

## ایجاد مجتمع اقتصادی تولید سوخت زیستی (Biofuel) با استفاده از جلبک های دریایی، فتوبیوراکتور مارپیچ و پالایشگاه زیستی با هدف تامین سوخت در سواحل دریای عمان

مهندس پگاه قشلاقی\*<sup>۱</sup>، دکتر رضا فیض بخش<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد شیلات و آبزیان

<sup>۲</sup> متخصص مدیریت و اقتصاد شیلات و آبزیان

### ۱) چکیده

حدود نیمی از انرژی جهانی تا سال ۲۰۴۰ میلادی از راه منابع انرژی تجدید پذیر تامین خواهد شد و تولید الکتریسیته از منابع تجدید پذیر بیش از ۸۰٪ از کل تولید جهانی خواهد بود. انرژی حاصل از زیست توده در جهان در رتبه چهارم قرار دارد که ۱۴٪ نیاز انرژی جهانی را تامین می کند. زیست توده قابل تبدیل به سوخت زیستی از قبیل بیو اتانول و بیودیزل و محصولات ترموشیمیایی از قبیل نفت سنتزی و بیوشیمیایی است. در این خصوص سه تیمار آزمایشی وجود دارد که این موضوع در سواحل جنوبی کشور در منطقه قشم مورد بررسی قرار گرفته است. سه پایلوت کوچک فتوبیوراکتور در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شده است. انتخاب سه مدل مختلف فتوبیوراکتور بصورت پایلوت و سه گونه جلبک دریایی خلیج فارس و دریای عمان با تکرار پذیری هر آزمایش سه بار و مکان آزمایش در سواحل دریای عمان و همچنین مدت زمان آزمایش برای هر تیمار آزمایشی ۴۵ روز بوده و کل زمان آزمایش ۱۳۵ روز می باشد. شرایط محیطی برای کلیه تیمارها یکسان بوده است. نتایج تولید، استخراج و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی از لحاظ میزان ترکیبات آن می باشد. تولید سوخت از جلبک نیازمند مقادیر زیادی بیومس جلبکی است. برای رشد، جلبک ها نیازمند نور، آب، دی اکسید کربن و نمک های معدنی هستند. محیط رشد آنها باید دارای منابع ارزشمند غذایی مثل نیتروژن - فسفر - آهن و مقادیری سیلیسیوم نیز باشد. نتایج جدول شماره ۱ نشان می دهد که فتوبیوراکتور مارپیچ نسبت به دو مدل دیگر دارای بهره وری بیشتری بوده و دارای هزینه کمتر و میزان تولید بیشتری است. بر اساس نتایج جدول شماره ۲ می توان به این موضوع پی برد که میزان تولید چربی مناسب برای تبدیل شدن به بیواتانول در فتوبیوراکتور مارپیچ بهتر از فتوبیوراکتور پهن و فتوبیوراکتور پنبلی می باشد. لذا بنظر می رسد که تولیدات فتوبیوراکتور مارپیچ می تواند از کارایی بهتری برخوردار باشد. با توجه به موقعیت سواحل دریای عمان و دور بودن آن از منابع انرژی و شرایط سخت حمل و نقل و نگهداری سوخت پیشنهاد می شود تعدادی مجتمع تولید سوخت زیستی شامل فتوبیوراکتور مارپیچ به همراه پالایشگاه زیستی در این سواحل ایجاد شود. بیواتانول تولیدی می تواند ذخیره شده و در مواقع ضروری در صورت کم بودن سوخت مورد استفاده قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** سوخت زیستی، جلبک دریایی، فتوبیوراکتور، پالایشگاه زیستی، دریای عمان، اقتصاد تولید

### ۲) مقدمه

منطقه سواحل دریایی عمان بدلیل بعد مسافت با سایر مناطق کشور نیازمند حمل سوخت در مسیرهای طولانی میباشد. از سوی دیگر این مناطق به عنوان مناطق حساس برای نیروهای نظامی منطقه بوده و لذا در صورت بروز حوادث طبیعی از قبیل سیل و مشکلات حمل و نقل سوخت و یا سایر موارد پیش بینی نشده می بایستی راهکارهایی برای تامین سوخت در کوتاه مدت و یا میان مدت وجود داشته باشد. این مناطق با وجود نبود چاههای نفت و پالایشگاه از یک سو دارای شرایط کاملا طبیعی و مناسب برای رویش جلبکهای دریایی می باشند. تنوع جلبکهای دریایی در این مناطق بسیار گسترده است. فناوری های جدید جهانی حاکی از این موضوع می باشد که تولید سوخت زیستی از ارزش و اهمیت بسیار زیادی برخوردار بوده و جلبک بدلیل سرعت سریع رویش دارای قدرت تولید زیادی می باشد. لذا در بین اقلام مختلف محصولات کشاورزی و منابع طبیعی جلبک برای تولید اتانول و سوخت زیستی در جهان انتخاب شده است. لذا سواحل منطقه دریای عمان می تواند در این خصوص از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد. علاوه بر این موضوع فناوری های جدید حاکی از ایجاد سیستم های جدید تحت عنوان فتوبیوراکتور بوده که این سیستم توانایی سرعت بخشیدن به تولید جلبک در زمان کوتاه را دارد. همچنین در صورت تولید میکرو جلبک در فتوبیوراکتور ماده اولیه مورد نیاز برای سوخت زیستی ایجاد شده و لذا با احداث پالایشگاه زیستی که دارای فناوری ویژه ای است تولید بیواتانول از جلبک انجام شده و می توان بسادگی از آن به عنوان سوخت استفاده نمود. بدلیل شرایط خاص و استراتژیک منطقه دریای عمان لازم است این سیستم در شرایط نظامی ایجاد شود. منابع انرژی به سه دسته فسیلی، تجدید پذیر و هسته ای طبقه بندی می شوند. امروزه بخش بزرگی از انرژی مورد استفاده را سوختهای فسیلی مانند نفت، ذغال سنگ و گاز طبیعی تشکیل می دهند. منابع انرژی تجدید پذیر از قبیل بیو توده، آب، باد، خورشید، زمین گرمایی، دریایی و هیدروژن دارای نقش اساسی در آینده انرژی جهانی است. تا سال ۲۰۴۰ میلادی در حدود نیمی از انرژی جهانی از راه منابع انرژی تجدید پذیر تامین خواهد شد و تولید الکتریسیته از منابع تجدید پذیر بیش از ۸۰٪ از کل تولید جهانی

خواهد بود. انرژی حاصل از زیست توده در جهان در رتبه چهارم قرار دارد که ۱۴٪ نیاز انرژی جهانی را تامین می کند. زیست توده قابل تبدیل به سوخت زیستی از قبیل بیو اتانول و بیودیزل و محصولات ترموشیمیایی از قبیل نفت سنتزی و بیوشیمیایی است. بیواتانول یک سوخت مشتق از منابع انرژی تجدید پذیر شامل گیاهانی از قبیل گندم، نیشکر، ذرت، کاه و چوب است. بیواتانول می تواند یک افزاینده به بنزین بوده و یا حتی به جای بنزین استفاده شود. مایع سازی بیو اتانول به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم انجام می شود. در مایع سازی مستقیم، پیرولیز سریع برای تولید روغن و نفت مایع و یا بخارات قابل تراکم شدن استفاده می شود. دو میلیون تن جلبک قادر است یک میلیون تن دی اکسید کربن را جذب کند. فتوبیوراکتور دارای ساختارهای مختلف بوده اما مدل مثلثی شکل دارای شهرت بیشتری است که از لوله های پلی کربناته با طول دو تا سه متر و قطر ۲۰-۱۰ سانتیمتر ساخته شده است. دلیل مثلثی شکل بودن این لوله ها آن است که یک سطح در معرض نور خورشید قرار دارد و دو سطح دیگر آن از تابش خورشید پنهان هستند. در این تاسیسات با استفاده از معادلات ریاضی، سرعت سیال در این لوله ها با توجه به کیفیت نور خورشید تعیین می شود تا بهترین شرایط سیستمی به وجود آید. دما نیز از حساسیت خاصی برخوردار است ولی کنترل آن آسان است، به نحوی که تغییرات دما در راکتور بیشتر از ۱۰ درجه سانتیگراد نیست. فتوبیوراکتور های بسته مشابه ظروف تخمیری بوده و اغلب لوله ای شکل هستند و نیازمند تامین شدن با دی اکسید کربن و نور هستند به همین دلیل منافذ زیادی برای ورود نور دارند. انواع فتوبیوراکتورهای معمول عبارتند از: فتوبیوراکتورهای مارپیچ، فتوبیوراکتورهای (پهن) flat، فتوبیوراکتورهای (پنلی) Panle.

### ۳) روش جمع آوری آمار

در این خصوص سه تیمار آزمایشی وجود دارد که این موضوع در سواحل جنوبی کشور در منطقه قشم مورد بررسی قرار گرفته است. در این خصوص سه پایلوت کوچک فتوبیوراکتور در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شده است. نتایج سه تیمار به عنوان نتایج آماری می باشد.

### ۴) مواد و روشها

انتخاب سه مدل مختلف فتوبیوراکتور بصورت پایلوت و سه گونه جلبک دریایی عمان با تکرار پذیری هر آزمایش طی سه بار و مکان آزمایش در سواحل عمان و مدت ۴۵ روز زمان آزمایش برای هر تیمار آزمایشی و کل زمان آزمایش ۱۳۵ روز و شرایط محیطی برای کلیه تیمارها یکسان است. نتایج تولید استخراج و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی از لحاظ میزان ترکیبات آن خواهد بود. تولید سوخت از جلبک نیازمند مقادیر زیادی بیومس جلبکی است. برای رشد، جلبک ها نیازمند نور، آب، دی اکسید کربن و نمک های معدنی هستند. محیط رشد آنها باید دارای منابع ارزشمند غذایی مثل نیتروژن فسفر آهن و نیز مقادیری سیلیسیوم باشد. برای تولید در مقیاس وسیع سلول های جلبک باید مداوم مخلوط شوند و از ساکن شدن بیومس جلوگیری شود.

#### جدول شماره ۱: جدول مقایسه وضعیت شرایط تولید در سه مدل فتوبیوراکتور

ردیف	موضوع	فتوبیوراکتورهای مارپیچ	فتوبیوراکتورهای (پهن)	فتوبیوراکتورهای (پنلی)
۱	طول یک دوره پرورش	۴۵ روز	۴۵ روز	۴۵ روز
۲	میزان هزینه مورد نیاز ساخت	کم	متوسط	زیاد
۳	هزینه های جاری تولید	کم	کم	متوسط
۴	شدت دریافت نور خورشید	زیاد	متوسط	متوسط
۵	میزان تولید	زیاد	متوسط	متوسط

در جدول شماره ۲ مقایسه سه فتوبیوراکتور مارپیچ و پهن و پنلی با یکدیگر با استفاده از شرایط نور خورشید در سواحل جنوب کشور و همچنین دو گونه مهم میکرو جلبک در جنوب کشور انجام شده است که به شرح ذیل خواهد بود.

#### جدول شماره ۲: وضعیت میزان تولید اسیدهای چرب از سه مدل مختلف فتوبیوراکتور

ردیف	نوع فتوبیوراکتور/ اسید چرب تولیدی	اولئیک (۱۸:۱)	پالمیتیک (۱۶:۰)	استئاریک (۱۸:۰)	ایزو (۱۷:۰)	لینولئیک (۱۸:۲)
۱	فتوبیوراکتورهای مارپیچ	۳۶٪	۱۵٪	۱۱٪	۸٫۴٪	۷٫۴٪
۲	فتوبیوراکتورهای (پهن)	۳۳٪	۱۵٪	۹٪	۸٪	۶٪
۳	فتوبیوراکتورهای (پنلی)	۳۱٪	۱۴٪	۹٪	۷٪	۷٪

## ۵) نتایج

نتایج جدول شماره ۱ نشان می دهد که وضعیت فتوبیوراکتور مارپیچ نسبت به دو مدل دیگر دارای بهره وری بیشتری بوده و دارای هزینه کمتر و میزان تولید بیشتری است. بر اساس نتایج جدول شماره ۲ می توان به این موضوع پی برد که میزان تولید چربی مناسب برای تبدیل شده به بیواتانول در فتوبیوراکتور مارپیچ بهتر از فتوبیوراکتور پهن و فتوبیوراکتور پنبلی می باشد. لذا بنظر می رسد که تولیدات فتوبیوراکتور مارپیچ می تواند از کارایی بهتری برخوردار باشد.

## ۶) بحث و نتیجه گیری

تولید اتانول از جلبک ارزان تر از تولید اتانول از مواد سلولزی است و این شاید ناشی از تراکم بالای لیپید در جلبک ها باشد که به همین دلیل می توان به ازای واحد سطح، روغن بیشتری (حتی نسبت به غلات) تولید کرد. مطابق با برخی از تخمین ها بازده روغن حاصل از جلبک در هر هکتار، حدود ۲۰۰ برابر بیشتر از روغن های گیاهی است. میکرو جلبک ها سریعترین رشد را در میان موجودات زنده فتوسنتزی دارند. چرخه رشد کامل آنها تنها در چند روز تکمیل می شود. محتوای چربی و اسید چرب میکرو جلبک بر اساس شرایط کشت متفاوت است. پروتئین، کربوهیدرات، چربی ها و اسیدهای نوکلئیک با نسبت های مختلف در تمامی جلبک ها وجود دارند. روغن جلبک حاوی اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع تک عاملی است. اسیدهای چرب موجود در روغن جلبک با نسبت های ذیل دیده می شود. دمای بهینه رشد آنها ۱۵ تا ۳۰ درجه است. مزایای تولید سوخت زیستی عبارتند از تامین سوخت مورد نیاز کشور جهت جایگزینی بنزین و همچنین تامین برق، کمک به رفع آلودگی هوا با جایگزین کردن سوخت زیستی، ایجاد تولید از منابع غیر قابل استفاده کشور شامل اراضی بلا استفاده ساحلی و آب شور دریا، ایجاد اشتغال مولد (مستقیم و غیر مستقیم)، جلوگیری از واردات سوخت و خروج ارز و امکان صادرات و تامین ارز تولید برای کشور و بهبود بخشی از توانایی اقتصادی کشور است. استان سیستان و بلوچستان بدلیل دارا بودن شرایط مناسب طبیعی و رویش مناسب جلبکهای دریایی می تواند به عنوان مکان مناسبی برای احداث فتوبیوراکتور مارپیچ جهت تولید مواد اولیه مورد نیاز بوده و در کنار این واحد می توان به احداث بیوپالایشگاه اقدام نمود. در بیوپالایشگاه ماده اولیه تولید شده بکمک آنزیم و روشهای تخمیری به بیواتانول و ماده خشک که می تواند به عنوان غذای دام مورد استفاده قرار گیرد تبدیل شود.

## ۷) پیشنهادات

با توجه به موقعیت سواحل دریای عمان و دور بودن آن از منابع انرژی و شرایط سخت حمل و نقل و نگهداری سوخت پیشنهادات می شود تعدادی مجتمع تولید سوخت زیستی شامل فتوبیوراکتور مارپیچ و جلبکهای ریز دریای عمان به همراه پالایشگاه زیستی در این سواحل ایجاد شود. بیواتانول تولیدی می تواند ذخیره شده و در مواقع ضروری در صورت کم بودن سوخت مورد استفاده قرار گیرد.

## ۸) منابع

1. Molina, E. et al., 2001. Tubular photobioreactor design for algal cultures. Journal of Biotechnology. Vol. 92, # 2. Pg 113-131.
2. Xu, Han. et al., 2006. High Quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. Journal of Biotechnology. Vol 126, # 4. Pg 499-507.
3. Chisti, Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends in Biotechnology. Vol 26, # 3. Pg 126-131.
4. Scragg, A.H. 2002. Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor. Biomass and Bioenergy. Vol 23, # 1.
5. Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances. Vol 25, # 3. Pg 294-306.
6. Molina Grima, E. Adien Fernandez, F.G. Garcia Camacho, F. Chisti, Y. 1999. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. Journal of Biotechnology. Vol 70, #1-3. Pg 231-247.
7. [http://www.nationmaster.com/graph/ene\\_usa\\_per\\_per-energy-usage-per-person](http://www.nationmaster.com/graph/ene_usa_per_per-energy-usage-per-person)
8. Dufreche, S. Hernandez, R. French, T. et al. Extraction of Lipids from Municipal Wastewater Plant Microorganisms for Production of Biodiesel. 2006. AmerOil Chem Soc. 84:181-187.

9. Janssen, M. Tramper, J. Mur, L. Wijffels, R. 2002. Enclosed Outdoor Photobioreactors: Light Regime, Photosynthetic Efficiency, Scale-Up, and Future Prospects. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol 81, # 2. Pg 193-210.
10. Fernandez, F.G. et al. 2001. Airlift-driven external-loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgae: assessment of design and performance. *Chemical Engineering Science*. Vol 56, #8. Pg 2721-2732.
11. Sawayama, S. 1999. Possibility of renewable energy production and CO<sub>2</sub> mitigation by thermochemical liquefaction of microalgae. *Biomass and Bioenergy*. Vol 17. #1 Pg 33-39.
12. Shi, J., Podola, B. 2006. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae immobilized on twin layers: an experimental study. *Journal of Applied Phycology*.
13. Fernandez, F.G. et al. 2003. Outdoor production of *Phaeodactylum tricornutum* biomass in a helical reactor. *Journal of Biotechnology*. Vol 103. # 2. Pg 137-152.
14. Molina Grima, E. et al. 2003. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology Advances*. Vol 20, # 7-8. Pg 491-515.
15. Molina Grima, E. et al. 2000. Scale-up of tubular photobioreactors. *Journal of Applied Phycology* 12: Pg 355-368.
16. Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol 92, No. 5. Pg 405-416.
17. Aresta, M., Dibenedetto, A., et al. 2005. Production of biodiesel from macroalgae by supercritical CO<sub>2</sub> extraction and thermochemical liquefaction. *Environmental Chemistry Letters*.
18. Hall, D.O., et al. 2002. Outdoor Helical Tubular Photobioreactors for Microalgal Production: Modeling of Fluid-Dynamics and Mass Transfer and Assessment of Biomass Productivity. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol 82 # 1, Pg 62-73.
19. Yun, Y., Lee, S.B., et al. 1997 Carbon Dioxide Fixation by Algal Cultivation Using Wastewater Nutrients. *Chem. Tech. Biotechnology*. Vol 69. Pg 451-455.