مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

تأثیر شدت و طول موج‌های مختلف نور بر رشد و زی‌توده ریزجلبک *Nannochloropsis oculata*

فاطمه بهنام[۱]، مازیار یحیوی[۱*]، آرش اکبرزاده[۲]

[۱] گروه شیلات، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

[۲] گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۸/۰۸/۲۰
اصلاح: ۹۹/۰۴/۲۱
پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۹

کلمات کلیدی:
ریزجلبک
زی‌توده
طول موج
Nannochloropsis

چکیده

در تحقیق حاضر اثر سه طول‌موج نور آبی، قرمز و سفید و سه شدت نور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ لوکس بر نرخ رشد، زمان دو برابر شدن جمعیت و تولید زی‌توده ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مختلف کشت جلبکی در شرایط شوری ۲۴ قسمت در هزار، دمای۲۴ درجه سانتی‌گراد، دوره روشنایی:تاریکی ۱۲-۱۲، با استفاده از محیط کشت گیلارد کشت شدند. مدت زمان انجام آزمایش ۱۲ روز بود و شمارش سلولی به‌صورت یک روز در میان صورت گرفت. بیشترین تعداد سلول (۳۳×۱۰^{۶} سلول در میلی‌لیتر) تحت نور آبی با شدت نور ۲۰۰۰ لوکس ۱۰ روز پس از کشت اولیه به دست آمد. همچنین بیشترین میزان نرخ رشد ویژه مربوط به نور آبی و در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۰/۰۱±۰/۴۰ در روز) و کمترین زمان دو برابر شدن (۰/۰۳±۱/۶۱ در روز) نیز در همین تیمار مشاهده شد. بیشترین میزان زی‌توده ۰/۰۰۳±۰/۵۴ گرم بر لیتر در نور آبی و شدت نور ۲۰۰۰ لوکس حاصل شد. نتایج نشان داد که ریزجلبک *N. oculata* در نور آبی و شدت نور ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس توانایی بالاتری در سازگاری با شرایط محیط کشت داشته و تراکم سلولی و زی‌توده بالاتری را تولید می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود در آزمایشگاه‌های کشت جلبک و مراکز تکثیر و پرورش آبزیان از این رژیم نوری برای کشت این ریزجلبک استفاده شود.

مقدمــه

ریزجلبک‌ها بخش مهمی از زنجیره غذایی موجودات آبزی را تشکیل می‌دهند. در این میان یکی از گونه‌های ریزجلبکی که از اهمیت فراوانی برخوردار است ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* می‌باشد. ارزش غذایی زیاد ازجمله محتوای بالای ایکوزا-پنتانوئیک اسید (Eicosapentaenoic acid) و همچنین نقش مؤثر این جلبک به عنوان جایگزین اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA) اهمیت آن را در تغذیه لارو ماهیان دریایی بارز می‌سازد (Rodolfi *et al.*, 2003). ریزجلبک *N. oculata* غالباً همراه با گونه‌های دیگری از ریزجلبک‌ها نظیر *Isochrysis galbana* و .*Monochrysis* sp در مراحل اولیه پرورش لارو ماهیان دریایی جهت تغذیه و غنی‌سازی روتیفرها استفاده می‌شود (Sukenik *et al.*, 1993; Lubzens *et al.*, 1997). همچنین به تازگی پتانسیل ریزجلبک *N. oculata* جهت تولید سوخت‌های زیستی مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است و در

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: maziar_yahyavi@yahoo.com

برخی از کشورها ریزجلبک *Nannochloropsis* به عنوان غذای انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sukenik *et al.*, 2009). بنابراین شناخت و تهیه این نوع غذاها از طریق تکثیر و پرورش آن‌ها در کارگاه‌های تکثیر و پرورش واجد اهمیت است (Gatenby *et al.*, 2003; Sandens *et al.*, 2005).

فتوسنتز اصلی‌ترین فرایند تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی است که به ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده اجازه‌ی تجمع لیپید و زی‌توده می‌دهد (Welhelm and Jakob, 2011). نور که نیروی محرکه‌ی فرآیند فتوسنتز می‌باشد، یک شاخص محیطی مهم تأثیرگذار بر متابولیسم سلولی است و در کنار دما، CO_2، pH و مواد مغذی، شرایط نوری نیز باید بهینه شود (Carvalho *et al.*, 2011). در رابطه با نور به عنوان منبع انرژی، کمیت (شدت)، کیفیت (طول‌موج) و دوره نور اهمیت ویژه‌ای دارند. برای رشد گونه‌های ریزجلبکی مختلف دامنه نوری خاصی مورد نیاز است. هرگاه میزان نور دریافتی توسط جلبک کمتر از دامنه تحمل آن باشد، جلبک قادر به کسب انرژی لازم و عمل فتوسنتز نخواهد بود. همچنین در شدت نور بالاتر از این دامنه، ترکیبات سلولی به ویژه رنگیزه‌های جذب کننده نور دچار آسیب شده و فتوسنتز متوقف می‌شود (Richmond, 2004; Ma *et al.*, 1997). بنابراین شدت نور زیاد ممکن است منجر به فتواکسیداسیون یا بازدارندگی نوری شود و شدت نور کم عامل محدودکننده رشد محسوب می‌شود (Carvalho *et al.*, 2011). تغییر در کیفیت و کمیت نور باعث ایجاد پاسخ‌های متنوع در جلبک‌های تک سلولی می‌شود. از مهم‌ترین پاسخ‌ها می‌توان به تغییر در ترکیب رنگدانه‌ها، تغییر در زنجیره‌ی انتقال الکترون، فعالیت آنزیمی، روند فتوسنتز، روند تنفس و همچنین تغییر در ترکیب بیوشیمیایی و درنتیجه تغییر در روند رشد جلبک‌ها اشاره کرد (Harrison *et al.*, 1990; Danesi *et al.*, 2004; Snchez-Saavedra and Voltolina, 2002; Etheridge and Roesler, 2005).

در جنوب ایران چندین مرکز تحقیقاتی تکثیر و پرورش ماهیان دریایی، نرم‌تنان و سخت‌پوستان و همچنین تعداد زیادی کارگاه تکثیر و پرورش میگو وجود دارد. آزمایشگاه کشت ریزجلبک بخش مهمی از این مراکز و کارگاه‌ها را شامل می‌شود که جهت تغذیه مراحل لاروی میگو، کشت روتیفر و کلیه مراحل زندگی نرم‌تنان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مراکز معمولاً از نور سفید برای کشت انواع ریزجلبک‌ها استفاده می‌شود که ممکن است کارآیی ۱۰۰ درصدی در تولید انبوه ریزجلبک نداشته باشد. ایجاد شرایط بهینه جهت تولید ریزجلبک در مقیاس بالا نیازمند ارزیابی شرایط محیطی مختلف در مقیاس آزمایشگاهی است (Seyfabadi *et al.*, 2010). ریزجلبک‌ها رفتارهای متفاوتی در طول موج‌ها و شدت نورهای مختلف از خود نشان می‌دهند، به طوری‌که می‌توان با تاباندن طول موج و شدت نور بهینه برای هر گونه از ریزجلبک‌ها در کوتاه‌ترین زمان، بیشترین تولید را حاصل کرد. تأثیر شدت و طول‌موج نور در برخی از ریزجلبک‌های مهم مورد استفاده در صنعت آبزی‌پروری از جمله ریزجلبک‌های *Chaetoceros* sp.، *Skeletonema costatum* و *Thalassiosira pseudonana* مورد بررسی قرار گرفت (Sanechez-Saavedra and Voltolina, 2002). Wang و همکاران (2007) اثر استفاده از لامپ‌هایLED با طول‌موج و شدت نورهای مختلف را بر کشت جلبک *Spirulina platensis* بررسی کردند. همچنین تأثیر رنگ‌های مختلف نور بر رشد و محتوای لیپیدی ریزجلبک *N. gaditana* در شرایط کشت متوالی بررسی شده است (Kim *et al.*, 2014). با این حال تاکنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر شدت و طول‌موج نور بر عملکرد و تولید ریزجلبک *N. oculata* که از گونه‌های مهم ریزجلبک‌های مورد استفاده در آبزی‌پروری در ایران است انجام نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر شدت و طول‌موج‌های مختلف نور بر رشد و میزان زی‌توده ریزجلبک *N. oculata* می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استوک اولیه ریزجلبک *N. oculata* از ایستگاه تحقیقاتی نرم‌تنان خلیج فارس واقع در شهرستان بندرلنگه تهیه شد. تیمارهای این آزمایش شامل سه رنگ نور سفید (نور مهتابی)، قرمز و آبی و سه شدت نور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ لوکس (در مجموع ۹ تیمار) و هر تیمار در۳ تکرار بود و از ۲۷ عدد ارلن مایر با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر به منظور کشت جلبک استفاده شد. به‌منظور آماده‌سازی شرایط نوری مناسب در تیمارها، سه اتاقک مجزا و با ابعاد برابر با استفاده از تخته‌های چوبی ساخته شدند و در هر

اتاقک یک رنگ (آبی، قرمز و سفید) از لامپ فلورسنت قرار داده شد. تمامی تیمارها تحت شرایط یکسان به‌طور تصادفی در درون اتاقک‌های متفاوت به لحاظ رژیم نوری، به مدت ۱۲ روز کشت داده شدند. جلبک‌ها در شرایط شوری ۲۴ قسمت در هزار، دمای۰/۵±۲۴ درجه سانتی‌گراد، pH ۸/۵-۷/۵، دوره روشنایی:تاریکی ۱۲-۱۲ (Lim and Zaleha, 2013)، هوادهی ملایم با استفاده از محیط کشت گیلارد (حاوی $NaNO_3$، $NaH_2PO_4\ H_2O$، $Na_2SiO_3\ 9H_2O$، ترکیبی از ویتامین‌ها و عناصر کمینه) و تراکم اولیه یک میلیون سلول در میلی‌لیتر کشت شدند. تنظیم شدت نور به صورت دستی و با استفاده از دستگاه نورسنج انجام گرفت.

جهت تعیین تراکم سلولی و نرخ رشد از روز اول کشت یک روز در میان از هر ارلن ۱ میلی‌لیتر نمونه برداشت و با استفاده از لام شمارش هموسیتومتر اقدام به شمارش سلولی گردید. روند شمارش سلولی به مدت ۱۲ روز ادامه داشت و تمام اطلاعات مربوط به شمارش ثبت شد. سپس با استفاده از فرمول‌های زیر میزان نرخ رشد ویژه (μ) و زمان دو برابر شدن سلول‌ها (G) به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Guillard, 1973) :

معادله ۱:

$$\mu=\ln Xn-\ln X_0(t_n-t_0)^{-1}$$

معادله ۲:

$$G=\ln 2\mu^{-1}$$

که در آن:

X_0= میانگین تعداد سلول‌ها در زمان t_0

X_n= میانگین تعداد سلول‌ها در زمان t_n

μ= نرخ رشد ویژه (d^{-1})

G= زمان دو برابر شدن (d)

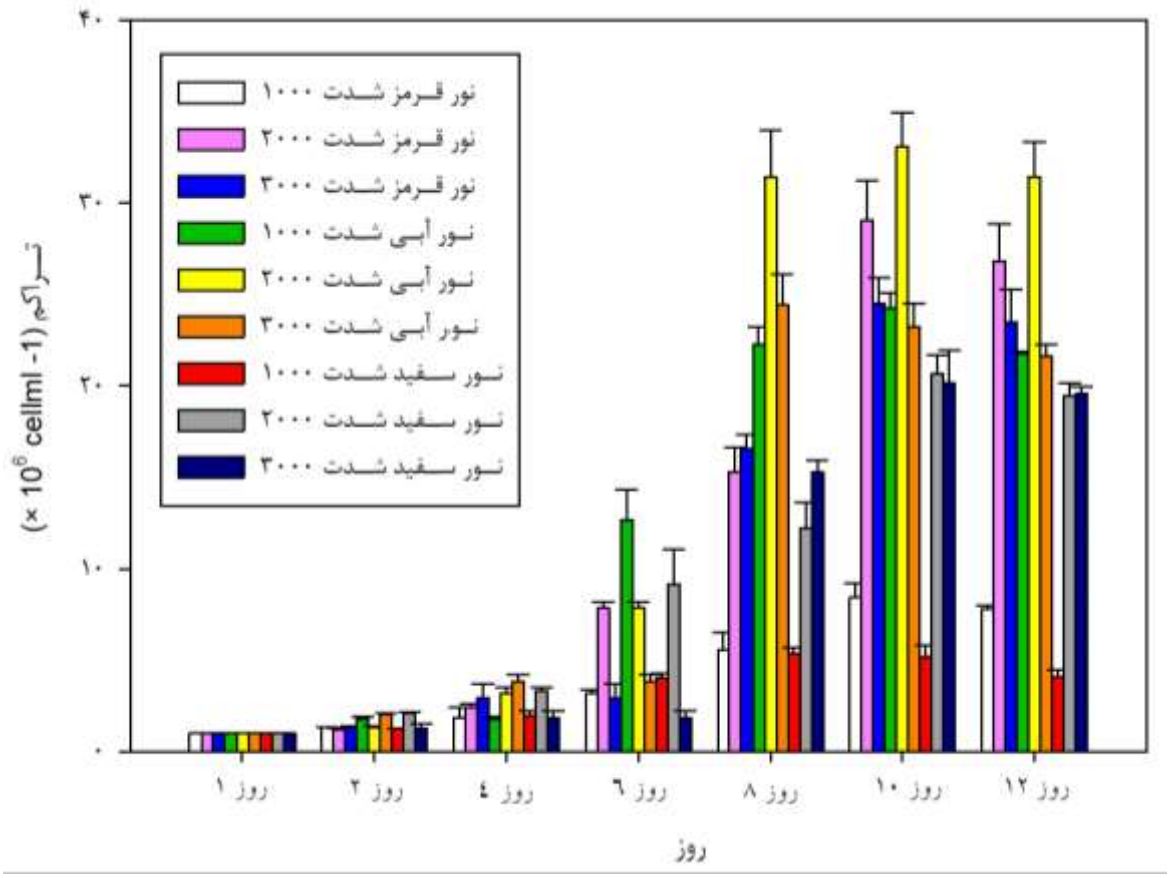
جهت اندازه‌گیری میزان زی‌توده ابتدا کاغذ صافی توسط ترازو مدل HR-300 Series ساخت ژاپن با دقت ۰/۰۰۱ گرم مورد وزن سنجی قرار داده شدند تا از تفریق وزن کاغذ به وزن به دست آمده، وزن نمونه جلبکی را به دست آورد. یک نمونه ۵ میلی‌لیتر از هر تیمار و هر تکرار، توسط پیپت برداشت شد و بر روی کاغذ صافی که روی درب ظروف مخصوص دستگاه وکیوم مدل JB Eliminator ساخت آمریکا قرار داده شده بود، ریخته شد و نمونه‌ها تحت تأثیر خلأ ایجاد شده توسط دستگاه، روی کاغذ صافی (فیلتر) که از قبل تهیه شده بود باقی ماندند. نمونه‌های به دست آمده به دستگاه آون مدل UN 30 ساخت آلمان منتقل شدند و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت برای از بین رفتن رطوبت باقی ماندند (Janelt *et al.*, 1997).

پس از اتمام آزمایش، داده‌های به دست آمده برای بررسی تأثیر نورهای مختلف بر ریزجلبک *N. oculata* مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه از آنالیز واریانس یک طرفه (One-Wey ANOVA) و آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار در فاکتورهای مورد بررسی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم افزار SPSS (version 16) و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار *SigmaPlot* (version 11) انجام شد.

نتایـج

تراکم سلولی

نتایج نشان داد که فاز تأخیری رشد، روزهای ۲-۴ پس از شروع کشت اولیه بود و پس از روز چهارم ریزجلبک‌ها به صورت لگاریتمی رشد کردند. نتایج تراکم سلولی ریزجلبک *N. oculata* تحت سه طیف نوری متفاوت و سه شدت نور مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج یه دست آمده، پس از شروع فاز لگاریتمی در روز ششم نور آبی با شدت ۱۰۰۰ لوکس تراکم سلولی بالاتری ($۱۲/۷\times۱۰^{۶}$ سلول در میلی‌لیتر) نسبت به سایر تیمارها از خود نشان داد. در روزهای ۸ و ۱۲ نیز نور آبی با شدت ۲۰۰۰ لوکس تراکم سلولی بالایی (۳۱×۱۰^{۶} سلول در میلی‌لیتر) را نسبت به سایر طیف‌ها و شدت‌های نوری از خود نشان داد. بیشترین تعداد سلول (۳۳×۱۰^{۶} سلول در میلی‌لیتر) تحت نور آبی با شدت نور ۲۰۰۰ لوکس ۱۰ روز پس از کشت اولیه بود. پس از نور آبی با شدت ۲۰۰۰ لوکس، بیشترین تراکم سلولی مربوط به نور قرمز با شدت ۲۰۰۰ لوکس در روزهای ۱۰ (۲۹×۱۰^{۶} سلول در میلی‌لیتر) و ۱۲ (۲۷×۱۰^{۶} سلول در میلی‌لیتر) بود. همچنین پس از شروع فاز لگاریتمی کمترین تراکم سلولی ($۱/۸\times۱۰^{۶}$ سلول در میلی‌لیتر) در روز ششم و تحت نور سفید با شدت ۳۰۰۰ لوکس مشاهده شد. در روزهای ۸، ۱۰و ۱۲ پس از کشت اولیه کمترین تراکم سلولی (به ترتیب $۵/۴\times۱۰^{۶}$، $۵/۲\times۱۰^{۶}$ و $۴/۱\times۱۰^{۶}$، سلول در میلی‌لیتر) در نور سفید با شدت ۱۰۰۰ لوکس مشاهده شد. در تمامی طیف‌ها و شدت‌های نوری مورد مطالعه میزان تراکم سلول در روز ۱۲ پس از کشت کاهش یافت که نشان‌دهنده ورود به فاز سکون و مرگ و میر بود (شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر شدت و رنگ نور بر تراکم ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* طی ۱۲ روز کشت در شرایط آزمایشگاهی

نرخ رشد ویژه

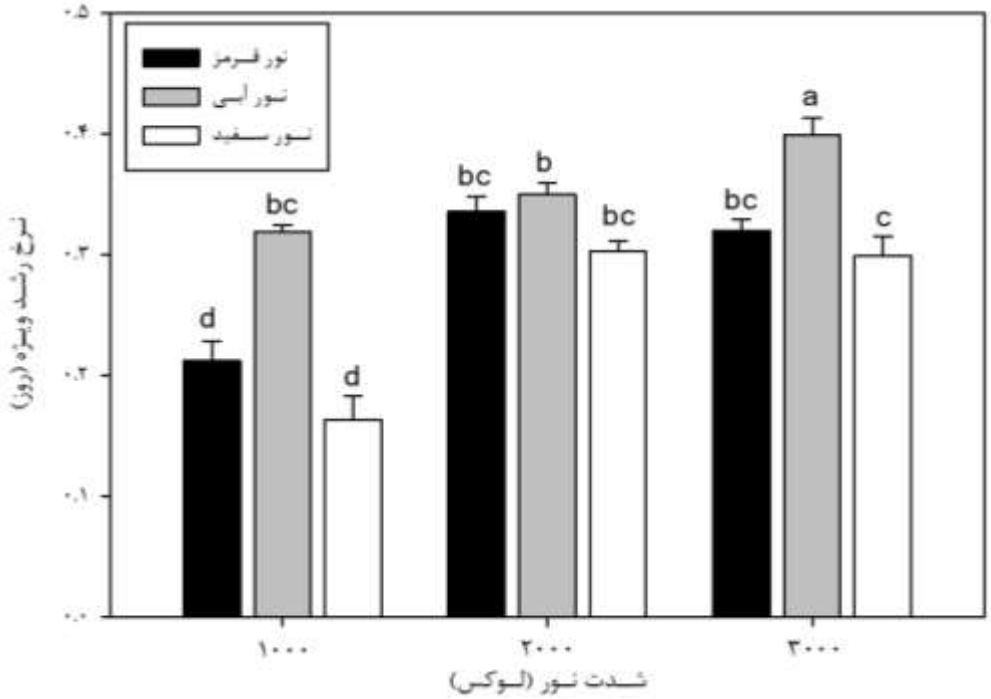
نتایج نرخ رشد ویژه ریزجلبک *N. oculata* تحت سه طیف نوری متفاوت و سه شدت نور مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، در همه شدت‌های نور بیشترین نرخ رشد ویژه در نور آبی مشاهده شد (p <۰/۰۵) و مابین نورهای سفید و قرمز در هیچ‌کدام از شدت‌های نور مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p >۰/۰۵). در مجموع نرخ رشد ویژه ریزجلبک‌های کشت داده شده در رنگ نور آبی در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود (۰/۴۰ در روز) و در شدت نور ۱۰۰۰ در نورهای قرمز و سفید به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود (به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۱۶ در روز).

زمان دو برابر شدن

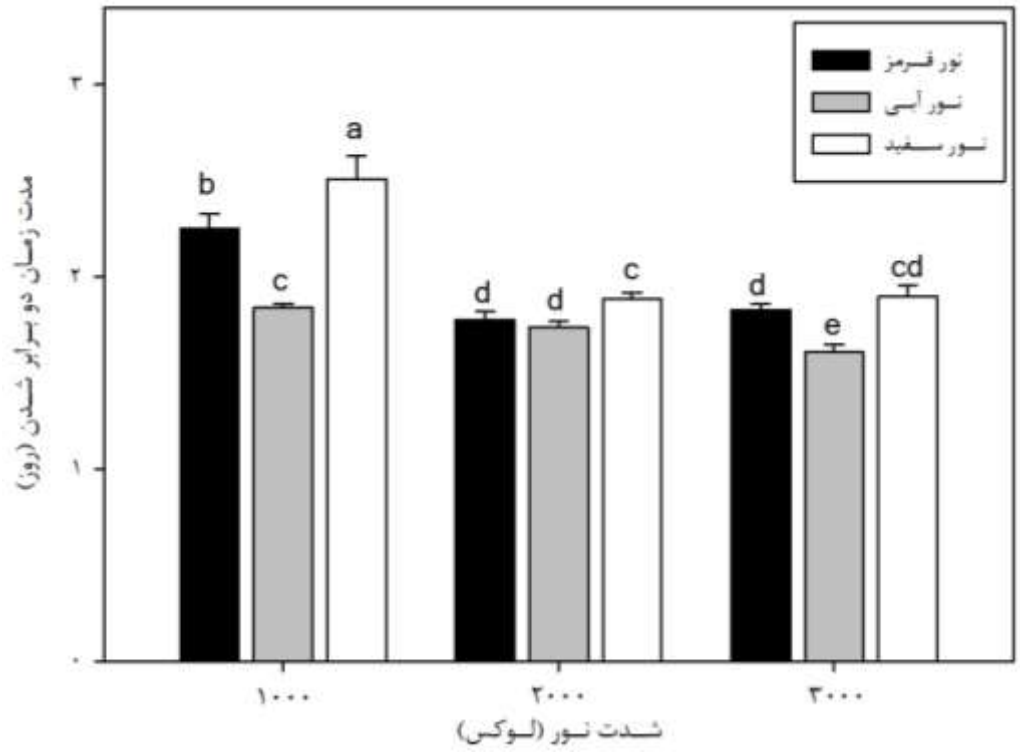
شکل ۳ زمان دو برابر شدن ریزجلبک *N. oculata* تحت سه طیف نوری متفاوت و سه شدت نور مختلف را نشان می‌دهد. کوتاه‌ترین زمان دو برابر شدن در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس (۱/۶ روز) و تحت نور آبی و بیشترین زمان دو برابر شدن در شدت نور ۱۰۰۰ لوکس و در نور سفید (۲/۵ روز) مشاهده گردید. در شدت نور ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ لوکس، کوتاه‌ترین دوره رشد مربوط به رنگ نور آبی بود. در شدت نور ۲۰۰۰ لوکس، دوره رشد ریزجلبک *N. oculata* در نور آبی به طور معنی‌داری از نور سفید کوتاه‌تر بود (p <۰/۰۵)، اما نسبت به نور قرمز اختلاف معنی‌داری نداشت (p >۰/۰۵).

میزان زی‌توده

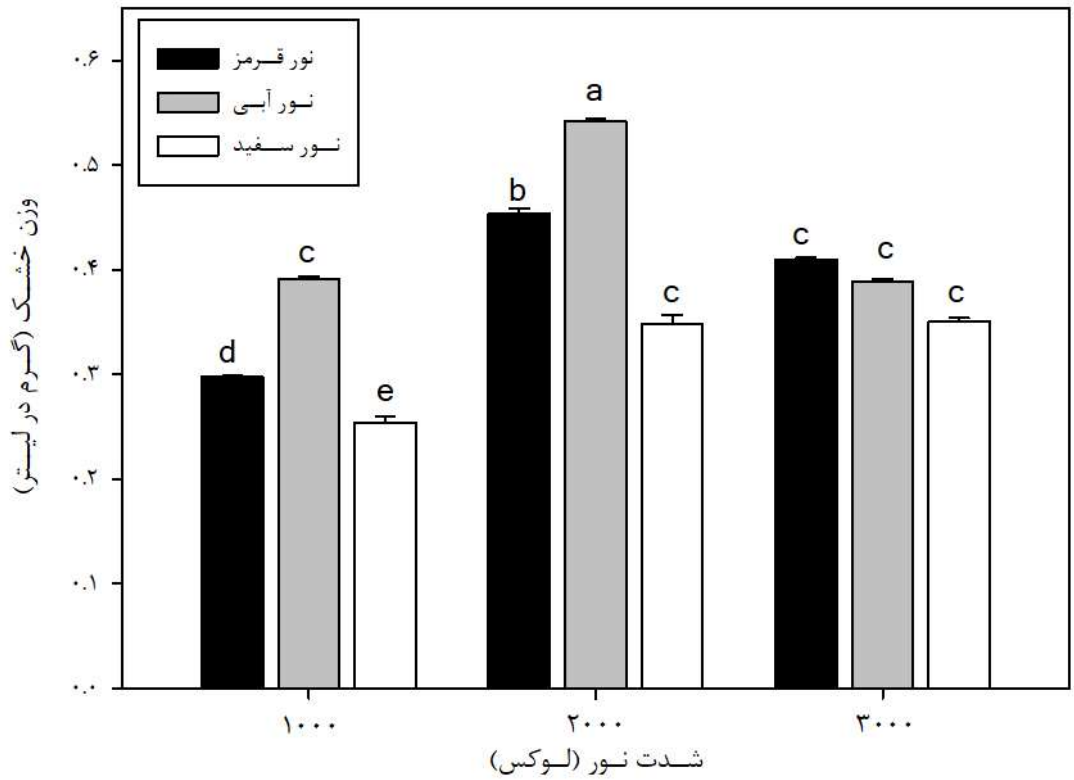
بیشترین میزان زی‌توده در شدت نور ۲۰۰۰ لوکس تحت نور آبی به مقدار ۰/۰۰۳± ۰/۵۴ گرم در لیتر و کمترین آن در تحت نور سفید با شدت ۱۰۰۰ لوکس به مقدار ۰/۲۵ گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۴). در شدت نور ۱۰۰۰ لوکس میزان زی‌توده در نور آبی نسبت به سایر نورها به طور معنی‌داری بیشتر بود. با این حال در نور ۳۰۰۰ لوکس تفاوت معنی‌داری در میزان زی‌توده بین سه طول موج نور مشاهده نمی‌شود (شکل ۴).



شکل ۲. تأثیر شدت و رنگ نور بر نرخ رشد ویژه ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* پس از ۱۲ روز کشت در شرایط آزمایشگاهی. حروف غیرمشابه تفاوت معنی‌دار را در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند (p <۰/۰۵).



شکل ۳. تأثیر شدت و رنگ نور بر زمان دو برابر شدن ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* پس از ۱۲ روز کشت در شرایط آزمایشگاهی. حروف غیرمشابه تفاوت معنی‌دار را در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند (p <۰/۰۵).



شکل ۴. تأثیر شدت و رنگ نور بر میزان زی‌توده ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* پس از ۱۲ روز کشت در شرایط آزمایشگاهی. حروف غیرمشابه تفاوت معنی‌دار را در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهند (p <۰/۰۵).

بحث

کمیت (شدت) و کیفیت (طول‌موج) نور عامل تأثیرگذاری بر سیستم فتوسنتز و تولید کربوهیدرات در ریزجلبک‌ها می‌باشد (Renaud *et al.*, 1991; Zue *et al.*, 1997; Meseck *et al.*, 2005; Ma *et al.*, 1997). هر گونه از ریزجلبک‌ها از لحاظ کمیت و کیفیت نور نیازهای مخصوص به خود را دارند که از طریق آزمایش‌ها باید مشخص شوند. از دیدگاه عملی، نتایج این آزمایش‌ها اهمیت کنترل بر کیفیت و کمیت نور در پرورش ریزجلبک‌ها را تأکید می‌کنند؛ زیرا بسته به نوع گونه، این فاکتورها می‌توانند فعالیت‌های متابولیکی و در نتیجه ترکیب و ارزش غذایی ریزجلبک‌ها را تغییر دهند (Sanchez-Saavedra and Voltolina, 2002). در مطالعه حاضر بیشترین نرخ رشد ویژه و کمترین مدت زمان رسیدن به حداکثر تراکم ریزجلبک *N. oculata* در شدت نور ۳۰۰۰ لوکس، تحت نور آبی که دارای طول‌موج کوتاه‌تر و انرژی بیشتری می‌باشد، به دست آمد. همچنین بیشترین تراکم سلولی و میزان زی‌توده در شدت نور ۲۰۰۰ لوکس تحت نور آبی مشاهده شد.

بر اساس نتایج این تحقیق، بالاترین میزان نرخ رشد، تراکم سلولی و زی‌توده در تمامی شدت‌های نور تحت نور آبی حاصل شد. تحقیقات بر روی ریزجلبک *Nannochloropsis* نشان داده است که این جلبک‌ها تنها دارای کلروفیل a بوده و فاقدکلروفیل b می‌باشند و در عوض دارای کاروتنوئیدهایی نظیر violaxanthin، zeaxanthin وvaucheriaxanthin می‌باشند که وجود این رنگدانه ها باعث می‌شود تا این ریزجلبک بتواند انرژی نورانی بیشتری دریافت کند (Kim *et al.*, 2014; Sung *et al.*, 2018). در نتیجه می‌توان از این ویژگی در جهت افزایش رشد و زی‌توده این ریزجلبک در کشت‌های انبوه استفاده کرد. از لحاظ تئوری نیز طول‌موج‌های کوتاه‌تر نور باید منجر به فتوسنتز کارآمدتر شوند، زیرا فتون‌های دارای طول‌موج‌های کوتاه‌تر به دلیل داشتن حداکثر انرژی الکتریکی، احتمال برخوردشان با کمپلکس‌های جمع کننده نور (LHC) بیشتر است (Das *et al.*, 2011). Zao و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که فتون‌های با طول‌موج کوتاه‌تر مانند نور آبی انرژی خیلی زیادی را برای فتوسنتز فراهم می‌کنند. نتایج به دست آمده در آزمایش اخیر در تیمار تحت نور آبی در ریزجلبک *N. oculata* نیز مشابه یافته‌های قبلی بود. همچنین Das و همکاران (۲۰۱۱) تولید بیومس را در *Nannochloropsis* sp. تحت طول‌موج‌های نور قرمز، آبی، سبز و سفید بررسی کردند. ترتیب نرخ رشد ویژه به صورت آبی> سفید> سبز> قرمز بود و بیشترین میزان بیومس تحت نور آبی به دست آمد که مشابه تحقیق حاضر بود. در واقع نور آبی با توجه به سطح انرژی بالاتر آن، انرژی مورد نیاز فتوسنتز فراهم شده و در مقایسه با نور قرمز و سفید منجر به نرخ رشد بالاتر می‌شود. همچنین در تحقیق دیگری، تأثیر نورهای آبی، قرمز و سفید بر رشد ریزجلبک *N. gaditana* مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که نور قرمز زی‌توده بیشتری نسبت به نور سفید حاصل می‌کند (Kim *et al.*, 2014).

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که جلبک‌های کشت داده شده در شدت‌های نور ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس میزان نرخ رشد، تراکم سلولی و زی‌توده بیشتری نسبت به جلبک‌های کشت داده شده در شدت نور ۱۰۰۰ لوکس داشتند. در نتیجه شدت نور ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس برای کشت ریزجلبک *N. gaditana* مناسب می‌باشد. شدت نور ناکافی به دلیل مصرف کربوهیدرات در طول تنفس نوری (Photorespiration) می‌تواند منجر به کاهش بیومس و نرخ رشد در ریزجلبک‌ها شود (Jeong *et al.*, 2013). تاکنون تأثیر شدت نور بر رشد و میزان زی‌توده ریزجلبک *Nannochloropsis* مورد مطالعه قرار نگرفته است. در مطالعه‌ای که بر روی ریزجلبک *Spirulina platensis* انجام گرفت بیشترین نرخ رشد ویژه در نور LED قرمز با شدت نور ۳۰۰۰ میکرومول فتون بر مترمربع در ثانیه به دست آمد (Wang *et al.*, 2007). همچنین نتایج تحقیق Ak و همکاران (۲۰۰۸) بر جلبک *Dunaliella viridis* در شدت نور ۵۰ و ۷۰ میکرومول فتون بر مترمربع در ثانیه، ماکزیمم غلظت سلولی را در شدت نور ۵۰ میکرومول فتون بر مترمربع در ثانیه نشان داد و افزایش شدت نور به ۷۰ باعث کاهش در تعداد سلول‌ها شد. علت این کاهش مربوط به پدیده بازدارندگی نوری (Photoinhibition) می‌باشد که طی آن واکنش‌های فتواکسیداسیون اتفاق افتاده و نور نمی‌تواند در دستگاه فتوسنتز جذب شود. در این حالت سلول‌ها قادر به ادامه حیات طبیعی خود نیستند. در این شرایط سلول‌ها دیگر روند رشد ابتدای فاز نمایی را ندارند و به تدریج در اواخر فاز نمایی محتویات درونی سلول‌ها آسیب دیده و به سرعت از بین می‌روند (Richmond, 2004). همچنین Zao و همکاران (۲۰۱۳) اثر طول‌موج‌های مختلف (قرمز، آبی، زرد و

سفید) و شدت‌های نوری مختلف (۴۰۰ ,۸۰۰, ۱۲۰۰ ,۱۶۰۰, ۲۰۰۰ ,۲۴۰۰ میکرومول فتون بر مترمربع بر ثانیه) بر تولید گاز زیستی بر .*Chlorella* sp را بررسی کردند. کمترین میزان وزن خشک در شدت نور ۴۰۰ و ۲۴۰۰ میکرومول فتون بر مترمربع بر ثانیه حاصل گردید و نتیجه گرفتند که برای این گونه، شدت نور ۴۰۰ میکرومول فتون بر مترمربع بر ثانیه برای ادامه رشد ریزجلبک بسیار کم است و شدت نور ۲۴۰۰ میکرومول فتون بر مترمربع بر ثانیه نیز برای جلوگیری از بازدارندگی نوری بسیار بالاست.

بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که ریزجلبک *N. oculata* در نور آبی و شدت نور ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس توانایی بالاتری در سازگاری با شرایط محیط کشت داشته و تراکم سلولی و زی‌توده بالاتری را تولید می‌کند، بنابراین توصیه می‌شود که در آزمایشگاه‌های کشت جلبک و مراکز تکثیر و پرورش آبزیان از این رژیم نوری برای کشت این ریزجلبک استفاده شود.

منابـع

Ak, I., Cirik, S., Goksan, T. 2008. Effects of light intensity, salinity and temperature on growth in *Dunaliella viridis teodoresco* from Turkey. Journal of Biotechnological Science. 8: 1356-1359.

Carvalho, A.P., Silva, S.O., Baptista, J.M., Malcata, F.X. 2011. Light requirements in microalgal photobioreactores: an overview of biophotonic aspects. Applied Microbiology and Biotechnology. 89(5): 1275-1288.

Danesi, E.D.G., Ragel-Yagui, C.O., Carvalho, J.C.M., Sato, S. 2004. Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy. 26: 329-335.

Das, P., Wang, L., Siti, S.A., Jeffrey, P.O. 2011. Enhanced algal growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light. Bioresources Technology. 102: 3883-3887.

Etheridge, S.M., Roesler, C.S. 2005. Effects of temperature, irradiance, and salinity on photosynthesis, growth rates, total toxicity, and toxin composition for *Alexandrium fundyense* isolates from the Gulf of Maine and Bay of Fundy. Deep-sea Research. 52: 2491-2500.

Gatenby, C.M., Orcutt, D.M., Kreeger, D.A., Parker, B.C., Jones, V.A., Neves, R.J. 2003. Biochemical composition of three algal species proposed as food for captive freshwater mussels. Journal of Applied Physiology. 15: 1-11.

Guillard, R.R.L. 1973. Division rates. In: Stein, J.R. (ed.). Handbook of physiological methods. Vol. 1. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 289-312.

Harrison, P.J., Thompson, P.A., Calderwood, G.S. 1990. Effects of nutrient and light limitation on the biochemical composition of phytoplankton. Journal of Applied Physiology. 2: 45-56.

Janelt, G., Bolt, P., Gerbech, N., Buchholz, R. 1997. The lamellar settler a low cost alternative for separating the microalgae *Chlorella vulgaris* from a cultivation broth. Applied Microbiology and Biotechnology. 48: 6-10.

Jeong, H., Lee, J., Cha, M. 2013. Energy efficient growth control of microalgae using photobiological methods. Renewable Energy. 54: 161-165.

Kim, C.W., Sun, M.G., Nam, K., Moon, M., Kwon, J.H., Yang, J.W. 2014. Effect of monochromatic illumination on lipid accumulation of *Nannochloropsis gaditana* under continuous cultivation. Bioresource Technology. 159: 30-35.

Lim, K.C., Zaleha, K. 2013. Effect of photoperiod on the cellular fatty acid composition of three tropical marine microalgae. Malaysian Applied Biology. 42(1): 41-49.

Lubzens, E., Gibson, O., Sukenik, A. 1997. Potential advantages of frozen algae *Nannochlropsis* sp. for rotifer *Brachionus plicatilus* culture. Aquaculture. 133: 295- 310.

Ma, X., Chen, K.W., Lee, Y.K. 1997. Growth of *chlorella* outdoors in a changing light environment. Journal of Applied Physiology. 9: 425-430.

Meseck, S.L., Alix, J.H., Gary, H., Wikfors, G.H. 2005. Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalgae, *Tetraselmis chui* (PLY429). Aquaculture. 246: 393-404.

Renaud, S.M., Parry, D.L., Luong-Van, T., Kuo, C., Padovan, A., Sammy, N. 1991. Effect of light intensity on the proximate biochemical and fatty acid composition of *Isochrysis* sp. and

Nannochloropsis oculata for use in tropical aquaculture. Journal of Applied Physiology. 3: 43-53.

Richmond, A. 2004. Handbook of microalgal culture, biotechnology and applied physiology. Blackwell Publishing Company. 566 p.

Rodolfi, L., Zittelli, G.C., Barsanti, L., Rosati, G., Tredici, M.R. 2003. Growth medium recycling in *Nannochloropsis* sp. mass cultivation. Biomolecular Engineering. 20: 243-248.

Sandens, J.M., Kallqvist, T., Wenner, D., Gislerad, H.R. 2005. Combined influence on light and temperature on growth rates of *Nannochloropsis oceanic*: linking cellular responses to large-scale biomass production. Journal of Applied Physiology. 17: 515-525.

Sanechez-Saavedra, M.P., Voltolina, D. 2002. Effect of photon fluence rates of white and blue- green light on growth efficiency and pigment content of three diatom species in batch culture. Science Marinas. 28(3): 273-279.

Seyfabadi, S., Amini Khooei, Z., Ramezanpour, Z. 2010. Effect of light intensity and photoperiod on growth rate and biomass of *Chlorella vulgaris*. Iranian Scientific Fisheries Journal. 19(3): 11-20. (in Persian)

Sukenik, A., Zmora, O., Sarmeli, Y. 1993. Biochemical quality of marine unicellular algae with special emphasis on lipid composition.II; *Nannochloropsis* sp. Aquaculture. 117: 313-326.

Sukenik, A., Bearoball, J., Kromkamp, J.C., Kopeck, J., Mosajidek, J., Bergeijk, S., Gabai, S., Shaham, E., Yamshon, A. 2009. Photosynthetic performance of outdoor *Nannochloropsis* mass culture under a wide range of environmental conditions. Aquatic Microbial Ecology. 56: 297-308.

Sung, M.G., Han, J.I., Lee, B., Chang, Y.K. 2018. Wavelength shift strategy to enhance lipid productivity of *Nannochloropsis gaditana*. Biotechnology for Biofuels. 11: 70.

Wang, C.Y., Fu, C.C., Liu, Y.C. 2007. Effects of using light emitting diodes on the cultivation of *Spirulina plat*ensis. Biochemical Engineering Journal. 37: 21-25.

Welhelm, C., Jakob, T. 2011. From photons to biomass and biofuels: evaluation of different strategies for the improvement of algal biotechnology based on comparative energy balances. Applied Microbiology and Biotechnology. 92(5): 909-919.

Zao, Y., Wang, J., Zhang, H., Yan, C., Zhang, Y. 2013. Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process. Bioresource Technology. 136: 461-468.

Zue, C.J., Lee, Y.K., Chao, T.M., Lim, S.H. 1997. Diurnal changes in gross chemical composition and fatty acid profiles of *Isochrysis galbana* TK1 in outdoor closed tubular photobioreactors. Journal of Marine Biotechnology. 5: 153-157.