Journal of Marine Medicine
Autumn 2020, Volume 2, Issue 3
Pages: 150-156
10.30491/2.3.150

A Biotechnological Solution for Providing Dietary Supplementation for Naval Personnel in Long and Difficult Missions

Ali Choopani [1 *], Mojtaba Ghalishooyan [1]

[1] *Applied Biotechnology Research Center, Baqiyatallah university of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 12 July 2020 **Accepted:** 31 October 2020

Abstract

Background and Aim: Spirulina platensis is a microalgae that has many applications as food and medicine for humans and animals. This microalgae contain protein, vitamins, and essential fatty acids. Spirulina platensis is commercially produced worldwide and sold in a variety of stores as a food and medicine supplement, and is used by NASA to feed astronauts.

Methods: In this study, all general components such as light source, culture chamber, agitation system, and air pump were used. In this research, a photobioreactor was designed that is used in the field of maritime and meets the need for dietary supplements in the workplace of sailors and naval personnel. Photobioreactors are one of the main sources of cultivation of spirulina algae, which have different types.

Results: Some Photobioreactors feed on algae with natural light and some with artificial light. Since both types of photobioreactors have advantages and disadvantages, in this study, a new type of photobioreactor has been constructed. This new type of photobioreactor operated intelligently with the advantage of both types of photobioreactors and depending on the conditions, the appropriate type can be switched.

Conclusion: This type of photobioreactor is installed in such a way that it can be the most compatible in any environment, but the optimal mode of this device is related to its use at sea.

Keywords: Spirulina planitensis, Dietary supplement, Photobioreactor, malnutrition, Maritime.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.30491/2.3.150]

[*] **Corresponding author:** Ali Choopani, **Email**: abrcs@bmsu.ac.ir
Address: Applied Biotechnology Research Center, Baqiyatallah university of Medical Sciences, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
صفحات: ۱۵۶-۱۵۰
10.30491/2.3.150

ارائه راهکار زیست‌فناورانه برای تأمین مکمل غذایی کارکنان نیروی دریایی در مأموریت‌های طولانی و سخت

علی چوپانی [1*]، مجتبی قالیشویان [1]

[1] مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲ **پذیرش مقاله:** ۱۳۹۹/۰۸/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: *اسپیرولینا پلاتنسیس* ریزجلبک میکروسکوپی رشته‌ای است که کاربردهای زیادی به‌عنوان غذا و داروی انسان و حیوان دارد. این ریزجلبک، غنی از پروتئین، ویتامین، و اسیدهای چرب ضروری است و در دنیا به‌صورت تجاری تولید و در فروشگاه‌های مختلف به‌عنوان مکمل غذایی و دارویی به فروش می‌رود و سازمان ناسا از آن برای تغذیه فضانوردان استفاده می‌کند.

روش‌ها: در این مطالعه از تمام اجزای کلی مثل منبع نور، محفظه کشت، سیستم همزنی، و پمپ هوا استفاده شد. در این پژوهش فتوبیوراکتوری طراحی شد که در عرصه دریانوردی کاربرد دارد و نیاز مکمل‌های غذایی را در محل کار ملوانان و کارکنان ناوها برطرف می‌نماید. فتوبیوراکتورها یکی از اصلی‌ترین منابع کشت جلبک‌های اسپیرولینا محسوب می‌شوند که انواع مختلفی دارند.

یافته‌ها: برخی از فتوبیوراکتورها با نور طبیعی و برخی دیگر با نور مصنوعی جلبک‌ها را تغذیه می‌کنند. ازآنجایی‌که هردو نوع این فتوبیوراکتورها مزایا و معایب خاص خود را دارا است در این پژوهش نوع جدیدی از فتوبیوراکتور ساخته شد که با داشتن مزیت هردو نوع فتوبیوراکتورها به‌طور هوشمند عمل نمود و بسته به شرایط، نوع مناسب آن قابل تغییر است.

نتیجه‌گیری: این نوع فتوبیوراکتور طوری تعبیه شده تا بتواند در هر محیطی بیشترین سازگاری ممکن را داشته باشد اما حالت بهینه این دستگاه مربوط به استفاده از آن بر روی دریا است.

کلیدواژه‌ها: اسپیرولیناپلیتنسیس، مکمل غذایی، فتوبیوراکتور، سوءتغذیه، دریانوردی.

*نویسنده مسئول: **علی چوپانی**. پست الکترونیک: abrcs@bmsu.ac.ir
آدرس: مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.30491/2.3.150]

مقدمه

بقراط (۴۶۰ ق.م.–۳۸۰ ق.م.) به احتمال زیاد نخستین کسی بود که بیماری‌های ملوانان را بررسی کرد و بیماری اسکوربوت که ناشی از کمبود ویتامین C بوده را توصیف نمود (۱،۲). دریانوردی از دیرباز جزو مشاغل سخت و طاقت‌فرسایی به شمار می‌رفته که همواره دریانوردان را در معرض خطرات و صدمات و بیماری‌های روحی و جسمی مختلف قرار می‌داده است (۳). تحقیقات پزشکی چند دهه اخیر نشان داده که علیرغم تمامی پیشرفت‌های علمی، فنّاوری و ارتباطی، هنوز هم شغل دریانوردی در زمره کارهای سخت و حساس به شمار می‌رود و این حرفه خصوصاً برای کارکنان کشتی‌ها خطرات فراوانی را به همراه دارد (۴). تاکاکی کانهیرو یک پزشک ژاپنی فارغ‌التحصیل انگلستان که در نیروی دریایی امپراتوری ژاپن عضویت داشت در سال ۱۸۸۴ مشاهده کرد که بیماری بری‌بری در میان ملوانان کم‌رتبه کشتی که معمولاً به‌جز برنج چیزی دیگری نمی‌خوردند شایع بود. او ناوگان سلطنتی را متقاعد کرد که رژیم غذایی ناکارآمد علت اصلی شیوع بری‌بری است (۵). در اکثر مطالعات انجام‌شده شیوع بیماری‌های مختلف در میان دریانوردان بیشتر از میزان شیوع این بیماری‌ها در میان مردم عادی ساکن خشکی است و محققان این امر را به طور آشکار با شغل آن‌ها مرتبط می‌دانند و بر این باور هستند که خطرات و حوادث بسیاری به صورت غیر قابل‌پیش‌بینی در کمین آنها است. بنابراین مسافرت‌های دریایی یعنی دست‌وپنجه نرم کردن با این مخاطرات و به طور خاص کسانی که از امکانات تغذیه‌ای کمتری برخوردار هستند بیشتر در معرض این مخاطرات می‌باشند. با توجه به این‌که تهیه مواد غذایی و مکمل‌ها در این شرایط سخت است پس پیشنهاد می‌شود که خود کارکنان بتوانند در محیط ناو یا کشتی آن را تولید کنند و عوارض ناشی از کمبود آنها را به حداقل کاهش دهند. سوپرفودها یکی از این ترکیبات هستند. مشهورترین نوع سوپرفودها ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* (*Spirulina platensis*) است (۶) که از دیرباز به‌عنوان ماده غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (۷). در سال‌های اخیر و به‌ویژه پس از استفاده موفقیت‌آمیز سازمان فضاپیمایی ایالات‌متحده (NASA) از آن‌ها به‌عنوان غذای مورد استفاده فضانوردان در ایستگاه فضایی بین‌المللی بیش‌ازپیش نام آن بر سر زبان‌ها افتاد (۸). امروزه استفاده از جلبک اسپیرولینا به دلیل مغذی بودن آن رواج بسیار زیادی پیدا کرده است به‌طوری‌که هم‌اکنون این محصول جزء رایج‌ترین مکمل‌ها در سراسر دنیا است (۹). این ترکیب سرشار از مواد مغذی گوناگون و آنتی‌اکسیدان‌هایی است که برای سلامت بدن و مغز فواید فراوانی دارد (۱۰). یکی از اصلی‌ترین شاخصه‌های این جلبک مقدار پروتئین آن است که تأثیر بسزایی در میزان فایده آن دارد (۱۱). مقدار پروتئین موجود در این ماده غذایی می‌تواند تا بیشتر از ۷۰ درصد جرم تشکیل‌دهنده آن باشد که مقدار دقیق آن وابسته به شرایط کشت و روش تولید آن است (۱۲). همچنین این ماده غذایی سرشار از آهن و ویتامین B و سایر مواد معدنی است (۱۳). مهم‌ترین پارامترهای مربوط به کیفیت کشت این جلبک محیط مناسب، به طور خاص ظرفیت اسیدیته محیط کشت، زمان و میزان نوردهی به آن، و درجه حرارت محیط کشت آن است (۱۴،۱۵). برای همین منظور دستگاهی طراحی شده است که فتوبیوراکتور نام دارد. این دستگاه به دلیل رعایت شرایط خاص، موارد مصارف انسانی دارد. طراحی آن برای محیط‌های شناور مانند کشتی و ناو شرایطی بسیار خاص است به گونه ای که بتواند در تلاطم دریا، افق باز خورشید، و اندازه و ابعاد مناسب، تحمل آب‌وهوای مرطوب و آلوده نشدن سطوح؛ کارایی داشته باشد.

استفاده از نور خورشید یکی از مشکلاتی است که بر سر راه استفاده از فتوبیوراکتورها وجود دارد. نور خورشید به‌عنوان یک منبع ارزان انرژی نه تنها در خشکی بلکه در دریا نیز هست ولی در استفاده از آن نکاتی مطرح است. اول این‌که نور خورشید خصوصاً در زمانی که غلظت زیست‌توده بالاتر می‌رود به‌طور کاملاً یکنواخت به سیستم نخواهد رسید و دیگری زمان نوردهی است به این دلیل که یکی از پارامترهای مهم در سرعت رشد جلبک‌ها دوره‌های نوردهی به آنها است (۱۶). بنابراین لازم است که زمان‌های مشخصی جلبک‌ها در معرض نور قرار بگیرند و در سایر زمان‌ها استراحت کنند. بدیهی است که استفاده از آفتاب به عنوان منبع نوردهی برنامه‌ریزی زمان‌بندی مناسب برای این منظور را با مشکلاتی روبرو خواهد کرد. لذا در مطالعه حاضر، دستگاه فتوبیوراکتوری طراحی شد تا علاوه بر استفاده بهینه از نور خورشید با استفاده از صفحات بازتابنده و چرخش هوشمند آن‌ها به سمت منبع نور، کیفیت نور تابیده‌شده به سمت جلبک‌ها به‌صورت یکنواخت به تمام سطوح ظرف تابیده شود و دیگر آن‌که در زمان‌هایی که نور خورشید به هر دلیلی در دسترس نباشد دستگاه برحسب بهترین شرایط ممکن از آن استفاده نماید و البته در صورت نیاز به منبع نور مکمل به‌طور خودکار چراغ‌های تعبیه‌شده در آن را روشن کرده و با استفاده از آن نوردهی گیاه را تکمیل نماید.

روش‌ها

این مطالعه بر اساس یک مطالعه تجربی –کاربردی طراحی شد و به مدت ۱۸ ماه در آزمایشگاه مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی در سال‌های ۹۷–۹۸ انجام شد. متغیرهای مورد بررسی دوام ساختار فتوبیوراکتور در شرایط دریا و میزان تولید بود. برای تست کشت از محیط زاروک استفاده شد و سویه ریزجلبک مورد استفاده از مرکز جهاد دانشگاهی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهیه شد. در دو مرحله سکون و روی شیکر برای مشابه‌سازی با دریا دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ملزومات فیزیکی مثل منبع نور، منبع کنترل، آیینه‌ها، سیستم تحرک، بستر ایستایی، محفظه کشت، سنسورها و لوازم کمکی بر پایه علم و تجربه ساخته شدند. ایجاد آیینه‌های بازتابنده، با محاسبات اپتیکی

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.30491/2.3.150]

و ساخت آیینه سفارشی این امر میسر شد تا آیینه در عمل در هنگام مواجهه با نور خورشید مانند یک آیینه تخت و در مواجهه با نور خود مانند یک آیینه کروی عمل کرده تا تمام پرتوهای نور را موازی کند تا در همه شرایط نور به تمامی اجزای دستگاه به یکنواخت‌ترین حالت ممکن تابیده شود. آیینه‌های موجود از جنس PoluVinyl Chloride که پس از سمباده کاری و پالیش و به دست آمدن یک سطح کاملاً صاف و صیقلی روی آن با ضخامت حدود ۳۰۰ نانومتر آلومینیوم با استفاده از روش Physical Vapor Deposition (PVD) بر روی آن لایه بدست آمد. همچنین برای روشنایی نور مصنوعی آن از LED های SMD با روشنایی مجموعاً ۱۴۰۰ لومن استفاده شد. تمامی فرمان‌های گرفته‌شده از حس‌گرها و فرمان‌های صادره توسط یک عدد Arduion Uno برنامه‌ریزی شد و همچنین کنترل موتور دستگاه ماژول L298 در جعبه کنترل دستگاه قرار گرفت. برای جهت‌یابی آفتاب از دو حس‌گر Photoresistor LDR 5MM در کنار یکدیگر استفاده شد که توسط یک دیواره از یکدیگر جدا شده بودند. اطلاعات این دو حس‌گر به میکروکنترلر ارسال‌شده و شدت نور دریافتی هر دو محاسبه شد. نیروی محرکه دستگاه توسط یک عدد آرمیچر گیربکسی ۶ ولت تأمین گردید که توسط دستک‌هایی که جهت همین کار طراحی با برش CNC ساخته‌شده‌اند به آیینه‌ها منتقل شد. مکانیسم قرارگیری چرخ‌دنده‌ها طوری بود که مسیر حرکت هر یک از دستک‌ها توسط پین‌های انطباقی که روی صفحه نصب‌شده است تعیین‌شده و با چرخش ساعت‌گرد چرخ‌دنده دو صفحه آیینه از یکدیگر دور شده و با چرخش پادساعت‌گرد دو آیینه به یکدیگر نزدیک شدند. دمای داخلی دستگاه توسط یک سیستم حرارت‌سنج دائماً قابل‌بررسی بوده و می‌تواند به یک دستگاه اندازه‌گیری PH وصل شود. محوطه کشت نیز با استفاده از دستگاه CNC شیشه نشکن ساخته شد. سطح ایستابی طوری طراحی شد که به قسمت خاص موردنظر پیچ شود یا توسط محور چرخشی همراه با وزنه‌های تعادلی طوری نصب شود که تلاطم دریا را خنثی نماید. البته این قابلیت به‌صورت اختیاری روی دستگاه قابل نصب است که از جهتی تکان‌های دریا برای دستگاه در نقش شیکر عمل کرده و از جهتی بهره‌وری سیستم را حتی افزایش خواهد داد.

نتایج

کنترلر که به‌عنوان مغز متفکر دستگاه است کارایی بالایی نشان داد. در هیچ‌یک از مراحل کشت ریزجلبک، دچار اشتباه یا هنگی نگردید. طراحی اختصاصی آینه‌ها بعد از مقایسه کشت با یک سیستم ثابت، راندمان بهتری را ارائه کرد که ۲۰ درصد بالاتر بود. زمان‌های شبانه و روزانه با توجه به کارکرد خوب سامانه کنترل دستگاه دقیقاً اجرا شد و آن خطاهایی را که روش‌های مرسوم که منطبق بر ثبت توسط فرد بود را نداشت. سیستم هوادهی که اختصاصاً برای این دستگاه ایجاد شده بود و در قسمت پایین محفظه کشت قرار گرفته بود به دلیل پخش یکسان هوا در محفظه کشت و فیلتر شدن قبل از ورود به محفظه باعث بهبود تولید زیست‌توده گردید. در اندازه‌گیری توان دستگاه در روی شیکر سامانه توانست تا ۱۵۰ RPM را تحمل نماید. سامانه جابجایی هم با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر کارکرد قابل قبول داشت. نتایج کشت در حالت ایستا با ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و در حالت شیکر شونده ۴۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. بیشینه PH هم برای دستگاه ۱۱/۳ به دست آمد.

بحث

مطالعه روی فتوبیوراکتورها و بررسی محدودیت‌ها و نقاط قوت آنها در صنایع وابسته به ریزجلبک‌ها یکی از عرصه‌های جذاب برای محققین این علم است و این موضوع باعث شده است که نوآوری و اشکال متفاوتی از آن‌ها تولید شده و بکار برده شود (۱۷). اشکال ستونی، مکعبی و لوله‌ای و... در کارخانه‌ها و مزارع کشت دیده می‌شوند (۱۸). در مراکز پژوهشی هم نمونه‌های الگو با کاربری‌های متفاوت ساخته می‌شود. این طراحی‌ها تا آنجا پیش رفته که وارد منازل شده و خیلی‌ها برای تولید ریزجلبک تازه برای خودشان از آن استفاده می‌کنند (۱۹).

کشتی‌ها و ناوها، به‌ویژه نوع جنگی آن‌ها یکی از مراکزی هستند که انسان‌هایی در آن‌ها حضور دارند که در شرایط سخت شاغل هستند و حتی زندگی می‌کنند. اقلیم دریا و اقیانوس باعث شده است که شرایط برای آن‌ها قابل پیش‌بینی نباشد (۲۰). در گذشته بیماری‌های عجیب‌وغریبی در بین ملوانان و دزدان دریایی شایع بوده است که در بین آن‌ها بیماری‌های وابسته به تغذیه و عفونی شاخص بوده‌اند که ازجمله آنها به اسکوربوت و بری بری می‌توان اشاره کرد که هردوی این‌ها و بیماری‌های مشابه ناشی از کیفیت پایین مواد غذایی موجود در ناوها و کشتی‌ها بوده است (۲۱،۲۲). هم‌اکنون اگرچه امکانات ناوها و کشتی‌ها افزایش‌یافته است ولی هنوز بسیاری از کشورها ناوگان قدیمی داشته و فقر غذایی در بین آن‌ها رایج است و گاهی وقت‌ها مأموریت‌های خاص هم اجازه خرید و تهیه هر ماده‌ای را به کارکنان نمی‌دهد و این موضوع در مأموریت‌های نظامی دارای اهمیت است. با این تفاسیر داشتن یک سامانه برای تولید مکمل‌های مناسب در شناورهای دریایی ضروری است. ریزجلبک‌ها بخصوص اسپیرولینا پلیتنسیس انتخاب مناسبی برای این موضوع می‌باشند. ریزجلبک اسپیرولینا، جلبک سبز–آبی ارزشمندی است، که به دلیل ارزش غذایی، خواص دارویی، پروتئین بالا، ویتامین‌ها، مواد معدنی و رنگ‌دانه‌های طبیعی کاربرد فراوانی در صنایع مختلف غذایی، آرایشی–بهداشتی، مکمل‌های غذایی انسان، دام، طیور و آبزیان دارد (۲۳). ریزجلبک اسپیرولینا بعد از این‌که به‌صورت موفقیت‌آمیز توسط سازمان هوافضا به‌عنوان مکمل غذایی برای فضانوردان در سفرهای فضایی استفاده شد، معروف و شناخته شد و محبوبیت قابل‌توجهی را در

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.30491/2.3.150]

صنعت غذا به‌عنوان مکمل ویتامین و پروتئین به دست آورد (۱۱). متداول‌ترین گونه‌ای که در ساخت مکمل‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد *اسپیرولینا پلاتنسیس* است (۲۴). اسپیرولینا پلاتنسیس در هر ۱۰۰ گرم وزن خشک خود ۷۰–۵۰ گرم پروتئین دارد (۲۵). سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۸ از اسپیرولینا به‌عنوان ماده غذایی برتر نام برده است. همچنین سازمان ملل متحد اسپیرولینا را به‌عنوان غذای ایده آل معرفی کرده است و ناسا از اسپیرولینا به‌عنوان یک ماده غذایی فشرده در مأموریت‌های فضایی استفاده می‌کنند (۲۶). با توجه به این‌که این ریزجلبک یک مکمل تمام‌عیار است و عوارض خاصی از آن گزارش نشده است پس می‌تواند بهترین انتخاب برای دریانوردان باشد.

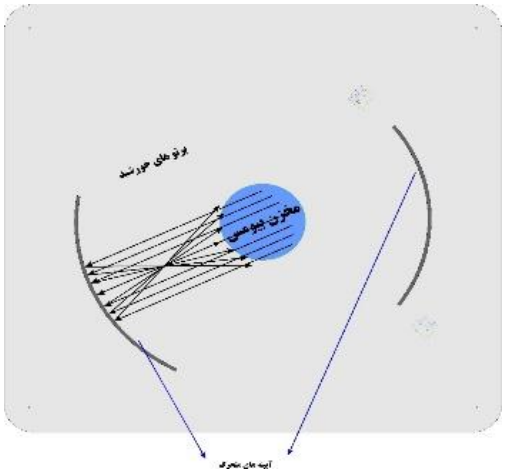
کشت آن برای مصارف انسانی باید در دستگاهی با عنوان فتوبیوراکتور باشد که امکانات لازم جهت تولید زیست‌توده را ایجاد می‌کند. این دستگاه‌ها دائماً در حال گسترش هستند و نسبت به موارد استفاده در اشکال خاصی ساخته می‌شوند (۲۷). در این مطالعه هم نوع ستونی آن مورد بررسی قرار گرفت و برای راه‌اندازی روی متحرک‌های دریایی طراحی شد. این طراحی یک موضوع جدید بود که مطالعات مشابه کم داشت. مشکل اصلی طراحی چرخش منبع نور بود (۱۷).

یکی از مشکلات رایج در فتوبیوراکتورها خصوصاً در انواع خورشیدی آن‌ها عدم یکنواختی نور تابیده‌شده به قسمت‌های مختلف مخزن است. ازآنجایی‌که جلبک‌ها اجسام کدری بوده و نور خورشید را تا حد زیادی به خود جذب می‌کنند زمانی که نور تنها از یک سمت وارد مخزن می‌شود قسمت‌هایی از محلول که نزدیک به سمت ورودی نور بوده نور زیادی جذب کرده و هرچه به سمت عمق می‌رویم نوری که جلبک‌های آن قسمت دریافت می‌کنند کمتر می‌شود و این عدم یکنواختی نور تابیده‌شده از بهره‌وری فتوبیوراکتور می‌کاهد (۲۸). به همین منظور آیینه‌های نیم استوانه‌ای برای دستگاه تعبیه شد تا علاوه بر این‌که نور جذب‌شده از خورشید را دو برابر کند باعث شود به‌وسیله بازتاب نور قسمتی از سیستم که دقیقاً پشت به نور خورشید بوده و کمترین نور را دریافت می‌کند در معرض بیشترین نور تابشی از سمت آیینه قرار گرفته تا نور یکنواخت‌تری به سیستم تابیده شود. ممکن است در ابتدا این موضوع در ذهن مطرح شود که ازآنجایی‌که شکل آیینه‌ها منحنی هست ممکن است نور را روی قسمت خاصی از سیستم، کانونی کرده و علاوه بر این‌که نور یکنواختی به محلول تابیده نخواهد شد همچنین شدت زیاد نور در یک مکان می‌تواند باعث سوختگی جلبک‌های آن قسمت شود (۲۹). اما شعاع انحنای آینه‌ها برحسب فاصله آن‌ها از محفظه طوری طراحی شده تا سطح محفظه دقیقاً در فاصله دو برابر فاصله کانونی آیینه‌ها قرار گیرد (۳۰).

طبق قانون آیینه‌های مقعر:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_0}+\frac{1}{d_i}$$

که در آن F فاصله کانونی آیینه و d_0 فاصله جسم تا آیینه و d_i فاصله تصویر تا آینه است. ازآنجایی‌که در این حالت بزرگنمایی آیینه (در این مورد خاص تراکم پرتوهای بازتابی) متناسب با فاصله جسم از نقطه کانونی است لذا با اختیار حالت خاص $d_0 = d_i = 2f$ بزرگنمایی آیینه به عدد ۱ رسیده و شدت پرتوهای بازتاب شده از زمانی که به بدنه راکتور می‌رسد برابر باحالت بازتاب شده است (شکل–۱). زمانی که پرتوهای نور موازی (نور خورشید) به آن‌ها برخورد می‌کند نور را در نیمه راه تا رسیدن به جداره محفظه کانونی کرده و ازآنجا به بعد پرتوها شروع به گسترده شدن می‌کنند تا جایی که زمانی که به محفظه می‌رسند میزان جمع شدگی پرتوها دقیقاً برابر با صفر شده و در این حالت این آیینه دقیقاً مانند یک آیینه تخت عمل کرده و نور کاملاً یکنواخت و متمرکز نشده‌ای را به تمام سطح رو به آیینه می‌تاباند (۳۱). اما در حالتی که دستگاه تشخیص دهد که میزان نور دریافتی از محیط از حداقل میزان مجاز کمتر بوده و بایستی با نور مصنوعی پرتوهای لازم برای فتوسنتز را تأمین کند. ازآنجایی‌که منبع نور دستگاه خطی است که بایستی یک بازتابنده منحنی این نور را بازتابش کند تا نورها به‌طور یکنواخت به دستگاه برخورد کنند.

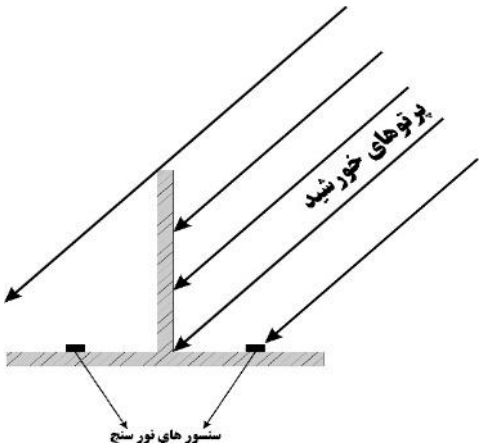


شکل–۱. نحوه بازتاب پرتوهای خورشید توسط آیینه

چالش بعدی چرخش خودکار آیینه‌ها همراه با چرخش خورشید است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد دستگاه طوری طراحی شده بود که تا در روشنایی روز در هوای صاف همواره به سمت آفتاب متمایل باشد. این امر مستلزم یک سیستم سنجش جهت آفتاب و همچنین حرکت آن‌ها به مکان مورد نظر می‌بود. برای این هدف دو حس‌گر قرار داده شد؛ که چنانچه آفتاب دقیقاً روبه روی این دو حس‌گر نباشد دیواره بین دو حس‌گر به روی یکی از این دو سایه انداخته و نور دریافتی یکی از حس‌گرها از دیگری کمتر می‌شود (شکل–۲). در این صورت دستگاه طبق برنامه تعریف‌شده متوجه خواهد شد که آفتاب در کدام سمت قرار داشته به همان میزان به سمت آن حرکت می‌کند تا میزان نور دریافتی از دو حس‌گر با یکدیگر برابر شود. در این حالت می‌توان گفت که تیغه بین دو

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]
[DOI: 10.30491/2.3.150]

حس‌گر روی هیچ‌یک سایه نینداخته درنتیجه دقیقاً آفتاب روبه روی آینه است. همچنین درصورتی‌که نور دریافتی از هردو حس‌گر از حدی کمتر شود بدین معناست که خورشید یا در حال غروب بوده و یا ابر یا هر شیء دیگری مانع رسیدن نور آن به دستگاه می‌شود. در این حالت دستگاه به موتورها فرمان داده و آیینه‌ها را رو به روی چراغ‌های خود قرار داده و پس از رسیدن به مکان مورد نظر چراغ‌های دستگاه روشن خواهند شد. همچنین فاصله چراغ‌ها از آیینه‌ها طوری قرار داده‌شده است که نور به‌طور یکنواخت به تمام قسمت‌های دستگاه برسد. بسته به شرایط و شدت آفتاب و موقعیت فعلی آیینه‌ها دستگاه خود تصمیم می‌گیرد که در کدام جهت حرکت کند.



شکل-۲. نحوه عدم تقارن مقدار نور دریافتی دو حس‌گر در صورت عدم قرارگیری مستقیم در برابر نور خورشید

راندمان کشت دستگاه طراحی شده نسبت به یک فتوبیوراکتور ثابت بررسی شد که ۲۰ درصد بیشتر از مورد مقایسه بود و این نتیجه نشان داد که تنظیم میزان نور ورودی و بهینه‌سازی آن در راندمان تأثیر مثبت دارد. در بحث مشابه‌سازی با عرصه متحرک‌های دریایی نیز دستگاه روی یک شیکر با ۱۵۰ RPM سوار شد و بعد از بررسی زیست‌توده مشخص شد که ۷ درصد بیشتر از حالت ثابت آن محصول به دست می‌آید و این نشان‌دهنده آن است که تکان‌های متحرک‌های دریایی تأثیر مثبت در میزان تولید زیست‌توده دارد (۳۲). البته محدودیت‌هایی هم در کار دستگاه نیز وجود دارد و آن هم کارکرد دستگاه در دماهای بسیار بالا و یا پایین است که در مطالعات بعدی باید مورد بررسی قرار بگیرد. به دلیل در دسترس نبودن مطالعات مشابه و نوگرایی موضوع قابل مقایسه با نمونه‌های مشابه نبود.

نتیجه‌گیری

استفاده از فتوبیوراکتور طراحی شده در مطالعه حاضر افزون بر این‌که فضای زیادی اشغال نمی‌کند، با داشتن راندمان بالا می‌تواند از انرژی خورشید در صورت در دسترس بودن استفاده کرده، در مصرف انرژی صرفه‌جویی داشته و همچنین نور یکنواخت‌تری داشته باشد و قابل‌استفاده در متحرک‌های دریایی نیز مقدور باشد. با توجه به این‌که زیست‌توده تولید شده، خود می‌تواند به‌عنوان یک مکمل غذایی باکیفیت بالا استفاده شود، و در سفرها و مأموریت‌ها برای ملوانان و کارکنان مفید واقع شود و از ابتلا به بیماری‌های تغذیه‌ای و یا سایر بیماری‌ها که نیاز به تغذیه کافی دارند جلوگیری کند.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از افرادی که در انجام مطالعه حاضر همکاری داشتند سپاسگزاری می‌گردد.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Kaur G, Grover D. Vitamin C and Oral Health: a perspective. 2014;12(47):33-9.
2. Olmedo JM, Yiannias JA, Windgassen EB, Gornet MK. Scurvy: a disease almost forgotten. International journal of dermatology. 2006;45(8): 909-13. doi:10.1111/j.1365-4632.2006.02844.x
3. Jepsen JR, Zhao Z, van Leeuwen WM. Seafarer fatigue: a review of risk factors, consequences for seafarers' health and safety and options for mitigation. International maritime health. 2015; 66 (2):106-17. doi:10.5603/IMH.2015.0024
4. Alotaibi Y, Liu F. Survey of business process management: challenges and solutions. Enterprise Information Systems. 2017;11(8):1119-53. doi: 10.1080/17517575.2016.1161238
5. Itokawa Y. Kanehiro Takaki (1849–1920) A biographical sketch. The Journal of nutrition. 1976; 106(5):581-8. doi:10.1093/jn/106.5.581
6. Liestianty D, Rodianawati I, Arfah RA, Assa A, editors. Nutritional analysis of spirulina sp to promote as superfood candidate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2019: IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/509/1/012031
7. Matufi F, Choopani A. Spirulina, food of past, present and future. Health Biotechnology and Biopharma. 2020; 3(4): 1-20
8. Seedhouse E. Growing Food in Space. Life Support Systems for Humans in Space: Springer; 2020. p. 243-56. doi:10.1007/978-3-030-52859-1_8
9. García JL, de Vicente M, Galán B. Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]
[DOI: 10.30491/2.3.150]

Microbial Biotechnology. 2017;10(5):1017-24. doi:10.1111/1751-7915.12800
10. Rosario JC, Josephine RM. Mineral profile of edible algae Spirulina platensis. Int J Curr Microbiol App Sci. 2015;4(1):478-83.
11. Soni RA, Sudhakar K, Rana RS. Spirulina–From growth to nutritional product: A review. Trends in food science & technology. 2017;69:157-71. doi:10.1016/j.tifs.2017.09.010
12. Jung F, Krüger-Genge A, Waldeck P, Küpper JH. Spirulina platensis, a super food?. Journal of Cellular Biotechnology. 2019;5(1):43-54. doi:10.3233/JCB-189012
13. Choopani A, Poorsoltan M, Fazilati M, Latifi AM, Salavati H. Spirulina: a source of gamma-linoleic acid and its applications. Journal of Applied Biotechnology Reports. 2016;3(4):483-8.
14. Choopani A. Optimization of an Iranian Wild Type Spirulina Platensis Cultivation Effective Factor. Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidad del Zulia. 2019;36(3).
15. Singh SP, Singh P. Effect of temperature and light on the growth of algae species: a review. renewable and sustainable energy reviews. 2015;50:431-44. doi:10.1016/j.rser.2015.05.024
16. Pandey JP, Tiwari A. Optimization of biomass production of Spirulina maxima. J. Algal Biomass Utln. 2010;1(2):20-32.
17. Ugwu CU, Aoyagi H, Uchiyama H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. Bioresource technology. 2008;99(10):4021-8. doi:10.1016/j.biortech.2007.01.046
18. Molina E, Fernández J, Acién FG, Chisti Y. Tubular photobioreactor design for algal cultures. Journal of biotechnology. 2001;92(2):113-31. doi:10.1016/S0168-1656(01)00353-4
19. Gupta PL, Lee SM, Choi HJ. A mini review: photobioreactors for large scale algal cultivation. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2015;31(9):1409-17. doi:10.1007/s11274-015-1892-4
20. Carter T, Jepsen JR. Exposures and health effects at sea: report on the NIVA course: maritime occupational medicine, exposures and health effects at Sea Elsinore, Denmark, May 2014. International maritime health. 2014;65(3):114-21. doi:10.5603/IMH.2014.0024
21. Wood J. Disease. Gareth Stevens Publishing LLLP; 2019.
22. Carpenter KJ. The history of scurvy and vitamin C. Cambridge University Press; 1988.
23. Shao W, Ebaid R, El-Sheekh M, Abomohra A, Eladel H. Pharmaceutical applications and consequent environmental impacts of Spirulina (Arthrospira): An overview. Grasas y Aceites. 2019; 70(1):292. doi:10.3989/gya.0690181
24. Ambrosi MA, Reinehr CO, Bertolin TE, Costa JA, Colla LM. Propriedades de saúde de Spirulina spp. Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciences. 2008;29(2).
25. Bourges H, Sotomayor A, Mendoza E, Chavez A. Utilization of the alga Spirulina as a protein source. Nutrition Reports International. 1971;4(1):31-43.
26. Kulshreshtha A, Jarouliya U, Bhadauriya P, Prasad GB, Bisen PS. Spirulina in health care management. Current pharmaceutical biotechnology. 2008;9(5):400-5. doi:10.2174/138920108785915111
27. Johnson TJ, Katuwal S, Anderson GA, Gu L, Zhou R, Gibbons WR. Photobioreactor cultivation strategies for microalgae and cyanobacteria. Biotechnology Progress. 2018;34(4):811-27. doi:10.1002/btpr.2628
28. Tredici MR, Chini Zittelli G, Rodolfi L. Photobioreactors. Encyclopedia of industrial biotechnology: bioprocess, bioseparation, and cell technology. 2009:1-5. doi:10.1002/9780470054581.eib479
29. Fogg GE. The role of algae in organic production in aquatic environments. British Phycological Bulletin. 1963;2(4):195-205. doi:10.1080/00071616300650021
30. Logic C. by Edward Fredkin and Tommaso Toffoli. International Journal of Theoretical Physics. 1982;21(3/4):219-53. doi:10.1007/BF01857727
31. Hori K, Thomas R, Katz S, Vafa C, Pandharipande R, Klemm A, Vakil R, Zaslow E. Mirror symmetry. American Mathematical Soc.; 2003.
32. Mostafa SS, Shalaby EA, Mahmoud GI. Cultivating microalgae in domestic wastewater for biodiesel production. Notulae Scientia Biologicae. 2012;4(1):56-65. doi:10.15835/nsb417298

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-30]

[DOI: 10.30491/2.3.150]