



University of Tehran

Journal of Fisheries

Home Page: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

Online ISSN: 2423-7809

The Efficacy of *Nanochloropsis oculata* to Removal of Nitrate and Phosphate from Shrimp Farm Effluent Estimation of Biomass and Lipid Content

Dariush Amiri¹ | Arya Vazirzadeh^{2*}

1. Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz 71441-65186, Iran.
Email: amiri.dariush2010@gmail.com
2. Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz 71441-65186, Iran.
Email: vazirzadeh@shirazu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 13 February 2026
Revised: 06 June 2026
Accepted: 30 June 2026
Published online: 23 September 2026

Keywords:
Nanochloropsis oculata,
Growth,
Fat,
Removal of Nitrate and Phosphate.

ABSTRACT

The effects of photoperiod (0, 8, 16, 24 hours of light) and culture period (day) on the biomass, fat production rate and removal of nitrate and phosphate from white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farm effluent was evaluated in *Nanochloropsis oculata*. The response surface methodology based on the central composite design was used to analyze the effects of the input variables on the response variables. The analysis of variance regression of model was used to evaluate the significance of results. The obtained results indicated that the best main variable levels are about 17 hours of exposure per day (photoperiod) and 12 days culture period which led to the highest fat production percentage (25%), biomass of 0.135 mg/liter, and nitrate and phosphate removal efficiency with about 40 and 68 percent, respectively.

Cite this article: Amiri, D., Vazirzadeh, A. (2026). The Efficacy of *Nanochloropsis oculata* to Removal of Nitrate and Phosphate from Shrimp Farm Effluent Estimation of Biomass and Lipid Content. *Journal of Fisheries*, 79 (3), 175-190. DOI: <http://doi.org>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2026.108947>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۸۰۹

کارآیی ریزجلبک سبز *Nanochlropsis oculata* در حذف نیترات و فسفات پساب مزرعه‌ی پرورش میگوی وانامی (*Litopenaeus vannamei*) و تعیین میزان زیتوده و چربی

داریوش امیری^۱ | آریا وزیرزاده^{۲*}

۱. بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، نویسنده ی مسئول. رایانامه: vazirzadeh@shirazu.ac.ir

۲. بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: amiri.dariush2010@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش اثرات دوره نوری (۲۴، ۱۶، ۸، ۰ ساعت روشنایی) و زمان پرورش (روز) بر افزایش میزان زیتوده، تغییرات میزان چربی، و حذف نیترات و فسفات پساب مزرعه پرورش میگوی وانامی (*Litopenaeus vannamei*) در ریزجلبک (*Nanochlropsis oculata*) مورد ارزیابی قرار گرفت. از رویه سطح پاسخ بر اساس روش طراحی مرکب مرکزی جهت بیان اثرات متغیرهای ورودی بر متغیرهای پاسخ استفاده شد. تجزیه و تحلیل آزمون واریانس برای تایید صحت مدل‌های پیشنهادی انجام گرفت. نتایج نشان داد که بهترین سطوح متغیر اصلی حدود ۱۷ ساعت نوردهی در شبانه‌روز و ۱۲ روز زمان کشت است که بیشترین درصد تولید چربی با حدود ۲۵ درصد، میزان زیتوده ۰/۱۳۵ میلی‌گرم بر لیتر و کارایی حذف نیترات و فسفات به ترتیب با حدود ۴۰ و ۶۸ درصد را داراست.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

حذف نیترات و فسفات،

پساب میگو،

رشد،

ریزجلبک،

محتوای چربی.

استناد: امیری؛ داریوش، وزیرزاده؛ آریا (۱۴۰۵). کارآیی ریزجلبک سبز *Nanochlropsis oculata* در حذف نیترات و فسفات پساب مزرعه‌ی پرورش میگوی وانامی (*Litopenaeus vannamei*) و تعیین میزان زیتوده و چربی. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۹ (۳)، ۱۹۰-۱۷۵. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2026.108947>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان. امیری؛ داریوش، وزیرزاده؛ آریا

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2026.108947>



۱. مقدمه

صنعت آبی‌پروری سریع‌الرشدترین بخش تامین پروتئین حیوانی است به‌طوری‌که ارزش جهانی محصولات آن در سال ۲۰۱۷ بیش از ۱۵۷ میلیارد دلار بوده که ۵۴ درصد این رقم مربوط به کشورهای در حال توسعه بوده است. میزان تولید آبی‌پروری در سال ۲۰۱۶ به ۱۷۱ میلیون تن رسیده و از این میزان ۸۸ درصد برای مصرف مستقیم انسان و بقیه در جهت مصرف غیرمستقیم انسان قرار گرفته است (FAO, 2018).

افزایش تولید در آبی‌پروری در کنار رهاسازی مواد دفعی بدون تصفیه و رفع آلودگی باعث ورود آلودگی‌های شیمیایی، فیزیکی و میکروبی به منابع آبی و ایجاد خسارات جبران‌ناپذیری زیست‌محیطی می‌شود (Park and Blackstone, 2010). ورود این پساب‌های حاوی مواد مغذی باعث تشدید شکوفایی جلبکی، و به تبع آن برهم خوردن تعادل اکولوژیک منابع آبی، کاهش کیفیت آب محدود در دسترس و به تبع آن نابودی محیط‌زیست می‌شود (Park and Blackstone, 2010).

افزایش تولیدات آبی با مصرف زیاد خوراک تجاری مزارع پرورش، کودهای شیمیایی و ترکیبات مختلف از جمله داروهای شیمیایی همراه است که هر کدام عوارض مختلفی بر محیط خواهد گذاشت. این مواد زمینه‌ساز کاهش کیفیت آب پرورشی، افزایش مقدار نیترات و فسفات آب خروجی، کاهش میزان اکسیژن در دسترس آبزیان و تغییر در pH مطلوب آب می‌شود (Rahardjo et al., 2018; Kumar et al., 2018).

از ترکیبات زیان‌آوری که در پساب‌ها وجود دارد می‌توان به ترکیبات نیتروژن‌دار، به‌ویژه آمونیاک، نیترات و نیتريت و همچنین ترکیبات فسفات اشاره نمود. آمونیاک در مقادیر کم عامل تغییرات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی و در مقادیر زیاد باعث تلفات آبزیان است. فسفات و نیترات ترکیبات ثانویه دفعی آبزیان است بسته به شرایط دمایی و pH می‌توانند تبدیل به سموم خطرناکی در آب شده و سبب کاهش اکسیژن در دسترس موجود شود که صدمات شدید به آبزیان و کاهش کارایی تولید گردد (Ramli et al., 2018; Tejido-Nuñez et al., 2019). پساب استخرهای پرورش ماهی و میگو دارای مقدار بالایی فسفات و نیترات است که بایستی قبل از ورود به منابع آبی حذف یا غلظت آن‌ها تا آستانه‌ی بی‌خطری برای اکوسیستم‌های آبی کاهش یابد (Mesdaghinia et al., 2010).

یکی از راهکار مفیدی که جهت حذف پساب مورد استفاده قرار گرفته است استفاده از ریزجلبک‌ها جهت تصفیه زیستی می‌باشد. استفاده از این جلبک‌ها دارای مزایایی است که در پرورش شیمیایی وجود ندارد که از اصلی‌ترین آن می‌توان به عدم وجود خطر زیست‌محیطی، استفاده از زیتوده جلبکی تولید شده در صنایع دیگر و چرخه مواد مغذی در تولید اشاره نمود (Nie et al., 2020). رشد سریع این موجودات تک‌سلولی، قابلیت تولید انرژی بیوشیمیایی از نور خورشید، تثبیت دی‌اکسیدکربن و استفاده از ریزمغذی‌ها و درشت مغذی‌ها از مزایای استفاده از جلبک است. پساب‌های مزرعه‌های میگو و ماهی به دلیل وجود مواد مغذی می‌تواند محیط کشت مناسبی برای پرورش ریز جلبک‌ها قرار گیرد که این قابلیت علاوه بر جلوگیری از ورود مواد پساب استخرهای پرورشی به تولید زیتوده با قابلیت‌های بهره‌برداری متعدد غذایی، دارویی، بهداشتی و سوختی نیز منتج می‌گردد (Dourou et al., 2018).

ریزجلبک *Nannochloropsis oculata* از رده Eustigmatophyceae است که به دلیل ظرفیت بالای رشد، سازگاری با شرایط متغیر محیطی و توانایی قابل توجه در جذب مواد مغذی، به‌طور گسترده در مطالعات زیست‌محیطی و آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ریزجلبک توانایی بالایی در حذف ترکیبات نیتروژنی و فسفات از پساب‌های شهری، کشاورزی و آبی‌پروری داشته و از طریق جذب نیترات، آمونیوم و فسفات در فرآیند رشد سلولی، نقش مؤثری در کاهش پدیده یوتروفیکاسیون و بهبود کیفیت آب ایفا می‌کند. نرخ رشد بالا، تولید زیتوده قابل توجه و تحمل مناسب به غلظت‌های مختلف آلاینده‌ها، *Nannochloropsis oculata* را به گزینه‌ای کارآمد برای سیستم‌های زیست‌پالایی و تصفیه زیستی پساب تبدیل کرده است. علاوه بر این، زیتوده حاصل از این ریزجلبک سرشار از پروتئین، لیپید، اسیدهای چرب چندغیراشباع به‌ویژه EPA، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و از ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی بالایی برخوردار است. این ویژگی‌ها سبب شده‌اند که *Nannochloropsis oculata* نه تنها به‌عنوان ابزاری مؤثر در حذف آلاینده‌های محیطی، بلکه به‌عنوان منبعی ارزشمند برای تولید خوراک آبزیان، مکمل‌های زیستی و ترکیبات زیست‌فعال نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد (de Alva et al., 2018).

اهداف این پژوهش شامل: ۱- بررسی میزان حذف نیترات و فسفات مزرعه پرورش میگوی وانامی (*Litopenaeus vannamei*)

توسط ریز جلبک (*Nannochloropsis oculata*)، ۲- برر سی شرایط بهینه رشد جلبک در پساب مزرعه میگوی وانامی از نظر دوره نوری و زمان پرورش و ۳- بررسی میزان چربی در جلبک در نقطه بهینه می باشد.

۲. مواد و روش کار

۲-۱. تهیه پساب

برای تهیه پساب پس از مراجعه به سایت پرورش میگوی وانامی مند دشتی واقع در استان بوشهر میزان ۴۰ لیتر پساب از یک مزرعه میگو ۲۰ هکتاری با سطح مفید ۱۵ هکتار با تراکم ۴۲۰ هزار قطعه در هر هکتار در اوایل تیرماه تهیه و به دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز منتقل شد. سپس پساب در بطری‌های کوچک‌تر ریخته شده و برای کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در یخچال و دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. قبل از شروع آزمایش ابتدا پساب‌ها با فیلتر ۶۰ میکرون فلزی برای جداسازی هرگونه مواد جامد معلق فیلتر گردید. سپس پساب در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ بار اتوکلاو گردید تا تمام میکروارگانیسم‌های آن حذف گردد.

۲-۲. طراحی آزمایش

برای انجام آزمایش دو متغیر دوره نوری و زمان جهت حذف مقدار اولیه فسفات و نیتрат مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تأثیرگذاری هم‌زمان متغیرهای ورودی بروی متغیرهای خروجی مدنظر در ۳ سطح پایین، متوسط و بالا (دوره نوری در سه سطح: ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت و زمان در سه سطح: ۴، ۸ و ۱۲ روز) از شیوه آماری رویه سطح پاسخ (RSM) به شیوه طراحی مرکب مرکزی (CCD) استفاده شد. در مجموع ۱۱ آزمایش توسط نرم‌افزار Design expert 11 پیشنهاد شد. دوره نوری ۸ تا ۲۴ ساعت و زمان ۴ تا ۱۲ روز در طول این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- تیمارهای طراحی شده بر اساس متغیرهای دوره نوری و زمان

چینش آزمایش	عامل ۱: دوره نوری (ساعت)	عامل ۲: زمان (روز)
۱	۱۶	۱۲
۲	۱۶	۸
۳	۸	۴
۴	۸	۱۲
۵	۱۶	۸
۶	۲۴	۱۲
۷	۲۴	۸
۸	۸	۸
۹	۱۶	۸
۱۰	۲۴	۴
۱۱	۱۶	۴

۲-۳. تهیه ذخیره اولیه ریز جلبک

استوک اولیه جلبک *Nannochloropsis oculata* از شرکت توسعه ذخایر زیستی جلبک‌های فارس واقع در مرکز علم و فناوری شیراز خریداری و به دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز منتقل و در یخچال نگهداری شد. سپس محیط کشت جلبک موردنظر از در محیط کشت F/2، با شوری ۲۵ گرم در لیتر، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۷/۸، هوادهی مداوم، دوره نوری ۲۴:۰۰ ساعته (روشنایی: تاریکی) و ارلن‌های یک لیتری انجام گردید. بدین منظور پس از تهیه محیط کشت مدنظر و اتوکلاو آن، به میزان ۱۰ درصد حجم محیط کشت استوک خالص جلبک به آن اضافه گردید. پس از رسیدن کشت اولیه جلبک به تراکم مورد نظر (برابر با 10^7 سلول در هر میلی‌لیتر). جلبک‌ها به ظروف محیط‌های مورد مطالعه (پساب بعنوان محیط کشت) در ظروفی که ۹۰۰ میلی‌لیتر بود به میزان

۱۰ درصد هر محیط کشت اضافه گردید و به مدت ۱۲ روز این کشت ادامه یافت (Khairy et al., 2020). برای تهیه شوری محیط کشت استوک از نمک با درجه آزمایشگاهی مرک استفاده شد. مقدار ۲۵ گرم نمک به ۱ لیتر آب مقطر دوبار تقطیر اضافه شد تا آب با شوری ۲۵ گرم در لیتر به دست آید. پساب در همهی تیمارها با غلظت یکسان استفاده شد. برای تامین نور محیط کشت از لامپهای فلوروسنت سفید رنگ با شدت تابش ۱۲۳۰ لوکس در فاصله ۱/۵ متری از سطح محیط کشتها استفاده گردید. شدت نور برای همهی تیمارها بهطور یکسان تامین گردید. شدت نور با استفاده از لوکوس متر مدل (Lutron LM-81LX) اندازه گیری شد. میزان دما، شوری و pH با استفاده از دستگاه دیجیتال پرتابل برند میلی واک (ساخت مجارستان) اندازه گیری شد.

۲-۴. اندازه گیری فسفات و نیترات

به منظور آماده سازی نمونه ها برای سنجش نیترات و فسفات ۱۰ میلی لیتر از هر ظرف کشت برداشت شد. سپس با دور ۵۰۰۰ و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید و از مایع رویی برای سنجش فاکتورهای یاد شده استفاده گردید. برای سنجش اندازه گیری مقادیر فسفات نمونه ها در پساب، قبل و بعد از تصفیه جلبک بر اساس روش استاندارد در حضور اسید مولیبدیک، اسید آسکوربیک و آنتیمونی (فسفات واکنش گر به کمپلکس آبی رنگ مولیبدات تبدیل خواهد شد) به روش پیشنهادی (Vazirzadeh et al., 2022) مورد سنجش قرار گرفت. سپس با ترسیم منحنی استاندارد سنجش فسفات انجام شد. برای سنجش میزان نیترات موجود در پساب، قبل و بعد از تصفیه جلبک بر اساس روش استاندارد (Cuartero et al., 2015) در حضور اسید کلریدریک یک نرمال به روش پیشنهادی (Vazirzadeh et al., 2022) مورد سنجش قرار گرفت و سپس با ترسیم منحنی استاندارد سنجش نیترات انجام شد.

۲-۵. تهیه پودر خشک و اندازه گیری زیتودهی ریز جلبک

برای تهیه پودر خشک ریز جلبک ابتدا برای جلوگیری از ورود مواد درشت معلق از فیلتراسیون ۱۰۰ میکرون استفاده شد و درون لوله آزمایش ریخته شد. پس از بهم زدن محلول فیلتر شده جهت یکنواختی میزان ۱۵ میلیتر از آن به لوله های آزمایش ۲۰ میلی لیتری ریخته شد و با ۷۰۰۰ دور بر دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. ریز جلبک چسبیده به لوله درون پلت ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا آب آن تبخیر و پودر جلبک تهیه شود (Raheem et al., 2019).

برای محاسبه زیتوده جلبکها برحسب وزن خشک، ابتدا مقدار ماده خشک بدست آمده از ۱۵ میلی لیتر محیط کشت سانتریفیوژ شده بر ۱۵ تقسیم گردید تا مقدار ماده خشک در هر میلی لیتر بدست آید. سپس از ضرب این مقدار در کل حجم محیط کشت مقدار کل زیتوده در هر ظرف کشت بدست آمد.

۲-۶. روش برآورد تراکم جلبکها

تراکم جلبک با روش شمارش توسط لام نئوبار تعیین شد و به روش پیشنهاد شده توسط Schagerl و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد. به این منظور نمونهی اولیه جلبک ها ۲۵۰ برابر رقیق گردید. سپس مقدار ۱ میلی لیتر از محلول رقیق شده بر روی لام نئوبار ریخته شد و با بزرگنمایی ۴۰ تعداد جلبکها در ۵ خانه از مربع وسط شمارش گردید. سپس با ضرب مجموع جلبکهای شمارش شده در عدد ۱۰۰۰۰، تراکم جلبکها در ۱ میلی لیتر بدست آمد.

۲-۷. تهیه عصاره ریز جلبک

برای تهیه عصاره ریز جلبک، ۰/۲ گرم پودر خشک ریز جلبک را در اپندورف ریخته شود و سپس ۱۰۰۰ میکرو لیتر متانول ۵۰ درصد به آن اضافه شود و یک دقیقه ورتکس شود تا خوب حل شود. پس از این مرحله به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شود. این مرحله دوباره انجام شد. سپس فاز رویی جدید که به دست آمده است با عصاره استخراج شده مرحله گذشته

اضافه گردد تا برای آزمایش‌های مدنظر استفاده گردد (Rodriguez-Garcia and Guil-Guerrero, 2008).

۲-۸. اندازه‌گیری میزان چربی

به‌منظور اندازه‌گیری میزان چربی نمونه‌های جلبک، ابتدا ۵ میلی‌لیتر متانول و ۲/۵ میلی‌لیتر کلروفرم را به‌وسیله سمپلر برداشته و با میزان ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر خشک‌شده جلبک درون لوله آزمایش باهم ترکیب شد تا ایجاد سوسپانسیون کند. سوسپانسیون به مدت یک دقیقه ورتکس شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه سونیتکس گردید. سوسپانسیون با سرعت ۷۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ گشته و سوپرناتانت جدا شده و پس از تبخیر حلال وزن لیپید اندازه‌گیری شد (Daneshvar et al., 2018).

$$100 \times \text{وزن کل نمونه (گرم)} \div \text{مقدار چربی جدا شده (گرم)} = \text{میزان چربی}$$

۲-۹. تجزیه و تحلیل آماری

بهینه‌سازی داده‌های تولید جلبک *N. oculata* تحت متغیرهای دوره نوری و زمان با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design expert 11 انجام شد. در این آزمون شیوه طراحی مرکب مرکزی با ۱۱ آزمایش بررسی شد. در این فرایند بهینه‌سازی، طراحی آزمایش و تجزیه رگرسیون داده‌های آزمایش انجام شد و نهایتاً بهترین مدل سازگار شده با داده‌های واقعی و بیشترین ضریب رگرسیون (R^2) گزارش شد. تجزیه آماری داده‌های حاصله از تیمارهای تصفیه پساب با جلبک، با استفاده از مدل کوادراتیک، با تجزیه واریانس (ANOVA) بررسی شد.

۳. نتایج

با توجه به اطلاعات ذکرشده در جداول ۲ دقت بالای مدل کوادراتیک^۱ در تعیین مدل‌سازی متغیرهای پاسخ شامل درصد تولید چربی، میزان زیتوده، درصد کارایی حذف نیترات و درصد کارایی حذف فسفات در ریزجلبک *N. oculata* تایید می‌گردد و لذا تجزیه چندجمله‌ای^۲ درجه دوم و مدل کوادراتیک به‌عنوان بهترین مدل برای یافتن رابطه بین متغیرهای اصلی و متغیرهای پاسخ در نظر گرفته شد.

جدول ۲- بررسی صحت مدل به منظور مقایسه متغیرهای پاسخ در ریز جلبک *N. oculata* به منظور بررسی کارایی آن در حذف نیترات و فسفات پساب مزرعه میگو

شماره آزمایش	عامل ۱: A: نور (ساعت)	عامل ۲: B: دوره نوری (روز)	نتیجه ۱: چربی کل (درصد)	نتیجه ۲: زیتوده (گرم)	نتیجه ۳: حذف نیترات (درصد)	نتیجه ۴: حذف فسفات (درصد)
۱	۸	۸	۱۷	۰/۱۲۲	۱۵	۲۹
۲	۱۶	۱۲	۲۷	۰/۱۳۷	۵۱	۶۸
۳	۱۶	۸	۲۴	۰/۱۳۱	۳۵	۶۲
۴	۱۶	۴	۲۰	۰/۱۰۵	۲۰	۴۵
۵	۱۶	۸	۲۲	۰/۱۳۳	۳۴	۶۱
۶	۲۴	۸	۱۹	۰/۱۲۵	۳۰	۶۵
۷	۲۴	۴	۱۶	۰/۱۱۲	۲۰	۵۵
۸	۲۴	۱۲	۲۰	۰/۱۲۹	۳۷	۶۷
۹	۸	۴	۱۶	۰/۱۰۱	۴	۲۰
۱۰	۱۶	۸	۲۱	۰/۱۳۵	۳۳	۶۰
۱۱	۸	۱۲	۱۶	۰/۱۲۴	۲۴	۳۴

^۱ Quadratic model

^۲ Polynomial analysis

۳-۱. تأثیر متغیرهای اصلی فرایند بر میزان زیتوده ریز جلجک

بر اساس نتایج حاصل، رابطه بین میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata* و متغیرهای منتخب از نوع معادلات درجه دوم چند متغیره به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\text{میزان زیتوده} = +0.030667 + 0.004205 \times \text{Light} + 0.013118 \times \text{Time} - 0.000047 \times \text{Light} \times \text{Time} - 0.000107 \times \text{Light}^2 - 0.000586 \times \text{Time}^2$$

جدول ۳- تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بر میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata*

تیمار	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۰/۰۰۱۴	۵	۰/۰۰۰۳	۱۷/۴۱	۰/۰۰۳۵
A- نور	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۳/۷۵	۰/۱۱۰۴
B- زمان	۰/۰۰۰۹	۱	۰/۰۰۰۹	۵۳/۹۲	۰/۰۰۰۷
AB	۹×۱۰ ^{-۶}	۱	۹×۱۰ ^{-۶}	۰/۵۶۱۶	۰/۴۸۷۳
A ²	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۱	۷/۴۶	۰/۰۴۱۲
B ²	۰/۰۰۰۲	۱	۰/۰۰۰۲	۱۳/۸۸	۰/۰۱۳۶
باقی مانده	۰/۰۰۰۱	۵	۰/۰۰۰۰		
انحراف از مدل	۰/۰۰۰۱	۳	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱	۰/۱۴۶۰
خطای خام	۸×۱۰ ^{-۶}	۲	۴×۱۰ ^{-۶}		-
کل	۰/۰۰۱۵	۱۰			-

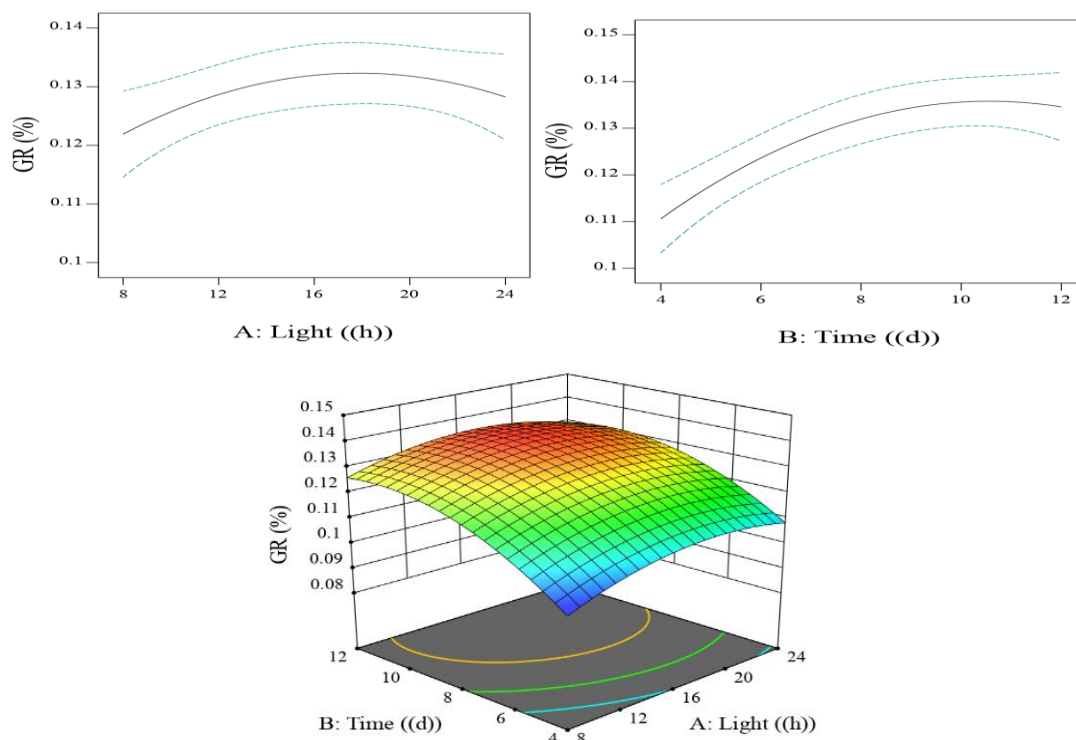
به منظور تایید مدل جهت بررسی میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata* از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد که در جدول ۳ بیان شده است.

پس از تجزیه واریانس، معادله رگرسیون حاصل شد که ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۴۵۷ را نمایان نمود. مقدار ضریب همبستگی تنظیم شده ۰/۸۹۱۴ بود که هم‌خوانی تقریباً منطقی با هم داشتند. عبارت‌های مدل شامل دوره نوری (A)، زمان (B)، برهم‌کنش دوره نوری در زمان (AB)، برهم‌کنش دوره نوری بر خودش (A²) و برهم‌کنش زمان بر خودش (B²) به دلیل مقدار P کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بودند (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل معادله رگرسیون برای میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata*

انحراف از معیار	R ² (ضریب تبیین)	۰/۰۰۴۰
میانگین	R ² تنظیم شده	۰/۱۲۳۱
ضریب تغییرات (%)	R ² پیش‌بینی شده	۳/۲۵
	دقت کافی (adeq precision)	۱۲/۰۱۹۵

در نمودار A۱ تأثیر دوره نوری (ساعت) بر میزان زیتوده ریز جلجک *N. oculata* به نمایش گذاشته شده است. با افزایش دوره نوری تا ۱۷ حدود ساعت روشنایی در روز باعث افزایش و زیتوده می‌گردد که پس از افزایش این مقدار نوردهی میزان تولید زیتوده کاهش می‌یابد. نمودار B۱ در مورد تأثیر تعداد روز نوردهی بر زیتوده ریزجلبک *N. oculata* است. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود بیشترین میزان زیتوده تا حدود روز دهم است که پس از آن نه تنها افزایش رشد وجود ندارد بلکه کمی کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس (ANOVA) دیده می‌شود برهم‌کنش دوره نوری و زمان بر میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata* با عدد P ۰/۰۰۳۵ همراه است که مدل را معنی‌دار می‌کند. نتیجه به صورت سه بعدی مشاهده می‌شود که بیشترین میزان زیتوده در ریزجلبک *N. oculata* در دوره نوری تقریباً ۱۷ ساعت روشنایی و ده روز پرورش است (نمودار C۱).



شکل ۱- تأثیر دوره نوری (A)، زمان (روز) (B) و برهم کنش دوره نوری (C) بر میزان زیتوده در ریز جلبک *N. oculata* در پساب مزرعه پرورش میگو

۳-۲. تأیید صحت مدل جهت بررسی میزان تولید چربی

به منظور تأیید مدل جهت بررسی میزان تولید چربی در ریزجلبک *N. oculata* از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد که در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بر میزان تولید چربی در ریزجلبک *N. oculata*

تیمار	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۱۱۱/۶۷	۵	۲۲/۳۳	۶/۹۹	۰/۰۲۶۱
نور A	۶	۱	۶	۱/۸۸	۰/۲۲۸۸
زمان B	۲۰/۱۷	۱	۲۰/۱۷	۶/۳۲	۰/۰۵۳۶
AB	۴	۱	۴	۱/۲۵	۰/۳۱۳۹
A ²	۷۵/۹۰	۱	۷۵/۹۰	۲۳/۷۷	۰/۰۰۴۶
B ²	۰/۰۰۱۸	۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵	۰/۹۸۲۲
باقی مانده	۱۵/۹۶	۵	۳/۱۹		
انحراف از مدل	۱۱/۳	۳	۳/۷۷	۱/۶۱	۰/۴۰۴۷
خطای خام	۴/۶۷	۲	۲/۳۳		
کل	۱۲۷/۶۴	۱۰			

براساس نتایج حاصل، رابطه بین میزان تولید چربی در ریزجلبک *N. oculata* و متغیرهای منتخب از نوع معادلات درجه دوم چند متغیره به صورت زیر بیان می گردد:

$$\text{میزان چربی} = -0.666667 + 2.61184 \times \text{Light} - 0.067982 \times \text{Time} + 0.031250 \times \text{Light} \times \text{Time} - 0.085526 \times \text{Light}^2 + 0.001645 \times \text{Time}^2$$

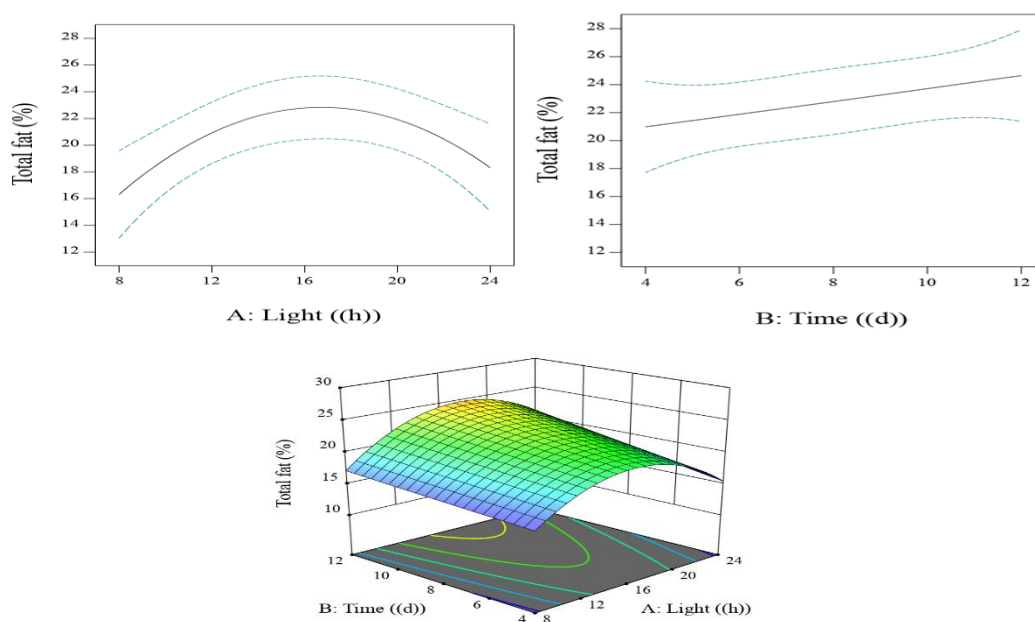
پس از تجزیه واریانس، معادله رگرسیون حاصل شد که ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸۷ را نمایان نمود. مقدار ضریب همبستگی تنظیم شده ۰/۷۴۹۸ بود که همخوانی نسبتاً منطقی با هم داشتند. عبارت‌های مدل شامل دوره نوری (A)، برهم‌کنش دوره نوری در زمان (AB) و برهم‌کنش دوره نوری بر خودش (A2) به دلیل مقدار P کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بودند (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تجزیه و تحلیل معادله رگرسیون برای میزان تولید چربی در ریز جلبک *N. oculata*

انحراف از معیار	۱/۷۹	R^2 (ضریب تبیین)	۰/۸۷۴۹
میانگین	۱۹/۸۲	R^2 تنظیم شده	۰/۷۴۹۸
ضریب تغییرات (%)	۹/۰۲	R^2 پیش‌بینی شده	۰/۰۸۴۰
		دقت کافی (adeq precision)	۶/۹۲۶

۳-۳. تأثیر متغیرهای اصلی فرایند بر میزان چربی جلبک

در نمودار A2 تأثیر دوره نوری (ساعت) بر تولید میزان چربی ریز جلبک *N. oculata* به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش ساعت نوردهی تا حدود ۱۷ ساعت در روز باعث افزایش تولید میزان چربی در ریز جلبک می‌شود و بعد از افزایش ۱۷ ساعت نوردهی نه تنها باعث افزایش تولید چربی نمی‌شود بلکه باعث کاهش تولید چربی در ریز جلبک می‌شود. نمودار B1 در مورد تأثیر تعداد روز نوردهی بر میزان تولید چربی در ریز جلبک نانوکلوپسیس است که این نمودار افزایش میزان چربی تا روز ۱۲ را بیان می‌دارد. همان‌گونه که در جدول ۵ تجزیه واریانس (ANOVA) دیده می‌شود برهم‌کنش دوره نوری و زمان بر میزان تولید چربی در این جلبک معنی‌دار است و مقدار p عدد ۰/۰۲۶۱ است. نتیجه به صورت سه بعدی مشاهده می‌شود. نتیجه این گونه است که دوره نوری حدود ۱۶ ساعت و زمان تا ۱۲ روز بیشترین میزان تولید چربی را دارد و عبور از این بازه کاهش میزان چربی را خواهد داشت (شکل C1).



شکل ۲- نمودار تأثیر دوره نوری (ساعت) (A)، زمان (روز) (B) و برهم‌کنش دوره نوری (C) در زمان بر تولید میزان چربی ریز جلبک *N. oculata*

۳-۴. تأثیر متغیرهای اصلی فرایند بر میزان حذف نیترات

بر اساس نتایج حاصل، رابطه حذف نیترات در ریز جلبک *N. oculata* و متغیرهای منتخب از نوع معادلات درجه دوم چند متغیره به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\text{کارایی حذف نیترات} = -57.33333 + 7.57785 \times \text{Light} + 3.15570 \times \text{Time} - 0.023437 \times \text{Light} \times \text{Time} - 0.202303 \times \text{Light}^2 + 0.003289 \times \text{Time}^2$$

پس از انجام آزمایش ها میزان نیترات اندازه گیری شد که در جدول ۷ بیان شده است.

جدول ۷- تغییرات میزان نیترات (میلی گرم در لیتر) در محیط کشت جلبک *N. oculata* پرورش یافته در پساب مزرعه پرورش میگو

شماره نمونه	میزان اولیه نیترات	میزان نیترات بعد از آزمایش	درصد حذف
۱	۸/۴	۷/۱۴	۱۵
۲	۸/۴	۴/۱۱	۵۱
۳	۸/۴	۵/۴۶	۳۵
۴	۸/۴	۶/۷۲	۲۰
۵	۸/۴	۵/۵۴	۳۴
۶	۸/۴	۵/۸۸	۳۰
۷	۸/۴	۶/۷۲	۲۰
۸	۸/۴	۵/۲۹	۳۷
۹	۸/۴	۸/۰۶	۴
۱۰	۸/۴	۵/۶۲	۳۳
۱۱	۸/۴	۶/۳۸	۲۴

جدول ۸- تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) در شاخص میزان حذف نیترات در ریزجلبک *N. oculata*

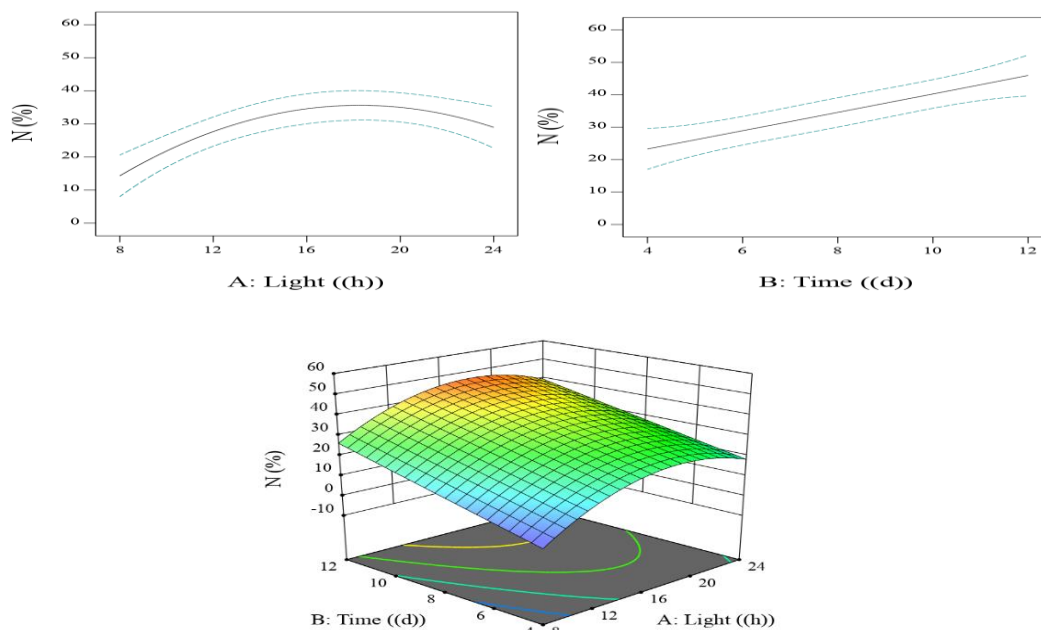
تیمار	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۱۵۵۱/۷۸	۵	۳۱۰/۳۶	۲۶/۳۳	۰/۰۰۱۳
A- نور	۳۲۲/۶۷	۱	۳۲۲/۶۷	۲۷/۳۷	۰/۰۰۳۴
B- زمان	۷۷۰/۶۷	۱	۷۷۰/۶۷	۶۵/۳۷	۰/۰۰۰۵
AB	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۰/۱۹۰۹	۰/۶۸۰۴
A ²	۴۲۴/۶۷	۱	۴۲۴/۶۷	۳۶/۰۲	۰/۰۰۱۸
B ²	۰/۰۰۷۰	۱	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۰۶	۰/۹۸۱۵
باقی مانده	۵۸/۹۴	۵	۱۱/۷۹		
انحراف از مدل	۵۶/۹۴	۳	۱۸/۹۸	۱۸/۹۸	۰/۰۵۰۵
خطای خام	۲	۲	۱/۰۰۰۰		-
کل	۱۶۱۰/۷۳	۱۰	-		-

به منظور تایید مدل جهت بررسی میزان حذف نیتروژن در ریزجلبک *N. oculata* از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد که در جدول ۸ بیان شده است.

پس از تجزیه واریانس، معادله رگرسیون حاصل شد که ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۶۳۴ را نمایان نمود. مقدار ضریب همبستگی تنظیم شده ۰/۹۲۶۸ بود که همخوانی منطقی با هم دارند. عبارت های مدل شامل دوره نوری (A)، زمان (B) و برهم کنش دوره نوری بر خودش (A²) به دلیل مقدار P کمتر از ۰/۰۵ معنی دار بودند (جدول ۹).

جدول ۹- نتایج تجزیه و تحلیل معادله رگرسیون برای میزان حذف نیترات در ریزجلبک *N. oculata*

انحراف از مدل	۳/۴۳	(ضریب تبیین) R ²	۰/۹۶۳۴
میانگین	۲۷/۵۵	R ² تنظیم شده	۰/۹۲۶۸
ضریب تغییرات (%)	۱۲/۴۶	R ² پیش بینی شده	۰/۶۳۴۳
		دقت کافی (adeq precision)	۱۷/۲۳۲۴



شکل ۳- نمودار تأثیر دوره نوری (ساعت) (A)، زمان (روز) (B) و برهم کنش دوره نوری (C) بر میزان حذف نیترات در ریز جلبک *N. oculata*

در نمودار A^۳ تأثیر دوره نوری (ساعت) بر میزان حذف نیترات ریز جلبک *N. oculata* به نمایش گذاشته شده است. بیشترین میزان حذف نیترات در محیط پرورشی با دوره نوری حدود ۱۸ ساعت روشنایی در شبانه روز است که حدود ۴۰ درصد نیترات را حذف می‌کند. همان‌گونه که در شکل سه بعدی C^۳ مشاهده می‌شود برهم‌کنش دوره نوری و زمان در پژوهش بر روی متغیر نیترات ریز جلبک *N. oculata* است که طبق تجزیه رگرسیون (ANOVA) معنی دار است که با افزایش دوره نوری تا ۱۶ ساعت روشنایی در شبانه روز و افزایش زمان تا ۱۲ روز با کاهش میزان نیترات همراه است که بهترین عملکرد را در این بازه دارا می‌باشد. در نمودار B^۳ تأثیر زمان (روز) بر میزان حذف نیترات ریز جلبک *N. oculata* به نمایش گذاشته شده است. نمودار بدین گونه است که بیشترین میزان حذف نیترات در روز ۱۲ پرورش بود که طور میانگین بیش از ۴۰ درصد نیترات محیط را از بین برد.

۳-۵. تأثیر متغیرهای اصلی فرایند بر میزان حذف فسفات

بر اساس نتایج حاصل، رابطه بین میزان حذف فسفات در ریز جلبک *N. oculata* و متغیرهای منتخب از نوع معادلات درجه دوم چند متغیره به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$N = -60.00000 + 8.89693 \times \text{Light} + 6.00219 \times \text{Time} - 0.015625 \times \text{Light} \times \text{Time} - 0.206414 \times \text{Light}^2 - 0.231908 \times \text{Time}^2$$

میزان فسفات بعد از انجام آزمایشات به شرح جدول ۹ بود.

به منظور تایید مدل جهت بررسی میزان حذف فسفات در ریز جلبک *N. oculata* از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد که در جدول ۱۰ بیان شده است.

پس از تجزیه واریانس، معادله رگرسیون حاصل شد که ضریب همبستگی ۰/۹۸۶۵ را نمایان نمود. مقدار ضریب همبستگی تنظیم شده ۰/۹۷۳۱ بود که هم‌خوانی منطقی با هم داشتند. عبارت‌های مدل شامل دوره نوری (A)، برهم‌کنش دوره نوری در خودش (B2) و برهم‌کنش دوره نوری بر خودش (A2) به دلیل مقدار P کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بودند (جدول ۱۱).

در نمودار A^۴ تأثیر دوره نوری (ساعت) بر میزان حذف فسفات ریز جلبک *N. oculata*، *Tetraselmis* sp. و *Dunaliella* sp. انجام شد این‌گونه بیان داشت که این سه با نمودارهای تقریباً مشابه بهترین زمان برای حذف فسفات با بیشترین کارایی را حدود روز ۱۲ پرورش بیان کرد که پس از این زمان تا روز ۱۵ پرورش تقریباً با شیب بسیار ملایمی به نمایش گذاشته شده است. نمودار بدین گونه است که بیشترین میزان حذف فسفات در محیط پرورشی با دوره نوری حدود ۱۹ ساعت روشنایی در شبانه روز است که بیش از ۶۰ درصد فسفات را بین می‌رود و پس از این مقدار شیب میزان حذف کاهش می‌یابد. در

نمودار B۴ تأثیر زمان (روز) بر میزان حذف فسفات در ریز جلبک *N. oculata* به نمایش در آمده است. نمودار بدین گونه نمایش می‌دهد که بیشترین میزان حذف فسفات در روز ۱۲ پرورش بود که طور میانگین بیش از ۶۵ درصد نیترا ت محیط را از بین برد. (de Alva et al., 2018) تحقیقی به منظور حذف نیترا ت، فسفات و کربن بر روی سه ریزجلبکرو به افزایش بود.

جدول ۹- تغییرات میزان فسفات (میلی گرم در لیتر) در محیط کشت جلبک *N. oculata* پرورش یافته در پساب مزرعه پرورش میگو

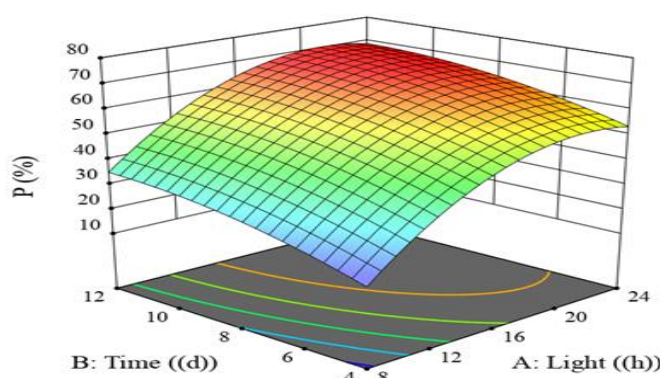
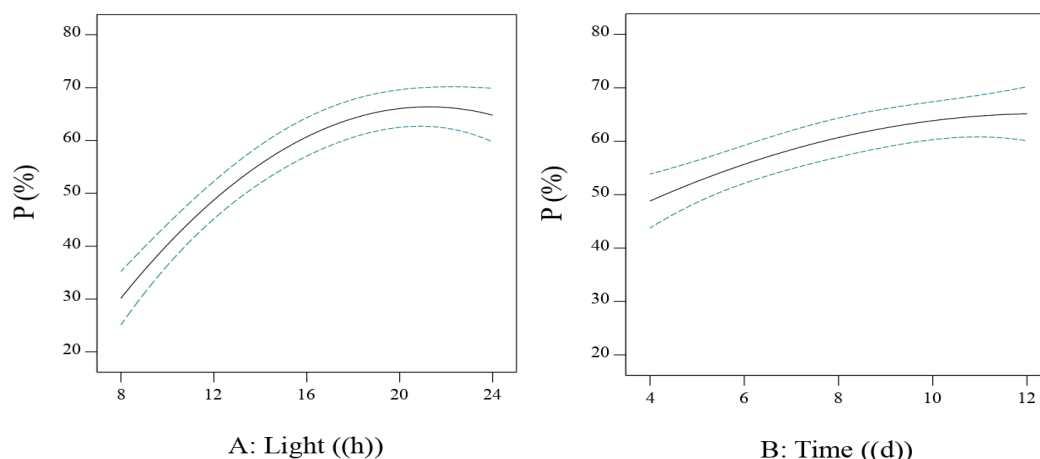
شماره نمونه	میزان اولیه فسفات	میزان فسفات بعد از آزمایش	درصد حذف
۱	۰/۰۳	۰/۰۲۱	۲۹
۲	۰/۰۳	۰/۰۰۹	۶۸
۳	۰/۰۳	۰/۰۱۱	۶۲
۴	۰/۰۳	۰/۰۱۶	۴۵
۵	۰/۰۳	۰/۰۱۱	۶۱
۶	۰/۰۳	۰/۰۱	۶۵
۷	۰/۰۳	۰/۰۱۳	۵۵
۸	۰/۰۳	۰/۰۰۹	۶۷
۹	۰/۰۳	۰/۰۲۴	۲۰
۱۰	۰/۰۳	۰/۰۱۲	۶۰
۱۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۳۴

جدول ۱۰- تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) در شاخص میزان حذف فسفات در ریزجلبک *N. oculata*

تیمار	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۲۷۸۸/۶۸	۵	۵۵۷/۷۳	۷۳/۲۲	۰/۰۰۰۱
A- نور	۱۸۰۲/۶۷	۱	۱۸۰۲/۶۷	۲۳۶/۶۵	<۰/۰۰۰۱
B- زمان	۴۰۰/۱۷	۱	۴۰۰/۱۷	۵۲/۵۳	۰/۰۰۰۸
AB	۱/۰۰۰	۱	۱/۰۰۰۰	۰/۱۳۱۳	۰/۷۳۱۹
A ²	۴۴۲/۱۱	۱	۴۴۲/۱۱	۵۸/۰۴	۰/۰۰۰۶
B ²	۳۴/۸۸	۱	۳۴/۸۸	۴/۵۸	۰/۰۸۵۳
باقی مانده	۳۸/۰۹	۵	۷/۶۲		
انحراف از مدل	۳۶/۰۹	۳	۱۲/۰۳	۱۲/۰۳	۰/۰۷۷۷
خطای خام	۲/۰۰	۲	۱/۰۰۰۰		
کل	۲۸۲۶/۷۳	۱۰			

جدول ۱۱- نتایج تجزیه و تحلیل معادله رگرسیون برای میزان حذف فسفات در ریزجلبک *N. oculata*

انحراف از مدل	۲,۷۶	(ضریب تبیین) R ²	۰,۹۸۶۵
میانگین	۵۱/۵۴	R ² تنظیم شده	۰/۹۷۳۱
ضریب تغییرات (%)	۵/۳۶	R ² پیش بینی شده	۰/۸۶۵۲
		دقت کافی (adeq precision)	۲۵/۰۱۹۸



شکل ۴- تأثیر دوره نوری (ساعت) (A)، زمان (روز) (B) و برهم کنش دوره نوری (C) بر میزان حذف نیترات ریز جلک *N. oculata*

برهم کنش دوره نوری و زمان در قابلیت حذف فسفات در ریزجلبک *N. oculata* در شکل C^۳ نشان داده شده است که طبق تجزیه رگرسیون (ANOVA) با توجه به عدد P که ۰/۰۰۰۰۱ بوده، معنی دار است. بهترین عملکرد روشنایی در این مدل حدود ۱۹ ساعت نوردهی در شبانه روز و ۱۲ روز دوره پرورش است.

۳-۶. بهینه سازی متغیرهای فرآیند برای همه فاکتورهای مورد بررسی

در جدول ۱۲ بهترین سطوح متغیرهای اصلی تحقیق به منظور دستیابی به بهترین عملکرد همه فاکتورهای بصورت همزمان ارایه شده است.

جدول ۱۲- بهترین سطوح متغیرهای اصلی تحقیق به منظور دستیابی به بهترین عملکرد همه فاکتورهای بررسی شده در ریزجلبک *N. oculata*

نوردهی (ساعت در شبانه روز)	زمان (روز)	چربی کل (درصد)	زیتوده (میلی گرم در لیتر)	حذف نیترات (درصد)	حذف فسفات (درصد)	درصد تطابق
۱۷/۶۱۵	۱۲	۲۴/۸۳۰	۰/۱۳۵	۴۶/۷۶۶	۶۸	۰/۹۰۹

۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش دوره نوری تا ۱۷ حدود ساعت روشنایی در روز باعث افزایش رشد و زیتوده می گردد که پس از افزایش این مقدار نوردهی میزان رشد و تولید زیتوده کاهش می یابد. در این باره (Vazirzadeh et al., 2022) در پژوهشی که بر روی *C. vulgaris* انجام شد نتیجه تأثیر دوره نوری بر زیتوده بدین گونه بود که بیشترین میزان رشد در نوردهی ۱۷ ساعت در شبانه روز است که پس از این میزان نوردهی شیب رشد نزولی می شود. پژوهش (Gani et al., 2021) بر روی ریزجلبک های

سبز *Botryococcus sp.* بر دوره‌های نوری متفاوت نور و تاریکی (۰:۲۴، ۸:۱۶، ۱۲:۱۲، ۱۸:۶ و ۲۴:۰) انجام شد که در موارد صفر و ۶ ساعت روشنایی در روز کمترین میزان تولید و رشد را داشت ولی در دوره‌های نوری دیگر نرخ افزایش زیتوده بیشتر از این ساعات نوردهی بود. تحقیق (Vazirzadeh et al., 2022) در مورد تعداد روز نوردهی و تأثیر آن این گونه نشان می‌دهد که ریزجلبک دارای رشد و افزایش زیتوده تا روز دهم است سپس تا حدود روز ۱۲ افزایش رشد متوقف و ساکن می‌گردد و پس از آن تا روز ۱۵ با کاهش رشد و تعداد سلول روبه‌رو شد. پژوهش (Gani et al., 2021) که بر روی دو ریزجلبک *N. oculata* و *Chlorella sp.* انجام گرفت که در ریزجلبک نانوکلوپسیس اوکالا تا حدود روز ۱۰ افزایش رشد و سلول سریع وجود داشت و در ادامه تا روز ۱۲ افزایش رشد متوقف گردید. ریزجلبک کلرلا تا حدود روز نهم رشد سریع و افزایش سلول را دارا بود و ادامه تا روز ۱۲ رشد با شیب بسیار کمی همراه بود. (Banerjee et al., 2011) در تحقیق خود این گونه نتیجه گیری نموده است که ریزجلبک مورد آزمایش تا روز دهم پرورش با افزایش رشد و زیتوده و پس از آن با کاهش رشد همراه است. طبق گزارشی از پژوهش (Ra et al., 2016) که در مورد چند ریزجلبک انجام شد ریزجلبک *N. oculata* تا ۱۶ ساعت در روز افزایش تولید زیتوده و چربی داشته ولی پس از ۱۶ ساعت در روز کاهش تولید داشته است. نتایج حاصل از پژوهش (Millán-Oropeza & Fernández-Linares, 2017) تا ۱۶ ساعت نوردهی در روز معنی‌دار بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش ساعت نوردهی تا حدود ۱۷ ساعت در روز باعث افزایش تولید میزان چربی در ریزجلبک می‌شود و بعد از افزایش ۱۷ ساعت نوردهی نه تنها باعث افزایش تولید چربی نمی‌شود بلکه باعث کاهش تولید چربی در ریزجلبک می‌شود. در این راستا در تحقیق (Banerjee et al., 2011) تا روز ۱۲ افزایش تولید در چربی رخ داد. نتایج حاصل از پژوهش (Baharuddin et al., 2016) که بخشی از آن درباره ریزجلبک *N. oculata* بود نیز افزایش تولید زیتوده و چربی تا روز ۱۲ را تایید می‌کند. نتیجه پژوهش (Xu et al., 2004) نیز با افزایش تولید چربی تا ۱۱ روز پس از کشت ریزجلبک نیز این گونه بود.

نتایج نشان داد که بیشترین میزان حذف نیترات در محیط پرورشی با دوره نوری حدود ۱۸ ساعت روشنایی در شبانه روز است که حدود ۴۰ درصد نیترات را حذف می‌کند. (Vazirzadeh et al., 2022) در پژوهش خود بهترین دوره نوری را حدود ۱۶ ساعت در شبانه روز بیان نموده‌اند که پس از این ساعت شیب منحنی کاهش و کارایی کاهش می‌یابد. (Bouterfas et al., 2006) به منظور بررسی شدت و دوره نوری بر روی رشد چند ریزجلبک پژوهشی انجام دادند که در سه گونه مورد آزمایش تا شدت و دوره نوری قابل تحمل ریزجلبک افزایش رشد را مشاهده شد.

همچنین بیشترین میزان حذف نیترات در روز ۱۲ پرورش بود که طور میانگین بیش از ۴۰ درصد نیترات محیط را از بین برد. تحقیق (Silva et al., 2015) بر روی چندین ریزجلبک از جمله *N. oculata* انجام گرفت نتیجه تا روز ۱۳ پرورش با کاهش میزان نیترات همراه بود. پژوهش (Sánchez-Bayo et al., 2020) بر روی سه گونه ریزجلبک *Isochrysis galbana*، *Chlorella vulgaris* و *Nannochloropsis gaditana* انجام گرفت که بهترین زمان برای حذف نیترات در ریزجلبک‌های یادشده به ترتیب نه روز، شش روز و ده روز بود که پس از این زمان شیب حذف کاهش یافت. (Hii et al., 2011) در پژوهش خود بر روی ریزجلبک *Nannochloropsis sp.* به منظور حذف نیتروژن محیط به این نتیجه رسید که بیشترین مقدار حذف نیترات تا روز ده پرورش است. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان حذف فسفات در محیط پرورشی با دوره نوری حدود ۱۹ ساعت روشنایی در شبانه روز بود که بیش از ۶۰ درصد فسفات را بین برد و پس از این مقدار شیب میزان حذف کاهش یافت. (Vazirzadeh et al., 2022) تحقیقی در مورد اثر شرایط محیطی و تغذیه‌ای و کاهش میزان نیترات و فسفات بر روی جلبک کلرلا انجام داد که نتیجه این پژوهش این گونه بود که بهترین دوره نوری به منظور حذف میزان فسفات ۱۶ ساعت نور در شبانه روز است که پس از آن ابتدا با شیب کمی این میزان حذف کم می‌شود و پس از آن شیب تندتر و میزان کاهش فسفات در دوره نوری کمتر می‌شود. نتایج تحقیق (de Alva, et al., 2018) بر روی سه ریزجلبک *Tetraselmis sp.*، *Nannochloropsis sp.* و *Dunaliella sp.* انجام گرفت نتایج این گونه بود که بهترین زمان نوردهی برای رشد و میزان حذف فسفات و نیترات حدود ۱۶ ساعت روشنایی در شبانه روز است.

۵. نتیجه گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش از برهم کنش دوره نوری و زمان در ریزجلبک *N. oculata* این گونه بیان می‌دارد که ۱۷ ساعت نوردهی در شبانه روز برای تولید زیتوده و ۱۶ ساعت نوردهی در شبانه روز برای تولید چربی بهترین کارایی را داشته و بیش از این عملکرد منفی در پی خواهد داشت. نتایج افزایش زمان (روز پرورش) و تأثیر آن بر میزان افزایش تولید چربی و زیتوده در ریزجلبک *N. oculata* بدین صورت است که تا آخر دوره ۱۲ روز با افزایش تعداد روز پرورش میزان تولید چربی و زیتوده با افزایش همراه است. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش زمان (روز) دوره پرورش تا ۱۲ روز باعث افزایش عملکرد ریزجلبک *N. oculata* در حذف نیترات و فسفات می‌گردد و تا پایان دوره پرورشی با شیبی مثبت همراه است.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز بابت تامین منابع مالی این پژوهش قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافع قابل گزارش ندارند.

References

- Baharuddin, N., Aziz, N.S., Sohif, H.N., Karim, W.A.A., Al-Obaidi, J.R., Basiran, M., 2016. Marine microalgae flocculation using plant: The case of *Nannochloropsis oculata* and *Moringa oleifera*. *Pakistan Journal of Botany* 48(2), 831-842. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844
- Banerjee, S., Hew, W.E., Khatoon, H., Shariff, M., Yusoff, F.M., 2011. Growth and proximate composition of tropical marine *Chaetoceros calcitrans* and *Nannochloropsis oculata* cultured outdoors and under laboratory conditions. *African Journal of Biotechnology* 10(8), 1375-1383. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2001.01052.x
- Bouterfas, R., Belkoura, M., Dauta, A., 2006. The effects of irradiance and photoperiod on the growth rate of three freshwater green algae isolated from a eutrophic lake. *Limnetica* 25(3), 656-657.
- Cuartero, M., Crespo, G.N.A., Bakker, E., 2015. Tandem electrochemical desalination-potentiometric nitrate sensing for seawater analysis. *Analytical Chemistry* 87(16), 8084-8089. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844
- Daneshvar, E., Antikainen, L., Koutra, E., Kornaros, M., Bhatnagar, A., 2018. Investigation on the feasibility of *Chlorella vulgaris* cultivation in a mixture of pulp and aquaculture effluents: Treatment of wastewater and lipid extraction. *Bioresource Technology* 255, 104-110. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844
- de Alva, M.S., Pabello, V.M.L., Ledesma, M.T.O., Gómez, M.J.C., 2018. Carbon, nitrogen, and phosphorus removal, and lipid production by three saline microalgae grown in synthetic wastewater irradiated with different photon fluxes. *Algal Research* 34, 97-103. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2001.01052.x
- Dourou, M., Tsolcha, O.N., Tekerlekopoulou, A.G., Bokas, D., Aggelis, G., 2018. Fish farm effluents are suitable growth media for *Nannochloropsis gaditana*, a polyunsaturated fatty acid producing microalga. *Engineering in Life Sciences* 18(11), 851-860. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2001.01052.x
- Food and Agriculture Organization, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the Sustainable Development Goals. FAO, Rome, Italy, 210 p.
- Gani, P., Hua, A.K., Sunar, N.M., Matias-Peralta, H.M., Apandi, N., 2021. The influence of photoperiod, light intensity, temperature and salinity on the growth rate and biomass productivity of *Botryococcus* sp. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 646(1), 012006. IOP Publishing.
- Hii, Y.S., Soo, C.L., Chuah, T.S., Mohd-Azmi, A., Abol-Munafi, A.B., 2011. Uptake by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Sustainability Science and Management* 6, 60-68. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844

- Khairy, H., Mutawie, H.S.E.-S., Shaltout, N.A., 2020. Biodiesel production, characterization and biochemical variability by microalga *Nannochloropsis oculata* under stressed culture conditions. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 24(3), 451-462. DOI: 10.1590/0001-3765201393312
- Kumar, S.S., Saramma, A., 2018. Effect of salinity and pH ranges on the growth and biochemical composition of marine microalga *Nannochloropsis salina*. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 11(4), 651-660. DOI: 10.1007/s10499-015-9927-2
- Mesdaghinia, A.R., Nouri, J., Mahvi, A.H., Vaezi, F., Naddafi, K., Ansarizadeh, M., 2010. Efficiency of the wastewater treatment system of a dairy plant and ways to improve it. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 7(4). DOI: 10.1590/0001-3765201393312
- Millán-Oropeza, A., Fernández-Linares, L., 2017. Biomass and lipid production from *Nannochloropsis oculata* growth in raceway ponds operated in sequential batch mode under greenhouse conditions. *Environmental Science and Pollution Research* 24(33), 25618-25626.
- Park, S.H., Blackstone, C., 2010. Further assembly required: Construction and dynamics of the endoplasmic reticulum network. *EMBO Reports* 11(7), 515-521. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844
- Rahardjo, S., Soepardjo, A.H., Djokosetiyo, D., Alamsyah, A.T., 2018. Seaweed utilization for phytoremediation of *Litopenaeus vannamei* shrimp farming waste in recirculation systems (environmentally friendly design of sustainable shrimp culture). In: Sustainable Future for Human Security: *Environment and Resources*, pp. 145-158. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb03302.x
- Raheem, A., Liu, H., Ji, G., Zhao, M., 2019. Gasification of lipid-extracted microalgae biomass promoted by waste eggshell as CaO catalyst. *Algal Research* 42, 101601.
- Rodriguez-Garcia, I., Guil-Guerrero, J.L., 2008. Evaluation of the antioxidant activity of three microalgal species for use as dietary supplements and in the preservation of foods. *Food Chemistry* 108(3), 1023-1026. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb03302.x
- Sánchez-Bayo, A., Morales, V., Rodríguez, R., Vicente, G., Bautista, L.F., 2020. Cultivation of microalgae and cyanobacteria: Effect of operating conditions on growth and biomass composition. *Molecules* 25(12), 2834. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844
- Schagerl, M., Siedler, R., Konopáčová, E., Ali, S.S., 2022. Estimating biomass and vitality of microalgae for monitoring cultures: A roadmap for reliable measurements. *Cells* 11(15), 2455.
- Silva, J.W.A. d., Araujo, G.S., Coelho, A.A. d. C., Bezerra, J.H.C., Lopes, D.N.M., Farias, W.R.L., 2015. Effect of nitrate depletion on lipid accumulation by the marine microalga *Nannochloropsis oculata*. *Boletim do Instituto de Pesca* 41(Special), 811-816. DOI: 10.1007/s10499-015-9927-2
- Tejido-Núñez, Y., Aymerich, E., Sancho, L., Refardt, D., 2019. Treatment of aquaculture effluent with *Chlorella vulgaris* and *Tetrademus obliquus*: The effect of pretreatment on microalgae growth and nutrient removal efficiency. *Ecological Engineering* 136, 1-9. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb 03302.x
- Vazirzadeh, A., Jafarifar, K., Ajdari, A., Chisti, Y., 2022. Removal of nitrate and phosphate from simulated agricultural runoff water by *Chlorella vulgaris*. *Science of The Total Environment* 802, 149988.
- Xu, F., Cai, Z.-L., Cong, W., Ouyang, F., 2004. Growth and fatty acid composition of *Nannochloropsis* sp. grown mixotrophically in fed-batch culture. *Biotechnology Letters* 26(17), 1319-1322. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844