نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، شماره ۴۷، زمستان ۹۶

# مکان یابی کشت گسترده صنعتی جلبک: مطالعه موردی درسواحل خلیج فارس و دریای عمان

دریافت مقاله: ۹۵/۸/۲۳ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۳

صفحات: ۲۳۹-۲۲۷

**عبدالمجید لباب پور:** استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی شهدای هویزه[1].
lababpour@shhut.ac.ir

**چکیده**

**دست‌یابی به مقدار کافی زیست‌توده ریزجلبکی، برای کاربری‌های گوناگون مانند غذا، دارو و انرژی ضروری است. منابع تولید زیست‌توده مانند زمین، آب، مواد غذایی و کربن‌دی اکسید در امکان سنجی تولید و بهای تمام شده نقش اساسی دارند. این پژوهش با هدف تعیین مکان‌های مناسب کشت ریزجلبک و منابع کربن‌دی‌اکسید و نیز میزان آب مورد نیاز برای تولید ریزجلبک انجام شده است. برای دست یابی به این هدف، فراوانی و پراکندگی جغرافیایی مکان‌های مناسب کشت و منابع کربن‌دی‌اکسید با به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط نرم افزاری GIS برای سواحل خلیج فارس و دریای عمان بررسی شده است. داده های مکانی ۵۷ نقطه مناسب کشت ریزجلبک با وسعت حدود ۱۸۰۰۰کیلومترمربع نشان می دهد که امکان گسترش صنعت ریزجلبک درسواحل خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد. افزون برآن وجود حداقل ۳۸ نقطه تولید گاز کربن‌دی‌اکسید عمدتا در استان‌های خوزستان و بوشهر شناسایی و گزارش شده است. با فرض ۵، ۶ و ۷ کیلوگرم تبخیر آب در مترمربع در روز در مناطق گوناگون، آب موردنیاز معادل با ۸۰۰۰۰،۸۴۰۰۰ و ۸۹۰۰۰ مترمکعب دردوره کشت درهرواحد برآورد شد. نتایج نشان می دهد که با فناوری کشت ریزجلبک در استخرهای روباز، امکان تولید بیش از ۵۴۰۰۰۰ تن زیست‌توده ریزجلبک در هردوره کشت در سواحل خلیج فارس و دریای عمان امکان پذیراست. افزون برتولید زیست‌توده، کاستن آلایندگی گاز کربن‌دی‌اکسید توسط ریزجلبک‌ها و امکان تامین مواد غذایی ریزجلبک از پساب‌های شهری و تصفیه پساب برای پیشگیری از مخاطرات زیست محیطی نیز میسر خواهد شد.**

**کلمات کلیدی:** زیست‌توده ریزجلبک، ارزیابی منابع، میزان نیاز به آب، مکان‌یابی، کشت ریزجلبک.

---

۱. **مسئول مقاله**: سوسنگرد، دانشگاه صنعتی شهدای هویزه، دانشکده فنی و مهندسی.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

**مقدمه**

تولید انواع زیست‌توده ریزجلبکی[1] به دلیل پتانسیل های فراوان برای به کارگیری در حوزه های گوناگون به ویژه انرژی و غذا و نیز ارزش افزوده اقتصادی، مورد توجه روزافزون قرار دارد (Spolaore et al. 2006). زیست‌توده ریزجلبک‌ها مانند کلرلا ولگاریس[2]، اسپیرولینا[3]، هماتوکوکوس[4] و دونالیلا[5] پتانسیل بسیار زیادی برای کاربری‌های گوناگون مانند تولید ترکیب‌های گوناگون غذایی انسان و خوراک دام و آبزیان دارند. افزون برآن در تولید فراورده‌های دارویی و بهداشتی و نیزانرژی به کار می‌روند. برخی از ریزجلبک‌ها چربی زیادی دارند و به همین دلیل برای تولید سوخت های زیستی به کار می روند. برخی ریزجلبک‌ها مانند *هماتوکوکوس* ترکیبات کاروتنوییدی دارند که مصارف غذایی ودارویی فراوان دارند (Pienkos and Darzins 2009). در سال های اخیراز ریزجلبک‌ها در حفاظت از محیط زیست مانند تثبیت ریزگردها نیز بهره گرفته شده است ( Lababpour 2016). به دلیل مزایای فراوانی که ریزجلبک‌ها دارند، تولید زیست تودهٔ ریزجلبکی در یک دهه از سال ۲۰۰۴م از ۳۵۰۰ تن در سال به بیش از ۱۰۰۰۰تن در سال افزایش یافته است (Spolaore et al. 2006; Wigmosta et al. 2011; Lababpour 2012; Béchet et al. 2013). صنعت تولید انواع ریزجلبک سبب سود اقتصادی فراوان و به تبع آن گسترش روزافزون صنعت ریزجلبکی شده است. برای تامین زیست‌توده ریزجلبک مورد نیاز برای مصارف گسترده وگوناگون، بررسی منابع تولید ریزجلبک یعنی زمین، آب، مواد غذایی و کربن‌دی‌اکسید الزامی است. اگرچه تولید ریزجلبک‌ها دراستخرهای روباز[6] راندمان کم‌تری در مقایسه با فوتوبیوراکتورهای بسته[7] دارد و اغلب غلظت زیست‌توده در استخرهای کشت به کم‌تر از ۱ گرم درلیتر می رسد، اما در تولید صنعتی، رایج ترین شیوهٔ کشت ریزجلبک‌ها هستند زیرا ساخت استخرها آسان‌تر و کارکردن با استخرهای روباز بسیار ساده‌تر از فوتوبیوراکتورهای بسته است (Molinuevo-Salces et al. 2010). ازآن‌جایی که حجم استخرهای کشت اغلب چندهزار متر مکعب است و آب و مواد غذایی بسیار زیادی در کشت ریزجلبک در استخرهای روباز مصرف می شود، کاهش نیاز به تامین منابع کشت مانند زمین، آب و موادغذایی در هزینهٔ و کیفیت فراورده ریزجلبکی، اهمیت زیادی دارد (Venteris et al. 2014; Blaas and Kroeze 2014; Moore et al. 2015).

در زمینه بررسی منابع برای کشت و تولید گسترده ریزجلبک، پژوهش‌های متعددی به ویژه در ایالات متحده امریکا انجام شده است. اما در کشور ایران تنها یک گزارش مقدماتی یافت شد (Lababpour 2012). ویگموستا و همکارانش (۲۰۱۱) با استفاده از داده های جغرافیایی پتانسیل منابع زمین و آب در ایالات متحده برای تولید روغن از ریزجلبک را بررسی کرده اند و نتیجه گرفته‌اند که پتانسیل تولید ۲۲۰ میلیارد لیتر روغن ریزجلبکی درسال درامریکا وجود دارد. این مقدار تولید نیاز به کارگیری ۵/۵ در صد از زمین‌ها در ایالات متحده و ۱۴۲۰ لیتر آب به ازای هر لیتر روغن جلبکی دارد (Wigmosta et al. 2011). پیت و همکارانش (۲۰۱۱) مکان‌ها را براساس هزینه منابع محلی در تولید سوخت جلبکی اولویت بندی کردند و نتیجه گرفتند که سواحل خلیج

[1] Algal biomass
[2] *Chlorella vulgaris*
[3] *Spirulina*
[4] *Haematococcus*
[5] *Dunaliella*
[6] Open ponds
[7] Closed photobioreactors

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

مکزیک بیش‌ترین اولویت را دارند، اما در بقیه نواحی ایالات متحده نیز پتانسیل تولید سوخت جلبکی وجود دارد (Pate et al. 2011). بنیمن و اسوالد (۱۹۹۶) هزینه همه مراحل تولید سالانه ریزجلبک در استخرهای روباز برای تامین سوخت جلبکی در ایالات متحده را بررسی کردند و دریافتند که با فناوری کشت در استخرهای روباز امکان تولید روغن جلبکی با هزینه کم‌تر از هزینه نفت خام وجود ندارد. افزون برآن گزینه هایی مانند انتخاب سویه‌های جلبکی پربازده‌تر و ارتقای استخرهای کشت را برای افزایش راندمان تولید پیشنهاد کردند (Benemann, J.R., Oswald 1996; Lundquist et al. 2010). وایزمن (۱۹۸۷) تولید تجربی زیست توده جلبکی درمزرعه با وسعت ۸۰۹۴ مترمربع را بررسی کردند و برآن اساس، بهای زیست توده در مزرعه با وسعت ۴۰۴۷ کیلومتر مربع را ۰/۲۰۵ دلاردرهرکیلوگرم برآورد کردند (Weissman and Goebel 1987). در مطالعه‌ای دیگر ونتریس (۲۰۱۳) کشت ریزجلبک در استخرهای روباز با آب شیرین، لب شور و آب دریا از نظر فنی و اقتصادی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که امکان تولید سوخت زیستی به مقدار ۹۴/۶ میلیون مترمکعب در سال در ایالات متحده وجود دارد (Venteris et al. 2013). در کشور ایران، لباب پور (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای مقدماتی، امکان کشت ریزجلبک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان را بررسی کرده است. پژوهش عمدتا با بررسی ویژگی‌های کیفی به این نتیجه رسیده است که سواحل خلیج فارس و دریای عمان پتانسیل زیادی برای گسترش صنعت تولید ریزجلبک دارند و پیشنهاد کرده است که پژوهش بیش‌تری در زمینه مکان یابی با شاخص‌های دقیق‌تر انجام شود (Lababpour 2012).

با توجه به اهمیت اساسی بررسی منابع برای کشت و تولید ریزجلبک و نیز نبود اطلاعات در این زمینه، این پژوهش تعیین مکان‌های مناسب در سواحل خلیج فارس و دریای عمان را به منظور کشت و تولید گسترده زیست‌توده ریزجلبکی مورد بررسی قرار داده است. به عبارت دیگر، براساس تفاوت‌های تبخیر آب و وجود گازکربن دی اکسید در مناطق گوناگون، مکان‌های مناسب برای تولید گسترده ریزجلبک تعیین می شود.

## روش تحقیق

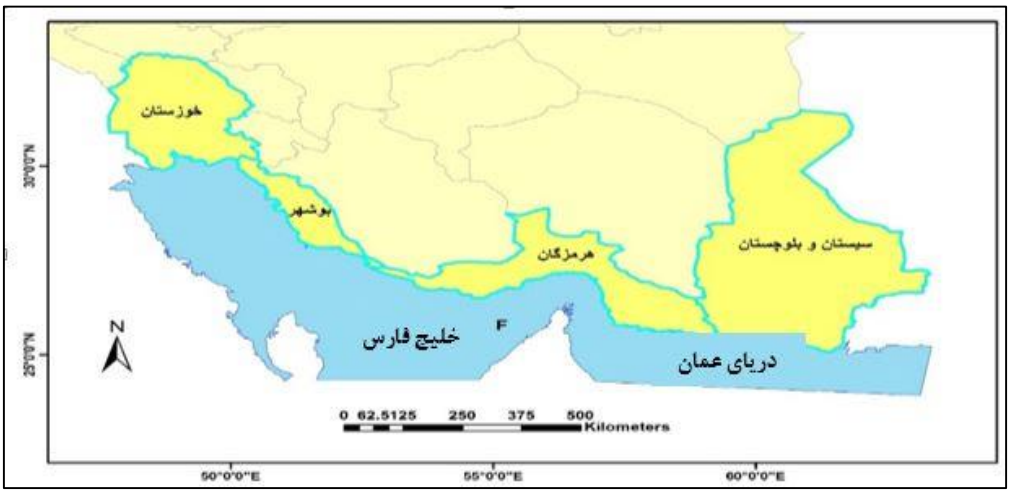
### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با طول جغرافیایی از ۴۸/۴۱۲ تا ۶۱/۶۲۹ در سواحل خلیج فارس و دریای عمان واقع است و طولی حدود ۲۴۳۷ کیلومتر دارد. این محدوده، مناطق ساحلی و حاشیه جنوبی چهار استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان، بوشهر و خوزستان را شامل می شود (شکل ۱). طول خط مرز آبی ایران با خلیج فارس با در نظر گرفتن جزایر حدود ۱۸۰۰ کیلومتر و طول خط ساحلی درمجاورت دریای عمان حدود ۶۳۷ کیلومتر است. در طول ساحل شمالی دریای عمان، سواحل را می‌توان در سه دسته، گروه بندی کرد که عبارت اند از: رشته های ماسه ای طولانی که در پشت آن‌ها زمین‌های هموار جلگه‌ای قرار دارند و پهنای آن‌ها گاه تا ۵/۱ کیلومتر می رسد، پهنه های گلی با دلتاهای وسیع و زمین های هموار با شیبی کمتر از ۱ درصد، و پادگانه های ساحلی. کرانهٔ خلیج فارس، بیش‌ترکرانه‌ای کوهستانی است و با واسطهٔ یک دشت ساحلی باریک، با دریا در ارتباط است. بارش باران در این سواحل ناچیز و نرخ میانگین بارندگی حدود ۱۱۵ میلی متر در سال است (Salah et al. 2016). دما و تابش زیاد نورخورشید از عوامل موثر در انجام بسیاری از فعالیت‌های انسانی در منطقه ساحلی است. میزان درجه حرارت در تابستان به ۴۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس می رسد و در زمستان تا ۷ درجه سیلسیوس

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

(دی ماه) کاهش می یابد. فعالیت‌های کنونی آبزی پروری در این سواحل منحصر به پرورش میگو است که از سال ۱۳۶۹ شمسی آغاز شده و رو به گسترش است (Molinuevo-Salces et al. 2010).




**شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، سواحل خلیج فارس و دریای عمان.**

**گزینش مکان تولید ریزجلبک**

این پژوهش براساس فناوری تولید ریزجلبک در استخرهای روباز و با فرض بیش‌ترین میزان تولید ۰/۷ کیلوگرم زیست‌توده در مترمکعب از محیط کشت در دوره کشت انجام شده است. برای تعیین وسعت و پراکندگی جغرافیایی مکان‌های مناسب کشت ریزجلبک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان، از داده‌های بررسی های میدانی سازمان شیلات کشور برای کشت آبزیان و ارزیابی‌های ماهواره ای و سایر گزارش‌ها و منابع علمی بهره گرفته شده است. گزینش مکان‌های مناسب برای تاسیس واحدهای تولید ریزجلبک با شاخص‌های متعدد معین شده است جدول (۱). در بررسی مکان‌های مناسب فرض شده است که هرواحد تولیدی زیست‌توده ریزجلبکی حداقل ۲ کیلومترمربع وسعت دارد. ۱/۶ کیلومترمربع از مکان گزینش شده برای ساخت استخرهایی به کار می رود که عمق آب در آن‌ها ۰/۳ متر است و ۰/۴ کیلومترمربع دیگر برای بخش‌های وابسته به تولید دراستخر و سایر مکان‌های واحد تولیدی، به کار می‌رود. ابعاد هراستخر ۰/۱ کیلومترمربع فرض شده است. در انتخاب زمین، مکان‌های بدون کاربری کشاورزی، صنعتی و مسکونی با شیب کم‌تراز ۱ در صد گزینش شده اند. محل‌های گزینش شده جزو مناطق حفاظت شده نبوده و جاده و فرودگاه از میان آن‌ها عبور نمی‌کند. هم‌چنین مالکیت و محدودیت‌های امنیتی برای کاربری زمین در نظر گرفته نشده است. در گزینش مکان‌ها، فاصله آب و مواد غذایی از محل استخر کشت در نظر گرفته نشده است. افزون برآن، تنها تولید زیست توده ریزجلبکی در مکان گزینش شده بررسی و محل‌های بعدی فرایندهای مربوط به زیست توده در پژوهش بررسی نشد. برای نمایش مکان‌ها برروی نقشه، نخست با نرم افزار ArcGIS 10.2 (ESRI, USA) نقشه‌های استان‌های ساحلی خلیج فارس و دریای عمان تهیه و سپس داده‌های مکانی گزینش شده به صورت لایه های رستری برروی نقشه‌ها ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از شناسایی مکان‌های مناسب برای کشت ریزجلبک، میزان آب مورد نیاز برآورد

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

شد و وجود کربن دی اکسید و نور برای تولید ریزجلبک با استفاده از داده های وزارت نفت، منابع علمی و مطالعات میدانی بررسی شده است (Soltanieh et al. 2016). با به کارگیری داده های بانک اطلاعاتی تهیه شده در مرحله قبل، در محیط ArcGIS لایه های مکان نما، آب نما، کربن دی اکسید و نور تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**جدول (۱). شاخص های بررسی مکان‌های مناسب برای کشت ریزجلبک و تولید زیست‌توده ریزجلبکی.**

| شاخص های در نظر گرفته شده | شاخص های در نظر گرفته نشده* |
|---|---|
| زمین شیب کمتر از ۱ درصد دارد | مالکیت و محدودیت‌های امنیتی برای کاربری زمین |
| زمین کشاورزی نیست | محل‌های فرایندهای بعدی برروی زیست‌توده تولیدی که بیرون از محل تولید هستند |
| پوشش گیاهی ندارد یا ناچیزاست | فاصله آب از محل واحد تولیدی و روش انتقال آب |
| زمین مسکونی نیست | فاصله مواد غذایی از محل واحد تولیدی و روش انتقال مواد غذایی |
| تاسیسات صنعتی درآن وجود ندارد | فاصله انرژی از محل واحد تولیدی و روش انتقال انرژی |
| کاربری اداری ندارد | |
| جاده و فرودگاه از میان محل واحد تولیدی عبور نمی کند | |
| منطقه حفاظت شده و تالاب نیست | |
| هر واحد تولیدی ۲ کیلومترمربع وسعت و سطح هر استخر ۰/۱ کیلومترمربع و حجم مایع هراستخر ۳۰۰۰ متر مکعب درنظرگرفته شد. تولید بهینه زیست‌توده دراستخر، ۰/۷ گرم در لیتر دردوره کشت فرض شد. | |

***(عمده این شاخص‌ها در گزینش ابتدایی مکان‌های مناسب کشت پیش بینی شده است اما به دلیل پیچیدگی پارامترها در گزارش گنجانده نشده است).**

میزان تولید زیست‌توده در هر واحد تولیدی به عوامل گوناگون مانند نوع ریزجلبک بستگی دارد. میزان تولید محلی به طور معمول با پیش بینی مدل‌های رشد و داده های کشت پایلوت معین می‌شود. دراین پژوهش بر وجود زمین کافی، آب، گاز کربن‌دی اکسید، نورکافی و دمای مناسب برای رشد ریزجلبک تمرکز شده است. دمای هوا در ماه‌ها و فصل‌های گوناگون تغییر می کند و این تغییر سبب تغییر در رشد ریزجلبک‌ها و تولید زیست‌توده می شود. رابطه میان میزان تولید زیست‌توده و عوامل جوی دما و نور را می توان با روابط ریاضی مدل کرد. براساس روابط ریاضی می توان میزان تولید را برای تک‌تک واحدهای گزینش شده محاسبه و تفاوت میان میزان تولید را پیش بینی کرد (Jacob-Lopes et al. 2009).

تبخیر آب از سطح استخرهای کشت ریزجلبک به طورعمده تابع دمای هوا و آب، سرعت باد، تابش خورشید، فشار هوا، کیفیت آب استخر و رطوبت نسبی است. میزان نیاز سالانه به آب برای تولید ریزجلبک رابطه مستقیمی با تبخیر آب دارد. میزان تبخیر آب را می توان با روش‌های تجربی مانند تشتک تبخیر کلاس A یا مدل‌های ریاضی پیش بینی کرد (Berger and Finkbeiner 2010). پارامترهای عمده مدل برای پیش بینی میزان تبخیر عبارت‌اند از: تعداد روزهای کاری استخر کشت، آب بازیافت شده از فرایند، مدت زمان متوسط ماند آب در استخر،

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

حجم کاری استخر، سطح استخر و عمق آب در استخر (Guieysse et al. 2013). به منظور بررسی آب مورد نیاز تولید زیست‌توده ریزجلبکی، همه پارامترهای موثر در تولید به استثنای میزان تبخیر آب برای واحدهای گزینش شده مشابه در نظرگرفته شده است. میزان تبخیر، تابش نور و دما از داده‌های ۷ ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری مناسب جمع آوری و پس از پردازش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (بانک داده های سازمان هواشناسی کشور). موازنه آب مورد نیاز در کشت ریزجلبک با تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های آب به سامانه و با رابطه (۱) محاسبه شده است (McJannet et al. 2013).

$$Q_{in} + P_g - \Delta S = Q_{out} + E + L$$ رابطه (۱)

که در آن، $Q_{in}$ کل آب ورودی، $P_g$، میزان بارش باران، $\Delta S$ ، تغییر در حجم آب ذخیره شده، $Q_{out}$، آب خروجی از استخر، E، میزان تبخیر آب از استخر و L، نشت آب در زمین است.

گازکربن‌دی‌اکسید ماده غذایی اصلی برای رشد فوتوتروفی ریزجلبک‌هاست که به صورت محلول در آب توسط ریزجلبک‌ها مصرف می‌شود. ارزان ترین و مناسب ترین منبع رایج کربن‌دی‌اکسید در کشت ریزجلبک‌ها به کارگیری منابع ثابت کربن‌دی‌اکسید مانند پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های سیمان‌سازی و نیروگاه‌ها است که گاز کربن‌دی‌اکسید را در اثر سوزاندن منابع سنگواره‌ای تولید می‌کنند. اگر چه غلظت کربن‌دی‌اکسید در گازخروجی، وجود دیگر گازهای سمی همراه با کربن‌دی‌اکسید و دمای گاز از چالش های عمده در به کارگیری این منابع کربن‌دی‌اکسید است، پژوهش های متعدد، پتانسیل به کارگیری این گازها را در کشت های ریزجلبکی اثبات کرده اند (Jansson et al. 2010; Sayre 2010). داده های وزارت نفت و منابع علمی، بررسی های میدانی و اطلاعات ماهواره ای، در تعیین مکان‌های ثابت تولید کننده گاز کربن‌دی‌اکسید در استان‌های ساحلی خلیج فارس و دریای عمان به کار رفت. داده های مکانی گاز کربن دی اکسید برروی نقشه به صورت نقطه ای نمایش داده شده است.

نور به عنوان منبع مهم انرژی در عمل فتوسنتز در ریزجلبک‌ها به کار می رود. اگرچه کیفیت نور از نظر شدت، مدت تابش و طوج موج نور تابانیده شده تاثیر زیادی برکارایی فتوسنتز دارند (Jacob-Lopes et al. 2009)، در این پژوهش با فرض مناسب بودن شدت بیش‌تر نور، متوسط شدت نور از داده های ایستگاه‌های هواشناسی استخراج و در سواحل خلیج فارس و دریای عمان در ۳ سطح ۱۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۱ تا ۵۰۰ و ۵۰۱ تا ۷۰۰ وات برمترمربع دسته بندی شد.

پتانسیل میزان تولید ریزجلبک در مکان‌های گزینش شده با توجه به تفاوت در دمای آب و نور محلی (تابعی از شرایط جوی)، با مدل‌های ترکیبی رشد ریزجلبک و اقلیمی به ترتیب در ۳ سطح ۲۴، ۲۸/۸ و ۳۳ تن برواحد تولیدی در دوره کشت گروه بندی و میزان مصرف آب با توجه به میزان تبخیر آب در مکان‌های گوناگون و با فرض ۵، ۶ و ۷ لیتر برمترمربع در روز به ۳ سطح ۷۲۰۰۰، ۷۶۸۰۰ و ۸۱۰۰۰ مترمکعب در ماه گروه بندی شده است.

## نتایج

براساس داده های منابع دولتی و داده های میدانی انجام شده توسط شرکت پیاب نوین، مکان‌های مستعد کشت ریزجلبک در ۴ استان ساحلی خلیج فارس و دریای عمان معین و سپس مکان‌های گزینش شده در محیط نرم افزاری ArcGIS و در قالب نقشه نمایش داده شده است. شکل(۲) داده های مکان‌های جغرافیایی گزینش شده

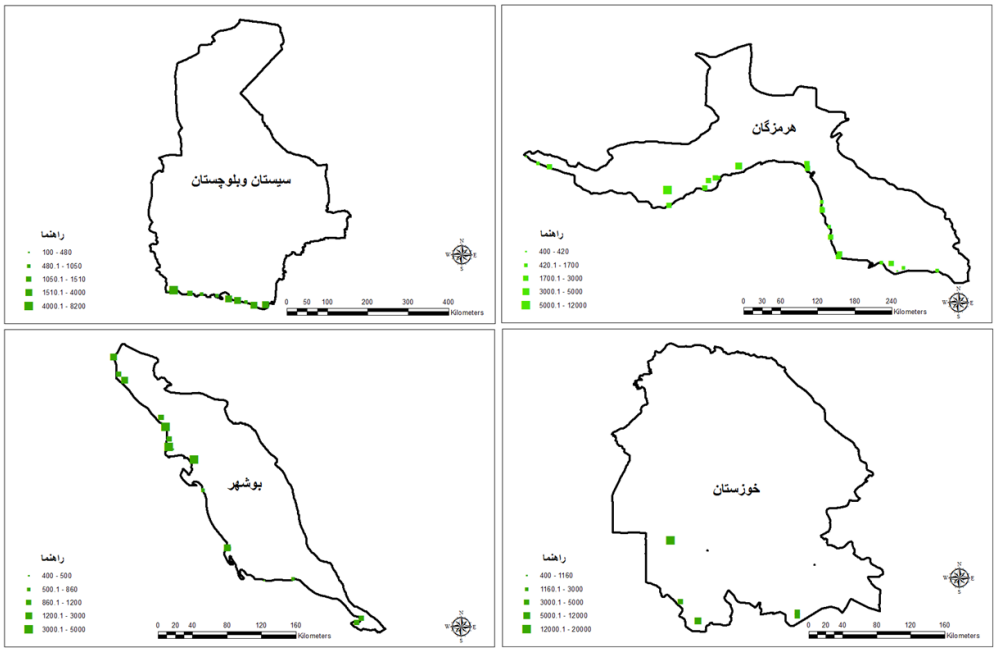
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

مناسب کشت ریزجلبک و وسعت آن‌ها را در سواحل خلیج فارس و دریای عمان نشان می دهد. برخی از این مکان‌ها پتانسیل کاربری چندگانه برای کشت دیگر آبزیان مانند استخرکشت میگو را دارند. پراکندگی جغرافیایی این واحدها در ۴ استان ساحلی شامل خوزستان، ۵ مکان؛ بوشهر، ۲۰ مکان؛ هرمزگان، ۲۴ مکان؛ و سیستان و بلوچستان، ۱۲ مکان است. در مجموع، تعداد ۹۰۰۰ مکان با وسعت ۲ کیلومترمربع که مستعد کشت ریزجلبک بودند، شناسایی شدند. مجموع وسعت این مناطق ساحلی حدود ۱۸۰۰۰ کیلومتر مربع پیش بینی شده است. بیش‌ترین تعداد مناطق مستعد برای کشت در استان هرمزگان (۲۴ مکان) و کم‌ترین تعداد مناطق مستعد در استان خوزستان (۵ مکان) قراردارد. با توجه به سواحل طولانی دریای عمان و خلیج فارس با حدود ۲۴۳۷ کیلومتر، امکان یافتن مکان‌های متعدد برای ایجاد مزرعه ریزجلبک وجود دارد اما بخشی از سواحل، صخره ای و یا دارای پستی و بلندی‌های زیاد هستند، بخشی از سواحل منطقه عسلویه در استان بوشهر به تاسیسات نفت وگاز اختصاص یافته است، افزون برآن، بخش قابل ملاحظه‌ای از سواحل استان‌های ساحلی جنوب در محدوده شهرها و مناطق مسکونی قرار دارند. این شرایط، امکان کاربری بخش عمده ای از سواحل برای تولید ریزجلبک را نامناسب می کند. گزینش مکان‌ها با شاخص های بیش‌تر و دقیق تر مانند نوع خاک و ویژگی‌های آب و شرایط اقلیمی محلی به ارزیابی کامل تر مکان‌های ساحلی برای کشت ریزجلبک می انجامد. جدول (۲) و شکل (۳) موازنه میزان آب موردنیاز واحدهای تولید ریزجلبک براساس تفاوت در میزان میانگین تبخیر از سطح استخر کشت ریزجلبک را نشان می دهد. میانگین آب مود نیاز واحدهای تولیدی از مجموع آب به کاررفته در آغاز کشت برای پرکردن استخر و آب به کاررفته برای جبران آب تبخیر شده در مدت کشت به مدت یک ماه محاسبه شده است. داده های ایستگاه‌های هواشناسی نشان می دهد که تبخیر در سواحل استان خوزستان بیش‌ترین و در سواحل استان سیستان و بلوچستان کم‌ترین مقدار را دارند. در استان خوزستان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر آب برابر با ۱۲/۸۹ و ۳/۰۴ کیلوگرم برمترمربع در روز و در استان بوشهر به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر آب برابر با ۱۲ و ۲/۳۴ کیلوگرم برمترمربع در روز است. دراستان هرمزگان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تبخیر آب برابر با ۱۱/۱۱و۲/۷۱ کیلوگرم برمترمربع در روز و در استان سیستان و بلوچستان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تبخیر آب برابر با ۱۲ و ۲/۳۴ کیلوگرم برمترمربع در روز است. با در نظر گرفتن میزان تبخیر متوسط روزانه ۵، ۶ و ۷ کیلوگرم برمترمربع از استخر کشت به ترتیب ۲۱۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۱۰۰مترمکعب آب، دردوره کشت یک ماهه در هرواحد کشت تبخیر می شود. میزان آب مورد نیازدرآغاز کشت برابربا ۵۶۰۰۰ مترمکعب درهرواحد است. این داده ها نشان می دهد که هرواحد تولیدی بین ۵۸۱۰۰ و ۵۹۱۰۰ مترمکعب در هردوره کشت به آب نیاز دارد. بیش‌ترین تبخیر آب در تیرماه و کم‌ترین مصرف آب در دی ماه و متوسط ۷/۳کیلوگرم برمترمربع درروز برآورد شده است. براین اساس کشت در ماه‌های سردتر سبب کاهش تا ۷۹/۲ درصدی آب تلف شده ناشی از تبخیر می شود.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

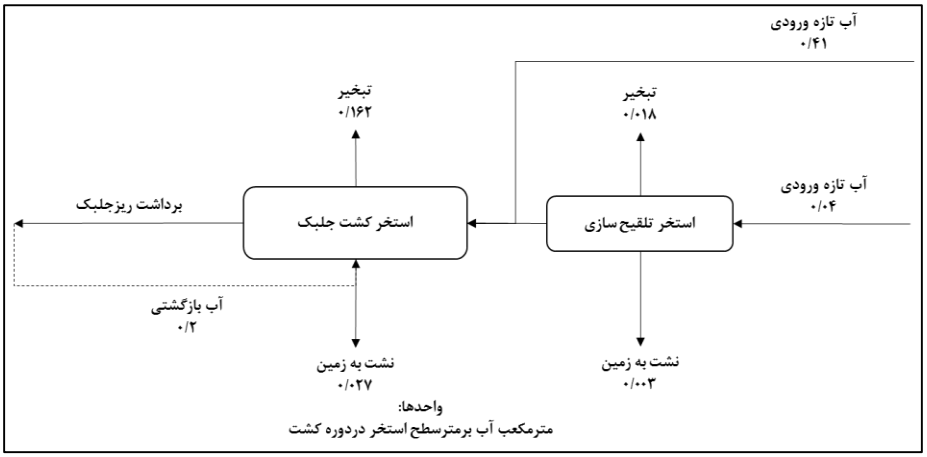



**شکل (۲) توزیع و وسعت مکان‌های جغرافیایی گزینش شده برای تاسیس واحد تولید زیست‌توده ریزجلبکی در سواحل خلیج فارس و دریای عمان (ماخذ: نگارنده).**

**جدول (۲). آب مورد نیاز کشت در استان‌های ساحلی خلیج فارس و دریای عمان**

| استان | آب مورد نیاز (مترمکعب/واحد تولیدی/دوره کشت) |
|---|---|
| خوزستان | ۸۹۰۰۰ |
| بوشهر | ۸۴۰۰۰ |
| هرمزگان | ۸۴۰۰۰ |
| سیستان و بلوچستان | ۸۰۰۰ |

*** ماخذ: نگارنده**




**شکل (۳). نمودار موازنه جرم آب در فرایند کشت ریزجلبک**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

شکل (۴)، تعداد ۳۸ مکان ثابت تولیدکننده گاز کربن‌دی‌اکسید در مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان به تفکیک استان را نشان می دهد، اگرچه منابع متعدد دیگری برای تامین گازکربن‌دی‌اکسید نیز وجود دارد. دراین پژوهش مکان‌های ثابت پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های سیمان‌سازی و نیروگاه‌های تولید برق در نظر گرفته شده است. شکل (۳) نشان می دهد که این منبع غذایی برای رشد ریزجلبک در استان های بوشهر و خوزستان بیش‌ترین فراوانی و در استان هرمزگان و سیستان و بلوچستان کم‌ترین فراوانی را دارد. مطالعات مستقل دیگری لازم است تا میزان پراکندگی و فراوانی میزان گاز کربن‌دی‌اکسید و نیز امکان به کارگیری منابع کربن در استخرهای کشت ریزجلبک را مورد ارزیابی قرار دهد. به کارگیری گازهای آلاینده حاصل از سوختن به عنوان منبع کربن در کشت ریزجلبکی نه تنها سبب کاهش هزینه تولید ناشی از تولید و تهیه گاز کربن‌دی‌اکسید می شود بلکه هم‌چنین سبب کاهش آلایندگی این گازها در هوا نیز می شود. منابع کربن‌دی‌اکسید بررسی شده، خالص نیستند و بخشی از گازهای خروجی (حدود ۱۰ درصد) از دودکش صنایعی مانند کارخانه های سیمان‌سازی، پالایشگاه‌های نفت و گاز، نیروگاه‌های برق هستند که در هوا انتشار می‌یابند. ترکیب در صد گازکربن‌دی‌اکسید دودکش صنایع متفاوت و اغلب با دیگر آلاینده‌هایی مانند کربن مونوکسید همراه هستند که برای رشد ریزجلبک مضرند. از سوی دیگر با تامین گاز کربن‌دی‌اکسید از صنایع، افزون بر تامین کربن مورد نیاز برای رشد ریزجلبک، کاهش آلایندگی گازهای گلخانه‌ای نیز فراهم می شود (Xiong et al. 2018).

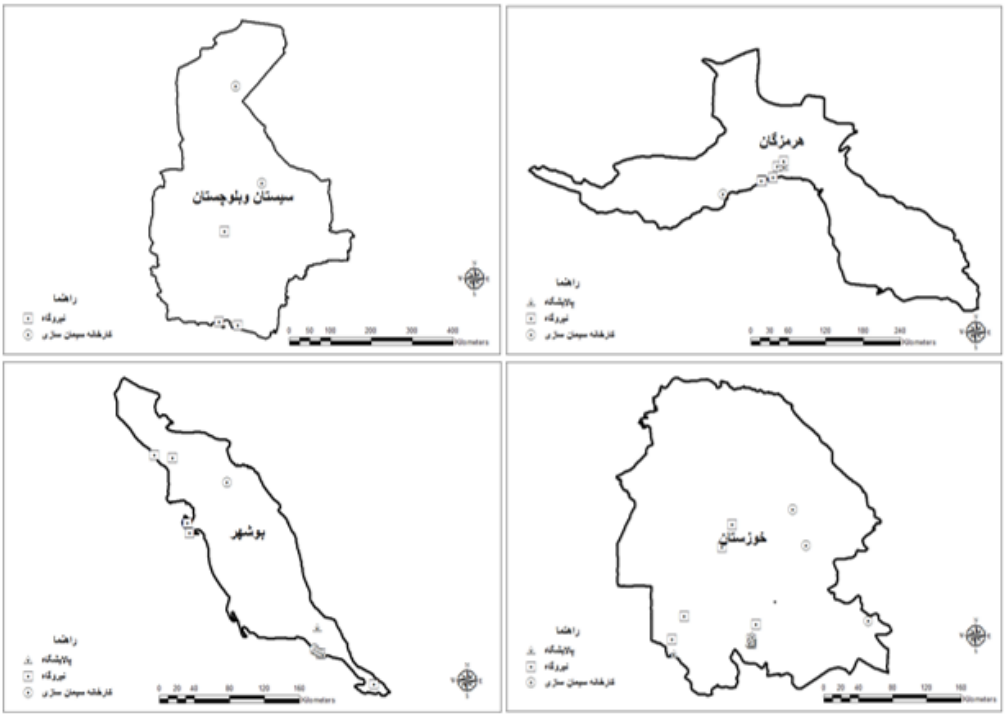
پیش بینی های فنی با مدل‌های ترکیبی رشد ریزجلبک و شرایط جوی نشان دادند که نواحی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان به دلیل وجود منابع نسبتا مشابه، تولید زیست‌توده تقریبی مشابه دارند، اگرچه شرایط رشد در سواحل دریای عمان به دلیل کیفیت آب و تغییرات کم‌تر جوی مناسب‌تر است. عوامل گوناگون دیگری مانند زیرساختارهای محلی در تعیین میزان تولید اهمیت دارند که اثر دیگر عوامل تولید بایستی به صورت مستقل ارزیابی شود.

جایابی مکانی برای تولید ریزجلبک، بر مدیریت منابع آبی کشور و بهای تمام شده زیست‌توده اثرگذاشته و با بهره‌گیری از منابع طبیعی مانند زمین، نور کافی و آب دریا در سواحل خلیج فارس و دریای عمان، امکان گسترش صنعت تولید زیست‌توده ریزجلبکی فراهم می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می دهد که با بهینه سازی محل گزینش شده برای تولید، پتانسیل تولید ۵۴۰ هزار تن ریزجلبک در هردوره کشت در سواحل خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد. هم چنین با کشت ریزجلبک در مکان‌های بهینه ساحلی، نیاز به منابع آب شیرین در کشت زیست‌توده ریزجلبکی منتفی می شود. افزون برآن، به کارگیری پساب های شهری و کشاورزی از دیگر گزینه‌ها برای تامین آب و مواد غذایی مورد نیاز کشت ریزجلبک است که نقش آن‌ها در گسترش صنعت ریزجلبک کشور در حال بررسی است. به دلیل وجود آب دریا، تابش خورشید و زمین بایر فراوان، سواحل جنوبی حاشیه خلیج فارس و دریای عمان به عنوان مکان‌های مناسب کشت ریزجلبک شناخته شده اند (Lababpour 2012). نتایج این پژوهش مناسب بودن این مکان‌ها را تایید می‌کند. اما متغیرهای متعدد دیگری نیز وجود دارند که در بررسی این پژوهش گنجانیده نشده اند. برای نمونه نوع سویه های ریزجلبکی در کشت و تولید ریزجلبک به صورت موردی بررسی نشده اند. ارزیابی تولید سویه های جلبکی خاص با داده‌های تجربی پایلوت انجام می‌شود که تاکنون در سواحل خلیج فارس و دریای عمان گزارش نشده است. نوع ریزجلبک‌ها با توانایی‌ها و مقاومت های گوناگون می‌تواند به تولید بیش‌تر زیست توده منتهی شود. ارتباط نور تابانیده شده در رشد ریزجلبک می تواند

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

سبب تغییر عمده ای بر تولید و عملیات کشت شود که دراین پژوهش انجام نشده و نیاز به بررسی بیش‌تر دارد. اگر مبنای تولید براساس موجود بودن نور قرار داده شود و یا دمای آب، مجددا تغییر زیادی در روند رشد مشاهده می شود. بررسی پراکندگی و تعداد ریزجلبک‌ها در آب‌های ساحلی مناطق جنوبی می تواند به عنوان شاخصی ابتدایی در پیش بینی میزان رشد و تولید به کاررود (Guieysse et al. 2013; Venteris et al. 2013; Kang et al. 2015).




**شکل (۴). پراکندگی جغرافیایی منابع تامین گازکربن‌دی‌اکسید مورد نیاز برای رشد ریزجلبک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان (ماخذ: نگارنده)**

همان‌گونه که داده های شکل(۲) نشان می دهند گستردگی واحدهای گزینش شده در سواحل استان خوزستان بیشترین سطح را به خود اختصاص داده است و این شرایط، امکان سرمایه گذاری گسترده و تاسیس واحدهای بسیار بزرگ را فراهم می کند. وجود خدمات فنی و گازکربن‌دی‌اکسید واحدهای نفت و گاز محلی بیش‌تر در سواحل استان بوشهر و خوزستان امتیاز بزرگی برای گسترش کشت ریزجلبک در این منطقه به شمار می آید. وجود آب با کیفیت بیش‌تر در سواحل دریای عمان امتیاز ویژه ای است که این سواحل را برتر از دیگر سواحل جنوبی می سازد. پساب ها و گازهای سوزانده شده نفتی (فلر[9]) فراوان در سواحل استان بوشهر و خوزستان جزو موادی هستند که می توانند به عنوان ماده غذایی، برای کاهش هزینه تولید در کشت ریزجلبک به کار روند. افزون برآن که در کاهش آلایندگی و حفظ محیط زیست محلی نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. مجموع منابع

[9] Flare

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

زمین، آب، گاز کربن دی اکسید و دیگر مواد غذایی، خدمات فنی و نیروی انسانی اولویت بیش‌تری را در سواحل شمال غربی خلیج فارس پیشنهاد می کند.

چالش های پژوهشی زیادی برای ارزیابی پتانسیل تولید ریزجلبک وجود دارد که انجام آن‌ها برای امکان سنجی درست و دقیق ضروری است (Pate et al. 2011). برای نمونه میزان مصرف آب و میزان انرژی مورد نیاز برای انتقال آب در صورتی‌که کشت در کل مدت سال انجام شود باید مورد بررسی قرار گیرند (Murphy and Allen 2011). افزون برآن نه تنها سواحل خلیج فارس و دریای عمان، بلکه پتانسیل تمامی مناطق جغرافیایی کشور برای تولید ریزجلبک باید مورد ارزیابی قرار گیرد. امکان تامین مواد غذایی کشت از منابع آلاینده از نظر کیفیت و امکان دسترسی در استخرهای کشت نیاز به بررسی مفصل و دقیق دارد. با انجام این پژوهش‌ها این امکان فراهم می شود که با پیش بینی نسبتا جامع، بتوان جایگاهی جهانی برای کشور در حوزه تولید فراورده های جلبکی ایجاد کرد.

## نتیجه گیری

فرض این پژوهش براین است که امکان دست یابی به فناوری کشت ریزجلبک در استخرهای روباز فراهم است. دراین راستا، این پژوهش مکان‌های مناسب کشت، تامین آب و گازکربن‌دی‌اکسید برای کشت ریزجلبک را مورد بررسی قرار داده است. نتایج این پژوهش نشان داد که فراوانی و پراکندگی جغرافیایی مکان‌های مناسب کشت ریزجلبک در محدوده جغرافیایی سواحل خلیج فارس و دریای عمان، وجود منابع کربن‌دی‌اکسید، آب دریا و شدت زیاد نور در طول سال عواملی هستند که امکان تولید صنعتی انبوه و گسترده ریزجلبک‌ها در این منطقه جغرافیایی را فراهم می نمایند. این پژوهش یک مرحله اساسی در تعیین ظرفیت تولید و گسترش زیست‌توده ریزجلبکی در کشور را نشان می‌دهد و آشکار می‌کند که به دلیل فراوانی و ارزانی منابع تولید، مستعدترین مزرعه‌های کشت و تولید ریزجلبک در سواحل جنوبی قابل گسترش است. هم‌چنین منابع و عوامل موثر بر رشد ریزجلبک مانند کیفیت آب، میزان تغییرات جوی محلی و وجود زیرساختارها، سبب تفاوت در میزان تولید زیست‌توده ریزجلبکی در استخرهای روباز در مکان‌های متفاوت محدوده مطالعاتی می‌شود. نتایج این پژوهش با وجود فرض‌ها و ساده سازی‌های متعدد، اطلاعات با ارزشی را برای گسترش صنعت ریزجلبک در سواحل جنوبی کشور ارائه می دهد. اما عوامل و محدودیت‌های مهم دیگری مانند قوانین کشوری، تامین مواد غذایی محیط کشت، سرعت زیاد تبخیرآب و زیر ساختارهای ترابری نیز باید در نظر گرفته شوند. هم چنین بررسی‌های بسیار بیش‌تری لازم است تا به صورت دقیق‌تر میزان تولید زیست‌توده ریزجلبکی، کاربردهای بعدی زیست توده تولیدی و داده های این پژوهش را عمیق‌تر ارزیابی کند.

## منابع

Béchet Q, Shilton A, Guieysse B (2013) **Modeling the effects of light and temperature on algae growth : State of the art and critical assessment for productivity prediction during outdoor cultivation**. Biotechnol Adv, **31**:1648–1663. doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.08.014

Benemann, J.R., Oswald WJ (1996) **Systems and economic analysis of microalgae ponds for conversion of CO2 to biomass**. University of California at Berkeley.

Berger M, Finkbeiner M (2010) **Water Footprinting: How to Address Water Use in Life**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

**Cycle Assessment**, Sustainability, **2**:919–944. doi: 10.3390/su2040919
Blaas H, Kroeze C (2014) **Possible future effects of large-scale algae cultivation for biofuels on coastal eutrophication in Europe**. Sci Total Environ, **496**:45–53.
Guieysse B, Béchet Q, Shilton A (2013) **Variability and uncertainty in water demand and water footprint assessments of fresh algae cultivation based on case studies from five climatic regions.** Bioresour Technol, **128**:317–323.
Jacob-Lopes E, Scoparo CHG, Lacerda LMCF, Franco TT (2009) **Effect of light cycles (night/day) on CO2 Process, fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors.** Chem Eng Process Intensif, **48**:306–310.
Jansson C, Wullschleger SD, Kalluri UC, Tuskan G a. (2010) **Phytosequestration: Carbon biosequestration by plants and the prospects of genetic engineerin**g. Bioscience, **60**:685–696.
Kang Z, Kim B-H, Ramanan R, et al (2015) **A cost analysis of microalgal biomass and biodiesel production in open raceways treating municipal wastewater and under optimum light wavelength.** J Microbiol Biotechnol, **25**:109–18.
Lababpour A (2016) Potentials of the microalgae inoculant in restoration of biological soil crusts to combat desertification. Int J Environ Sci Technol, **13**:2521–2532.
Lababpour A (2012) **Opportunities of microalgae large scale production in Iran.** In: 1st confrence on National production. Tarbat Modares University, Tehran, Iran,
Lundquist TJ, Woertz IC, Quinn NWT, Benemann JR (2010) **A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production**. California
McJannet DL, Cook FJ, Burn S (2013) **Comparison of techniques for estimating evaporation from an irrigation water storage.** Water Resour Res, **49**:1415–1428.
Molinuevo-Salces B, García-González MC, González-Fernández C (2010) **Performance comparison of two photobioreactors configurations (open and closed to the atmosphere) treating anaerobically degraded swine slurry.** Bioresour Technol, **101**:5144–5149.
Moore BC, Coleman AM, Wigmosta MS, et al (2015) **A High Spatiotemporal Assessment of Consumptive Water Use and Water Scarcity in the Conterminous United States.** Water Resour Manag , **29**:5185–5200.
Murphy CF, Allen DT (2011) **Energy-water nexus for mass cultivation of algae**. Environ Sci Technol, **45**:5861–5868.
Pate R, Klise G, Wu B (2011) **Resource demand implications for US algae biofuels production scale-up**. Appl Energy, **88**:3377–3388.
Pienkos PT, Darzins A (2009) **The promise and challenges of microalgal-derived biofuels**. Biofuels, Bioprod Biorefining, **3**:431–440.
Salah P, Reisi-Dehkordi A, Kamranzad B (2016) **A hybrid approach to estimate the nearshore wave characteristics in the Persian Gulf**. Appl Ocean Res, **57**:1–7.
Sayre R (2010) Microalgae: The Potential for Carbon Capture. Bioscience, **60**:722–727.
Soltanieh M, Zohrabian A, Gholipour MJ, Kalnay E (2016) **A review of global gas flaring and venting and impact on the environment: Case study of Iran**. Int J Greenh Gas Control, **49**:488–509.
Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006) **Commercial applications of microalgae.** J Biosci Bioeng, **101**:87–96.
Venteris ER, Skaggs RL, Coleman AM, Wigmosta MS (2013) **A GIS Cost Model to Assess the Availability of Freshwater, Seawater, and Saline Groundwater for Algal Biofuel Production in the United States**. Environ Sci Technol, **47**:4840–4849.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]

Venteris ER, Skaggs RL, Wigmosta MS, Coleman AM (2014) **A national-scale comparison of resource and nutrient demands for algae-based biofuel production by lipid extraction and hydrothermal liquefaction**. Biomass and Bioenergy, **64**:276–290.
Weissman JC, Goebel RP (1987) **Design and analysis of microalgal open pond systems for the purpose of producing fuels**. SERI/SP-231-2840. Solar Energy Research Institute: Golden, CO.
Wigmosta MS, Coleman AM, Skaggs RJ, et al (2011) **National microalgae biofuel production potential and resource demand.** Water Resour Res, **47**:1–13.
Xiong J-Q, Kurade MB, Jeon B-H (2018) Can Microalgae Remove Pharmaceutical Contaminants from Water? Trends Biotechnol, **36**:30–44.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.3.5 ]