

بررسی پیشنهاد کشت ریز جلبک دونالیلاسالینا در دریاچه ارومیه با هدف تولید بتاکاروتن و کمک به بقای دریاچه

مسعود حسنی، سهیلا یغمایی*

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

پیام‌نگار: yaghmaei@sharif.edu

چکیده

ریز جلبک‌ها گونه‌هایی بسیار مناسب برای تولید موادی گرانتقیمت و مفیدفایده هستند که در صورت استفاده نکردن از آن‌ها، استفاده از روش‌های شیمیایی پیشنهاد می‌شود که معایب و مزایای خود را دارد. ریز جلبک دونالیلاسالینا به دلیل داشتن محیط کشت اختصاصی، تولید مواد گران‌قیمت از جمله کاروتنوئیدها و موارد دیگر از معروف‌ترین نوع ریز جلبک‌ها به شمار می‌رود. پارامترهای گوناگونی بر نرخ رشد، چگالی سلولی ریز جلبک و همچنین میزان کاروتنوئید تولیدی تأثیر می‌گذارد که با بهینه کردن این پارامترها، می‌توان به بهره‌وری مناسبی دست یافت. از دیگر مسائل مورد اهمیت در مورد کشت صنعتی ریز جلبک‌ها استفاده از محیط کشت مناسب برای تولید صنعتی مواد مورد نظر است. در این میان باید با توجه به نوع محیط کشت (بسته یا باز) و در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و مزایا و معایب هر کدام، بهترین گزینه را انتخاب کرد. به طور مثال با انتخاب روش‌های مناسب و بررسی‌های اقتصادی می‌توان اقدام به رشد این ریز جلبک در دریاچه ارومیه کرد. لازم به ذکر است که به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و بومی بودن این جلبک در این دریاچه، از یک طرف کشت صنعتی و تولید کاروتنوئیدها و محصولات دیگر می‌تواند سودآور باشد و از طرف دیگر پوشش ایجاد شده بر روی سطح دریاچه می‌تواند موجب کاهش میزان تبخیر از دریاچه و در نتیجه جلوگیری از خشکی بیشتر و بهبود این مشکل در سال‌های آتی گردد.

کلمات کلیدی: ریز جلبک، دونالیلاسالینا، کاروتنوئید، دریاچه ارومیه

۱- مقدمه

یکی از بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی حال حاضر ایران، پدیده خشکسالی دریاچه ارومیه است. دریاچه ارومیه واقع در شمال غربی ایران، بزرگترین دریاچه در خاورمیانه و یکی از بزرگترین و مهمترین زیستگاه‌های آرتمیا در دنیا است [۱-۳]. از بحران‌های ناشی از خشکسالی این دریاچه می‌توان به طوفان‌های نمک، نابودی بسیاری از موجودات، کاهش گردشگری و حذف بسیاری از اکوسیستم‌ها اشاره کرد.

تاکنون عوامل متعددی در خشکسالی هرچه بیشتر این دریاچه دخیل بوده‌اند [۴-۷]. یکی از مواردی که جلوگیری از آن نسبت به علل دیگر (مثل احداث پل شهید کلانتری، خشکسالی اقلیمی اخیر)، با سهولت بیشتری امکان‌پذیر است؛ کاهش شدت تبخیر سطحی از دریاچه می‌باشد [۴-۱۰]. از طرف دیگر ریز جلبک‌ها به دلیل تولید مواد ارزشمند دارویی، خوراکی و مزایای دیگر، ریزاندام‌هایی با بهره‌وری تجاری بالا هستند. یکی از بارزترین این ریز جلبک‌ها، دونالیلاسالینا است. لازم به ذکر

جلبک‌های تجاری، که در چند دهه اخیر تحقیقات و تجاری‌سازی زیادی بر روی آن‌ها انجام شده، می‌توان به اسپیرولینا^۴، همتوکوکوس^۵، کلرلا^۶، دونالیلا^۷، بیوتریوکوکوس^۸ و دیگر جلبک‌های تجاری اشاره کرد. اکثر این جلبک‌ها برای تولید پروتئین، آستاکسانتین^۹، بتاکاروتن، گلیسرول، سوخت‌های مایع و مواد دارویی به کار می‌روند [۱۲، ۱۳، ۱۵]. البته نه تنها ترکیب شیمیایی به دست آمده از ریزجلبک‌ها یک عامل ذاتی ثابت نمی‌باشد، بلکه از طیف گسترده‌ای تشکیل می‌گردد و این مشخصه به نوع گونه و شرایط کشت وابسته است. به عبارت دیگر می‌توان با تغییر دادن انواع فاکتورهای محیطی، ریزجلبک را مجبور به تولید طیف گسترده‌ای از محصولات مورد نظر کرد. این فاکتورها شامل دما، نور، اسیدیته، میزان عرضه کربن دی‌اکسید، نمک، مواد مغذی و انواع املاح معدنی و فلزی می‌شود [۲۰، ۱۵-۱۲]. در شکل (۱) نمونه‌هایی از این جلبک‌ها مشاهده می‌شود.

۳- دونالیلاسالینا

دونالیلاسالینا نوعی از ریزجلبک‌های هالوفیل^{۱۱}، تک‌سلولی، سبز رنگ و متعلق به کلروفیت‌ها^{۱۱} است که به‌خصوص در دریاها و آب‌های شور یافت می‌شود [۲۲-۲۱، ۱۵، ۱۳]. این ریزجلبک دارای دو فلاژلای یکسان، هسته ساده، سنسوری چشم مانند^{۱۲} برای تشخیص نور^{۱۳}، پیرنوید^{۱۴} (پروتئینی برای تولید نشاسته) پوشیده شده از دانه‌های نشاسته در انتهای سلول و کلروپلاستی فنجان‌شکل^{۱۵} در نیمه پایینی سلول تخم‌مرغی‌شکلش است. لازم به ذکر است که این ریزجلبک فاقد دیواره سلولی است و همین مشخصه باعث تمایز بین این گونه و کیلامیدوموناس^{۱۶}‌ها می‌شود [۲۴ و ۲۳]. شکل (۲) تصویری از ریزجلبک دونالیلاسالینا را که در محیطی با نمک بالا رشد کرده نشان می‌دهد [۲۴].

4. Spirulina
5. Haematococcus
6. Chlorella
7. Dunaliella
8. Botryococcus
9. Astaxanthin
10. Halophile
11. Chlorophytes
12. Eye-Spot
13. Photosensitivity
14. Pyrenoid
15. Cup-Shaped
16. Chlamydomonad

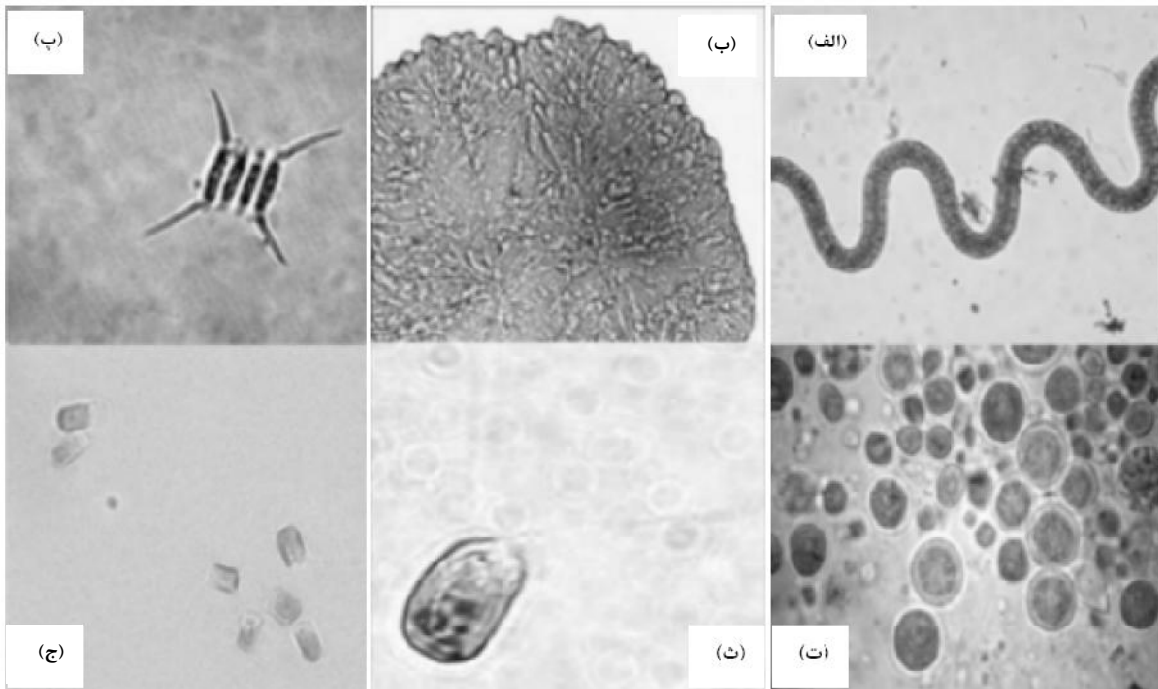
است که این گونه مهم‌ترین فرایند طبیعی تولید بتاکاروتن است. از طرفی رشد این ریزجلبک روی دریاچه‌ها باعث ایجاد پوششی شبیه به فرش شده و در نتیجه از شدت تبخیر به مقدار زیادی می‌کاهد [۱۱].

در این مقاله مروری در ابتدا توضیحاتی در رابطه با ریزجلبک‌ها، ریزجلبک دونالیلاسالینا، کاروتنوئیدها و شرایط کشت داده می‌شود و در انتها به بررسی نمونه‌های اقتصادی و تجاری استفاده از این ریزجلبک در جهت تولید بتاکاروتن و ارائه پیشنهاد کشت این ریزجلبک به منظور کاهش هرچه بیشتر تبخیر از دریاچه و همچنین افزایش بهره‌وری و سودآوری با تولید مواد ارزشمند از این کشت پرداخته می‌شود.

۲- ریزجلبک‌ها

ریزجلبک‌ها^۱ جلبک‌های میکروسکوپی هستند که به طور معمول در سامانه‌های آب شیرین یا شور دریایی وجود دارند. این دسته از ریزاندام‌ها گونه‌های تک سلولی هستند که به صورت تکی یا به صورت گروهی در زنجیره‌هایی قرار می‌گیرند. بسته به گونه، اندازه آن‌ها می‌تواند از چند تا چند صد میکرومتر متغیر باشد. ریزجلبک‌ها قادر به انجام فتوسنتز هستند که برای حیاتشان روی زمین امری ضروری به شمار می‌آید. این ریزاندام‌ها تقریباً نیمی از اکسیژن در اتمسفر را تولید می‌کنند و به طور همزمان با استفاده از گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن به صورت فتواتوتروف به رشد می‌پردازند. به طور کلی ریزجلبک‌ها، بیشترین و مرسوم‌ترین تولیدکننده‌های تک سلولی هستند. این ریزاندام‌ها در همه‌ی سامانه‌های آبی نظیر آب غیر شور^۲، آب دریا، دریاچه‌های فوق شور و حتی در مناطق قطبی یافت می‌شوند. با توجه به اینکه حدود دو سوم کره زمین از آب پوشیده شده است؛ جلبک‌ها یکی از بهترین گزینه‌های تولید غذا برای صنایع آبی‌پروری^۳، تولید مواد دارویی و تولید انرژی به شمار می‌روند [۱۴-۱۲]. تنوع زیستی ریزجلبک‌ها بسیار زیاد است. برآورد شده است که حدود ۲۰۰،۰۰۰ تا ۸۰۰،۰۰۰ گونه وجود دارد که در حدود ۵۰،۰۰۰ از این تعداد مورد شناسایی و تحقیق قرار گرفته است. بیش از ۱۵،۰۰۰ ترکیب از زیست توده جلبکی به وجود می‌آید که از نظر شیمیایی شناسایی شده‌اند. از مهمترین

1. Microphytes or Microalgae
2. Freshwater
3. Aquaculture



شکل ۱- نمونه‌هایی از مهمترین ریزجلبک‌های تجاری. الف) آرثروسپیرا ماکسیما^۱ ب) بوتریوکوکوس برانی^۲ پ) سندسموس کوادریکادا^۳ ت) کلرلا ولگاریس^۴ ث) دونالیلا سالینا^۵ ج) کاتسروس مولری^۶ [۱۲].

می‌تواند در فشار اسمزی بسیار بالا [۲]، دمای بالای آب [۲۵]، شدت نور زیاد خورشید [۱۸ و ۲۶] و کمبود منابع غذایی، نیترات، سولفات و فسفات [۱۹ و ۲۷] به زندگی خود ادامه دهد. دونالیلا سالینا، مقاوم‌ترین جلبک یوکاریوت شناخته شده در برابر غلظت بالای نمک^۹ است [۱۳] و می‌تواند تغییر نمک محلول را در بازه ۰/۵ تا ۵ مولار از NaCl، تحمل کند. همان‌طور که اشاره شد؛ این ریزجلبک فاقد دیواره‌ی سلولی از جنس سلولوز است و به‌جای آن، دارای پوششی پلاسمایی و الاستیک بر روی سلول خود می‌باشد که این مشخصه به سلول مذکور اجازه می‌دهد تا سریعاً حجم خود را افزایش دهد و در برابر فشارهای اسمزی بالا مقاومت کند. این ریزاندام برای زنده ماندن در چنین شرایطی، غلظت بالایی از بتاکاروتن (حدود ۱۰٪ وزن خشک)، را تولید و ذخیره می‌کند [۲۹ و ۲۸ و ۱۹ و ۱۸ و ۱۶]. ذخیره این ماده به حدی است که این ریزجلبک را در زمره منابع اصلی برای تولید طبیعی بتاکاروتن قرار داده است [۳۰]. در اثر ذخیره این ماده، رنگ این ریزجلبک از سبز به قرمز یا نارنجی تغییر می‌یابد [۲۶ و ۲۳ و ۲۱ و ۲۰ و ۱۷ و ۱۵ و ۱۳].



شکل ۲- نمونه‌ای از ریزجلبک دونالیلا سالینا که در محیط آب شور رشد داده شده است [۲۴].

از مشخصه‌های مهم این ریزجلبک می‌توان به ریخت‌شناسی^۷ و فیزیولوژی^۸ آن اشاره کرد. دونالیلا سالینا از نظر ریخت‌شناسی، شبیه به کیلامیدوموناس‌ها است [۲۳] و از نظر فیزیولوژی، این ریزجلبک

1. Chaetoceros Muellieri
2. Dunaliella Salina
3. Chlorella Vulgaris
4. Scenedesmus Quadricauda
5. Arthrospira Maxima
6. Botryococcus Brauanii
7. Morphology
8. Physiology

9. Halotolerent

۴- کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها^۵، رنگ‌دانه‌های آلی هستند که در کلروپلاست و کروموپلاست گیاهان و دیگر ارگانسیم‌های فتوسنتزکننده مانند جلبک‌ها، برخی از باکتری‌ها و بعضی از قارچ‌ها یافت می‌شوند [۱۵ و ۳۰]. کاروتنوئیدها را می‌توان از چربی‌ها و دیگر بلوک‌های ساختمانی پایه آلی متابولیک این موجودات تولید کرد. کاروتنوئیدها به طور کلی در سلسلهٔ حیوانات قابلیت تولید ندارد و حیوانات باید نیاز خود به این مواد را با مصرف آن‌ها در غذای خود برطرف کنند [۱۵].

بیش از ۶۰۰ کاروتنوئید شناخته شده وجود دارد، که به دو دسته اگزانتوفیل‌ها^۶ (حاوی اکسیژن) و کاروتن‌ها^۷ (کاملاً هیدروکربنی و بدون وجود اکسیژن) تقسیم می‌شود. همه کاروتنوئیدها شامل ۴۰ اتم کربن هستند و از ۸ مولکول ایزوپرن^۸ تشکیل شده‌اند [۱۵ و ۳۰]. کاروتنوئیدها به طور کلی، جاذب نور آبی هستند. این مواد دو نقش کلیدی جذب انرژی نور برای استفاده در فتوسنتز و حفاظت از کلروفیل در برابر نور شدید را در گیاهان و جلبک‌ها ایفا می‌کنند [۱۵ و ۳۰]. در انسان، چهار کاروتنوئید (بتاکاروتن^۹، آلفاکاروتن، گاماکاروتن و بتاکریپتوکسانتین)، فعالیت ویتامین آ دارند. موارد مذکور و سایر کاروتنوئیدها می‌توانند به عنوان عامل آنتی‌اکسیدان ایفای نقش کنند. در چشم، برخی دیگر از کاروتنوئیدها نقش محافظت از چشم در برابر نورهای آبی و نزدیک به فرابنفش را بر عهده دارند. رنگ کاروتنوئیدها با توجه به ساختارشان از زرد تا نارنجی و قرمز قابل تغییر است [۱۵].

از مصارف عمده کاروتنوئیدها می‌توان به استفاده در لوازم آرایشی و بهداشتی، دارویی، صنایع غذایی به عنوان رنگ‌دهنده، آنتی‌اکسیدان، ضد سرطان و یا مکمل اشاره کرد [۲۲]. بتاکاروتن که عضو گروه کاروتنوئیدها است؛ کاربردهای بسیار وسیعی دارد. پتانسیل بالای این ماده چربی‌دوست، به عنوان آنتی‌اکسیدان و تاثیرگذاری بر سامانه ایمنی، منجر به انجام پژوهش‌های بیشتری در زمینه کاربرد این ماده به منظور جلوگیری سرطان‌های انسانی شد. از این ماده به خاطر قابلیت بالای جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن، به عنوان ضد سرطان و عاملی در برابر بیماری‌های فاسدکننده بافتی

بتاکاروتن تولیدی توسط این ریزجلبک، حاوی ایزومرهای بسیار گوناگونی است که حدود ۸۰ درصد از این ایزومرها به دو نوع ۹-سیس^۱ و آل‌ترانس اختصاص می‌یابد [۱۶ و ۳۱].

۳-۱ کاربردها

کشت تجاری جلبک دونالیلاسالینا برای تولید بتاکاروتن، گلیسرول یا پروتئین تک یاخته یکی از موارد پیشرو در صنایع بیوتکنولوژی است. طبق آمار در سال ۲۰۰۴ حدود ۸۴/۸ درصد از مصرف جهانی بتاکاروتن در دنیا به صورت شیمیایی سنتز می‌گردید در صورتی که تنها ۸/۵ درصد از آن توسط ریزجلبک‌ها تولید گردیده است. بتاکاروتن سنتزی دارای کیفیت پایین‌تر بوده و به دلیل ارجحیت واکنش‌های بیولوژیکی به شیمیایی و اثرات زیست محیطی کمتر تمایل به سمت تولیدهای طبیعی است. در حال حاضر کشت دونالیلاسالینا مهم‌ترین فرایند طبیعی تولید بتاکاروتن است.

می‌توان گفت که تولید بتاکاروتن از دونالیلاسالینا، اولین و مهم‌ترین بهره‌برداری از این ریزجلبک است. با این وجود نمی‌توان از دیگر کاربردهای پر اهمیت این ریزجلبک صرف‌نظر کرد. سالیان سال است که از باکتری‌ها در زمینه مهندسی ژنتیک و تولید پروتئین‌های نو ترکیب استفاده می‌گردد. اما با این وجود هنوز هم مشکلاتی در استفاده از این ریزاندام‌ها وجود دارد. گونه دونالیلاسالینا به دلیل مزایایی نسبت به باکتری‌ها، نظیر هزینه پایین تولید، رشد سریع، محیط کشت غیر پیچیده، آسانی انتقال ژن‌ها و مزایایی دیگر در زمینه مهندسی ژنتیک و تولید پروتئین‌های نو ترکیب مورد استفاده قرار گرفته است [۳۲ و ۳۳].

در زمینه تولید سوخت پاک، نیز از این ریزجلبک برای تولید روغن^۳ و سوخت بیولوژیکی^۴ استفاده شده است [۱۴ و ۱۸ و ۳۴]. همچنین زیست‌توده بدست آمده از ریزجلبک‌ها نسبت به زیست‌توده‌های مرسوم دارای مزایایی از قبیل بهره‌وری بیشتر، استفاده از زمین‌های بایر، بازیافت محیط کشت استفاده نشده، استفاده از آب شور و تلخ‌مزه، کاهش گازهای گلخانه‌ای و مزایایی دیگر می‌باشد. از پودر این ریزجلبک بعد از گرفتن محصولات مورد نیاز می‌توان به‌عنوان افزودنی در علوفه دامی، غذای آبزیان، افزودنی‌ها و مصارف دیگر استفاده کرد [۱۲].

5. Caratenoids
6. Xanthophylls
7. Carotenes
8. Isoprene
9. β -Carotene

1. 9-Cis
2. All-Trans
3. Bio-Oil
4. Bio-Fuel

جدول ۱- کاربردهای بالقوه ایزومرهای بتاکاروتن گرفته شده

از ریزجلبک دونالیاسالینا [۱۵]

| مرجع | کاربرد | ایزومر |
|------|--|-------------------------------|
| [۴۱] | عامل رنگ‌دهنده (مصارف غذایی) | ۹-سیس ^۴ |
| [۴۲] | منبع ویتامین آ در غذای حیوانی | آل-ترانس ^۵ |
| | بهبود رنگ زرده‌ی تخم مرغ در مرغ‌های دارای کمبود ویتامین آ | ۹-سیس و آل-ترانس ^۶ |
| [۴۳] | حاوی فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق کاهش اکسیژن یکتا ^۷ ، حذف پرواکسی‌رادیکال‌ها و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۴۴] | جلوگیری از سرطان ارگان‌هایی نظیر معده، گردن رحم ^۸ ، لوزالمعده، روده، مقعد، سینه، شش، پروستات و تخمدان | ۹-سیس |
| [۴۵] | موثر در ارتباطات درون سلولی | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۴۶] | تنظیم واکنش ایمنی با افزایش درصد مونوسیت ^۹ و تقویت فعالیت سلول‌های کشته ^{۱۰} در افراد سالخورده | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۴۸] | درگیر در انتقال نئوپلاستیک ^{۱۱} و کنترل رشد | ۹-سیس |
| [۴۶] | متابولیت‌های کاروتنوئید مثل رتینول، کتون و ... مؤثر در مسیرهای متابولیکی | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۴۹] | حفاظت از کبد در برابر صدمه ^{۱۲} | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۵۰] | کاهش حساسیت به نور خورشید | ۹-سیس و آل-ترانس |
| [۵۱] | محافظة در برابر اسکرودرمی ^{۱۳} | ۹-سیس و آل-ترانس |

4. 9-Cis
5. All-Trans
6. 9-Cis and All-Trans
7. Singlet
8. Cervix
9. Monocyte
10. Killer Cell
11. Neoplastic Transformation
12. Hepatoprotective
13. Scleroderma

استفاده می‌شود. در جدول (۱) نمونه‌هایی از کاربردهای بتاکاروتن گردآوری شده است. کاروتنوئید از نوع بتا، در ارگانیسیم‌های فتوسنتتیک^۱، نقشی اساسی را در جلوگیری از اکسیدشدن خودبه‌خودی (فرایند اکسیداسیونی که در هوای آزاد و یا حضور اکسیژن یا اشعه فرابنفش صورت می‌گیرد و تولید پروکسید و هیدروپروکسید می‌کند) به عهده دارد. همچنین این مواد در فرایند انتقال انرژی شرکت می‌کنند. اما در ارگانیسیم‌های غیر فتوسنتتیک مانند انسان‌ها، کاروتنوئیدها در مکانیسیم‌های جلوگیری‌کننده از اکسید شدن نقش دارند. این مواد باعث تقویت سامانه ایمنی مهره‌داران می‌شوند [۳۸ و ۳۵ و ۲۰-۱۵].

مطالعات نشان می‌دهد که افرادی که در رژیم غذایی آن‌ها مقادیر بالایی از کاروتنوئیدها وجود دارد، از سلامتی بالاتری برخوردارند و آمار مرگ کمتری به خاطر بیماری‌های کشنده را به خود اختصاص می‌دهند. به عنوان مثال تحقیقی نشان می‌دهد که استفاده از بتاکاروتن احتمال ابتلا به سرطان ریه را کاهش می‌دهد [۱۵].

از دیگر استفاده‌های بتاکاروتن می‌توان به شبیه‌ساز سامانه ایمنی اشاره کرد که برای بیش از ۶۰ نوع بیماری مهلک از قبیل سرطان، بیماری‌های قلبی، پیری زودرس و ورم پوست کاربرد دارد [۴۰ و ۳۹]. همچنین محصولات حاصل از تجزیه کاروتنوئیدها، بوی بسیار خوبی دارند از این جهت از این مواد در صنعت عطرسازی به‌طور گسترده استفاده می‌شود [۳۵ و ۲۰ و ۱۵].

۵- بررسی کشت ریزجلبک‌ها

بطور کلی قیمت بالای سامانه‌های مخصوص کشت کلیه ریزجلبک‌ها مربوط به نیاز این موجودات به نور و سرعت رشد پایین آن‌ها است [۱۱]. اما با این وجود، علتی که سبب افزایش تحقیقات گسترده در زمینه ریزجلبک‌ها گشته است؛ استفاده از این ریزاندام‌ها جهت تعویض‌کننده‌ی گازی در مسافرت‌های فضایی و همچنین تولید محصولات با ارزش از این ریزاندام‌ها است [۵۲]. به طوری که با راه‌اندازی و توسعه شرکت‌های بتاتن^۲ و وسترن بایوتکنولوژی^۳، تولید تولید صنعتی دونالیاسالینا به جهت تولید بتاکاروتن در مرتبه سوم صنعت‌های در ارتباط با ریزجلبک‌ها قرار گرفت [۵۲].

1. Photosynthetic
2. Betatene Ltd
3. Western Biotechnology

جدول ۲- سامانه‌های کشت مورد استفاده

در صنعت ریز جلبک [۵۲]

| مکان | حجم کشت (لیتر) | نوع جلبک | سامانه کشت |
|--|-----------------------|-----------------------------------|--|
| در سطح جهانی | ۱۰ ^۴ | تمامی گونه‌ها بدون تفکیک | تانک‌ها |
| استرالیا | ۱۰ ^۹ | دونالیلاسالینا | دریاچه‌های روباز |
| تایوان، ژاپن | ۱/۵ × ۱۰ ^۴ | کلرلا | دریاچه‌های دایره‌ای به همراه بازوی چرخان |
| ژاپن، آمریکا، تایوان، تایلند، چین، هند، ویتنام، شیلی، فلسطین غصب‌شده | ۳ × ۱۰ ^۴ | کلرلا و اسپیرولینا دونالیلاسالینا | دریاچه‌های نهری |
| بلغارستان، جمهوری چک | ۳ × ۱۰ ^۴ | کلرلا | سامانه آبخاری به همراه بافل ^۷ |
| در سطح جهانی | ۱۰ ^۳ | تمامی گونه‌ها بدون تفکیک | کیسه‌های بزرگ |
| ژاپن، آمریکا، تایوان، اندونزی | ۱۰ ^۳ | کلرلا | تخمیرکننده‌ها (هتروتروفیک) |

۵-۱ بررسی انواع سامانه‌های روباز

تولید صنعتی محصولاتی که از ریز جلبک‌ها به دست می‌آید به فاکتورهای زیادی وابسته است که یکی از آن‌ها، گسترش تدریجی و رسیدن به مقیاسی بزرگ برای تولید است؛ البته به طوری که توجیه اقتصادی داشته باشد. علت این امر، الزام به تولید محصول حداکثر برای کاهش تاثیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای دریاچه‌ها و سامانه محصول‌گیری است. به طور مثال، این وسعت می‌تواند برای دونالیلاسالینا به ۱۰^{۱۰} لیتر نیز برسد [۵۲]

می‌توان کشت صنعتی ریز جلبک‌ها را از نظر حجم زیر کشت به زیر ۱۰۰ لیتر (به منظور تولید مواد آلی) و بالای ۱۰^{۱۰} لیتر (به منظور کشت دونالیلاسالینا) تقسیم کرد. اما صرف‌نظر از سامانه‌های کوچک‌مقیاس (زیر ۱۰۰۰ لیتر)، سامانه‌های کشت صنعتی ریز جلبک‌ها به ۴ دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- دریاچه‌های روباز^۱
- دریاچه‌های دایره‌ای به همراه بازوی چرخان برای هم‌زدن محیط کشت^۲
- دریاچه‌های نهری^۳
- کیسه‌های بزرگ^۴

از دیگر سامانه‌های صنعتی مورد استفاده در زمینه‌ی کشت صنعتی انواع ریز جلبک‌ها می‌توان به تانک‌های بزرگ، سامانه‌های آبخاری و تخمیرکننده‌های هتروتروفیک^۵ اشاره کرد. جدول (۲) خلاصه‌ای از سامانه‌های کشت مورد استفاده در صنعت ریز جلبک را نشان می‌دهد.

نوع کشت انتخابی برای رشد ریز جلبک‌ها به پارامترهای بسیار گوناگونی وابسته است. بطور کلی کشت‌های مورد نظر برای رشد ریز جلبک‌ها و تولید مواد تجاری از آن‌ها، به دو دسته باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شوند که هر کدام مزایا و معایبی دارند که در ادامه بررسی می‌شود. فاکتورهای مؤثر و مورد بررسی برای انتخاب نوع کشت مناسب، شامل بیولوژی جلبک، قیمت زمین، کارگر، انرژی، آب، مواد غذایی، اقلیم منطقه و نوع و حالت محصول تولیدی می‌شود. همچنین این سامانه‌ها باید از نظر ویژگی‌های اساسی نظیر راندمان مصرف نور و دی‌اکسیدکربن، توانایی کنترل دما، استرس هیدرودینامیکی وارده روی ریز جلبک، توانایی نگهداری سامانه به صورت تک‌جلبکی^۶ و قابلیت توسعه دادن آن‌ها از حالت آزمایشگاهی به صنعتی با هم مقایسه گردند، که این مشخصات در جدول (۳) آورده شده است.

1. Large Open Ponds
 2. Circular Ponds With a Rotating Arm
 3. Raceway Ponds
 4. Large Bags
 5. Heterotrophic Fermenter
 6. Unialgal

7. Cascade System with Baffles

جدول ۲- مقایسه مشخصات انواع سامانه‌های صنعتی برای کشت جلبک [۵۲].

| نوع کشت | اختلاط | بازده نور مورد استفاده ^۱ | کنترل دما | انتقال گاز | تنش هیدرودینامیکی وارده بر جلبک | کنترل گونه‌ها | سترونی | افزایش مقیاس |
|--|-----------------|-------------------------------------|-----------|-------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------|--------------|
| استخرهای غیر عمیق و بدون همزن | خیلی ضعیف | ضعیف | ندارد | ضعیف | خیلی کم | مشکل | ندارد | خیلی سخت |
| مخزن‌ها | ضعیف | خیلی ضعیف | ندارد | ضعیف | خیلی کم | مشکل | ندارد | خیلی سخت |
| استخرهای دایره‌ای همزده | نسبتاً خوب | نسبتاً خوب | ندارد | ضعیف | کم | مشکل | ندارد | خیلی سخت |
| استخرهای نه‌ری دارای پاروی دایره‌ای | نسبتاً خوب | نسبتاً خوب | ندارد | ضعیف | کم | مشکل | ندارد | خیلی سخت |
| تانک همزده | کاملاً یکنواخت | نسبتاً خوب | عالی | پایین-بالا ^۲ | بالا | آسان | قابل حصول به آسانی | سخت |
| راکتور Air lift | معمولاً یکنواخت | خوب | عالی | بالا | کم | آسان | قابل حصول به آسانی | سخت |
| کشت کیسه‌ای | متغیر | نسبتاً خوب | خوب | پایین-بالا | کم | آسان | قابل حصول به آسانی | سخت |
| راکتور صفحه‌ای | یکنواخت | عالی | عالی | بالا | پایین-بالا | آسان | قابل حصول | سخت |
| راکتور لوله‌ای (از نوع مارپیچ ^۳) | یکنواخت | عالی | عالی | پایین-بالا | پایین-بالا | آسان | قابل حصول | منطقی |
| راکتور لوله‌ای (از نوع بایوکویل) | یکنواخت | عالی | عالی | پایین-بالا | پایین-بالا | آسان | قابل حصول | آسان |

مشخصه‌ای که در اکثر نمونه جلبک‌های مفید وجود دارد، رشد این ریزاندام‌ها در محیط‌های کاملاً اختصاصی است؛ که این مشخصه به این گونه‌ها اجازه می‌دهد که به طور مثال، در محیط کشت‌های روباز مثل دریاچه‌های مصنوعی رشد کنند و به دلیل وجود شرایط خاص در محیط کشت، هیچ آلودگی دیگری آن‌ها را تهدید نکند. به طور مثال کلرلا^۴ در محیطی بسیار غنی از مواد غذایی، اسپیرولینا^۵ در محیطی با اسیدیته بالا و دونالیاسالینا در محیط کشت با غلظت نمک بسیار بالا رشد می‌کند. این مشخصه باعث

اگرچه تحقیقات اولیه صورت گرفته روی ریزجلبک‌ها همگی مربوط به محیط‌های کشت بسته بوده است اما اکثر شرکت‌های تولید تجاری محصولات از ریزجلبک‌ها به صورت سامانه‌های روباز هستند. علت این انتخاب مربوط به مسائل اقتصادی است. سامانه‌های کشت بسته بسیار پرهزینه هستند و بعضی از آن‌ها قابلیت اجرا در مقیاس صنعتی را ندارند. به علاوه بسیاری از سامانه‌های بسته باید در محیط‌های بسته با نور مصنوعی باشند و این مسئله باعث هزینه بالای تامین انرژی خواهد شد و این در حالیست که سامانه‌های روباز از انرژی طبیعی خورشید استفاده می‌کنند [۵۲ و ۳۰].

3. Low-high (Proportional to Design)
4. Chlorella
5. Spirulina

1. Serpentine Type
2. Light Utilization Efficiency

دونالیالسالینا در دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد و استفاده از سامانه‌های بسته مد نظر نمی‌باشد؛ از توضیح درباره‌ی این سامانه‌ها صرف‌نظر شد.

۵-۲ بررسی نمونه‌ای از کشت گسترده تجاری دونالیالسالینا

اولین و بزرگترین شرکت‌های تولید بتاکاروتن با استفاده از دونالیالسالینا، دو شرکت استرالیایی بتاتن و وسترن بیوتکنولوژی هستند. البته با گذشت زمان شرکت‌های دیگری نیز در چین، آمریکا و فلسطین اشغالی تاسیس شده‌اند [۳۰، ۵۳].

در جدول (۴) معروف‌ترین شرکت‌های تولید بتاکاروتن از ریزجلبک دونالیالسالینا قابل مشاهده است.

جدول ۳- بزرگترین تولیدکننده‌های بتاکاروتن از ریزجلبک

دونالیالسالینا [۳۰]

| شرکت | مکان | سطح زیر کشت (هکتار) | بتاکاروتن تولیدی (تن در سال) | سامانه کشت |
|---|---------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| بتاتن | استرالیا | ۴۰۰ | ۱۳-۱۴ | استخرهای گسترده‌ی بدون همزن |
| وسترن بیوتکنولوژی | استرالیا | ۲۴۰ | ۴-۶ | استخرهای گسترده‌ی بدون همزن |
| آکواکاروتن ^۲ | استرالیا | - | - | استخرهای گسترده‌ی بدون همزن |
| سیانوتک ^۳ | هاوایی | - | - | دریاچه‌های نهري |
| مهندسی بیولوژیکی اینرمنگولیا ^۴ | چین | - | - | دریاچه‌های نهري |
| نیچریتا تکنولوژی ^۵ | فلسطین اشغالی | ۵ | ۳-۴ | دریاچه‌های نهري |
| تیانجین لانتای بوتکنولوژی ^۶ | چین | - | - | دریاچه‌های نهري |
| صنعت پری آگرو ^۷ | هند | - | - | دریاچه‌های نهري |

2. AquaCarotene

3. Cyanotech

4. Inner Mongolia Biological Eng

5. Nature Beta Technologies

6. Tianjin Lantai Biotechnology

7. Parry Agro Industries

می‌شود تا امکان استفاده از سامانه‌های روباز در برابر سامانه‌های کشت بسته قوت پیدا کند [۵۲ و ۱۳].

به طور کلی سامانه‌های روباز، هر کدام داری مزایا و معایبی هستند. در نتیجه باید با در نظرگیری تمام شرایط موثر، انتخاب نوع سامانه کشت ریزجلبک انجام گیرد. برای مثال انتخاب یک سامانه وابستگی بالایی به طبیعت و ویژگی‌های جلیبک مورد نظر، شرایط اقلیمی منطقه و قیمت‌های زمین و آب دارد. برای نمونه می‌توان به دریاچه‌های بسیار بزرگ شرکت بتاتن برای کشت تجاری دونالیالسالینا اشاره کرد که تنها واسطه برای هم‌زدن محیط کشت، باد است و این واسطه با توجه به نوع کشت و شرایط اقلیمی دریاچه، کافی می‌باشد که امکان دارد در هر نوع مشابه دیگری با اندکی تغییر در شرایط کافی نباشد. از طرف دیگر در مقابل دریاچه‌های بسیار بزرگ شرکت بتاتن، شرکت‌های آمریکایی و شرکت‌های تاسیس شده در فلسطین اشغالی، به خاطر قیمت بالای زمین مجبور به استفاده از سامانه دریاچه‌های نهري برای رسیدن به چگالی سلولی بالاتر می‌باشند [۳۰ و ۵۲].

مشکل اساسی سامانه دریاچه‌های روباز این است که محصول قابل حصول کمتر از مقدار به دست آمده از محاسبات تئوری است. همچنین مشکل کنترل محیط کشت از دیگر مشکلات این سامانه می‌باشد. عمق دریاچه باید مطابق نور مورد نیاز و قابل دسترسی برای ریزجلبک مربوطه باشد (هرچه کم عمق‌تر، نور در دسترس بیشتر) و نیاز به حفظ مقدار کافی آب در جهت عمق مناسب برای هم‌زدن و اجتناب از تغییرات عمده در ترکیب یونی به خاطر تبخیر گسترده‌ی آب احساس می‌شود. بنابراین اکثر دریاچه‌های نهري دارای عمقی بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است و دریاچه‌های روباز تا عمق ۵۰ سانتی‌متری هم می‌رسد. این مسئله بدین معنی است که تقریباً در همه‌ی نمونه‌ها، جلبک‌ها دارای محدودیت در نور قابل دسترس هستند و حداکثر بایومس قابل حصول چیزی در حدود ۰/۱ تا ۰/۵ گرم خشک بر لیتر است. محدودیت دیگری که بر ریزجلبک‌ها تاثیرگذار است مسئله‌ی غلظت کربن‌دی‌اکسید می‌باشد که اضافه کردن کربن‌دی‌اکسید به این دریاچه‌های بزرگ امری کاملاً غیر اقتصادی است مگر در مورد اسپیرولینا که الزام به حفظ قلیائیت^۱ محیط کشت وجود دارد [۵۲].

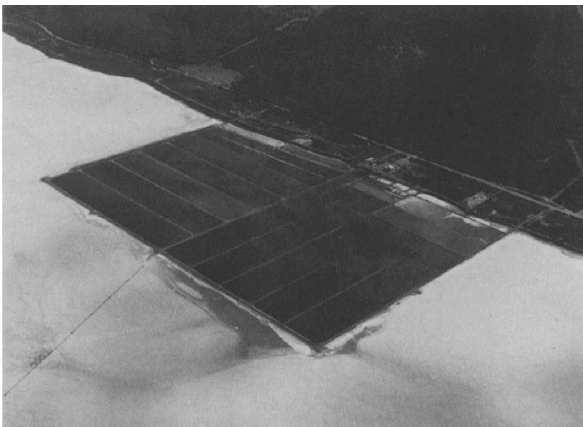
به دلیل اینکه هدف از این مقاله، بررسی پیشنهاد کشت ریزجلبک

1. Alkalinity

۵-۳ اختلاط و نمونه‌گیری

در این مجموعه، عملیات اختلاط به صورت کاملاً طبیعی از طریق باد و ایجاد موج صورت می‌گیرد. اختلاط ایجاد شده به صورت افقی و عمودی است. هم‌چنین، جهت باد در این منطقه بسیار تغییر می‌کند و این، عامل مناسبی برای افزایش بازدهی اختلاط است. اما در مواقعی به دلیل کم وزیدن باد، اختلاط بسیار کم صورت می‌گیرد و در نتیجه ریزجلبک‌ها به خاطر نور خورشید روی دریاچه‌ها را می‌پوشانند و این پدیده عملیات نمونه‌گیری برای آزمایشات را با مشکل روبه‌رو می‌کند. بنابراین نمونه‌گیری در مواقعی صورت می‌گیرد که باد و به تبع آن اختلاط مناسب وجود دارد. این نمونه‌گیری‌ها به طور معمول هر سه روز یکبار به منظور تحلیل میزان اختلاط، وضعیت محیط کشت و بررسی‌های دیگر صورت می‌گیرد [۱۱].

همان‌طور که گفته شد در اثر کاهش شدت باد، ریزجلبک‌ها روی دریاچه‌ها را مانند فرشی می‌پوشانند و در این حالت موج‌های حتی کوچک، می‌توانند ریزجلبک‌ها را به ساحل ببرند. در این صورت ریزجلبک‌ها خشک شده و می‌میرند. از طرف دیگر، در حالتی که این ریزجلبک‌ها به صورت توده‌ای حتی در آب نمک قرار داشته باشند، لایه‌ای ژلاتینی تشکیل می‌دهند که باعث مرگشان می‌شود. در این صورت تعدادی از سلول‌های مرده تجزیه می‌شوند و بتاکاروتن آن‌ها استخراج شده و به خاطر ماده فاسدکننده‌ای که از اجزای سلولی به وجود می‌آید، سریعاً تجزیه گردیده و از بین می‌رود [۱۱]. بنابراین کنترل هرچه بیشتر این سامانه‌ها برای جلوگیری از وقوع چنین مشکلاتی اکیداً توصیه می‌شود.



شکل ۳- دریاچه‌های تولید بتاکاروتن به همراه کلیه تجهیزات، مربوط به وسترن بیوتکنولوژی در استرالیا غربی [۵۳].

شرکت بناتن به منظور تولید بتاکاروتن در جنوب استرالیا تاسیس گردید. این شرکت قریب به ۳۰۰ هکتار وسعت دارد که به سه دریاچه بزرگ مخصوص کشت تقسیم می‌شود. این کمپانی در منطقه‌ای بسیار کم جمعیت و خشک با متوسط بارش ۲۰۰ میلی‌متر در سال بنا شده است، که این بارندگی بسیار پایین موجب شده است تا این منطقه زمین‌های کشاورزی بسیار کم و به تبع آن کمترین آلودگی محیط‌های آبی از طریق آفت‌کش‌ها و کودها را داشته باشد؛ پس می‌توان از آب دریا به عنوان منبع آبی مناسب جهت کشت استفاده کرد [۱۱].

این دریاچه‌ها از طریق خاک‌ریزهای^۱ قابل رفت و آمد به منظور قطع ارتباط دریاچه‌های مجاور، تقسیم‌بندی شده‌اند. به منظور محافظت از این خاک‌ریزها در برابر فرسایش توسط موج‌هایی (به وجود آمده به خاطر وزش باد) که می‌تواند به ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متر برسد از روکش‌های محافظی روی این خاک‌ریزها استفاده می‌شود [۱۱].

کف دریاچه‌ها دارای پوسته‌ای از جنس کلسیم کربنات و کلسیم سولفات است که از ته نشینی مواد نمکی موجود در آب گرفته شده از دریا، حاصل می‌شود. این پوسته مانند عایقی در برابر خروج آب‌نمک موجود در دریاچه عمل می‌کند. همان‌طور که گفته شد دریاچه‌ی اصلی به سه دریاچه‌ی کوچک‌تر تقسیم شده است، که این امر باعث افزایش انعطاف‌پذیری محیط کشت و محصول می‌شود و هم‌چنین، ورودی مناسب برای قسمت محصول‌گیری قابل کنترل و تنظیم خواهد بود. این دریاچه‌ها در صورت لزوم برای رشد جلبک، برداشت محصول و یا استراحت مورد استفاده قرار می‌گیرند. نکته قابل توجه دیگر این است که شدت رشد این ریزجلبک‌ها در فواصل مختلف سال متفاوت است و در نتیجه در فصل زمستان که شدت رشد به حداقل خود می‌رسد، سامانه برای تعمیر و نگهداری^۲ از کار انداخته می‌شود. هم‌چنین، آنالیزهایی برای بررسی افزودنی‌های مورد نیاز برای ماکزیمم کردن تولید محصولات، با نمونه‌گیری از آب دریاچه‌ها صورت می‌پذیرد [۱۱].

شدت بالای نمک موجود در آب، باعث خوردگی فلزات می‌شود؛ پس حتی‌الامکان از تجهیزات و اجزای غیرفلزی استفاده شده است. چندین دریاچه آزمایشی در نزدیکی شرکت برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی روی رژیم‌های مختلف رشد سلولی تحت شرایط اقلیمی، واقع در محل اصلی، تاسیس شده است.

1. Banks
2. Maintenance Shutdown

بالای ۵۰۰ گرم در لیتر افزایش می‌یابد که این مقدار حتی توسط آرتمیا هم قابل تحمل نیست. از پیامدهای نابودی آرتمیا می‌توان به حذف مهاجرت پرندگانی نظیر فلامینگو به این دریاچه اشاره کرد [۱۰ و ۴].

توسعه بیابان نمک از دیگر تبعات بحران خشکسالی است. خشک شدن اکوسیستم‌ها باعث می‌شود تا توفان‌ها، رسوبات به جامانده را ده‌ها و گاه صدها کیلومتر جابه‌جا کنند. دریاچه ارومیه منبع عظیمی از انواع نمک‌ها و رسوبات است و با وجود توفان‌های شدید در این منطقه، معضلات و خسارات غیر قابل جبرانی را ایجاد می‌کند [۴].

۶-۲ زیستگاه ریزجلبک‌ها

انواع جلبک‌های قرمز در حدود ۴۰۰۰ گونه شناخته شده است که از میان آن‌ها فقط چند گونه در آب‌های شیرین و خاک و بقیه در آب‌های شور دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند. اغلب جلبک‌های قرمز در اعماق آب‌های شور و دور از ساحل یافت می‌شوند. یکی از ریزجلبک‌های بومی دریاچه ارومیه، دونالیالسالینا است که در حالت معمولی رنگ‌دانهٔ سبز دارد ولی در اثر تبخیر شدید آب، افزایش شوری و افزایش شدت نور، به تولید بتاکاروتن می‌پردازد و چون این ماده دارای رنگ نارنجی است؛ رنگ این ریزجلبک از سبز به نارنجی و قرمز تغییر می‌کند. در چند سال اخیر به دلیل خشکی بوجود آمده در این دریاچه، میزان شوری آب افزایش شدیدی داشته است. به علت اشباع شدن شوری آب (۳۳۰ گرم نمک در لیتر)، کاهش شدید ارتفاع آب و سفید شدگی آب دریاچه به خاطر رسوبات نمک، در دریاچه ارومیه پدیده گلخانه‌ای رخ داده است که بر اساس آن ریزجلبک‌های دونالیالسالینا، ریزجلبک بومی دریاچه ارومیه، بر سایر جلبک‌های دریاچه غالب شده و برای سازگاری با محیط دریاچه ماده بتاکاروتن بیشتری ایجاد می‌کند که این ماده نارنجی رنگ، موجب تغییر رنگ و ظهور سرخی دریاچه شده است [۵۴]. همان‌طور که در شکل (۴) قابل مشاهده است؛ رنگ دریاچه به قرمز- نارنجی متمایل شده است.

۶-۳ بررسی میزان تبخیر

از بزرگ‌ترین مشکلاتی که منجر به خشکی دریاچه ارومیه گردیده است می‌توان به کاهش جریان‌های ورودی به دریاچه و همچنین

در این دسته از کشت‌های تجاری که به صورت کشت در دریاچه‌های روباز شکل می‌گیرد، باید به این نکته توجه داشت که ریزاندام اولیهٔ تلقیح شده، بسیار به تنش‌های برشی حساس است، بنابراین استفاده از هرگونه از تجهیزات که موجب تنش برشی بالا می‌شود؛ منتفی می‌گردد [۱۱].

۶-۲ بررسی خصوصیات دریاچه ارومیه و رابطه آن با دونالیالسالینا

دریاچه ارومیه بزرگترین سطح آبی کشور بوده که بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد [۸]. میانگین طول آن بطور تقریبی ۱۴۰ کیلومتر و پهناى آن بین ۱۵ الی ۵۰ کیلومتر متغیر است [۵]. مساحت متوسط دریاچه را در حدود ۵۵۰۰ کیلومتر مربع تخمین زده‌اند [۴ و ۵۴]. عمق متوسط این دریاچه ۵/۴ متر و حداکثر عمق ۱۳ متر در شمال دریاچه و حجم تقریبی آن ۳۱ میلیارد متر مکعب می‌باشد [۵۴].

۶-۱ بررسی عوامل خشکی دریاچه ارومیه

مؤسسه تحقیقات اکولوژی و تنوع زیستی مدیریتانه مارسسی فرانسه، دوره‌های کم آبی این دریاچه را مربوط به اواخر دوره عصر یخبندان در ۱۸ تا ۲۲ هزار سال قبل دانسته ولی به نظر می‌رسد که دریاچه هیچ‌گاه کاملاً خشک نشده است. یعنی حتی در ۱۸ تا ۲۲ هزار سال پیش که سطح آب آن مانند سطح آب حوض سلطان در قم بوده است هرگز دریاچه رو به خشکی کامل نرفته است.

از عوامل خشک شدن دریاچه ارومیه می‌توان تاسیس سد‌هایی روی رودهای منتهی به دریاچه، زدن پل نامناسب روی دریاچه، استحصال بی‌رویهٔ آب‌های زیر زمینی به دلیل خشکسالی‌های اخیر و افزایش برجسته‌ی تبخیر از ۹۰۰ به ۱۶۰۰ میلی‌لیتر در سال را نام برد [۴ و ۷-۵۴]. منبع اصلی تغذیهٔ دریاچه ارومیه، جریان‌های سطحی ورودی توسط ۱۸ رودخانه می‌باشد؛ اما با افزایش بهره‌برداری‌های بی‌رویه در چند سال اخیر، میزان جریان ورودی کاهش چشمگیری داشته است. با اتمام بهره‌برداری‌های اخیر طی ۲۰ سال آینده، میزان آب دریاچه از ۱۹ به ۱۲ میلیارد متر مکعب کاهش می‌یابد [۱۰].

کاهش آب دریاچه باعث افزایش غیرقابل تحمل نمک برای بسیاری از آبزیان می‌گردد. با کاهش آب و افزایش خشکی، غلظت نمک به

وسعت دریاچه و همچنین فناوری موجود در ایران، اقتصادی به نظر نمی‌رسد.

یکی از روش‌هایی که برای اولین بار به آن اشاره می‌شود؛ کشت ریز جلبک دونالیلاسالینا در این دریاچه است. این ریز جلبک به صورت بومی در دریاچه موجود است [۲ و ۵۵ و ۵۶] و میزان نمک بالای دریاچه خطری برای زندگی این میکروارگانیسم ایجاد نمی‌کند. از طرفی تولید بتاکاروتن توسط ریز جلبک جداسازی شده از دریاچه ارومیه انجام شده است [۲ و ۵۵ و ۵۶]. در نتیجه علم و تا حدی فناوری مربوط به این کار، بومی‌سازی شده است.



شکل ۴- تصویری از دریاچه ارومیه به هنگام وقوع خشکسالی‌های اخیر.

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به موارد مناسبی که در این مقاله مروری مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به وضعیت بغرنج دریاچه ارومیه می‌توان با بررسی دقیق‌تر و انجام آزمایش‌های گسترده‌ای در این زمینه و بررسی شرایط اقتصادی، به ایجاد شرکت‌های تولید بتاکاروتن بر روی دریاچه اقدام کرد که این مورد هم باعث ارزش افزوده مناسب گردیده و هم به جلوگیری از خشک شدن بیشتر دریاچه و بهبود آن در سال‌های آتی می‌انجامد. کشت این ریز جلبک و ایجاد شرایط مناسب برای محصول‌گیری از طرفی می‌تواند سبب افزایش ارزش افزوده، رونق اقتصادی، ایجاد موقعیت‌های شغلی و بسیاری از موارد دیگر گردد. از طرف دیگر همان‌طور که در بعضی از مراجع ذکر گردید [۱۱]؛ رشد این ریز جلبک به گونه‌ای است که روی دریاچه را مانند فرشی می‌پوشاند و این پدیده می‌تواند سبب کاهش قابل توجهی در تبخیر آب دریاچه توسط خورشید گردد. لازم به ذکر است که یکی از اساسی‌ترین علل خشکی دریاچه ارومیه، تبخیر سطحی بسیار بالای این دریاچه است که انتظار می‌رود پیشنهاد مورد نظر بتواند در ترفیع مشکل خشکی این دریاچه نقش مناسبی ایفا کند. البته همچنان نیاز به انجام تحقیقات و آزمایشات گسترده‌ای در این زمینه احساس می‌شود.

مراجع

- [1] Eimanifar, A., Mohebbi, F., "Urmia Lake (northwest Iran): a brief review". Saline systems;3:1-8, (2007) .
- [2] Fazeli, M. R., Tofighi, H., Samadi, N., "Jamalifar H. Effects of salinity on beta-carotene production by *Dunaliella tertiolecta* DCCBC26 isolated from the Urmia salt lake", north of Iran. Bioresour Technol;97:2453-6, (2006).

میزان تبخیر بالای این دریاچه و افزایش هرچه بیشتر این مقدار به دلیل گرمایش زمین (بیش از ۶ درجه سلسیوس در دریاچه ارومیه در ۱۰ سال اخیر [۵۴]) اشاره کرد [۴-۱۰]. همان‌طور که در جدول (۵) قابل مشاهده است؛ میزان تبخیر در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به دریاچه ارومیه رشد چشم‌گیری داشته است [۹]. با کاهش میزان ورودی به دریاچه و افزایش میزان تبخیر، مسلماً سطح و حجم دریاچه ارومیه کاهش خواهد یافت. مگر اینکه با تمهیداتی بتوان میزان آب تبخیری را به مقدار ۲۵ درصد کاهش داد [۱۰].

جدول ۴- میزان تغییرات نرخ تبخیر در نواحی مختلف دریاچه ارومیه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ [۹]

| نام ایستگاه | متوسط درازمدت (میلی‌متر) | میزان تغییرات (میلی‌متر) |
|-------------|--------------------------|--------------------------|
| شرفخانه | ۱۲۸۱ | ۷۷/۱ |
| بنیس | ۱۳۸۸ | ۲۵۴/۳ |
| میرکوه | ۱۶۳۳ | ۶۷/۲ |
| لیقوان | ۹۷۷ | ۱۱۳/۵ |
| آذرشهر | ۱۷۷۵ | ۹۶/۶ |
| علویان | ۲۱۱۵ | ۶۸۴/۱ |

سطح گسترده دریاچه ارومیه و همچنین اکوسیستم‌های ارزشمند موجود در آن، استفاده از بسیاری از روش‌های معمول مثل پوشش‌دهی شیمیایی به منظور کاهش میزان تبخیر را غیر عملی می‌سازد. یکی از روش‌های پیشنهاد شده تاکنون، استفاده از سامانه‌های خورشیدی شناور بر دریاچه است [۹] که با توجه به

- [3] Abbaspour, M., Nazaridoust, A. "Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach". *International journal of environmental studies*;64:161-9, (2007).
- [4] نیکوبخت، ش.، آذرفزا، م.، مختاری، م.، مهرنهاد، ح.، "اثرات مخرب خشک شدن دریاچه ارومیه بر تنوع زیستی و ارائه راه کارهای محافظتی"، اولین همایش حفاظت از تالاب ها و اکوسیستم های آبی، (۱۳۹۲).
- [5] بهاری، ه.، توکلی، ب.، "راهکارهای اجرایی برای احیای دریاچه ارومیه"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، (۱۳۹۰).
- [6] جباری، ح.، سلمان زاده، ر.، عباس نژاد، ح.، "تحلیلی بر وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه"، همایش ملی تنوع زیستی و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، (۱۳۸۹).
- [7] نظر نژاد، ح.، "بررسی علل کاهش سطح آب دریاچه ارومیه"، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، (۱۳۸۴).
- [8] محمدی، م.، "رابطه ی بین تبخیر آب های شور و شیرین و تاثیر آن روی تبخیر آب در یایچه ارومیه"، شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان غربی، وزارت نیرو، (۱۳۸۳).
- [9] سهرابی، ف.، "ابداع روش نصب سیستم های خورسیدی با هدف کاهش میزان تبخیر دریاچه ارومیه".
- [۱۰] شفیع علیوجه، ر.، "آینده دریاچه ارومیه از دیدگاه بیلان آب و نمک".
- [11] Schlipalius, L., "The extensive commercial cultivation of *Dunaliella salina*". *Bioresource technology*;38:241-3, (1991).
- [12] Raja, R., Shanmugam, H., Ganesan, V., Carvalho, I., "Biomass from Microalgae: An Overview". *Oceanography*;2:2, (2014).
- [13] Borowitzka, L., Moulton, T., Borowitzka, M., "The mass culture of *Dunaliella salina* for fine chemicals: from laboratory to pilot plant". *Eleventh International Seaweed Symposium: Springer*; p. 115-21(1984).
- [14] Rasoul-Amini, S., Mousavi, P., Montazeri-Najafabady, N., Mobasher, M. A., Mousavi, S. B., Vosough, F., Dabbagh, F., Ghasemi, Y., "Biodiesel Properties of Native Strain of *Dunaliella Salina*". *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*;4:39-41, (2014).
- [15] Raja, R., Hemaiswarya, S., Rengasamy, R., "Exploitation of *Dunaliella* for β -carotene production". *Applied microbiology and biotechnology*;74:517-23 (2007).
- [16] Prieto, A., Pedro Canavate, J., Garcia-Gonzalez, M., "Assessment of carotenoid production by *Dunaliella salina* in different culture systems and operation regimes". *Journal of biotechnology*;151:180-5, (2011).
- [17] Oren, A., "A hundred years of *Dunaliella* research: 1905-2005". *Saline systems*;1:2, (2005).
- [18] Hejazi, M., "Effect of light intensity on β -carotene production and extraction by *Dunaliella salina* in two-phase bioreactors". *Biomolecular Engineering*;20:171-5, (2003).
- [19] Phadwal, K., Singh, P. K., "Effect of nutrient depletion on β -carotene and glycerol accumulation in two strains of *Dunaliella* sp". *Bioresource Technology*;90:55-8, (2003).
- [20] Mojaat, M., Pruvost, J., Foucault, A., Legrand, J., "Effect of organic carbon sources and Fe^{2+} ions on growth and β -carotene accumulation by *Dunaliella salina*". *Biochemical Engineering Journal*;39:177-84, (2008).
- [21] Nguyen, S., Tran, D., Portilla, S., Vo, T., "Medium improvement for higher growth and longer stationary phase of *Dunaliella*". *Journal of Plant Sciences*;2:9-13, (2014).
- [22] Tran, D., Doan, N., Louime, C., Giordano, M., Portilla, S., "Growth, antioxidant capacity and total carotene of *Dunaliella salina* DCCBC15 in a low cost enriched natural seawater medium". *World journal of microbiology & biotechnology*;30:317-22, (2014).
- [23] Ginzburg, M., "*Dunaliella*: a Green Alga Adapted to Salt". ;14:93-183, (1988).
- [24] Ben-Amotz, A., Polle, J. E., Rao, D. S., "The alga *Dunaliella*: biodiversity, physiology, genomics and biotechnology: Science Publishers Enfield", NH; (2009).
- [25] Garcia, F., Freile-Pelegrin, Y., Robledo, D., "Physiological characterization of *Dunaliella* sp. (Chlorophyta, Volvocales) from Yucatan, Mexico". *Bioresour Technol*;98:1359-65, (2007).
- [26] Smith, B. M., Morrissey, P. J., Guenther, J. E., Nemson, J. A., Harrison, M. A., Allen, J. F., Melis, A., "Response of the photosynthetic apparatus in *Dunaliella salina* (green algae) to irradiance stress". *Plant physiology*;93:1433-40, (1990).
- [27] Çelekli, A., Dönmez, G., "Effect of pH, light intensity, salt and nitrogen concentrations on growth and β -carotene accumulation by a new isolate of *Dunaliella* sp". *World Journal of Microbiology and Biotechnology*;22:183-9, (2005).
- [28] Ben-Amotz, A., "Dunaliella-Carotene". *Enigmatic microorganisms and life in extreme environments*;1:401, (1999).
- [29] Ben-Amotz, A., Katz, A., Avron, M. "Accumulation of β -Carotene in Halotolerant Algae: Purification and Characterization of β -Carotene-Rich Globules from *Dunaliella Bardawil* (Chlorophyceae 1)". *Journal of phycology*;18:529-37, (1982).
- [30] Del Campo, J. A., Garcia-Gonzalez, M., Guerrero, M. G., "Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives". *Appl Microbiol Biotechnol*;74:1163-74, (2007).
- [31] Borowitzka, M. A., Borowitzka, L. J., "Micro-algal biotechnology: Cambridge University Press"; (1988).
- [32] Feng, S., Li, X., Xu, Z., Qi, J., "Dunaliella salina as a novel host for the production of recombinant proteins". *Appl Microbiol Biotechnol*, (2014).
- [33] Gómez, P. I., González, M. A., "Genetic variation among seven strains of *Dunaliella salina* (Chlorophyta) with industrial potential, based on RAPD banding patterns and on nuclear ITS rDNA sequences". *Aquaculture*;233:149-62, (2004).
- [34] Yang, C., Jia, L., Chen, C., Liu, G., Fang, W., "Bio-oil from hydro-liquefaction of *Dunaliella salina* over Ni/REHY catalyst". *Bioresour Technol*;102:4580-4, (2011).

- [۳۵] تولایی، س.، مظاهری اسدی، م.، رستمی، خ.، "پرورش جلبک دونالیاسالینا و تولید کاروتنوئیدها از آن"، دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، (۱۳۸۹).
- [36] Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S. M., Blanc, P., Chidambara Murthy, K. N., Ravishankar, G. A., "Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality?" *Trends in Food Science & Technology*;16:389-406, (2005).
- [37] Ben-Amotz, A., Avron, M., "The biotechnology of cultivating the halotolerant alga *Dunaliella*". *Trends in Biotechnology*;8:121-6, (1990).
- [38] Götz, T., Windhövel, U., Böger, P., Sandmann, G., "Protection of Photosynthesis against Ultraviolet-B Radiation by Carotenoids in Transformants of the Cyanobacterium *Synechococcus* PCC7942". *Plant Physiology*;120:599-604, (1999).
- [39] Tornwall, M. E., Virtamo, J., Korhonen, P. A., Virtanen, M. J., Taylor, P. R., Albanes, D., Huttunen, J. K., "Effect of alpha-tocopherol and beta-carotene supplementation on coronary heart disease during the 6-year post-trial follow-up in the ATBC study". *European heart journal*;25:1171-8, (2004).
- [40] Albanes, D., Virtamo, J., Taylor, P., Rautalahti, M., Pietinen, P., Heinonen, O., "Effects of supplemental beta-carotene, cigarette smoking, and alcohol consumption on serum carotenoids in the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study". *The American journal of clinical nutrition*;66:366-72, (1997).
- [41] Berset, C., "The research situation with regard to natural food colourants". *Industries Alimentaires et Agricoles*;107:1163-6, (1990).
- [42] Gómez, P. I., González, M. A., "Genetic variation among seven strains of *Dunaliella salina* (Chlorophyta) with industrial potential, based on RAPD banding patterns and on nuclear ITS rDNA sequences". *Aquaculture*;233:149-62, (2004).
- [43] Terao, J., "Antioxidant activity of β -carotene-related carotenoids in solution". *Lipids*;24:659-61, (1989).
- [44] Van Poppel, G., Goldbohm, R. A., "Epidemiologic evidence for beta-carotene and cancer prevention". *The American journal of clinical nutrition*;62:1393S-402S, (1995).
- [45] Sies, H., Stahl, W., "Carotenoids and intercellular communication via gap junctions". *International journal for vitamin and nutrition research Internationale Zeitschrift für Vitamin-und Ernährungsforschung Journal international de vitaminologie et de nutrition*;67:364-7, (1996).
- [46] Pryor, W. A., Stahl, W., Rock, C. L., "Beta carotene: from biochemistry to clinical trials". *Nutrition reviews*;58:39-53, (2000).
- [47] Kazi, N., Radvany, R., Oldham, T., Keshavarzian, A., Frommel, T. O., Libertin, C., Mobarhan, S., "Immunomodulatory effect of β -carotene on T lymphocyte subsets in patients with resected colonic polyps and cancer". (1997).
- [48] Bertram, J., Bortkiewicz, H., "Dietary carotenoids inhibit neoplastic transformation and modulate gene expression in mouse and human cells". *The American journal of clinical nutrition*;62:1327S-36S, (1995).
- [49] Avron, M., Edelstein, S., Ben-Amotz, A., "Feed supplement. UK patent application" (1987).
- [50] Pet, R., Sporn, M., "Can dietary beta-carotene materially". *Nature*;290:201, (1981).
- [51] Mathews-Roth, M. "Photoprotection by carotenoids". *Federation proceedings*. p. 1890-3, (1987).
- [52] Borowitzka, M. A., "Commercial production of microalgae: ponds, tanks, and fermenters". *Progress in industrial microbiology*;35:313-21, (1999).
- [53] Borowitzka, L., "Development of Western Biotechnology's algal β -carotene plant". *Bioresource technology*;38:251-2, (1991).
- [۵۴] اسدپور، ی.، اسماعیلی، ل.، "اثرات خشکسالی بر دریاچه ارومیه با تأکید بر تغییرات زیست محیطی آن"، همایش تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، (۱۳۹۰).
- [55] Fazli, M. R., Tofighi, H., Samadi, N., Jamalifar, H., Fazeli, A., "Carotenoids accumulation by *dunaliella tertiolecta* (Lake urmia isolate) and *dunaliella salina* (CCAP 19/18 and WT) Under stress Conditions. *Daru*", *Journal of Pharmaceutical Sciences*;14:146-50, (2006).
- [56] Maleki, HM-G., Almassi, M., Amin, M., Hejazi, S. M., "Harvesting of microalgae by electro-coagulation-flocculation for biodiesel production: an investigation of the effect of operational parameters and forecast model using response surface methodology", (2014).