای پایین تولید بیوچار تراکم ترکیبات آلیفاتیک و میزان تولید H_2، متان و منواکسید کربن کاهش پیدا می‌کند که ازنظر زیست‌محیطی قابل‌توجه است و در دماهای بالا به دلیل آب‌زدایی شدن و تخریب ترکیبات لیگنو سلولزی وزن بیوچار کاهش می‌یابد (۲۲). بیوچار تولیدی جلبک *E. compressa* نسبت به *U. lactuca* کارایی بهتر و افت وزنی کمتری را نشان داد.

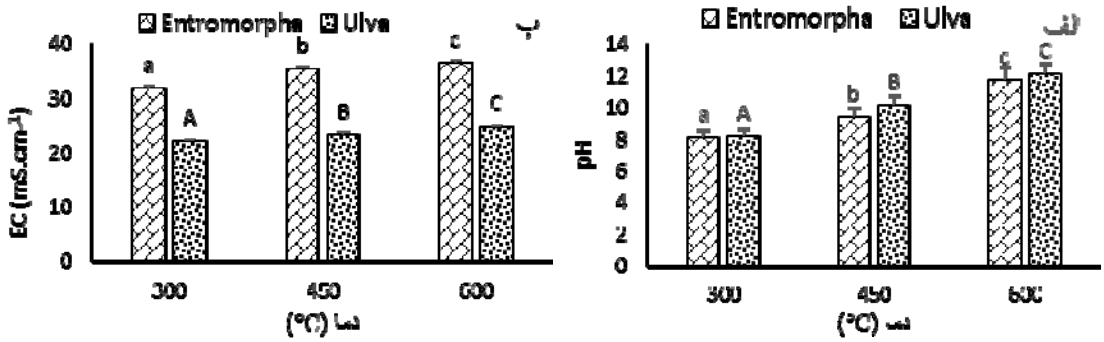
جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی بیوچار جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* در دماهای مختلف مورد آزمایش.

گونه	واحد	*Enteromorpha compressa*			*Ulva lactuca*		
دمای پیرولیز	ºC	۳۰۰	۴۵۰	۶۰۰	۳۰۰	۴۵۰	۶۰۰
وزن اولیه	g	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
وزن ثانویه	g	۱۱/۶۸	۱۰/۲۵	۹/۳	۹/۴۲	۷/۹۹	۶/۵
کاهش وزن	درصد	۲۲	۳۱	۳۸	۳۷	۴۶	**۵۶**
محتوای خاکستر	درصد	۱۳/۵۴	۲۳/۷۸	۲۸/۵۷	۲۲/۶۵	۳۲/۹۲	۴۳/۵۷
pH	-	۸/۰۴	۹/۳۴	۱۱/۷۱	۸/۱۷	۱۰/۰۹	۱۲/۰۹
EC	$mS.cm^{-1}$	۳۱/۷	۳۵/۲	۳۶/۴	۲۲	۲۳/۲	۲۴/۶
کربن آلی	درصد	۹/۱	۱۲/۱۴	۱۸/۲۲	۱۲/۱۴	۱۶/۱۹	۲۱/۲۵
نیتروژن	درصد	۲/۱	۲/۶	۳/۳	۲/۷	۳/۴	۴/۱
نسبت C: N	-	۴/۳۳	۴/۶۷	۵/۵۲	۴/۴۹	۴/۷۶	۵/۱۸
Ca	me/L	۲۰	۱۶	۱۲	۲۰	۲۴	۳۲
Mg	me/L	۱۷۲	۱۰۴	۴۸	۴۴۰	۴۵۶	۱۲
Mg + Ca	me/L	۱۹۲	۱۲۰	۶۰	۴۶۰	۴۸۰	۴۴
K	me/L	۷۳۲۳	۷۳۳۴	۸۸۳۱	۴۶۷۵	۷۸۵۳	۷۹۳۳
Na	me/L	۲۶۴۸۵	۹۱۳۵	۳۳۵۳۱	۷۹۷۷	۲۸۴۴۵	۱۳۸۶۳



شکل ۱- میانگین (±خطای استاندارد) درصد کاهش وزن و خاکستر بیوچارهای جلبک *E. compressa* و *U. lactuca* در دماهای مختلف. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف آماری مشابه در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

شکل۲ تأثیر دمای پیرولیز را بر pH و EC (نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب) در سطح ۹۵ درصد نشان می‌دهد. با افزایش دما میزان pH به‌طور معنی‌داری افزایش‌یافته است. افزایش pH با افزایش دما را می‌توان به افزایش میزان خاکستر و افزایش قلیائیت نسبت داد. دراین مطالعه pH بیوچارهای جلبکی نسبتاً بالا بود که قابلیت استفاده از این بیوچارها را به‌عنوان مکمل خوب برای خاک‌های اسیدی نشان می‌دهد (۲۸). مقدار EC نیز با افزایش دما افزایش پیدا کرد و این مقدار برای بیوچار جلبک *E. compressa* بالاتر از *U. lactuca* بود. هنگامی که ترکیبی با EC بالا به خاک اعمال می‌شود، ممکن است شوری خاک را افزایش دهد و اثرات نامطلوبی بر گیاهان بگذارد که می‌تواند به لحاظ پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک درنتیجه استرس آبی، اثرات یون خاص درنتیجه تنش شوری و هم‌چنین عدم تعادل مواد مغذی باشد (۱۲).

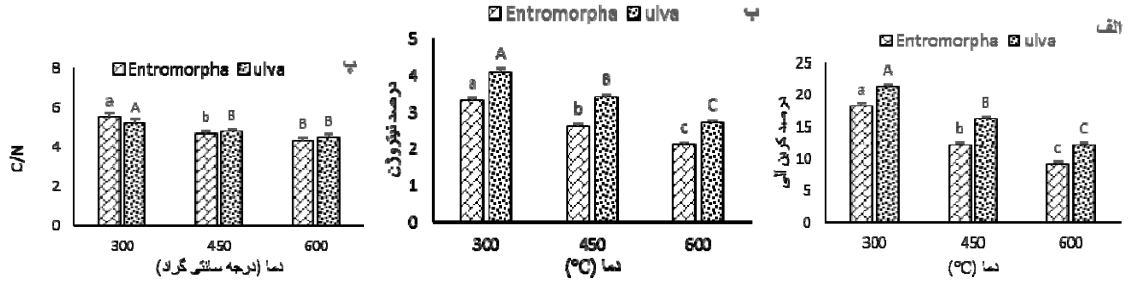


شکل ۲- میانگین (±خطای استاندارد) تغییرات pH (الف) و میزان EC (ب) بیوچارهای جلبک *E. compressa* و *U. lactuca* در دماهای مختلف. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف آماری مشابه در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند

بیوچارهای تولید شده دارای محتوای کربن پایینی بود و با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ تا ۶۰۰ محتوای کربن و نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن (C:N) افزایش معنی-داری را نشان داد($P\leq$۰/۰۵) (شکل ۳). نتایج مشابهی در مطالعات صورت گرفته توسط رینود و لونگ–وان (۲۰۰۶) به دست آمد (۲۴). این‌یک خاصیت طبیعی برای مواد در اثر تجزیه حرارتی است که گروه‌های عملکردی مثل OH– و C را در پیوند با O براثر تخریب از دست می‌دهند و با افزایش درجه حرارت این موضوع تشدید می‌شود و باعث پایین آمدن محتوای کربن آلی و نیتروژن می‌شود (۲۶).

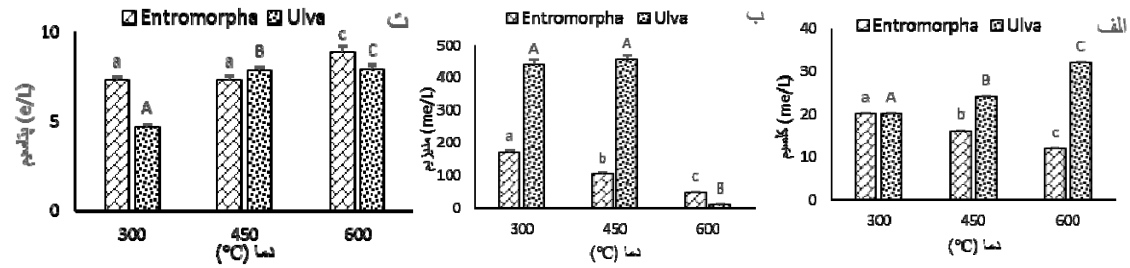
بیوچارهای تولیدی دارای محتوای Ca، Mg، K و Na بالایی بودند. با افزایش دمای پیرولیز کلسیم و منیزیم در

جلبک *E. compressa* کاهش داشت در حالی‌که در جلبک *U. lactuca* مقدار کلسیم روند افزایشی و مقدار منیزیم روند کاهشی داشت. مقدار پتاسیم و سدیم در هر دو گونه جلبکی روند افزایشی را نشان داد (شکل ۴). تغییرات کلسیم و منیزیم را می‌توان به مقدار سختی آب محل رشد گونه‌های جلبکی نسبت داد که با افزایش مقدار سختی آب میزان ذخیره عناصر منیزیم و کلسیم نیز در بافت‌های جلبک افزایش پیدا می‌کند. کاهش مقدار عناصر با افزایش دما را می‌توان به فراریت مقداری از این عناصر با افزایش دما نسبت داد که برای هرگونه جلبکی با توجه به بافت خاص آن گونه مقدار این تغییرات با افزایش دمای پیرولیز متفاوت بود (۴). مقادیر بالای عناصر ریزمغذی در بیوچارهای جلبکی آن‌ها را به‌عنوان یک مکمل بهبود دهنده خاک ازنظر افزایش عناصر ریزمغذی خاک تبدیل نموده است (۹).

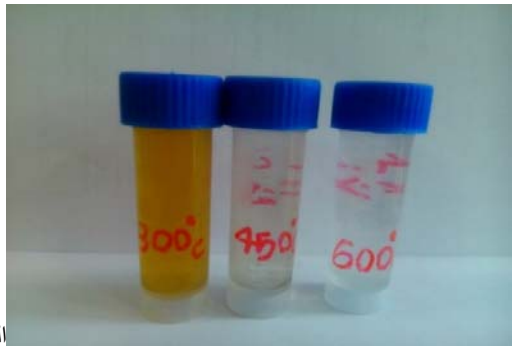


شکل ۳- میانگین (±خطای استاندارد) تغییرات محتوای کربن آلی (الف)، نیتروژن (ب) و نسبت کربن به نیتروژن (پ) بیوچارهای جلبک *E. compressa* و *U. lactuca* در دماهای مختلف. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف آماری مشابه در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

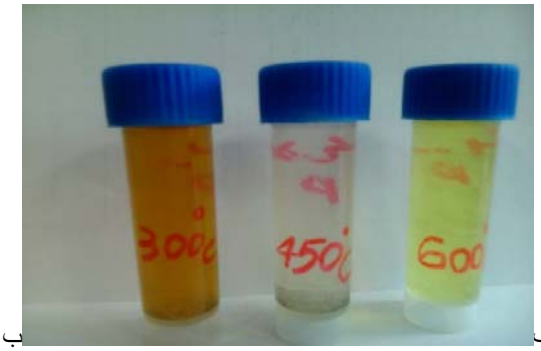
تغییرات رنگ عصاره (۱:۱۰ بیوچار به آب مقطر) بیوچارهای جلبکی در شکل ۵ نشان داده‌شده است. رنگ عصاره (۱:۱۰ بیوچار به آب مقطر) بیوچار جلبک *E. compressa* با افزایش دما از ۳۰۰ به ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد از قهوه‌ای به بی‌رنگ و سپس با افزایش بیشتر دما تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به رنگ سبز روشن تغییر پیدا کرد. جلبک *U. lactuca* از قهوه‌ای به بی‌رنگ تغییرات داشت. که علت این تغییر رنگ تجزیه بیشتر ترکیبات آلی و تغییر مقادیر انواع عناصر و خاکستر است. این بی‌رنگی برای بیوچارهای تولید شده در دماهای بالا آن‌ها را برای استفاده در تصفیه آب به‌عنوان جاذب انواع ترکیبات آلی و غیر آلی مناسب می‌سازد زیرا یکی از عوامل مؤثر در کارایی جاذب عدم رنگ دهی آن در فرایند تصفیه است (۱ و ۳).



شکل۴- میانگین (±خطای استاندارد) تغییرات مقدار عناصر منیزیم (الف)، کلسیم (ب)، سدیم (پ) و پتاسیم (ت) بیوچارهای جلبک *E. compressa* و *U. lactuca* در دماهای مختلف. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف آماری مشابه در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.



الف



ب

شکل ۵- تغییرات رنگ عصاره بیوچارهای جلبک *E. compressa* (الف) و *U. lactuca* (ب) با افزایش دما.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که بیوچار مشتق شده از جلبک‌های *E. compressa* و *U. lactuca* دارای خواصی است که برای بهبود خاک و ترسیب کربن در درازمدت مناسب است. بیوچار جلبک، به‌دست‌آمده از فاضلاب تصفیه‌شده آبزی‌پروری، کشاورزی، آبراهه‌های طبیعی پر غذا شده یا منابع آب‌شور می‌تواند یک درآمد قابل‌توجه از طریق تولید انرژی، ترسیب کربن خاک، بهبود دهنده خاک و تولید کود فراهم نماید. مطالعات بیشتری در مورد تأثیر بیوچار جلبک بر خواص خاک و استفاده به‌عنوان جاذب برای تصفیه انواع ترکیبات توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل فراهم آوردن امکانات انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

۱- جعفری، ن.، و احمدی اسبچین، س.، ۱۳۹۳. جذب سطحی فلزهای کادمیوم و سرب از محلولهای آبی به‌وسیله بیومس جلبک قهوه‌ای سیستوسرا ایندیکا. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحات ۲۳- ۳۱.

۲- سرگزی، ف.، ریاحی، ح.، و شیدایی، م.، ۱۳۹۵. ریخت‌شناسی، تشریح و تنوع ریختی جنس *Hypnea* در سواحل خلیج‌فارس، مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحات ۵۲۲- ۵۳۱.

3- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., and Ok, Y. S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere* 99, PP: 19-33.

4- Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., El-Naggar, A. H., Nadeem, M., and Usman, A. R. A., 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresource Technology* 131, PP: 374-379.

5- Bird, M. I., Wurster, C. M., Silva, P. H., Bass, A. M., and Nys, R. D., 2011. Algal biochar – production and properties. *Bioresource Technology* 102, PP: 1886-1891.

6- Bird, M., Wurster, C., Ulasilva, P. D., Paul, N., and Nys, R. D., 2012. Algal biochar: effects and applications. *GCB Bioenergy* 4, PP: 61-69.

7- Blomster, J., Back, S., Fewer, D. P., Kiirikki, M., Lehvo, A., Maggs, C. A., and Stanhope, M. J., 2002. Novel morphology in Enteromorpha (Ulvophyceae) forming green tides. *American Journal of Botany* 89, PP: 1756-1763.

8- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., and Ro, K. S., 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107, PP: 419-428.

9- Cayuela, M. L., Van Zwieten, L., Singh, B. P., Jeffery, S., Roig, A., and Sánchez-Monedero, M. A., 2014. Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-

analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 191, PP: 5-16.

10- Charles, A., 1965. Dedication. It is truly fitting that Methods of Soil Analysis, Second Edition. Black was editor-in-chief Part 1.

11- Converti, A., Casazza, A. A., Ortiz, E. Y., Perego, P., and Del Borghi, M., 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of Nannochloropsis oculata and Chlorella vulgaris for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 48, PP: 1146-1151.

12- del Martínez-Ballesta, M. C., Silva, C., López-Berenguer, C., Cabañero, F. J., and Carvajal, M., 2006. Plant Aquaporins: New Perspectives on Water and Nutrient Uptake in Saline Environment. *Plant Biology* 8, PP: 535-546.

13- El-Sikaily, A., Nemr, A. E., Khaled, A., and Abdelwehab, O., 2007. Removal of toxic chromium from wastewater using green alga Ulva lactuca and its activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 148, PP: 216-228.

14- Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., Zimmerman, A. R., 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 101, PP: 8868-8872.

15- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., and Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43, PP: 1812-1836.

16- Lobban, C. S., and Harrison, P. J., 1994. Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0521403340.

17- Lui, D. Y., Keesing, J. K., Xing, Q. G., and Shi, P., 2009. World's largest macroalgal bloom caused by the expansion of seaweed aquaculture in China. *Marine Pollution Bulletin* 58, PP: 888-895.

18- Mata, T. M., Martins, A. A., and Caetano, N. S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, PP: 217-232.

19- Mimmo, T., Panzacchi, P., Baratieri, M., Davies, C. A., and Tonon, G., 2014. Effect of pyrolysis temperature on miscanthus (Miscanthus × giganteus) biochar physical, chemical and functional properties. *Biomass and Bioenergy* 62, PP: 149-157.

20- Nelson, T. A., Haberlin, K., Nelson, A. V., Ribarch, H., Hotchkiss, R., Van Alstyne, K. L., Buckingham, L., Simunds, D. J., and Fredrickson, K., 2008. Ecological and physiological controls on species composition in green macroalgal blooms. *Ecology* 89, PP: 1287-1298.

21- Neori, A., Msuya, F. E., Shauli, L., Schuenhoff, A., Kopel, F., and Shpigel, M., 2003. A novel three-stage seaweed (Ulva lactuca) biofilter design for integrated mariculture. *Journal of Applied Phycology* 15, PP: 543-553.

22- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D. W., and Busscher, W. J., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3, PP: 195-206.

23- Pang, S. J., Lui, F., Shan, T. F., Xu, N., Zhang, Z. H., Gao, S. Q., Chopin, T., and Sun, S., 2010. Tracking the algal origin of the Ulva bloom in the Yellow Sea by a combination of molecular, morphological and physiological analyses. *Marine Environmental Research* 69, PP: 207-215.

24- Renaud, S., and Luong-Van, J. T., 2006. Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. *Journal of Applied Phycology* 18, PP: 381-387.

25- Romera, E., Gonzalez, F., Ballester, A., Blazquez, M., and Munoz, J. A., 2007. Biosorption with algae: a statistical review. *Critical reviewes Biotechnology* 26, PP: 223-235.

26- Ross, A. B., Jones, J. M., Kubacki, M. L., and Bridgeman, T., 2008. Classification of macroalgae as fuel and its thermochemical behaviour. *Bioresource Technology* 99, PP: 6494-6504.

27- Ruperez, P., 2002. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry* 79, PP: 23-26.

28- Sohrabipour, J., Nejadsatari, T., Assadi, M., and Rabei, R., 2004. The marine algae of the southern coast of Iran, Persian Gulf, Lengeh

area. *The Iranian Journal of Botany* 10, PP: 83-93.

29- Wu, L. F., Chen, P. C., Huang, A. P., and Lee, C. M., 2012. The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater. *Bioresource Technology* 113, PP: 14-18.

30- Yuan, J., Xu, R., and Zhang, H., 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource Technology* 102, PP: 3488-3497.

Potential Use of Macroalgal Biochar of *Enteromorpha compressa* and *Ulva lactuca* for Improvement of Water and Soil

Hosein Mollaei[1] and Omidvar Farhadian[2]

Dept. Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. Iran

Abstract

Algae have various applications and may use to biochar production. In this study, laboratory biochar production of two macroalgae of *Enteromorpha compressa* and *Ulva lactuca* collected from Persian Gulf were investigated. Biochar production was performed at different temperature without oxygen. The characters of obtained biochar were determined by standard methods. Results showed that the temperature had significant effect ($P<0.05$) on weight, pH, organic carbon content, N, Ca, Mg, Na and K of macroalgal biochars. The biochar of *E. compressa* and *U. lactuca* had, respectively, 13.54 -28.57 % and 22.65-43.75 % ash weight; 8.04-11.71 and 8.17-12.09 pH; 9.1-18.22 % and 12.14-21.25 % organic carbon; 2.1-3.3 % and 2.7-4.1 % N; 16-20 and 20-32 meq/l Ca; 48-172 and 12-440 meq/l Mg; 26485-33531 and 7977-13445 meq/l Na; 7323-8831 and 4675-7933 meq/l K, respectively. The macroalgae biochar have different nutrients that could be used for improvement of soil and increasing of yield of production. In addition, biochar of *E. compressa* and *U. lactuca* may use for improvement of acidic soils.

Key words: Biochar, Macroalgae, *Enteromorpha compressa*, *Ulva lactuca*