

پتانسیل ماکرو جلبک‌های دریایی سواحل جنوبی ایران، به عنوان پالایشگاه تولید سوخت‌های زیستی پاک

سکینه مشجور^{۱*}، علی شهریاری^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۲ گروه بیوشیمی و زیست‌شناسی مولکولی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

وجود زی‌توده عظیم و متنوعی از ماکرو جلبک‌ها در سواحل و بنادر جنوبی کشور (آب‌های دریایی خلیج فارس و دریای عمان) بالغ بر ۱۶۷ گونه جلبک قرمز، ۷۹ گونه جلبک سبز و ۸۰ گونه جلبک قهوه‌ای، چشم انداز امیدبخشی از پتانسیل استحصال سوخت‌های زیستی از ماکرو جلبک‌های دریایی خلیج فارس و تولید فاز قدرتمندی از انرژی‌های پاک را در فراسوی تحقیقات بنیادین کشور قرار می‌دهد که در مقاله حاضر روش‌های تولیدی آن تفسیر شده است. این جلبک‌های دریایی بالاخص در فصول بلوم با تولید زی‌توده‌ای بس وزین، جز مواردی چند مصارف محلی، عمدتاً بر سواحل بلا استفاده رها می‌شوند، حال آنکه زی‌توده این جلبک‌ها مشتمل بر سه ترکیب مهم پروتئین، کربوهیدرات و لیپید است. وجود مقادیر بالاتر از ۴۰٪ اسیدهای چرب در برخی از این جلبک‌ها می‌تواند آن‌ها را به منابعی برای استحصال روغن تبدیل کند و به کمک فرآیندهای بیوشیمیایی/ترموشیمیایی/تخمیر میکروبی که توان استحصال و بهره‌وری از کل محتوای کربنه جلبک‌ها را به منظور تولید سوختی ایمن در مقیاس صنعتی فراهم می‌آورند، به راحتی می‌توان این ترکیبات جلبکی را به انواع مختلفی از سوخت‌های زیستی چون، بیودیزل، بیوروغن، بیوگاز، بیوهیدروژن، بیواتانول، بیوبتانول، متان و ذغال تبدیل نمود.

کلمات کلیدی: بیودیزل، سوخت زیستی، ماکرو جلبک، اسیدهای چرب، سواحل جنوبی ایران.

* نویسنده مسئول: sakynemashjoor@gmail.com

مقدمه

سواحل جنوبی ایران با داشتن مرزهای مشترک و گسترده با آب‌های دریایی خلیج فارس و دریای عمان از ظرفیت زیستی ارزشمندی برخوردارند به نحوی که بنا بر گزارشات منتشر شده در سال‌های اخیر بالغ بر ۳۴۷ گونه از انواع جلبک‌ها از سواحل دریایی جنوب کشور شناسایی شده که شامل ۱۶۷ گونه جلبک قرمز، ۷۹ گونه جلبک سبز و ۸۰ گونه جلبک قهوه ای بوده است (شکل ۱). برخی از انواع این جلبک‌ها ارزش اقتصادی داشته و واجد ظرفیت تولیدی بالایی برای استحصال اقتصادی- تجاری هستند (سهرابی پور و ربیعی، ۱۳۹۶). جلبک‌های قرمز آگاروفیت و کارازینوفیت از خانواده Rhodomelaceae، Gracilariaceae و Hypneaceae در منطقه چابهار در استان سیستان و بلوچستان با زی‌توده‌ای بالغ بر ۸۶۵/۲ تن (پیک رشد فصل زمستان، جنس غالب *Gracilaria* (قرنجیک و همکاران، ۱۳۹۰)، جلبک‌های قهوه ای آلژینوفیت بالغ بر ۱۲ گونه با بیشترین میزان زی‌توده (۶۶۲۵/۲۵۸ گرم در مترمربع) گزارش شده (پیک رشد فصل تابستان، جنس غالب *Cystoseira*) در استان بوشهر (صائب مهر و همکاران، ۱۳۹۴؛ داداللهی سهراب، ۱۳۹۱)، جلبک‌های قهوه‌ای آلژینوفیت از خانواده Sargassaceae با زی‌توده‌ای بالغ بر ۲۶/۷۴ تن (پیک رشد فصل پاییز، جنس غالب *Sargasum*) در استان سیستان و بلوچستان (قرنجیک، ۱۳۸۷) و جلبک‌های سبز با خواص دارویی- بهداشتی از خانواده Ulvophyceae با بیشینه زی‌توده (۹۶۲۵/۱۲۶ گرم در مترمربع) گزارش شده (پیک رشد فصل زمستان، جنس غالب *Ulva*) (*Enteromorpha*) در استان بوشهر (صائب مهر و همکاران، ۱۳۹۴).

امروزه از نقطه نظر اقتصادی، اکولوژیکی و زیست‌محیطی ذخایر فسیلی منابعی ناپایدار و چالش برانگیز محسوب می‌شوند (Bender, 2000). سوزاندن سوخت‌های فسیلی یکی از بزرگترین عوامل موثر در افزایش سطوح گازهای گلخانه ای (GHG¹) نظیر CO₂ در اتمسفر بوده است

(Kamm et al., 2006)، که در دهه‌های اخیر ارتباط مستقیمی با پدیده گرم شدن جهانی داشته است. از طرفی اثرات سوء انتشار گازهای گلخانه ای به محیط‌زیست به همراه کاهش ذخایر نفتی، از جمله مواردی است که ضرورت تولید و بهره برداری از منابع انرژی تجدید پذیر (Renewable)، پایدار (Sustainable) و زیست تجزیه پذیر (Biodegradable) دیگر را در اقتصاد صنعتی و جوامع مصرفی بسیار حائز اهمیت ساخته است (Mabee et al., 2005) از این رو به منظور کاهش انتشار کربن و تعدیل روند کاهشی ذخایر فسیلی نظیر نفت خام و سوخت‌های مایع در دهه‌های اخیر تلاش‌های محققین عمدتاً معطوف به یافتن منابع انرژی دیگری نظیر سوخت‌های زیستی (Biofuels) مبتنی بر مواد گیاهی، شناسایی و بهره برداری از آنها شده است (Scott et al., 2010)، زیرا تنها راه حل ممکن برای غلبه بر چنین بحرانی، یافتن منابع انرژی دیگری است که پایدار و تجدیدپذیر بوده و صرفه اقتصادی داشته باشد (Yusuf et al., 2011). برای این منظور منابع جایگزین متعددی نظیر باد، انرژی خورشیدی، زمین گرمایی (Geothermal)، زی‌توده یا زیست‌توده معرفی شدند که جز نخستین گزینه‌های پیش رو برای جایگزینی و معرفی یک منبع انرژی پایدار بوده اند. اما تعداد کمی از این موارد فوق ذکر می‌توانند علاوه بر پایداری، صرفه اقتصادی نیز داشته باشند، لذا تنها گزینه‌ای که به نوعی هر دو وجه را در بر می‌گیرد، سوخت‌های زیستی هستند بویژه گزینه‌هایی که دسترسی به زیست‌توده و مواد اولیه آن به راحتی امکان پذیر باشد (Yusuf et al., 2011).

سوخت‌های زیستی می‌توانند در برگیرنده سوخت‌های زیستی مایع و یا گازی باشند که از انواع مختلفی از مواد خام زیستی (Biofeedstocks) قابل تولید و بهره‌برداری هستند. مواد خام زیستی یا زیست‌توده (زی‌توده) خود مشتمل بر تمامی مواد گیاهی است که می‌توانند عمل فتوسنتز انجام دهند. از این رو منابعی از انرژی بوده که پایدار، زیست سازگار و تجدیدپذیرند و با ماهیت کربنه برای یک چرخه کامل کربن در اکوسیستم جز ترکیبات

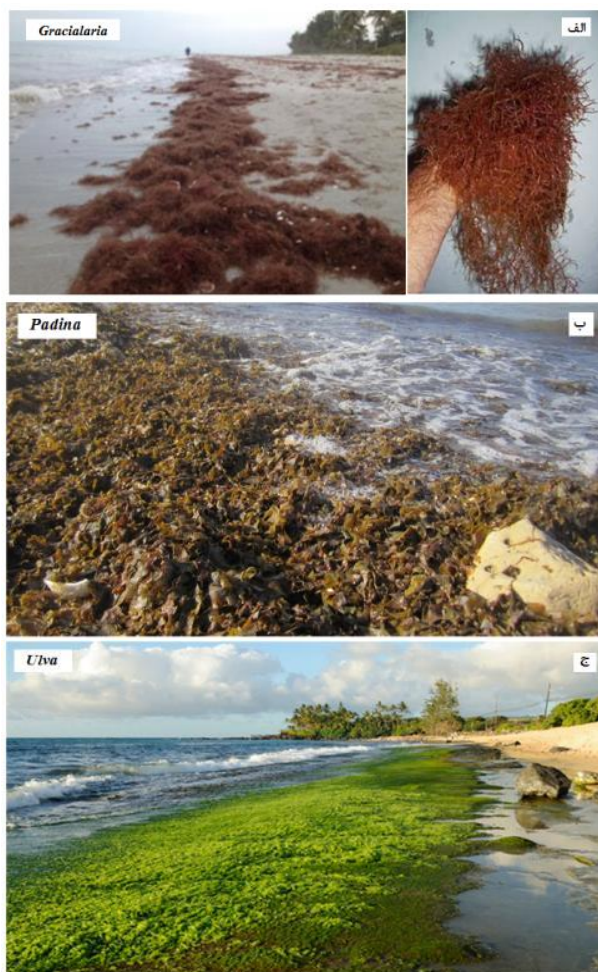
Green House Gas-¹

سوخت‌های زیستی متعددی چون بیواتانول، بیومتانول، بیودیزل و بیوهیدروژن گزینه‌های جذابی برای آینده صنایع حمل و نقل محسوب می‌شوند و به نظر می‌رسد این تلاش در جهت تولید سوخت‌های زیستی در چند دهه آینده کاملاً فراگیر شود (Wen et al., 2009)، زیرا انرژی استحصالی از زیست‌توده یک منبع عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شود که می‌تواند نماینده ۱۰/۴٪ از کل منابع اولیه انرژی جهانی بوده و یا ۷۷/۴٪ از کل ذخایر تجدیدپذیر منابع انرژی را پوشش دهد (Carlos and Khang, 2011). در حال حاضر برخی کشورها نظیر برزیل، آمریکا، آلمان، استرالیا، ایتالیا و اتریش سوخت‌های زیستی نظیر بیواتانول و بیودیزل را تولید و بهره‌برداری نموده‌اند (Suganya et al., 2016)، به نحوی که نرخ رشد تولید جهانی بیودیزل توانسته از ۴/۵ بیلیون گالن در سال ۲۰۰۰ به ۱۶ بیلیون در سال ۲۰۰۷ دست یابد، اما هنوز تنها کمتر از ۳٪ سوخت لازم برای حمل و نقل جهانی را تامین نموده است (Haas et al., 2006).

نسل اول از سوخت‌های زیستی

نسل اول از سوخت‌های زیستی بیشتر مبتنی بر تولید سوخت‌هایی چون بیودیزل (بیواسترها)، بیواتانول و بیوگاز بوده است که مشخصه ویژه همگی آن‌ها توانایی‌شان در الحاق با سوخت‌هایی با منشأ نفتی است (Naik et al., 2010)، لذا توان سوزاندن در موتورهای احتراقی و انواع آن را دارند. امروزه تولید نسل اول از سوخت‌های زیستی با تولیدی برابر با ۵۰ بیلیون لیتر در سال تجاری‌سازی شده است. سوخت مشابه دیگر نیز نظیر بیوگاز امروزه از تیمارهای غیرهوازی کودهای کشاورزی و یا دیگر مواد زیست توده‌ای عمدتاً تولید شده با این وجود حجم تولیدی آن برای مصارف حمل و نقلی هنوز پائین است (<http://www.shell.com>).

دوستدار محیط زیست محسوب می‌شوند و مشوقی برای توسعه صنایع سبز (Green industries) و بهره‌وری در بخش کشاورزی و نیز کاربری‌هایی چون سوخت موتورها معرفی شده‌اند. از طرفی قابلیت و تطبیق‌پذیری شایان توجه این زی‌توده به عنوان ماده خام و توان بهره‌برداری آن‌ها در فرآیندهای زیستی و یا ترموشیمیایی تبدیلی، به گونه‌ای است که می‌توانند طیف وسیعی از مواد خام زیستی را پوشش داده و آن‌ها را تبدیل به سوخت‌های جامد، مایع و گاز نمایند (Gui et al., 2008).

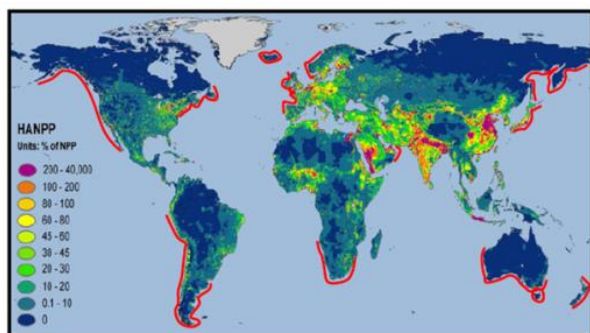


شکل ۱: نمایی از ماکرو جلبک‌های سواحل جنوبی ایران. الف) جلبک قرمز جنس *Gracilaria* (سواحل چابهار)، ب) جلبک قهوه‌ای جنس *Padina* (سواحل بوشهر)، ج) جلبک سبز جنس *Ulva* (سواحل هرمزگان).

آن هم در سطح وسیع به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های تولید سوخت زیستی شناخته شده و به نظر می‌رسد توان پاسخگویی به مطالبات جهانی سوخت در بخش حمل و نقل را دار می‌باشند.

ماکرو جلبک‌ها

جلبک‌ها ارگانسیم‌های آبی فتوسنتز کننده‌ای هستند که به دو گروه میکرو جلبک‌ها یا جلبک‌های تک سلولی و ماکرو جلبک‌ها یا جلبک‌های پرسلولی تقسیم بندی می‌شوند. آن‌ها بسیار متنوع بوده و تاکنون ۴۰۰۰۰ گونه از آن‌ها شناسایی شده و بسیاری دیگر نیز در دست شناسایی است. ماکرو جلبک‌ها، جلبک‌های دریایی چندسلولی ماکروسکوپی هستند (Smith, 1994) که نزدیک نواحی ساحلی (در محیط‌های بنتیک) زیست می‌کنند و بر مبنای رنگریزه‌های گیاهی‌شان شامل انواع ماکرو جلبک‌های سبز، قهوه ای و قرمز می‌باشند. آن‌ها بیش از یکبار در سال قابل برداشت بوده (Schenk *et al.*, 2008) و برای رشدشان از آب‌های شور و یا فاصلاب نیز می‌توان بهره برد (Schenk *et al.*, 2008). از نقطه نظر کارکردی به راحتی کشت و تکثیر می‌شوند بدون هیچ توجه و مراقبی رشد می‌کنند و در آب‌هایی که برای مصارف انسانی نامناسب اند و با کمترین مواد مغذی نیز رشد می‌کنند (Mata *et al.*, 2010).



شکل ۲: نمایی از پراکنش طبیعی ماکرو جلبک‌ها (خطوط

قرمز) در آب‌های ساحلی اقیانوسی در سطح جهان

(Hughes *et al.*, 2012)

نسل دوم از سوخت‌های زیستی

نسل دوم از سوخت‌های زیستی، سوخت‌های تولیدی از "زیست توده گیاهی" است که عمدتاً مبتنی بر مواد لیگنوسلولزی بوده است که بخش اعظمی از مواد تولیدی گیاهی غیر مغذی، ارزان و دردسترس محسوب می‌شوند. با این وجود در حال حاضر تولید چنین سوختی هنوز مقرون به صرفه نیست، زیرا سدهای تکنیکی بی شماری وجود دارد که قبل از بهره‌برداری از این توان بالقوه گیاهی بایست راه‌های غلبه بر آن‌ها تعیین گردد. بزرگترین پتانسیل بهره‌برداری از زیست توده گیاهی قابلیت‌شان در امر تولید سوخت‌های زیستی مایع است و از این رو بهره‌گیری از ضایعات بخش کشاورزی می‌تواند راه‌حلی ایمن در امر تولید سوخت‌های زیستی مایع باشد (Gomez *et al.*, 2008). از این رو پیش بینی می‌شود نسل دوم از سوخت‌های زیستی به طور شایان توجهی بتوانند تولید CO₂ را کاهش دهند و اگر تجاری سازی شوند قادرند هزینه مصرفی بسیار کمتری از سوخت‌های نفتی و دیزلی را به همراه داشته و منابعی از انرژی تجدیدپذیر، کم هزینه و با درصد کمتری از کربن را به نمایش گذارند (<http://www.shell.com>).

جلبک‌ها مواد اولیه ای تجدید پذیر برای نسل سوم از

سوخت‌های زیستی

جلبک‌ها نماینده یک زیست توده اقتصادی، پایدار و دوستدار محیط‌زیست برای تولید سوخت‌های زیستی هستند و واجد تنوعی بالغ بر ۳۰۰۰۰۰ گونه بوده و از توزیع و پراکنش گسترده ای در تمامی آب‌های ساحلی جهان برخوردارند (شکل ۲). کشت جلبک‌ها در مزارع پرورشی می‌تواند مسیری برای مصرف CO₂ جوی را فراهم آورد. جلبک‌ها نقش مهمی در کنترل آلودگی داشته و منابع سرشاری از مواد مغذی محسوب می‌شوند. از طرفی جلبک‌ها قادرند کل منابع انرژی بقایا و ضایعات زیست توده‌ای را به متان و هیدروژن تبدیل کنند. از این رو نسل سوم از سوخت‌های زیستی مبتنی بر میکرو و ماکرو جلبک‌ها بوده است که واجد توده‌زیستی عظیمی از منابع روغنی نیز هستند. تولید سوخت‌های زیستی جلبکی

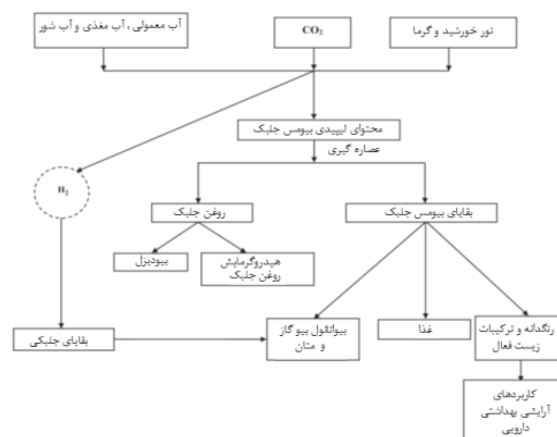
ترکیبات متفاوت بوده (جدول ۱) و حتی تا ۴۰٪ زی توده متعلق به اسیدهای چرب (روغن) است که می توان آن را استخراج نمود و به سوختی چون بیودیزل فرآوری نمود (Becker, 1994).

بیودیزل جلبکی

با بهره گیری از فناوری تبدیل چند منظوره می توان انواع مختلفی از سوخت های زیستی را از زی توده جلبکی استحصال نمود نظیر بیوروغن (Bio-oil)، بیودیزل، بیواتانول، بیومتانول، بیوهیدروژن، سین گاز (گازهای ترکیبی)، زغال چوب (Charcoal). فناوری تبدیل و تولید سوخت های زیستی جلبکی با بهره گیری از زی توده جلبک را می توان به دو گروه اصلی تقسیم بندی نمود: فرآوری ترموشیمیایی و فرآوری بیوشیمیایی (شکل ۴). فاکتورهایی که در انتخاب نوع فرآیند تبدیلی بسیار موثرند عبارتند از: نوع و کمیت مواد اولیه خام زی توده جلبکی، نوع فرم مطلوب انرژی، ملاحظات اقتصادی، اختصاصات پروژه و نوع و کیفیت مطلوب محصول خروجی (McKendry, 2002a).

جلبک ها به عنوان پالایشگاه زیستی

اصطلاح پالایشگاه زیستی از این حیث به جلبک ها اطلاق می شود که آن ها قادرند در کنار فرآیند تولید سوخت های زیستی محصولات فرعی ارزشمند دیگری را نیز از همان زی توده تولید نمایند، بواسطه الحاق فرآیندهای زیستی و فراهم نمودن یک رویکرد پایدار و دوستدار محیط زیست و کم هزینه (Chisti, 2007) (شکل ۳).



شکل ۳: مواد اولیه جلبکی به عنوان پالایشگاه زیستی (Suganya et al., 2016).

ترکیبات بیوشیمیایی جلبک ها

زی توده جلبک ها شامل سه ترکیب اصلی است: کربوهیدرات ها، پروتئین ها و لیپیدها. در برخی جلبک ها

جدول ۱: ترکیبات بیوشیمیایی برخی از گونه های ماکرو جلبک ها (Rajkumar et al., 2014).

Algae	Protein	Carbohydrates	Lipid
Macroalgae			
<i>Hypnea valentiae</i>	۱۲/۶-۱۱/۸	۱۱/۸-۱۲/۰	۹/۶-۱۱/۶
<i>Acanthophora spicifera</i>	۱۳/۲-۱۲/۰	۱۱/۶-۱۲/۲	۱۰/۰-۱۲/۰
<i>Laurencia papillosa</i>	۱۲/۹-۱۱/۸	۱۲/۰-۱۲/۳	۸/۹-۱۰/۸
<i>Ulva lactuca</i>	۱۲/۶-۱۱/۴	۱۱/۶-۱۲/۲	۹/۶-۱۱/۴
<i>Caulerpa racemosa</i>	۱۲/۵-۱۱/۸	۱۶/۰	۹/۰-۱۰/۵
<i>Ulva reticulata</i>	۱۲/۸۳	۱۶/۸۸	۸/۵۰
<i>Enteromorpha compressa</i>	۷/۲۶	۲۴/۷۵	۱۱/۴۵
<i>Chaetomorpha aerea</i>	۱۰/۱۳	۳۱/۵۰	۸/۵۰
<i>Chaetomorpha antennina</i>	۱۰/۱۳	۲۷/۰۰	۱۱/۴۵
<i>Chaetomorpha linoides</i>	۹/۴۵	۲۷/۰۰	۱۲/۰۰
<i>Cladophora fascicularis</i>	۱۵/۵۳	۴۹/۵۰	۱۵/۷۰
<i>Microdictyon agardhianum</i>	۲۰/۹۲	۲۷/۰۰	۹/۴۰
<i>Boergesenia forbesii</i>	۷/۴۳	۲۱/۲۸	۱۱/۴۲
<i>Valoniopsis pachynema</i>	۸/۷۸	۳۱/۵۰	۹/۰۹
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	۶/۰۰	۴۲/۷۵	۱۰/۵۱
<i>Caulerpa cupressoides</i>	۷/۴۳	۵۱/۷۵	۱۰/۹۷
<i>Caulerpa peltata</i>	۶/۴۶	۴۵/۰۰	۱۱/۴۲
<i>Caulerpa laetevirens</i>	۸/۷۸	۵۶/۲۵	۸/۸۰
<i>Caulerpa racemosa</i>	۸/۷۸	۳۳/۷۵	۱۰/۶۳
<i>Caulerpa fergusonii</i>	۷/۷۶	۲۳/۶۳	۷/۱۵
<i>Caulerpa sertularioides</i>	۹/۱۱	۴۹/۵۰	۶/۹۹
<i>Halimeda macroloba</i>	۵/۴۰	۲۳/۶۳	۹/۸۹
<i>Codium adhaerens</i>	۷/۳۶	۴۰/۵۰	۷/۴۰
<i>Codium decortcatum</i>	۶/۰۸	۵۰/۶۳	۹/۰۰
<i>Codium tomentosum</i>	۵/۰۶	۲۹/۲۵	۷/۱۵

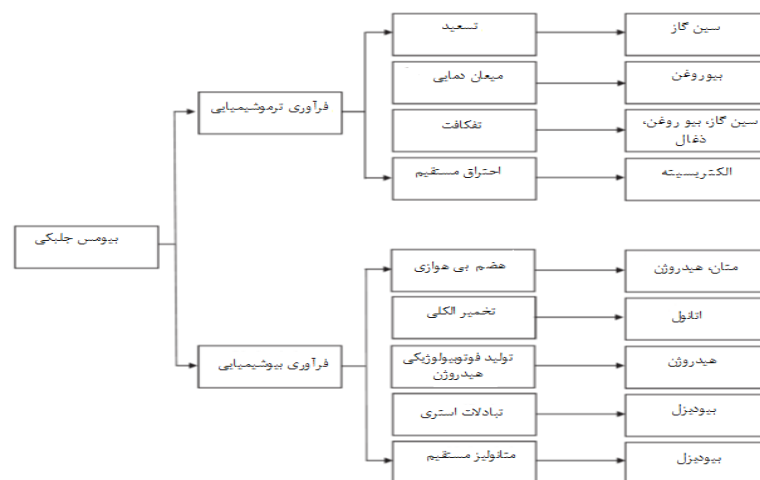
دیگر گازها و یا ترکیبات مایع تبدیل نمود. این فرآیند تغییر و تبدیل دمایی - شیمیایی بسیار شبیه تهیه ذغال است (Lee et al., 2007).

احتراق مستقیم به منظور تولید انرژی

احتراق یک واکنش شیمیایی بین سوخت و اکسیژن است که در حضور هوا رخ می‌دهد و محصول آن تولید دی اکسید کربن، آب و تولید گرماست. در این شرایط زی‌توده در حضور هوا می‌سوزد و انرژی شیمیایی ذخیره خود را به صورت گازهای داغ آزاد می‌کند (Goyal et al., 2008) در چنین شرایطی انتشار سولفور بسیار پائین بوده (۰/۰۵-۲ wt%) و شکل‌گیری ذره ای آن قابل کنترل در سطح منبع است (Pradhan et al., 2009).

فرآوری ترموشیمیایی

فرآوری ترموشیمیایی به مفهوم تجزیه دمایی ترکیبات آلی موجود در زی‌توده به محصولات سوختی پربازده است (Tsukahara and Sawayama, 2005). این فرآیند شامل احتراق مستقیم (Direct combustion)، تصعید و تبدیل کردن به گاز (Gasification)، میعان و تبدیل کردن به مایع (Liquefaction) و تفکافت یا تغییر شیمیایی بوسیله حرارت (Pyrolysis) است (شکل ۴). زمانی که زی‌توده در شرایط بی‌هوازی گرمادهی شود طی این فرآیند تبدیل به گاز یا مخلوط گازی یا سین‌گاز (Syngas) می‌شود که بخش عمده آن مشتمل بر هیدروژن و مونواکسید کربن است این سین‌گاز را می‌توان مستقیماً سوزانده و یا آنرا تحت فرآیندهای دیگری به



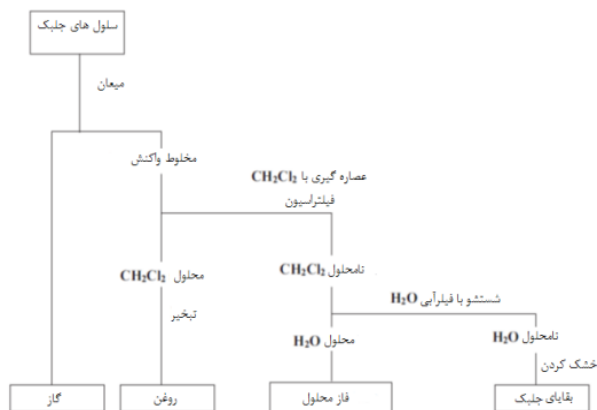
شکل ۴: پتانسیل زی‌توده جلبک‌ها برای فرآیندهای فرآوری

(McKendry, 2002a). گزارشات موجود نیز بیان می‌دارند که به ندرت از روش احتراق مستقیم پودر جلبکی استفاده شده و اکثراً از روش تلفیقی احتراق توامان جلبک-زغال (Coal-algaeco-firing) بهره‌گرفته و نتایج آن گویای این است که در این روش نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های هوایی بسیار کاهش می‌یابد. تاکنون این روش برای برخی از گونه‌های ماکرو جلبکی انگلستان نظیر *Fucus vesiculosus*, *Chorda filum*, *Laminaria digitata*, *Fucus serratus*, *Laminaria*

احتراق معمولاً در کوره، دیگ بخار (Boiler) و یا توربین‌های گازی در دمای بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌پذیرد. با این حال روش احتراق بیشتر مناسب زی‌توده‌های با محتوای رطوبت کمتر از ۵۰٪ وزن خشک است (McKendry, 2002a) و کارایی کل انرژی تبدیلی برای احتراق زی‌توده از پودرهای گیاهی دارای طیفی از ۲۰-۴۰٪ است و در سیستم‌های بزرگتر کارایی بالاتری برابر با بیش از ۱۰۰ MW را نشان می‌دهد به ویژه زمانی که پودر گیاهی با زغال به صورت تلفیقی بسوزد

تولید سوخت‌های زیستی مایع به روش میعان ترموشیمیایی

میعان ترموشیمیایی فرآیندی است که می‌توان آن را برای تبدیل زی‌توده مرطوب جلبکی به سوخت‌های مایع مورد استفاده قرار داد (Patil et al., 2008). بقایای رسوب زی توده جلبکی مشتق شده از سانتریفیوژها معمولاً محتوای رطوبت بالایی دارند که می‌توانند، مواد خام مناسبی برای تهیه سوخت‌های مایع محسوب شوند (شکل ۶). این فرآیند نیازمند دمای پائین‌تر (300°C – 350°C)، فشار بالا (۵–۲۰ MPa)، بهره‌گیری از کاتالیزورهایی چون هیدروژن به منظور تولید بیوروغن است (Goyal et al., 2008). حاصل میعان، تولید روغن‌های نامحلول در آب با ویسکوزیته بالاست و نیازمند حلال، گازهای احیایی چون CO و H_2 و نیز استفاده از کاتالیزورها و افزودن آن به زی‌توده نیز است (Rowlands et al., 2008). میعان معمولاً در محلول‌های آبی محتوی گلیسرین قلیایی، پروپانول، بوتانول، انجام می‌پذیرد نمک‌های قلیایی چون کربنات سدیم و کربنات پتاسیم نیز می‌توانند نقش کاتالیزی برای هیدرولیز ماکرومولکول‌هایی چون سلولز و همی‌سلولز داشته و آن‌ها را به قطعات کوچکتر تبدیل سازند. Zhou و همکاران (۲۰۱۰) طی تحقیقی گزارش می‌کند که با بهره‌گیری از جلبک *Enteromorpha prolifera* توانسته‌اند روغن زیستی (Bio-oil) را به روش میعان هیدروترمال تولید نمایند.

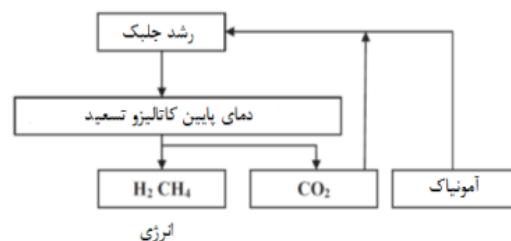


شکل ۶: میعان هیدروترمال سلول‌های جلبک

از *hyperborea* و نیز جلبک *Macrocystis pyrifera* جنوب امریکا گزارش شده است (Ross et al., 2008).

تصعید و تولید سین‌گاز

تصعید اصطلاحی است که برای توصیف فرآیندهای شیمیایی که قادرند ترکیبات کربناته (هیدروکربن‌ها) را به مخلوط گازی قابل اشتعال یا گازهای سازنده (Synthesis gas: syngas) مبدل سازند اطلاق می‌شود این گازها که مخلوطی از گازهای تولیدکننده نظیر CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , N_2 هستند به سین‌گاز موسوم اند (شکل ۵). در این شرایط اکسیداسیون جزئی زی‌توده توسط هوا، اکسیژن یا بخارهای بسیار داغ با دمای معمول 800°C – 1000°C صورت می‌پذیرد (Clark et al., 2008). تولید سین‌گاز از زی‌توده می‌تواند به دو شیوه تصعید کاتالیکی و غیرکاتالیکی صورت پذیرد. در حالت غیرکاتالیکی فرآیند، نیازمند دمای بسیار بالا در حدود 1300°C درجه سانتیگراد است. در حالی که در مسیر کاتالیکی دما بطور شایان توجهی پائین‌تر است. سین‌گاز خود می‌تواند مستقیماً یک نوع سوخت برای اشتعال در موتورها و یا توربین‌های گازی محسوب شود (McKendry, 2002c) و یا این که یک طیف وسیعی از سوخت‌ها و ترکیبات شیمیایی حدواسط را تولید نماید. از جمله سوخت‌های حمل‌نقل تولیدشده از منشاء سین‌گاز، هیدروژن، هیدروکربن و متانول است. با این حال از منظر کالری، سین‌گاز یک مخلوط گازی با کالری پائین است (نوعاً $4-6 \text{ MJm}^{-3}$).



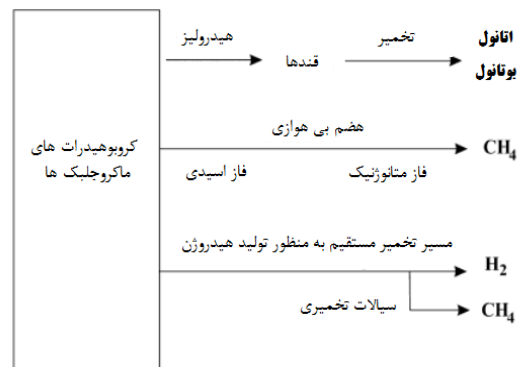
شکل ۵: بهره‌گیری از جلبک‌ها برای تولید سوخت زیستی به روش تصعید

(بیودیزل) تبدیل می‌کند. TG که بخش عمده روغن‌های جلبکی را شامل می‌شوند به راحتی با مولکول‌های کم وزن الکلی واکنش داده و استرهای مونوالکیلی و تولیدات فرعی چون گلیسرین را تولید می‌کند که می‌توانند کاربردهایی در صنعت دارویی-بهداشتی-آرایشی داشته باشند. فرایند تبادلات استری در سه مرحله انجام می‌شود: ۱- واکنش TG با متانول در حضور کاتالیست‌های اسیدی و یا بازی به منظور تولید دی گلیسیرید (DG) ۲- واکنش DG با متانول و تولید مونوگلیسیرید (MG) ۳- واکنش MG با متانول و تولید متیل استر (ME) و گلیسرول این فرآیند می‌تواند به راحتی در مقیاس‌های صنعتی انجام پذیرد. تحقیقات نشان داده ماکرو جلبک‌های *Caulerpa peltata* و *Enteromorpha compressa* تاکنون برای تولید بیودیزل به روش تبادلات استری بسیار موفق بوده و با بهره‌گیری از این ماکرو جلبک‌ها و کاتالیست‌های اسید و باز روغن‌های این جلبک‌ها به بیودیزل تبدیل شده است (Suganya et al., 2016).

تولید بیودیزل به روش متانولیز مستقیم

روش مرسوم برای تولید بیودیزل از جلبک‌ها مشتمل بر مراحل مختلفی چون استخراج روغن، تخلیص (صمغ‌زدایی، اسیدزدایی، واکس‌زدایی، فسفرزدایی و آب‌زدایی و غیره) است و نهایتاً استری شدن و تبادلات استری. این امر نیازمند چندین فرآیند متوالی است که ۷۰٪ از کل هزینه تولید بیودیزل را در بر می‌گیرد (Zeng et al., 2009). بنابر این توسعه رویکرد متانولیز مستقیم و استخراج در محل (*In-situ extraction*)، تبادلات استری مستقیم و در کل عصاره‌گیری فعال به شدت می‌تواند کاهش هزینه‌ها را در پی داشته باشد. زیرا روش عصاره‌گیری فعال از روش‌های مرسوم در تولید بیودیزل متفاوت بوده و در این فرآیند مواد روغنی مستقیماً در تماس با الکل قرار می‌گیرند به جای اینکه ابتداً زیست‌توده روغن‌گیری شود. به بیان دیگر عصاره‌گیری و

می‌نماید. در فرآیند تخمیر الکلی مواد زی‌توده که شامل قند، نشاسته و سلولز است به اتانول تبدیل می‌شوند (McKendry, 2002c) (شکل ۹). این قندها درون تانک‌های تخمیری گرم توسط مخمرها (*Saccharomyces cerevisiae*) شکسته شده و به اتانول تبدیل می‌شوند. بطور کلی دو مسیر تخمیری وجود دارد: تخمیر هوازی و بی‌هوازی بسته به اینکه اکسیژن، برای فرآیند ضروری است یا خیر. البته برای هضم نشاسته جلبک فرآیندهای دیگری نیز می‌بایست قبل تخمیر اعمال گردد. اتانول تولید شده به تانک‌های نگهداری منتقل شده تا به واحدها تقطیر تغذیه شود و فرآیندهای خالص سازی و جداسازی آن از آب و دیگر ناخالصی‌ها صورت پذیرد و اتانول تا ۹۵٪ تغلیظ گردد که می‌تواند برای سوخت‌های ماشین‌ها مناسب باشد (McKendry, 2002a; Miao et al., 2004). دیگر بقایای جامد این فرآیند را نیز می‌توان برای تغذیه حیوانات و یا برای فرآیند تصعید بازیافت نمود. این روش بازگشت هزینه بسیار بالایی داشته و بسیار مقرون به صرفه است.



شکل ۹: تولید سوخت‌های زیستی از مسیرهای تخمیری کربوهیدراته

تولید بیودیزل به روش تبادل استری

تبادل استری واکنشی است که ساختارهای گلیسرولی تری گلیسریدها (TG) بوسیله متانول جایگزین شده و این امر منجر به استری شدن اسیدهای چرب می‌گردد. زیرا افزودن زنجیره‌های کناری به TG آن‌ها به متیل استر

در امر ارتقاء سلامت انسان‌ها داشته اند. ماکرو جلبک‌ها عمدتاً به عنوان مواد خام برای استخراج آلژینات (از جلبک‌های قهوه‌ای)، آگار و کارژنین (جلبک‌های قرمز) و نیز کودهای کشاورزی و دارو مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. به علاوه ماکرو جلبک‌ها محتوی میزان بالایی از ترکیبات زیست‌فعالیت چون ترکیبات فنولی، آلکالوئید، اسیدهای گیاهی، ترپنوئید و گلیکوزیدها نیز هستند. یکی از اصلی‌ترین جلبک‌هایی که در جهان امروزه بسیار تولید می‌شود، جلبک Nori است که در واقع بخش تالوس یک جلبک است و جز گونه‌های جلبک قرمز *Porphyra* است. بیشترین میزان مصرف Nori برای تهیه غذای ژاپنی سوشی *Sushi* است که بسیار در غرب محبوبیت دارد. جلبک غذایی بعدی که از گونه‌های ماکرو جلبک‌های قهوه‌ای *Undaria pinnatifida* منشاء گرفته و غذای بسیار معروفی است در چین کره و ژاپن *Wakame* است که به صورت خشک و یا نمک سود مصرف می‌شود و بعد از آن جلبک غذایی *Kombu* که گونه ای از جلبک قهوه‌ای *Laminaria japonica* بوده و به عنوان سبزی همراه با گوشت و ماهی مصرف می‌شود (Suganya et al., 2016).

نتیجه گیری

فرآیند تبدیل ماکرو جلبک‌ها به سوخت‌های زیستی را می‌توان به دو دسته فرآیندهای ترموشیمیایی (بهره‌برداری از زی‌توده خشک) و فرآیندهای میکروبیولوژی (بهره‌برداری از زی‌توده تر) دسته بندی نمود. ماکرو جلبک‌ها غالباً غنی از کربوهیدرات‌ها بوده لذا برای تولید بیوگاز، بیواتانول، بیوبوتانول مناسب اند. محتوای تری گلیسریدی (TAGs) بالای آن‌ها نیز بهترین مشخصه آن‌ها برای تولید بیودیزل است. زیرا TAGs بالاترین نرخ تبدیل به بیودیزل را داشته و محتوی مقادیر بسیار بالایی از اسیدهای چرب بوده، فاقد فسفر، سولفور و نیتروژن و دیگر گازهای سمی هستند. از طرفی ماکرو جلبک‌ها محتوای فلزی بالایی داشته که می‌تواند بر فرآیند فرآوری اثرگذار باشد. این فلزات ممکن است نقش بازدارندگی یا

تبادلات استری در یک مرحله انجام شده و الکل هم به عنوان حلال عصاره عمل کرده و هم نقش خود را در تبادلات استری ایفا می‌کند (Georgogianni et al., 2008). لذا این عصاره‌گیری فعال نیاز به دو مرحله دیگر را برای تولید بیودیزل مرتفع و حذف نموده و زمان انجام فرآیند، میزان حلال مصرفی و سیستم‌های تولیدی را نیز کاهش می‌دهد. Suganya و همکاران (۲۰۱۶) گزارش می‌کنند که با روش تبادلات استری تقویت شده با اولتراسوند نرخ تولید بیودیزل از ماکرو جلبک *Enteromorpha compressa* را به کمک روش متانولیز مستقیم تا میزان حداکثری ۹۸/۸۹٪ برآیند، افزایش داده اند.

تولید سوخت‌های زیستی و کنترل آلودگی

در دهه‌های گذشته محققین مختلفی از دانه‌های گیاهی به منظور تولید سوخت‌های زیستی استفاده کرده اند که منجر به تولید نسل دوم از این سوخت‌ها نظیر بیواتانول و بیودیزل از زی‌توده‌های قابل زرع در مزارع شده است. ولی این امر یعنی بهره‌برداری از روغن دانه‌ها برای تولید بیودیزل قیمت غذا را بالا می‌برد، زیرا مزارع به جای غذا صرف کشت این دانه‌ها خواهند شد اما در مقابل نسل سوم از سوخت‌های زیستی با منشا جلبکی قابل کشت و زرع در مزارع خشکی نبوده و ممانعتی در تولید مواد غذایی ندارند. از این رو استفاده از ضایعات و تولید زیست‌جلبکی سوخت‌های گازی بهترین گزینه برای کاهش هزینه کشت و زرع خواهد بود (Suganya et al., 2016).

کاربردهای تجاری ماکرو جلبک‌ها

بهره‌گیری از ماکرو جلبک‌ها به عنوان منابع بالقوه ای از ترکیبات شیمیایی و دارویی بسیار ارزشمند، آن‌ها را به منابع بسیار ارزشمندی در حوزه صنعت بدل نموده است. ماکرو جلبک‌ها غنی از انواع ترکیبات زیست‌فعال با خواص ضد ویروس، ضد قارچ ضدباکتری، ضد اکسیدان، ضد التهاب، ضد کلسترول و ضد چربی هستند (Mashjoor et al., 2016; Suganya et al., 2016). لذا نقش بسیار مهمی

- بوشهر (ساحل شمالی خلیج فارس). مجله اقیانوس شناسی، جلد ۳، شماره ۹، صفحات ۲۶-۱۷.
- Agarwal, A.K., 2007. Biofuel (alcohol and biodiesel) applications as fuel for internal combustion engine. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33:233-271.
- Becker, E.W., 1994. *Microalgae. Biotechnology and microbiology*. Cambridge: Cambridge University Press, ISBN: 978-0-521-06113.
- Bender, M., 2000. Potential conservation of biomass in the production of synthetic organics. *Resources, Conservation and Recycling*, 30:49-58.
- Carlos, R.M., Khang, D.B., 2008. Characterization of biomass energy projects in Southeast Asia. *Biomass Bioenergy*, 32:525-32.
- Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., 2008. Livestock waste to bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology*, 99(17):7941-53.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25:294-306.
- Clark, J., Deswarte, F., 2008. Introduction to chemicals from biomass. In: Stevens CV, editor. *Wiley series in renewable resources*. John Wiley and Sons.
- Demirbas, A., 2004. Current technologies for the thermo-conversion of biomass in to fuels and chemicals. *Energy Source*, 26:715-30.
- Georgogianni, K.G., Kontominas, M.G., Pomonis, P.J., Avlonitis, D., Gergis, V., 2008. Conventional and in situ transesterification of sun flower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 89:503-9.
- Gomez, L.D., Clare, G.S., McQueen-Mason, J., 2008. Sustainable liquid biofuels from

کاتالیک بر فرآیندها داشته باشند. در این مقاله مروری سعی شده به منظور تشویق محققین در بهره‌مندی و فرآوری زیست توده عظیم ماکرو جلبک‌های سواحل جنوبی ایران، فرآیندهای شیمیایی- زیستی تولید سوخت‌های زیستی با استفاده از ماکرو جلبک‌های دریایی تفسیر و تحلیل گردد.

توصیه ترویجی

نظر به مطالب ارائه شده در این مقاله در رابطه با روش‌های تولید سوخت‌های زیستی پاک، معطل بغرنج آلودگی زای سوخت‌های فسیلی در کلان شهرهای ایران و وجود پتانسیل‌های ملی چون زیست توده عظیم، ارزشمند و متنوعی از ماکرو جلبک‌های دریایی در سواحل خلیج فارس، متمرکزسازی پژوهش‌های دانشگاهی و صنعتی در جهت حصول فناوری و بهینه سازی فرآیند تولید زیستی سوخت و انرژی به عنوان رویکردی کم هزینه، اشتغال‌زا، ارزآور، پایدار و قابل اجرا در سطح کلان توصیه می‌گردد.

منابع

- سهرابی‌پور، ج، ربیعی، ر، ۱۳۹۶. رویشگاه‌های ساحلی جلبک در جنوب ایران. مجله علمی طبیعت ایران. جلد ۲، شماره ۱، صفحات ۶۸-۶۲.
- قرنجیک، ب. م، واین، م، بنگ‌می، خ، خواجه، س، کیانمهر، ه، حسینی، م، ر، ۱۳۹۰. مطالعه توده زنده جلبک‌های قرمز دارویی در محدوده بین جزر و مدی ساحل چابهار. مجله علمی شیلات ایران. جلد ۲۰، شماره ۳، صفحات ۱۱۴-۱۰۳.
- صائب مهر، ح. م، نجات خواه معنوی، پ، بشهیدی، س، ۱۳۹۴. شناسایی و تعیین توده زنده ماکرو جلبک‌های (منطقه بین جذرومدی) در بندر بوشهر. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، جلد ۱۷، شماره ۴، صفحات ۹۲-۷۵.
- داداللهی سهراب، ع، گراوند کریمی، م، عمادآبادی، الف، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات فصلی پراکنش و میزان زی‌توده جلبک‌های غالب سواحل جزر و مدی استان

- McKendry, P., 2002a. Energy production from biomass (part1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1):37-46.
- McKendry, P., 2002b. Energy production from biomass (part3): gasification technologies. *Bioresource Technology*, 83(1):55-63.
- McKendry, P., 2002c. Energy production from biomass (part2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83(1): 47-54.
- Miao, X., Wu, Q., Yang, C., 2004. Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. *J Anal Appl Pyrolysis*, 71:855-63.
- Naik, S.N., Goud, V.V., Rout, P.K., Dalai, A.K., 2010. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:578-97.
- Naik, S.N., Meher, L. C., Sagar, D.V., 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification -a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10:248-68.
- Patil, V., Tran, K.Q., Gisellrad, H.R., 2008. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(7):1188-95.
- Pradhan, R.C., Naik, S.N., Bhatnagar, N., Vijay, V.K., 2009. Moisture-dependent physical properties of jatropha fruit. *Industrial Crops and Products*, 29:341-7.
- Qi, Z., Jie, C., Tiejun, W., Ying, X., 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management*, 48:87-92.
- Rajkumar, R., Yaakob, Z., Takriff, M. S., 2014. Potential of the micro and macro algae for biofuel production: a brief review. *BioResource*, 9(1): 1606-1633.
- biomass: the writing's on the walls. *New Phytologist*, 178:473-85.
- Goyal, H.B., Seal, D., Saxena, R.C., 2008. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2):504-17.
- Gui, M.M., Lee, K.T., Bhatia, S., 2008. Feasibility of edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33:1646-53.
- Haas, M.J., McAloon, A.J., Yee, W.C., Foglia, T.A., 2006. A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresource Technology*, 97:671-8.
- Hughes, A.D., Kelly, M.S., Black, K.D., Stanley, M.S., 2012. Biogas from Macroalgae: is it time to revisit the idea?. *Biotechnology for Biofuels*, 5:86.
- Kamm, B., Gruber, P.R., Kamm, M., 2006. Biorefinery industrial processes and products. Status and future direction, vols. 1-2. Weinheim:Wiley-Verlag GmbH and Co KGaA.
- Lee, S., Speight, J.G., Loyalka, S.K., 2007. Hand book of alternative fuel technologies. USA: CRC Taylor and Francis Group.
- Mabee, W.E., Gregg, D.J., Saddler, J.N., 2005. Assessing the emerging biorefinery sector in Canada. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 121-124:765 -78.
- Mashjoo, S., Yousefzadi, M., Esmaeili, M.A., Rafiee, R., 2016. Cytotoxicity and antimicrobial activity of marine macro algae (Dictyotaceae and Ulvaceae) from the Persian Gulf. *Cytotechnology*. 68(5), 1717-26.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: are view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:217-32.

- production: Abiorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 909-941.
- Tsukahara, K., Sawayama, S., 2005. Liquidfuel production using microalgae. *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 48(5):251-9.
- USDOE., 2002. Road map for biomass technologies in the United States. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Wen, D., Jiang, H., Zhang, K., 2009. Supercritical fluid technology for clean biofuel production. *Progress in Natural Science*, 19:273-84.
- Yusuf, N.N.A.N., Kamarudin, S.K., Yaakub, Z. , 2011. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 52:2741-51.
- Zhou, D., Zhang, L., Zhang, S., Fu, H., Chen, J., 2010. Hydrothermal liquefaction of macroalgae *Enteromorpha prolifera* to bio-oil. *Energy Fuels*, 24:4054-61.
- Zeng J, Wang X, Zhao B, Sun J, Wang Y. Rapid in situ transesterification of sun flower oil. *Ind Eng Chem Res* 2009;48:850-6.
- Yaghoubzadeh, Z. and Safari R. (2015). Evaluation of bacterial contamination of surface waters of Haraz River. *Journal of Molecular and cellular Reserches* 28(1), 136-144.
- Zimmerman, M.C. (1993). The Use of the Biotic Index as Indication of Water Quality, pp. 85-98, In: Goldman, C.A., Hauta, P.L., O'Donnell, M.A., Andrews, S.E. & van der Heiden, R. (Eds.) *Tested Studies for Laboratory Teaching*, Vol. 5, Proceedings of the 5th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE).
- Ross, A.B., Jones, J.M., Kubacki, M.L., Bridgeman, T., 2008. Classification of macroalgae fuel and it's the thermochemical behavior. *Bioresource Technology*, 99:6494-504.
- Rowbotham, J.S., Dyer, P.W., Greenwell, H.C., Selby, D., Theodorou, M.K., 2013. Copper (II) mediated thermolysis of alginates: a model kinetic study on the influence of metal ions in the thermochemical processing of macroalgae. *Interface Focus*, 3:2042-890.
- Rowlands, W.N., Masters, A., Maschmeyer, T., The biorefinery-challenges, opportunities and an Australian perspective. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 28(2):149-58.
- Schenk, P.M., Thomas-Hall, S.R., Stephens, E., Marx, U.C., Mussgnug, J.H., Posten, C., Kruse, O., Hankamer, B., 2008. Second generation biofuels: high-efficiency micro-algae for biodiesel production. *BioEnergy Research*, 1:20-43.
- Scott, S.A., Davey, M.P., Dennis, J.S., Horst, I., Howe, C.J., Lea-Smith, D.J., Smith, A.G., 2010. Biodiesel from algae: challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology*, 21:277-86.
- Sialve, B., Bernet, N., Bernard, O., 2009. An aerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances*, 27(4):409-16.
- Smith, G.M., 1944. *Marine algae of the monterey peninsula*. 2nd ed. California: Stanford Univ.
- Suganya, T., Varman, M., Masjuki, H.H., Renganathan, S., 2016. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels

The potential of seaweeds from the Iranian southern coasts as bio-refinery for clean biofuels production

Mashjoor S.^{1*}; Shahriari A.²

¹Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

²Department of Biochemistry and Molecular Biology, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Abstract

The presence of a large diversity of massive macro-algae on the coasts and seas of the southern part of Iran (the Persian Gulf and Oman Sea) include of 167 red algae, 79 green algae, and 80 species of brown algae showed a promise prospective of the biofuel extraction potential from the Persian Gulf marine macro-algae and the production of a powerful phase of clean energy beyond the fundamental national research that hat its production methods have been interpreted in this paper. These marine algae, especially in the bloom seasons have a very large weighty biomass, but except for a few local uses, are released useless on the beaches. Biomass of these algae contains three important components of proteins, carbohydrates, and lipids. The presence of more than 40% of fatty acids in some of these algae can be extracted as oil feedstocks, as well as by biochemical/thermochemical/fermentative microbiological processes that can extract and utilize the total carbon content of algae for the production of safe fuel in the industrial scale. These processes can easily convert these algae compounds into a variety of bio-fuels such as bio-diesel, bio-gas, bio-hydrogen, bio-ethanol, bio-butanol, methane, and charcoal.

Keywords: Biodiesel, Biofuel, Macroalgae, Fatty acids, South Coast of Iran

*Corresponding author: sakynemashjoor@gmail.com