



Study the physiological characteristics of *Fischerella* sp. Strain FS 18 under extreme, alkaline condition and relative and extreme limitation of CO₂ at different times

Samane Diant¹, Shadman Shokravi^{2*}, Homa Mahmoodzadeh Akhrat³

¹ Department of Biology, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, Email: : samaneh.diyana537@gmail.com

² Department of Biology, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, Email: shadmanshokravi@yahoo.com

³ Department of Biology, Faculty of Sciences, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran, Email:

homa_mahmoodzadeh@yahoo.com

Article type: Abstract

Research article

Article history

Received: 20.10.2024

Revised: 01.01.2025

Accepted: 17.01.2025

Published: 23.09.2025

Keywords

Cyanobacteria

Fischerella

pH

Photosynthesis

Time

Algae can tolerate extreme alkaline conditions because they are able to tolerate harsh conditions. Therefore, they have important secondary metabolites that have important properties, including biofuel, antimicrobial, and anticancer activity. For the first time, the effect of extreme alkaline conditions (pH 12) in two short (24 hours) and long (120 hours) periods of extreme and relatively carbon dioxide limitation (aeration, no aeration, no carbon dioxide inoculation) on the survival, growth, pigment content, phycobilisome structure and function, and oxygen liberation rate were investigated in the native stigonematal *Cyanobacterium Fischerella* sp. FS 18. The results showed that the *Cyanobacterium* had survival in both periods. That seems to relate to entering the exponential phase of growth, without a lag phase, which is a kind of acclimatization to alkaline conditions. The results of the absorption spectra in the light-harvesting antennae in two areas of carotenoid and phycocyanin indicated compliance with the conditions. Cyanobacteria do not produce phycoerythrin under the applied conditions. The shift in the absorption peak of chlorophyll and phycobilisome pigments decreased especially in 120 hours. The amount of oxygen liberated in extreme limitation of carbon dioxide was 21.95 and 38.92 $\mu\text{mol O}_2/\text{mg dw}$ in 24 hours and 120 hours is equivalent to 21.95 micromoles of oxygen per milligram of dry weight per minute, and in 120 hours is equivalent to 38.92 micromoles of oxygen per milligram of dry weight per minute. Overall, *Fischerella* sp. showed a decrease in growth, photosynthetic pigments, and photosynthesis intensity under extreme alkaline conditions compared to optimal conditions (pH 10), but this decrease is not to the extent that it can be considered an obstacle to survival and growth, as occurs in acidic conditions. *Fischerella* can tolerate extreme alkaline conditions and can adapt to a stressful environment.

Cite this article as: Diant, S., Shokravi, Sh., Mahmoodzadeh Akhrat, H. (2025). Study the physiological characteristics of *Fischerella* sp. Strain FS 18 under extreme, alkaline condition and relative and extreme limitation of CO₂ at different times. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 79: 72-88.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984419>

بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. Strain FS 18 در شرایط قلیایی افراطی و نسبی و افراطی دی اکسید کربن، در زمان‌های مختلف

سمانه دیانت^۱، شادمان شکروی^{۲*}، هما محمودزاده آخرت^۳

^۱ گروه زیست شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: samanah.diyanat537@gmail.com

^۲ گروه زیست شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: shadmanshokravi@yahoo.com

^۳ گروه زیست شناسی دانشکده علوم، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران، رایانامه: homa_mahmoodzadeh@yahoo.com

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	جلبک قادر به تحمل شرایط قلیایی افراطی می باشد چون در قادر به تحمل شرایط سخت را دارند بنابراین دارای متابولیت‌های ثانویه مهمی می باشند که دارای خواص مهمی می باشند از جمله فعالیت سوخت زیستی، ضد میکروبی و ضد سرطانی می باشند. تاثیر شرایط قلیایی افراطی (pH 12) در دو مقطع زمانی کوتاه (۲۴ ساعت) و بلند (۱۲۰ ساعت) در شرایط محدودیت کامل و نسبی دی اکسید کربن (هوادهی، عدم هوادهی، عدم تلقیح دی اکسید کربن)، بر بقا، رشد، محتوای رنگیزه ای، ساختار و عملکرد فیکوبیلی زوم، و میزان آزاد سازی اکسیژن، در سیانوباکتری استیگنونماتال بومی <i>Fischerella</i> sp. FS 18 بررسی گردید. نتایج نشان داد که در هر دو مقطع زمانی، سیانوباکتری بقای خود را حفظ می کند. حفظ بقا با ورود به فاز تصاعدی رشد همراه است که به دلیل عدم فاز تاخیری نمایشگر خوگیری با شرایط قلیایی اعمال شده است. نتایج طیف‌های جذبی در زیوه آنتن‌های جمع آوری کننده نور در دو ناحیه کاروتنوئید و فیکوسیاینین نشان از انطباق با شرایط دارد. سیانوباکتری در شرایط اعمال شده فاقد فیکواریترین است. جابجایی در قله جذبی کلروفیل و رنگیزه‌های فیکوبیلی زومی بخصوص با رسیدن به ۱۲۰ ساعت، کاهش می یابد. میزان اکسیژن آزاد شده در شرایط محدودیت افراطی دی اکسید کربن، در ۲۴ ساعت معادل ۲۱/۹۵ میکرومول اکسیژن بر میلی گرم وزن خشک در دقیقه، و در ۱۲۰ ساعت معادل ۳۸/۹۲ میکرومول اکسیژن بر میلی گرم وزن خشک در دقیقه است. روی هم رفته سیانوباکتری در شرایط قلیابیت افراطی از نظر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و شدت فتوسنتز نسبت به شرایط پهنه (pH 10) کاهش نشان می دهد ولی این کاهش به حدی نیست که بتوان همانند آنچه در شرایط اسیدی روی می دهد، آن را مانعی برای بقا و رشد تلقی کرد. فیشرلا قادر به تحمل شرایط قلیایی افراطی می باشد و توانایی این را دارد خودش را با محیط‌های پرتنش سازگار کند.

واژه‌های کلیدی:

دی اکسید کربن
سیانوباکتری
فتوسنتز
فیشرلا
فیکوبیلی زوم
قلیابیت افراطی

استناد: دیانت، سمانه؛ شکروی، شادمان؛ محمودزاده آخرت، هما. (۱۴۰۴). بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. Strain FS 18 در شرایط قلیایی افراطی و نسبی و افراطی دی اکسید کربن، در زمان‌های مختلف. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۹: ۷۲-۸۸.



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984419>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

تا زمان حاضر تنها بررسی مربوط به قلیائیت افراطی بر روی *Fischerella* sp. به بررسی‌های Shokravi and Bahavar (2021-a) مربوط است که در شرایط توام شوری و قلیائیت وضعیت فتوسنتزی سیانوباکتریوم را در محدوده pH 11 بررسی کرده است. بنابراین تفاوت این پژوهش با دیگر مقالات مربوط به زمان از دو جهت است. نخست اعمال شرایط جدید قلیائیت و رفتن به محدوده قلیائیت افراطی (pH 12)، و دیگر صرفنظر کردن از پیش تیمارها و ارزیابی نتایج ناشی از تیمارهای ترکیبی قلیائیت و دی اکسید کربن در زمان‌های کوتاه مدت و طولانی مدت. انتخاب زمان‌ها بر مبنای نتایج رساله‌ها و مقالات قبل از این انجام گرفته است. با توجه به این که زمان‌های قبلی به صورت پیش تیمار اعمال شده است، زمان ۱۲۰ ساعت به عنوان محدوده زمانی جدید در نظر گرفته شده است.

امروزه شمار سیانوباکتری‌هایی که از محیط‌های اسیدی جمع آوری و گزارش می‌شوند کم نیستند ولی هنوز عقیده حاکم و راسخ آن است که سیانوباکتری‌ها موجوداتی قلیا دوست هستند. این موجودات حکم سدهایی را دارند که حیات در مقابل شرایط اسیدی کشیده است. در مقالات به طور عام ذکر می‌شود که محدوده pH مورد علاقه سیانوباکتری‌ها از ۷ تا ۱۰ می‌باشد. با مختصری اغماض این محدوده را می‌توان به ۶/۵ تا ۱۰ گسترش داد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸) بدین ترتیب pH ۱۲، نوعی شرایط افراطی محسوب می‌گردد که خوگیری سیانوباکتری‌های غیر شدید دوست به آن، اگر غیر ممکن نباشد، دشوار است. رفع آلودگی‌های باکتریایی و سیانوباکتری‌هایی نظیر *Microcystis* در کشت‌های سیانوباکتری‌ها با رسانیدن کشت‌ها در مراحل قبل از انتقال به کشت اصلی، با رسانیدن به

Tiwari et al., 2019, Sena) pH 12 صورت می‌گیرد

(et al., 2011) در خصوص نمونه‌هایی که تا کنون در استان گلستان بررسی شده است، به نمونه ای برخورد نکرده ایم که شرایط اسیدی را پسندد.

هنوز برای این ادعا زود است که عدم تعادل میان pH برون و درون سلولی، علت اصلی عدم تمایل سیانوباکتری‌ها به محیط‌های اسیدی است. شاید از دید یک فیزیولوژیست و اکوفیزیولوژیست این مسئله مصداق داشته باشد اما از دید کلی یک زیست شناس مسئله مبهم و قابل نقضی است. نمی‌توان مدعی شد که سیانوباکتری‌ها به این دلیل از سه و نیم (سه و هفت دهم) میلیارد سال قبل به قلیا دوستی روی آورده اند که از همان ابتدا عدم تعادل میان دو بخش داخلی و خارجی آن‌ها وجود داشته است. اگر بخواهیم چنین ادعایی بکنیم می‌بایست سیانوباکتری‌های آن زمان را مورد بررسی قرار دهیم. اشکال امروزی می‌توانند حاصل موتاسیون‌های پشت سر هم باشند. اگر هم نباشند دید تاریخی مسئله ما را به ابهام می‌کشاند. یعنی سه و نیم میلیارد سال قبل، شرایط نشو و نمای گروه خاصی از باکتری‌های فتوسنتز اکسیژنیک به شکلی بوده است که به فرض پیدا کردن قابلیت تصاعد اکسیژن، نسبت به اسید رفتار گریزان نشان می‌دهند؟ آیا شرایط اسیدی بر مسئله فتوسنتز اکسیژنیک تاثیر بازدارنده داشته است؟ این فرض بسیار ضعیف است ولی بهر حال بررسی‌های (Raven et al., 2012) نشان می‌دهد که چه زندگی هتروتروفی و فتوسنتز غیر اکسیژنیک و چه شرایط اتوتروفی و فتوسنتز اکسیژنیک، روی قلیا دوستی سیانوباکتری‌ها تاثیر ندارد. بررسی‌های Trimbom و همکاران (۲۰۱۳) که در نهایت به این مدعا منتهی شده است که نوع فتوسنتز بر قلیا دوستی و اسید گریزی تاثیر دارد قابل توجه است. به عنوان مثال، انتقال از شرایط pH معادل ۸ به pH معادل ۵ و ۶، در ساعات اول (تا دوازده

ساعت) با حفظ نرخ رشد و تولید متابولیت همراه بوده است. بعد از این مدت در بقا و تقسیم سلولی و فتوسنتز اختلالاتی بوجود آمده که نشان دهنده تغییر رفتار موجود است (Abbasi et al., 2019).

کلیت سیستم فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها تحت تاثیر عاملی به نام pH می باشد یا به نوعی می تواند باشد. تفاوت تیپ فتوسنتزی C3 با دیگر تیپ‌های فتوسنتزی، در وجود یا عدم مکانیسمی است که به صورت کلی آن را مکانیسم تراکمی دی اکسید کربن می گویند^۱. این مکانیسم با بالابردن غلظت دی اکسید کربن پیرامون کمپلکس آنزیمی ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز / اکسیژناز، بخش کربوکسیلازی آن را تقویت می کند و جریان تولید انرژی را به سمت چرخه کالوین و برون ده‌های متعدد آن هدایت می نماید (Mangan and Brenner, 2014) تغییرات ساختاری و یا جدایش‌های زمانی، استراتژی موجود فتوسنتز کننده برای گزینش تیپ فتوسنتزی خاص خود است. تیپ‌های فتوسنتزی که دارای مکانیسم تراکمی دی اکسید کربن هستند، مزایای خاص خود را از نظر ماده سازی و شدت فتوسنتز دارا می باشند. تیپ C3 که فاقد مکانیسم‌های متراکم کننده دی اکسید کربن پیرامون روبیسکووست، بالطبع از این مزایا برخوردار نمی باشد. به عنوان مثال منحنی‌های فتوسنتز - نوری که به مقایسه رفتارهای فتوسنتزی کوتاه مدت سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های فاقد مکانیسم تراکمی (تیپ C3) و نیز گیاهان زراعی (تیپ C4) و البته اعضای خانواده مشهور کراسولاسه (تیپ CAM) پردازد، زیاد نیست. با این حال در محدود مقایسه‌هایی که انجام گرفته یا بر مبنای مقالات پراکنده، ترسیم شده است یک حقیقت واضح وجود دارد و آن اینکه تمامی پارامترهای فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها، از دیگر

اشکال فتوسنتزی به مراتب بالاتر می باشد. بیشینه فتوسنتزی و ضریب مربوط به بخش خطی منحنی فتوسنتز - نور (نمودی از توانایی فتوسنتز در شدت‌های محدود نور) در سیانوباکتری‌ها، به مراتب بالاتر و مقدار انرژی لازم برای رسیدن به بیشینه فتوسنتز کم تر است. ضمن اینکه ضریب بازدارندگی نوری در سیانوباکتری‌ها به مراتب بالاتر از دیگر تیپ‌های فتوسنتزی می باشد. برای تکمیل مقایسه، بازده کوانتایی در تیپ‌های فتوسنتزی دارای مکانیسم تراکمی، معیار گویایی است که به وضوح در اشکال دارای مکانیسم تراکمی، بالاتر می‌باشد. به این مجموعه می توان معیارهای متعدد دیگری را نیز افزود. به عنوان مثال، نسبت سیستم‌های نوری دو به یک (و یا بر عکس) که در برخی سیانوباکتری‌ها تا چهار و پنج به یک و بالاتر نیز می رسد. روی هم رفته در تمامی شاخص‌های مقایسه‌ای، کارایی به مراتب بالاتر تیپ فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها مشهود است (Bouazzara et al., 2020). ظرف دهه‌های اخیر با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته اندازه گیری در زمان‌های پیکو و نانوثانیه ای نظیر TRF^۲، کارایی انتقال الکترون از سیستم‌های جمع آوری کننده نور به مرکز واکنش و فلورسانس تاخیری^۳ و نظیر این مورد توجه قرار گرفته است. تقریباً در تمامی مقایسه‌های انجام شده، سیستم‌های نوری دو و یک در سیانوباکتری‌ها، نسبت به دیگر جلبک‌ها و گیاهان گل دار، عملکرد به مراتب بالاتری از نظر بکارگیری زمان داشته اند. نتایج استفاده از دستگاه‌های پیشرفته، نه تنها نتایج گذشته را نقض نمی کند بلکه آن را تقریباً به طور کامل تایید می نماید (Shokravi and Bahavar, 2021-b).

^۲ Time Resolved Fluorescence

^۳ Delayed Fluorescence

^۱ Carbon Dioxide Concentration Mechanism (CCM)

با توجه به آنچه گفته شد؛ هدف این بررسی، گسترش دامنه مطالعات گذشته بر روی سیانوباکتری بومی استیگنوماتال *Fischerella* sp. FS 18 از نظر خوگیری به شرایط اسیدی و قلیایی است. بررسی‌های سلطانی و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد که این سیانوباکتری در شرایط اسیدی (pH 5) قادر به بقا نیست. اما در گستره ای از شرایط قلیایی رشد می کند که در حال حاضر بررسی‌ها، آن را pH 7 و pH 9 (بسته به عوامل محیطی بخصوص شدت نوری)، نشان می دهند. بررسی‌های Shokravi and Bahavar (2021-a)، نشان داد که ترکیبی از عوامل محیطی (محتوای دی اکسید کربن، شوری و قلیائیت) بر خوگیری سیانوباکتری به شرایط قلیایی افراطی (pH 11) موثر است. در خصوص قلیائیت بالاتر از این تاکنون بررسی متمرکزی صورت نگرفته است. pH 12 دنیای جدیدی است که برای عمده سیانوباکتری‌ها ناشناخته می باشد. بنابراین مطالعه این دنیای جدید می بایست از ابتدا صورت گیرد. مطابق شاخص‌های اکوفیزیولوژیک، بررسی بقا، رشد، وضعیت رنگیزه ای و فتوسنتز، در بدو امر ضروری می باشند. در این مقاله نتایج ارزیابی این پارامترها بر روی این سویه سیانوباکتری آورده شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه و کشت ریز جلبک: سیانوباکتری *Fischerella* sp. Strain FS 18، به صورت کشت جامد از کلکسیون جلبکی جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی دریافت و در آزمایشگاه دانشگاه آزاد مشهد ارزیابی مقدماتی جهت عدم آلودگی با میکروسکوپ نوری و فلورسانس انجام گرفت. شناسایی مجدد نمونه (برای احتیاط) با استفاده از Desikachary (2003), John et al. (1959) و Soltani et al. (2011) انجام گرفت.

شرایط نگهداری نمونه: نگهداری نمونه در محیط BG0-11، pH 7.8، شدت نوری ۶۰ میکرومول کوانتا بر متر مربع در ثانیه و دمای ۲۸ درجه سانتی گراد انجام گرفت (Poza-Carion et al., 2001). پس از رسیدن به فاز تصاعدی، سیانوباکتری وارد ظروف جداگانه با محیط کشت مایع BG0-11 با pH 12 گردیدند. برای پرهیز از تغییرات افراطی pH از بافرهای مناسب استفاده گردید (Dea Putri et al., 2023). هوادهی با استفاده از پمپ اکواریوم انجام پذیرفت کنترل قلیائیت به صورت روزانه و با استفاده از pH متر انجام گرفت.

رشد: با استفاده از خواندن جذب با OD به صورت سه تکرار و سه روز در میان تا یک ماه انجام گرفت. با استفاده از تغییرات وزن خشک و جذب نوری کلروفیل و پروتئین ارزیابی گردید (Abbasi et al., 2020). منحنی‌های رشد از زمان تلقیح به مدت ۱۲۰ ساعت ترسیم گردید. آنالیز رشد بر اساس محاسبه نرخ رشد و ضریب تضعاف و نیز اسپکتروسکوپی انجام گرفت (Amirlatifi et al., 2018). طیف‌های جذبی به صورت سلول‌های سالم، با استفاده از اسپکتروفتومتری در محدوده مری (۳۸۰-۷۶۰ نانومتر) ترسیم گردید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: در شرایط *Invitro* سنجش ۱ میلی لیتر (۱۰۰۰ میکرولیتر) از سوسپانسیون جلبکی برداشته شد و با دور ۲۵۰۰rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. عصاره رویی محلول در ریخته و به رسوب باقیمانده ۱ میلی لیتر متانول خالص اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتیگراد در یخچال نگهداری شد. بعد از این مدت دوباره مخلوط با دور ۲۵۰۰rpm سانتریفوژ گردید و در نهایت جذب بخش رویی در طول موج ۶۶۵ نانومتر خوانده شد و *Invivo* با استفاده از طیف جذبی اسپکتروسکوپی و

(محدودیت نسبی دی اکسید کربن)، و عدم هوادهی (محدودیت افراطی دی اکسید کربن)، به pH 10، و بخصوص شرایط عدم تلقیح دی اکسید کربن مربوط است. افزایش زمان و رسیدن به ۱۲۰ سبب افزایش وزن خشک می گردد که نشان از ورود سیانوباکتری به فاز تصاعدی رشد دارد. در ۲۴ ساعت نخست پس از تلقیح، وزن خشک در شرایط pH 12، در شرایط تلقیح و عدم تلقیح دی اکسید کربن دارای اختلاف معنی دار نیست. I. بعد از گذشت زمان و رسیدن به ۱۲۰ ساعت میزان وزن خشک از ۰,۱۷ به ۰,۲۸ میلی گرم بر میلی لیتر (شرایط محدودیت افراطی دی اکسید کربن) و از ۰,۱۴ به ۰,۲۳ میلی گرم بر میلی لیتر (شرایط عدم محدودیت دی اکسید کربن) افزایش می یابد که نشان از رشد تصاعدی بدون فاز تاخیری دارد. همین یافته در خصوص مقادیر کلروفیل نیز مشاهده می گردد (جدول ۲).

اسپکتروفلوریمتری (کلروفیل در دو محدوده قرمز و آبی، کاروتنوئیدها، فیکواریترین، فیکوسیانین و آلفوئیکوسیانین) با استفاده از طیف های ترسیم شده و قله ها و شانه های جذبی، در دو مقطع زمانی ۲۴ و ۱۲۰ ساعت ارزیابی گردیدند (Shokravi and Bahavar, 2021-a, 2022; Alcorta et al., 2019; Inoue-Kashino et al., 2005). اندازه گیری اکسیژن: با استفاده از پمپ آکواریوم و در ارلن های ۱۰۰ سی سی در فتوستتز به صورت روزانه در دو مقطع زمانی ۲۴ و ۱۲۰ ساعت، با استفاده از اکسی گراف مدل کلارک ارزیابی شد (Ahmed et al., 2021; Soltani et al., 2007). نتایج بر اساس وزن خشک استاندارد سازی گردید (Tang and Wincent, 1999). آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS Version 18، و نرم افزار Past انجام گرفت.

نتایج

وزن خشک و کلروفیل چه در شرایط هوادهی

جدول ۱: بررسی میزان وزن خشک در pH 12 (میلی گرم بر میلی لیتر) و مقایسه آن با دو pH 8,10- سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18 - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

Date	pH8-NA	pH8-A	pH 10-NA	pH10-A	pH12-NA	pH12-A
th ₁	۰,۰۰۴±۰,۱۵	۰,۰۰۹±۰,۰۰۴	۰,۳۷±۰,۰۰۱	۰,۳۱±۰,۰۰۱	۰,۱۷±۰,۰۰۱	۰,۱۴±۰,۰۰۱
th _۳	۰,۲۸±۰,۰۰۲	۰,۱۴±۰,۰۱	۰,۴۳±۰,۰۰۴	۰,۳۹±۰,۰۰۴	۰,۲۴±۰,۰۰۴	۰,۲۰±۰,۰۰۴
th _۵	۰,۳۳±۰,۰۱	۰,۱۹±۰,۰۳	۰,۵۴±۰,۰۲	۰,۴۲±۰,۰۰۲	۰,۲۸±۰,۰۲	۰,۲۳±۰,۰۲

جدول ۲: بررسی میزان کلروفیل در pH 12 (میکرو گرم کلروفیل بر میلی گرم وزن خشک) و مقایسه آن با دو pH 8,10- سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18 - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

Date	pH8-NA	pH8-A	pH 10-NA	pH10-A	pH12-NA	pH12-A
th ₁	۰,۷۲±۱۲,۴۴	۱,۱±۸,۳۶	۵,۳۲±۲۸,۷۱	۱,۷۲±۱۸,۱۵	۰,۳۲±۱۰,۲۳	۱,۰۹±۸,۱۶
th _۳	۱,۸۲±۱۶,۱۴	۰,۱۴±۱۰,۲۰	۱,۶۴±۳۴,۸۵	۲,۱۱±۲۴,۳۹	۰,۸۲±۱۴,۰۲	۰,۲۴±۱۰,۲۰
th _۵	۰,۰۲±۲۲,۲۸	۱,۷۲±۱۴,۲۳	۵,۸۲±۶۴,۷۸	۱,۴±۳۲,۴۲	۲,۰۵±۱۸,۳۴	۲,۰۲±۱۴,۲۳

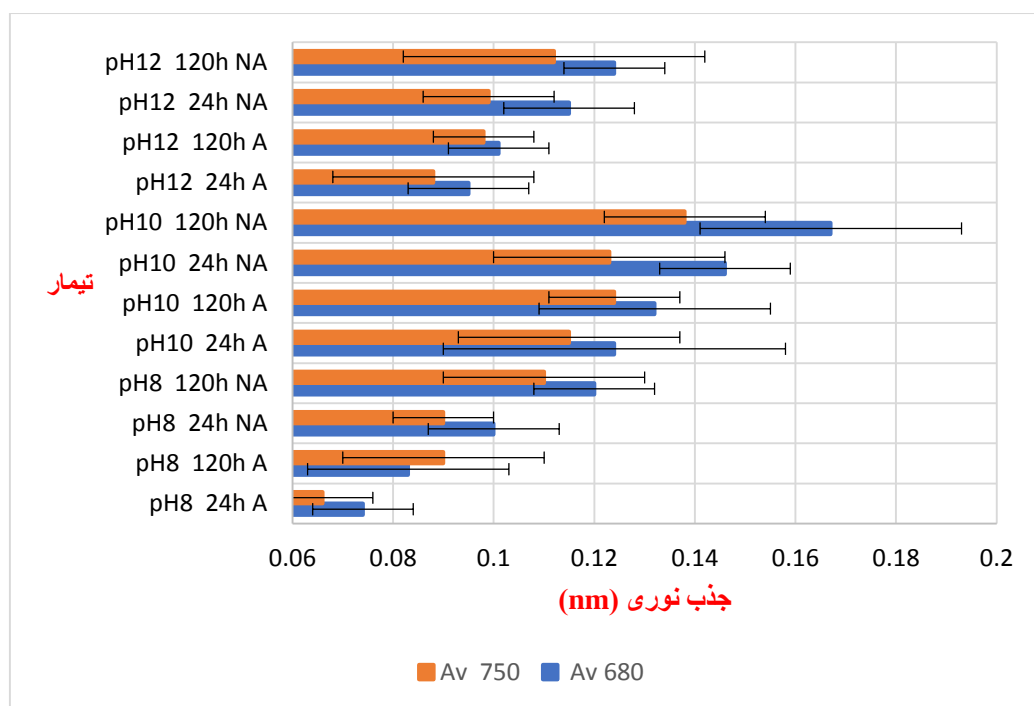
ملاحظه می شود که الگوی رشد در شرایط قلیایی افراطی و مقایسه آن با دیگر شرایط قلیابیت در خصوص وزن خشک و کلروفیل (دو شاخص نرخ

با توجه به یافته های وزن خشک و کلروفیل، با اطمینان کامل تر می توان به ارزیابی نتایج حاصل از جذب نوری پرداخت. نتایج در شکل ۱ آمده است.

(جدول ۳). در شرایط قلیایی افراطی (pH 12)، بویژه در شرایطی که محدودیت دی اکسید کربن نسبی باشد، نرخ رشد کاهش می یابد و بر زمان تضاعف افزوده می شود. مقایسه جدول آنالیز رشد (جدول ۳) نشان می دهد که نرخ رشد و ضریب تضاعف در شرایط قلیایی افراطی، بخصوص در شرایط محدودیت نسبی دی اکسید کربن، با شرایطی که سیانوباکتری در قلیائیت به مراتب کم تر (pH 8) قرار گرفته باشد، برابر است. می توان نتیجه گرفت که رشد در این سیانوباکتری در شرایط قلیائیت ملایم (به طور نسبی) با قلیائیت افراطی بخصوص در شرایطی که از هوادهی استفاده شود، برابر است.

دیگر رشد)، به همان شکل که در بررسی وزن خشک و کلروفیل مشاهده شده است، در جذب نوری (محدوده ۷۵۰ و ۶۶۰ نانومتر) نیز حفظ می شود (شکل ۱). بدین ترتیب با اطمینان می توان نتیجه گرفت که بقای سیانوباکتری در شرایط قلیایی افراطی (pH 12)، حفظ می شود. حفظ بقا به محتوای دی اکسید کربن بستگی ندارد. هوادهی و عدم هوادهی هر دو سبب حفظ بقا می شوند.

شاخص‌های مربوط به آنالیز رشد در جدول شماره ۳ آورده شده است. همانطور که از جداول ۱ و ۲، و شکل ۱ مشخص است بالاترین نرخ رشد و کم ترین ضریب تضاعف، به pH 10 مربوط است



شکل ۱: هیستوگرام مقایسه ای تغییرات جذب نوری در دو طول موج ۷۵۰ و ۶۸۰ نانومتر، در شرایط متفاوت قلیائیت و محدودیت دی اکسید کربن؛ در محدوده زمانی ۲۴ تا ۱۲۰ ساعت - سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18 - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

جدول ۳: آنالیز رشد و اندازه گیری نرخ رشد ویژه (SGR)، و زمان تضاعف (G)، در شرایط متفاوت قلیائیت و محدودیت دی اکسید کربن، در محدوده زمانی ۲۴ تا ۱۲۰ ساعت - سیانوباکتریوم *Fischerella sp. FS 18* - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

Condition of Growth	SGR (1/d)	G (d)
pH 8 - NA	0.1 ± 0.057	۱,۲۱
pH 8- A	0.08 ± 0.044	۱,۵۶
pH 10-NA	0.09 ± 0.089	۰,۷۷
pH 10-A	0.06 ± 0.062	۱,۰۴
pH 12-NA	0.09 ± 0.052	۱,۳۲
pH 12- A	0.09 ± 0.045	۱,۵۳

نخست پس از تلقیح مشخص است (جدول ۴). گذشت زمان و رسیدن به ۱۲۰ ساعت میزان تضاعد اکسیژن در شرایط قلیایی افراطی را با تاثیرپذیری از دی اکسید کربن تا سه برابر افزایش می دهد. نقش دی اکسید کربن در این میان تعیین کننده است. مقدار اکسیژن آزاد شده در فتوسنتز در هر سه pH اندازه گیری شده، با رشد و شاخص های آنالیز رشد هماهنگ است. بخصوص تاثیر زمان و دی اکسید کربن در این میان تعیین کننده می باشد.

در جدول ۴ و ۵، نتایج تضاعد اکسیژن در مقاطع زمانی متفاوت آورده شده است. چنانکه ملاحظه می شود در شرایط قلیائیت افراطی، با گذشت ۲۴ ساعت پس از تلقیح، میزان آزاد سازی اکسیژن به حدود ۱۱ nmol O₂/mg dw.min در شرایط محدودیت افراطی دی اکسید کربن و ۲۲ nmol O₂/mg dw.min در شرایط محدودیت نسبی دی اکسید کربن می رسد. تاثیر دی اکسید کربن و زمان به صورت توأم بر آزاد سازی اکسیژن در شرایط قلیایی افراطی در روز

جدول ۴: میزان تضاعد اکسیژن (nmol O₂/mg dw.min) در شرایط متفاوت pH و دی اکسید کربن، در ۲۴ ساعت پس از تلقیح - سیانوباکتریوم *Fischerella sp. FS 18* - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

	NA	A
pH 8	2.5 ± 14.34	1.3 ± 12.43
pH 10	4.5 ± 26.47	3.5 ± 20.57
pH 12	21.95 ± 1.7	6.56 ± 22.25

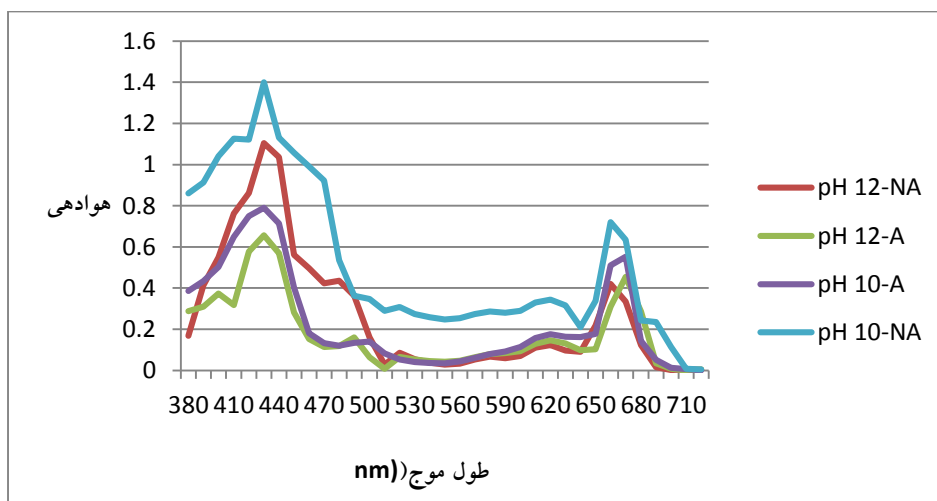
جدول ۵: میزان تضاعد اکسیژن (nmol O₂/mg dw.min) در شرایط متفاوت pH و دی اکسید کربن، در ۱۲۰ ساعت پس از تلقیح - سیانوباکتریوم *Fischerella sp. FS 18* - A: محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

	NA	A
pH 8	3.2 ± 42.44	3.2 ± 29.13
pH 10	7.7 ± 66.47	5.5 ± 44.57
pH 12	4.7 ± 38.92	1.46 ± 22.25

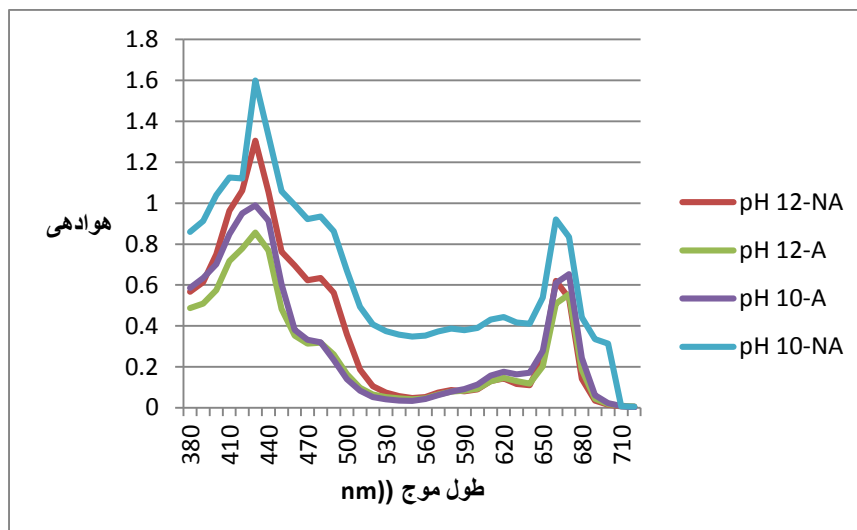
در شکل‌های ۲ و ۳ طیف‌های مقایسه‌ای جذبی در سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18 قابل مشاهده است. با توجه به ظاهر منشعب و ریشه‌های در هم رفته این سیانوباکتریوم، به دست آوردن طیف‌های واضح دشوار است و نیاز به تکرار دارد. بهر حال شکل‌های ۲ و ۳، بر مبنای طیف‌های به نسبت واضح جذبی ارائه شده است. شکل ۲ به ۲۴ ساعت نخست پس از تلقیح و شکل ۳ به ۱۲۰ ساعت پس از گذشت زمان مربوط است. استفاده از طیف‌های جذبی در شرایط بهینه (pH 10) جهت مقایسه قله‌های جذبی و محتوای رنگیزه‌ای با شرایط مورد نظر مقاله یعنی قلیایی افراطی (pH 12) ترسیم گردیده است.

دقت در شکل‌های ۲ و ۳، نشان می‌دهد که بخش‌های مربوط به کمپلکس جمع‌آوری‌کننده نور (سواى فیکواریترین) در شرایط قلیایی افراطی، وجود دارد. هرچند نسبت به بهینه شرایط یعنی pH 10 و محدودیت مطلق دی‌اکسید کربن کاهش محسوس یافته است. نقش دی‌اکسید کربن (شکل‌های ۲ و ۳) و زمان (شکل ۳) در این میان تعیین‌کننده

است. جابجایی قله‌های جذبی همراه با اندازه آن‌ها، چه در محدوده کلروفیل و چه کاروتنوئیدها و فیکوبیلین‌ها (به جز فیکواریترین)، در ۱۲۰ ساعت اندک است و تولید و عملکرد رنگیزه‌ها از ثبات برخوردار می‌باشد. ضمن این که بعد از گذشت ۱۲۰ ساعت، عمده افزایش (نزدیک بیست درصد) در نواحی فتوسیستمی روی می‌دهد و بخش‌های فیکوبیلی زومی تغییر قابل توجهی نمی‌کند. از میان رنگیزه‌های فیکوبیلی زومی، فیکوسیانین و بعد آلو فیکوسیانین دارای قله‌های قابل مشاهده می‌باشند. فیکواریترین فاقد قله محسوس است (در همه شرایط) و این تنها به شرایط قلیایی افراطی مرتبط نیست. زیرا در شرایط بهینه (pH 10) نیز در دو زمان ۲۴ و ۱۲۰ ساعت فیکواریترین مشاهده نمی‌شود. بخش دیگر کمپلکس جمع‌آوری‌کننده نور یعنی کاروتنوئیدها تحت تاثیر قلیائیت، زمان و دی‌اکسید کربن قرار می‌گیرند و در ۱۲۰ ساعت از اندازه بیشتر و محدوده جابجایی کم تری برخوردار هستند (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲: طیف‌های جذبی مقایسه‌ای در محدوده مرئی و ریشه‌های سالم، در شرایط متفاوت قلیائیت و محدودیت دی‌اکسید کربن؛ در محدوده زمانی ۲۴ ساعت - سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18 : A - محدودیت نسبی دی‌اکسید کربن (هوادی)، NA: محدودیت افراطی دی‌اکسید کربن (عدم هوادی).



شکل ۳: طیف‌های جذبی مقایسه‌ای در محدوده مرئی و ریشه‌های سالم، در شرایط متفاوت قلیائیت و محدودیت دی اکسید کربن؛ در محدوده زمانی ۱۲۰ ساعت - سیانوباکتریوم *A - Fischerella sp. FS 18* : محدودیت نسبی دی اکسید کربن (هوادهی)، NA: محدودیت افراطی دی اکسید کربن (عدم هوادهی).

بحث

تنش‌های pH خوب‌گیرد، نمونه‌ای با ارزش از نظر

Chittora et al.,2020;) بیوتکنولوژی خواهد بود
(Singh et al.,2016

سیانوباکتریوم بومی استیگونماتال *Fischerella* sp. Strain FS 18، به عنوان مدلی جهت بررسی های اکوفیزیولوژیک در دانشگاه آزاد اسلامی گرگان بوده است. بخشی از این بررسی ها به تاثیر قلیائیت و اسیدیته بر بقا، رشد، وضعیت رنگیزه ای و فتوسنتز این سیانوباکتری اختصاص داشته است. این بررسی ها به طور عمده ترکیبی بوده است و تاثیر قلیائیت با دیگر عوامل محیطی از جمله نور و شوری ارزیابی شده است (Baftehcheh و همکاران، 2001، Shokravi and Sateai و 2001، Sepehri و همکاران، 2002، Soltani و همکاران، 2003، Shokravi و همکاران، 2003، Amirlatifi و همکاران 2019، Abbasi و همکاران 2019، Taheri et al., 2020، Yadollahi و همکاران 2023). از بررسی های Amirlatifi و همکاران (2019) و Abbasi و همکاران (2019)، مسیر جدیدی در این بررسی ها ایجاد شد که زمان را

زمین‌های کشاورزی و شالیزارها تحت تأثیر مجموعه‌ای از تنش‌ها قرار دارند که در کل آنها را از جهاتی به صورت محیط‌های پرتنش معرفی می‌کند. سیانوباکتری‌های خاکزی و شالیزارها، به صورت فصلی و ماهیانه و حتی روزانه در معرض نوسانات عوامل محیطی (از جمله قلیائیت و محتوای دی اکسید کربن) قرار دارند (Amirlatifi et al., 2018; Abbasi et al., 2020). اگر نمونه‌ای بتواند خود را از نظر رشد و بقا با این نوسان‌ها سازگار نماید، نمونه‌ای به صورت ذاتی پراورش (توانمند) از نقطه نظر بررسی‌های کاربردی خواهد بود (Shokravi et al., 2014). تنش‌های pH، در ابعاد مختلف بر سیانوباکتری‌ها تأثیر می‌گذارد که تأثیر بر سیستم رنگیزه‌ای (به طور کلی) و بخصوص رنگیزه‌های فیکوبیلی پروتئینی، از مهمترین آنهاست (Bahavar and Shokravi, 2021). ضمن اینکه تغییرات pH بر رشد، شدت فتوسنتز و دیگر فرایندهای فیزیولوژیک نیز است. اگر نمونه میکروبی دارای فتوسنتز اکسیژنیک بتواند با گستره‌ای از

(2019)، Abbasi و همکاران (2019)، Taheri و همکاران (۲۰۲۰) و Yadollahi و همکاران (۲۰۲۳)، مورد بررسی قرار گرفته است. این که زمان در سیستم زیستی موجوداتی نظیر سیانوباکتری‌ها، به چه شکل و مطابق چه معیاری ارزیابی می‌شوند و این که اساساً آیا زمان در آن‌ها، همان مفهوم و سنجشی را دارد که دستگاه ذهنی انسان بر مبنای آن تنظیم شده، از مسائلی است که بسیار کم به آن پرداخته شده است. با این همه نمی‌شود منکر شد که رفتارهای فیزیولوژیک سیانوباکتری تحت تاثیر زمان می‌باشد. سیانوباکتری‌ها بعد از انجام یک یا دو چرخه تولید مثلی با شرایط جدید خو می‌گیرند ولی این خوگیری به معنی سازگاری نیست. تغییر شرایط حتی بر سیانوباکتری‌های قطبی که میلیون‌ها سال در مناطق سرد زندگی کرده، برای آزمایش به دمای معتدل و گرم انتقال یافته اند به وضوح مشاهده گردیده است (Tang and Wincent, 1999).

سیانوباکتریوم *Fischerella sp. FS 18* روی هم رفته نمونه ای قلبایی پسند به نظر می‌رسد. دقت در تغییرات وزن خشک، کلروفیل و جذب نوری، نشان می‌دهد که در شرایط قلبایی افراطی (pH 12)، سیانوباکتری از روز نخست بدون فاز تاخیری رشد را آغاز می‌کند و این رشد تا روز پنجم پس از تلقیح بدون دشواری ادامه می‌یابد. فاز رشد منفی وجود ندارد (Shokravi and Bahavar, 2022) و نمونه از نظر برون ریزش ترکیبات دیواره ساز با مشکلی مواجه نیست. نتایج با بررسی‌های (Yadollahi et al., 2023; Bahavar and Shokravi 2022).

بر روی سیانوباکتری‌های *Cylindrospermum* و *Fischerella* سازگار می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده در استان گلستان، سویه‌های استیگوناتال (Vakili و همکاران، ۲۰۰۵، Shokravi و همکاران، ۲۰۰۱، Shokravi and Sateyi، ۲۰۰۲) و اسیلاتوریال

به عنوان عامل اصلی، در کنار دیگر عوامل محیطی لحاظ کرد. زمان در نظر گرفته شده در این بررسی‌ها ۲۴ ساعت و ۹۶ ساعت در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی‌ها منجر به نتایجی گردید که نقش پیش تیمارهای قلبی، شوری و زمان (به صورت توأم) را در رابطه با رشد و فتوسنتز، قابل توجه نشان می‌داد. در بررسی‌های Yadollahi و همکاران (۲۰۲۳) و Taheri و همکاران (۲۰۲۲)، پیش تیمارها از نظر زمانی به یک ساعت تقلیل یافت. تاثیر این زمان که به صورت مقاطع زمانی ۲۰ دقیقه ای اعمال می‌شد، بخصوص بر روی عملکرد دستگاه فتوسنتزی و اجزای آن قابل توجه بود و نشان داد که زمان به صورت یک عامل تاثیرگذار می‌تواند به صورت ترکیبی در کنار دیگر عوامل محیطی، بخصوص قلبی و محتوای دی اکسید کربن حایز نقش تعیین کننده باشد. هرچند البته عدم تلقیح دی اکسید کربن به صورت افراطی رشد را کاهش می‌دهد. به بیان دیگر می‌توان ادعا کرد که سیانوباکتری استیگوناتال *Fischerella sp. FS 18* در شرایط pH 12 از میان نمی‌رود. هرچند با توجه به کاهش رشد (با مقایسه همه اندازه گیری‌های انجام شده)، نمی‌توان آن را به صورت افراطی قلبا دوستی دانست.

کاهش نرخ رشد ویژه به معنی زمان فاز تصاعدی رشد و به عبارت دیگر سرعت رشد در فاز تصاعدی است. می‌توان نتیجه گرفت کاهش افراطی دی اکسید کربن در شرایط افراطی قلبی، سبب افزایش سرعت رشد و ماده سازی می‌گردد. علاوه بر میزان دی اکسید کربن، زمان نیز عامل تعیین کننده است. گذشت ۱۲۰ ساعت از عمر نمونه سبب می‌شود که رشد و ماده سازی نسبت به ۲۴ ساعت نخست پس از تلقیح افزایش معنی دار یابد. ANOVA ($p < 0.05$) در خصوص زمان، اهمیت و تاثیر آن در سیانوباکتری‌ها در پژوهش‌های Amirlatifi و همکاران

رشد بالا را (نسبت به شرایط محدودیت نسبی دی اکسید کربن) سبب می شود (Badger and Taheri et al., 2021; Poza-Carion et Price, 1992; Yadollahi et al., 2023; al., 2001)

در خصوص مکانیسم تراکمی دی اکسید کربن، چند نکته کلیدی وجود دارد که می توان به افزایش کارایی نسبت داد. این مکانیسم القایی است و تنها در صورت نیاز القا می شود و به طور طبیعی در شرایط عدم نیاز از میان می رود. دیگر این که تعداد و محل قرار گیری آن علاوه بر فضای پری پلاسمیک (محل اصلی) می تواند در دیگر فضاهای سلولی از جمله غشا پلاسمایی و تیلاکوئیدهای فتوسنتزی القا شود. با توجه به این نکات، احتمال زیاد وجود دارد که در شرایط قلیایی افراطی، میزان فعالیت این مکانیسم (القای آن) به حداکثر برسد و در هر سه محل و با حداکثر کارایی عمل نماید (MacKenzie et al., 2008; Burns et al., 2005; et al., 2008)

بالاترین زمان برای تاثیر توام pH و دی اکسید کربن، ۱۲۰ ساعت می باشد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی بیومس و آنالیز رشد، این طبیعی به نظر می رسد. در چنین شرایطی سیانوباکتری در فاز تصاعدی است و به طور طبیعی میزان تولید بیومس بالاتر می باشد. ظرف ۱۲۰ ساعت در هر سه pH اعمال شده، میزان تولید کلروفیل و پروتئین در کل جمعیت و در هر سلول به بالاترین حد می رسد. افزایش سرعت تولید مثل و حفظ فاز تصاعدی رشد، تا ۱۲۰ ساعت به این مسئله مرتبط است.

به طور بدیهی، سرعت رشد و ماده سازی در موجودات فتوسنتز کننده، بستگی به عملکرد سیستم تولید ماده و انرژی یعنی فتوسنتز دارد. بنابراین نتیجه گیری می شود که میزان اکسیژن آزاد شده در شرایط قلیایی افراطی، بخصوص در شرایط هوادهی (محدودیت نسبی دی اکسید کربن) تقریباً معادل

(Shakeri و همکاران، ۲۰۰۸، Sasani و همکاران، ۲۰۰۸، Monadi و همکاران، ۲۰۰۸) در محدوده قلیایی رشد بهتری از خود نشان داده اند. در سایر استان ها اطلاعات اندک است و نمی توان قضاوت کرد. اما در بررسی های سیانوباکتریولوژیست های کشورهای دیگر این موضوع مورد تاکید قرار گرفته است. به عنوان مثال در بررسی های انجام شده بر روی گونه هایی از نوستوک (Nostoc UAM205, Nostoc UAM 206) که در شالیزارهای اسپانیا انجام شده است، قلیایی پسند بودن نمونه مورد تایید و تاکید قرار گرفته است (Leganes and Fenandez Valiente, 1991) در خصوص Nostoc sp. UAM206، ضمن تاکید بر قلیایی پسند بودن نمونه، تاثیر محتوای دی اکسید کربن و نور بر رفتارهای سویه مورد توجه قرار گرفته است (Poza-Carion et al., 2001).

چنانکه ذکر گردید، این نخستین گزارشی است که به بررسی رفتار سویه *Fischerella* sp. FS 18 در pH 12 می پردازد. دقت در نتایج نشان می دهد که بقای سیانوباکتری در چنین شرایطی بخصوص در محدودیت دی اکسید کربن حفظ می شود و با افزایش زمان قابلیت بقا افزایش می یابد.

در شرایط افراطی قلیایی (pH 12)، هم در ۲۴ و هم در ۱۲۰ ساعت میزان بیومس در شرایط محدودیت افراطی دی اکسید کربن بالاتر از محدودیت نسبی دی اکسید کربن می باشد. این مسئله در شرایط دیگر (pH 10,8)، به طور مطلق صادق نیست. می توان ادعا کرد که در شرایط قلیایی افراطی، مکانیسم تراکمی دی اکسید کربن بالاترین میزان فعالیت خود را دارا می باشد. با توجه به بقا و رشد سیانوباکتری در این شرایط این مسئله اساسی است. می توان ادعا کرد که محدودیت شدید دی اکسید کربن سبب القای مکانیسم تراکمی با بالاترین کارایی می گردد و این امر

شرایط قلیائیت غیر افراطی (pH 8) می باشد. به عبارت دیگر سیانوباکتری قادر است از ابتدای زندگی در شرایط قلیایی افراطی (۲۴ ساعت)، دستگاه فتوسنتزی خود را مطابق شرایط قلیائیت غیر افراطی بازسازی نماید. این تایید دیگری بر وجود مکانیسم تراکمی نیرومند در این میکرو ارگانیسم است. این نتایج با پژوهش‌های Yadollahi و همکاران (۲۰۲۳) در رابطه با تاثیر قلیائیت در مدت زمان‌های بسیار کوتاه (یک ساعت)، مطابقت دارد. علاوه بر این نتایج حاصل از فتوسنتز و آزاد سازی اکسیژن نیز با آنالیزهای مربوط به بقا و رشد متناسب است. (Shokravi et al., 2012; Shokravi and Bahavar, 2022). بررسی‌های Andeska و همکاران (۲۰۲۳). بر روی ترکیب عصاره *Azadirachta indica* و سیانوباکتریوم *Arthrospira platensis* نشان می دهد که در شرایط افراطی قلیائیت (pH 12,13)، تاثیر عصاره می تواند نرخ رشد ویژه، تولید بیومس و کلروفیل را تا حد قلیائیت به مراتب کمتر، بالا ببرد. بررسی‌های Natumi و همکاران (۲۰۲۱) در رابطه با تاثیر pH بر توکسین‌های سیانوباکتریایی در محیط‌های آبی، نشان داده است که میزان تولید اکسیژن فتوسنتزی در بخش‌های سطحی آب که در معرض نور خورشید قرار دارند، از محدوده ۷-۱۲ تحت تاثیر pH آب می باشد. نتایج کسب شده با این بررسی سازگار می باشد.

عملکرد دستگاه فتوسنتزی، به عملکرد اجزای تشکیل دهنده آن وابسته است. کمپلکس‌های جمع آوری کننده نور از مهم ترین اجزا می باشند. در سیانوباکتری‌ها کمپلکس‌های جمع آوری کننده نور به کاروتنوئیدها محدود نمی شوند بلکه رنگیزه‌های فیکوبیلینی (فیکوبیلی پروتئینی) هم با تشکیل ساختار فیکوبیلی زوم، به عنوان عامل دریافت و انتقال انرژی از یک سیستم نوری به سیستم نوری دیگر

ایفای نقش می کنند (Watanabe et al., 2014). بدین ترتیب رنگیزه‌های کلروفیلی، کاروتنوئیدی و فیکوبیلی پروتئینی در یک بررسی مقدماتی مرتبط با بقا و رشد، حائز اهمیت هستند (Fraser et al., 2013; Gan et al., 2014). بررسی طیف‌های جذبی در دو محدوده زمانی ۲۴ و ۱۲۰ ساعت، ناشی از خوگیری - تقریباً - بدون اشکال بخش‌های تولید کننده رنگیزه (فرایند تولید رنگیزه) و عملکرد آن‌ها در شرایط قلیائیت افراطی می باشد. این امر بخصوص در ۱۲۰ ساعت ملموس است. در این شرایط جابجایی قله‌های جذبی در کلیه رنگیزه‌ها مشاهده نگردید. وجود چنین ثباتی در بخش کلروفیل و فیکوبیلینی (بخصوص فیکوسیانین و آلفو فیکوسیانین)، ناشی از ثبات در ساختار فتوسیستم‌ها و فیکوبیلی زوم می باشد. این نتایج با بررسی‌های Kumar et al., 2020 سازگار است.

در ۲۴ ساعت نخست بخصوص در شرایط هوادهی نسبی (محدودیت نسبی دی اکسید کربن) شاهد جابجایی‌هایی در قله‌های جذبی هستیم که به مرور زمان برطرف می شود. فقدان فیکواریترین در این شرایط، البته به حذف قسمت خارجی از بخش میله ای فیکوبیلی زوم خواهد انجامید ولی چون نبود فیکواریترین در دیگر تیمارهای اعمال شده نیز مشاهده گردید، تاثیر قلیائیت افراطی، دی اکسید کربن و زمان را بر آن نمی توان عامل تاثیرگذار دانست. در بررسی‌های Soltani و همکاران (۲۰۰۷)، Shokravi and Bahavar (۲۰۲۲)، Yadollahi و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۲۳) وجود فیکواریترین در این سیانوباکتری در شرایط متفاوت قلیائیت، شوری و نور، گزارش شده است. بر عکس در Soltani و همکاران (۲۰۰۴) عدم آلفوفیکوسیانین تحت تاثیر توام قلیائیت و شدت نور، گزارش گردیده است. به نظر می رسد که تولید بخش‌های مختلف فیکوبیلی زوم (

میله ای و مرکزی)، به طور کامل تحت تاثیر عوامل محیطی است و طبیعی است که نسبت این بخش ها به یکدیگر (به عنوان عاملی برای تعیین اندازه هر بخش)، از سیالیت برخوردار است (Khazi et al., 2018, Tiwari et al., 2019). به عنوان مثال بررسی های Andeska و همکاران (۲۰۲۳) در رابطه با تاثیر توام pH و عصاره *Azadirachta indica* بر روی رشد و متابولیسم کشت های سیانوباکتریوم *Spirulina platensis* نشان می دهد که هرچند در pH محدوده ۹-۱۰، بالاترین رشد مشاهده می شود، بیشترین میزان فیکوسیائین، به pH محدوده ۱۲-۱۳ مرتبط است که با نتایج اخذ شده در این پژوهش مطابق است.

نتیجه گیری نهایی

سیانوباکتریوم *Fischerella* sp. FS 18، هرچند به صورت افراطی قلیا دوست نیست ولی در محیط های قلیایی افراطی قادر به بقا و رشد می باشد. بقای سیانوباکتری مدیون خوگیری سریع با شرایط افراطی است که در مقطع زمانی کوتاه به وقوع می پیوندد. رشد سیانوباکتری و ورود آن به فاز تصاعدی ناشی از عملکرد دستگاه فتوسنتزی نیرومندی است که به

مکانیسم تراکمی دی اکسید کربن قوی و عملکرد بخش های متفاوت خود وابسته است. با توجه به میزان قلیائیت و عملکرد رشد و آزاد سازی اکسیژن در سیانوباکتری، می توان دریافت که سازوکار مکانیسم تراکمی به صورت نیرومند و در هر سه بخش فضای پری پلاسمیک، غشا سیتوپلاسمی و پوشش تیغه ای فعال است و نیاز به انرژی خود را نه از تنفس بلکه از فتوسنتز تامین می نماید. فیکوسیائین و آلو فیکوسیائین بخش های عمده فیکوبیلی زومی هستند. عملکرد فیکوبیلی زوم بخصوص در شرایط محدودیت کامل دی اکسید کربن، سبب تقویت عمل آنتن های جمع آوری کننده نور و انتقال انرژی میان فتوسیستم ها می گردد. هرچند سیانوباکتری فاقد فیکواریترین است اما سیستم فیکوبیلی زومی هم در بخش مرکزی و هم میله ای از ثبات برخوردار است. گذشت زمان عامل مهمی است که هم با قلیائیت و هم با محتوای دی اکسید کربن بر هم کنش دارد و این بر هم کنش بر الگوی رفتاری سیانوباکتریوم در شرایط قلیایی افراطی موثر است. آزاد سازی اکسیژن به مقدار به نسبت قابل توجه در مقاطع زمانی را می توان ناشی از این بر هم کنش دانست.

References

- Amirlatifi, H., Shokravi, Sh., Saateye, A., Ahmadi Golsefedi, M. and Mahmood Janloo, M. (2020). The effect of short-term and long-term prevention of salinity Carbon dioxide limitation on phycobilisome, photobiology section phycocyanini and optical inhibitory photocynthetic cyanobacterium *Fischerella* sp and *Calothrix* sp. Ph.d Thesis Azad Gorgan University.
- Baftehchi, L. (2001). Investigating the effect of optical intensity and frequency and growth *hytrocycles Cyanobactrium Fischerella* sp. Master Thesis, Science Department, Tehran University.
- Abbasi, B., Shokravi, Sh., Golsefidi, M.Ah., Sateiee, A. and Kiaei, E. (2019). Effects of alkalinity, extremely low carbon dioxide concentration and irradiance on spectral properties, phycobilisome, photosynthesis, photosystems and functional groups of the native cyanobacterium *Calothrix* sp. ISC 65. Algologia. 29(1): 40-58. <https://doi.org/10.15407/alg29.01.040>
- Abbasi B., Shokravi Sh., Golsefidi M.Ah., Sateiee A. and Kiaei E. (2020). Effects of short-time alkaline pretreatment on growth and photosynthesis efficiency of endemic cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 19(6): 2865-2876.

- Adir, N., Bar-Zvi, S. and Harris, D. (2020). The amazing phycobilisome. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1861(4):148047.
- Alcorta, J., Vergara-Barros, P., Antonaru, L.A., Alcamán-Arias, M.E., Nürnberg, D.J. and Díez, B. (2019). *Fischerella thermalis*: a model organism to study thermophilic diazotrophy, photosynthesis and multicellularity in cyanobacteria. *Extremophiles*, 23(6):635-647.
- Amirlatifi H.S., Shokravi S., Sateei A., Golsefidi M.A. and Mahmoudjanlo M. (2018). Samples of cyanobacterium *Calothrix* sp. ISC 65 Collected from Oil Polluted Regions Respond to Combined Effects of Salinity, Extremely Low-Carbon Dioxide Concentration and Irradiance. *International Journal of Algae*. 20(2): 193–210. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v20.i2.80>.
- Andeska, D.P., Rohmawati, I. and Suyono, E.A. (2023). Effect of pH and Neem Extract on Metabolite Content and Bacterial Contaminant of *Arthrospira platensis* Cultures. *International Journal of Agricultural and Biology*, 29:240-250. DOI: 10.17957/IJAB/15.2026
- Bahavar N. and Shokravi Sh. (2022). Acclimation response and ability of growth and photosynthesis of terrestrial cyanobacterium *Cylindrospermum* sp. strain FS 64 under combined environmental factors. *Archives of Microbiology*. 204: 165–170. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02772-6>
- Badger, M.R. and Price, G.D. (1992). The CO₂concentrating mechanism in cyanobacteria and microalgae. *Physiologia Plantarum*, 84(4):606-615.
- Bouazzara, H., Benaceur, F., Chaibi, R., Boussebci, I. and Bruno, L. (2020). Combined effect of temperature, pH and salinity variation on the growth rate of *Gloeocapsa* sp. in batch culture method using Aiba and Ogawa medium. *EurAsian Journal of BioSciences*, 14(2):7101-7109.
- Burns, R.A., MacDonald, C.D., McGinn, P.J. and Campbell, D.A. (2005). inorganic carbon repletion disrupts photosynthetic acclimation to low temperature in the cyanobacterium *Synechococcus elongatus*. *Journal of Phycology*, 41(2):322-334.
- Chittora, D., Meena, M., Barupal, T., Swapnil, P. and Sharma, K. (2020). Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture. *Biochemistry and biophysics reports*, 22:1007-37.
- Desikachary T.V. (1959). Cyanophyta. In: I.C.A.R. Monographs on Algae. New Delhi. 686 p.
- John D.M., Whitton B.W., Brook A.J. 2003. The freshwater algal flora of the British Isles. Cambridge: Cambridge University Press. 702 p.
- Fernandez- Valiente, E. and Leganes, F., 1990. Regulatory effect of pH and incident irradiance on the levels of nitrogenase activity in the cyanobacterium Nostoc UAM 205. *Journal of Plant Physiology*, 135(5):623-627.
- Fraser, J.M., Tulk, S.E., Jeans, J.A., Campbell, D.A., Bibby, T.S. and Cockshutt, A.M. (2013). Photophysiological and photosynthetic complex changes during iron starvation in *Synechocystis* sp. PCC 6803 and *Synechococcus elongatus* PCC 7942. *PLoS One*, 8(3):e59861.
- Gan, F., Zhang, S., Rockwell, N.C., Martin, S.S., Lagarias, J.C. and Bryant, D.A. (2014). Extensive remodeling of a cyanobacterial photosynthetic apparatus in far-red light. *Science*, 345(6202):1312-1317.
- Inoue-Kashino, N., Kashino, Y., Satoh, K., Terashima, I. and Pakrasi, H.B., (2005). PsbU provides a stable architecture for the oxygen-evolving system in cyanobacterial photosystem II. *Biochemistry*, 44(36):12214-12228.
- 2018). Evaluation of growth and phycobiliprotein composition of cyanobacteria isolates cultivated in different nitrogen sources. *Journal of Applied Phycology*, 30(3):1513-1523.
- Kumar, D., Kannaujiya, V.K., Jaiswal, J. and Sinha, R.P. (2020). Effects of Ultraviolet and Photosynthetically Active Radiation on Phycocyanin of Habitat Specific Cyanobacteria. *Journal of Scientific Research*, 64(1):15-25.
- MacKenzie, T.D., Burns, R.A. and Campbell, D.A., (2004). Carbon status constrains light acclimation in the cyanobacterium *Synechococcus elongatus*. *Plant Physiology*, 136(2):3301-3312.

- Mangan, N.M. and Brenner, M.P. (2014). Systems analysis of the CO₂ concentrating mechanism in cyanobacteria. *Elife*, 3, p.e02043.
- Natumi Regiane, Christoph Diezinger, and Elisabeth M.-L. Janssen, (2021). Cyanobacterial Toxins and Cyanopeptide Transformation Kinetics by Singlet Oxygen and pH-Dependence in Sunlit Surface Waters. *Environmental Science Technology*. 55:15196–15205
- Poza-Carrión, C., Fernández-Valiente, E., Piñas, F.F. and Leganés, F. (2001). Acclimation of photosynthetic pigments and photosynthesis of the cyanobacterium *Nostoc* sp. strain UAM206 to combined fluctuations of irradiance, pH, and inorganic carbon availability. *Journal of Plant Physiology*, 158(11):1455-1461.
- Sepehry, S., Nezhad satari, T., and Shokravi, Sh (2004) Investigating the effect of Cyanobacteria in Golestan province with an emphasis stygonematal, Master Thesis Azad University Research Science Unit.
- Soltani, N., Khavarynezhad, R., Tabatabaye yazdi, M a., Shokravi, Sh. and Ferenandes valenteae, A. (2004) Investegating antimicrobial properties and the physiology of cyanobacteria in extreme environments. Phd thesis plant physiology Trabiati Modares University of Tehran faculty of biology science department.
- Shokravi, Sh, Soltani, N. and Bafteh chi, L. (2001). Compilation of technology using cyanobacteria biological fertilizer in sowing, high school research council. (natinal plan). Moderator of Applied Science Research Institute, Academic Jihad, Shahid Beheshti University.
- Shokravi, Sh, and Saateye A., (2003). Investigating the potential of cyanobacteria in order to inoculate in rice farm, report a research project, Research Deputy of Gorgan Islamic Azad University.
- Shokravi, Sh, Safaye, M., and Jorgani, S. (2020). Investigating of cyanobacterium compatibility *Hapalosiphon* sp. FS44 the condition of carbon dioxide and ph and carbon dioxide concentration. *International Journal on Algae*. 15:291-270.
- Shokravi, S. and Soltani, N. (2011). Acclimation of the *Hapalosiphon* sp. (Cyanoprokaryota) to Combination Effects of Dissolved Inorganic Carbon and pH at Extremely Limited Irradiance. *International Journal on Algae*, 13(4):379-391.
- Shokravi S. and Soltani N. (2011). Acclimation of the *Hapalosiphon* sp. (Cyanoprokaryota) to Combination Effects of Dissolved Inorganic Carbon and pH at Extremely Limited Irradiance. *International Journal of Algae*. 13(4): 379–391. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v13.i4.60>
- Shokravi S. and Soltani N. (2012). The Effect of Ammonium on Viability, Growth, Pigment Composition of Soil Cyanobacterium *Fischerella* sp. *Internation Journal of Algae*. 14(1): 62–70. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v14.i1.50>
- Shokravi S. and Bahavar N. (2021-a). Growth and photosynthesis acclimated response of the cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18 exposed to extreme conditions: alkaline pH, limited irradiance, and carbon dioxide concentration. *Extremophiles*. 25: 493–500. <https://doi.org/10.1007/s00792-021-01244-x>
- Shokravi S. and Bahavar N. (2021-b). Effects of chromium (VI) at extreme alkaline conditions (pH 11) on the survival, growth, photosystems, and phycobilisome operation of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain FS 78. *Journal Apply Phycology*. 33(5): 2909–2919. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02521-0>
- 2016). Cyanobacteria: a precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 7(20): 529-535.
- Soltani, N., Khavari-Nejad, R.A., Yazdi, M.T., Shokravi, S. and Fernández-Valiente, E., (2006). Variation of nitrogenase activity, photosynthesis and pigmentation of the cyanobacterium *Fischerella ambigua* strain FS18 under different irradiance and pH values. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(6):571-576.
- Soltani, N., Siahbalaie, R. and Shokravi, S. (2011). A New Description of *Fischerella Ambigua* (Näg.) Gom. – a Multidisciplinary Approach. *International Journal on Algae*, 1(9):48-55.

- Stal, L.J. (2017). The effect of oxygen concentration and temperature on nitrogenase activity in the heterocystous cyanobacterium *Fischerella* sp. *Scientific Reports*, 7(1):1-10.
- Taheri R., Shokravi Sh., Ebadi M. and Mahmoudjanlo M. (2020). Study of Photosynthetic System Fluidity and Long-term Growth Caused by Salinity in Cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18. *Journal Phycology Research*. 4(2): 561–571.
- Tang, E.P. and Vincent, W.F. (1999). Strategies of thermal adaptation by high-latitude cyanobacteria. *New Phytologist*, 142(2):315-323.
- Nath, T., Bhunia, B., Chakraborty, S., Goswami, S. and Devi, I. (2019). Strategies for improved production of phycobiliproteins (PBPs) by *Oscillatoria* sp. BTA170 and evaluation of its thermodynamic and kinetic stability, <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.02.016>.
- Watanabe, M., Semchonok, D.A., Webber-Birungi, M.T., Ehira, S., Kondo, K., Narikawa, R., Ohmori, M., Boekema, E.J. and Ikeuchi, M. (2014). Attachment of phycobilisomes in an antenna-photosystem I supercomplex of cyanobacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(7):2512-2517.
- Yadollahi F., Shokravi Sh., Mahmoudjanloo M. and Ebadi M. (2021). The Impact of Combined Alkalinity and Time Pretreatments on Light Harvesting System in Terrestrial Cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18 (*Oscillatoriales*, *Cyanophyta*). *Journal Phycology Research*. 5(1): 665–675.
- Yadollahi F., Shokravi Sh., Mahmoudjanlo M. and Ebadi M. (2023). The effect of short term alkalinity of photosynthesis apparatus in soil cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18 – ecophysiological approach. *International Journal of Algae*. 25(1): 95–106. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i1.60>