اثرات مزمن آلکیل بنزن سولفونات خطی بر ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata*

چکیده

در این تحقیق به تعیین اثرات مزمن آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS) بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید ریز جلبک *Nannochloropsis oculata* پرداخته‌شده است. نتایج سنجش میزان کلروفیل در ریز جلبک *N.oculata* نشان داد در هر سه دوره‌ی ابتدایی و میانی و انتهایی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت ($P>0/05$)؛ اما با مقایسه‌ی تیمارها با تیمار شاهد در دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی نتایج کاهش در میزان کلروفیل را نشان داد. نتایج سنجش کاروتنوئید نشان داد در هر سه دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی بین میزان کاروتنوئید تیمار اول و تیمار دوم اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید ($P>0/05$). سورفاکتانت‌ها از طریق اختلال در سنتز پروتئین، مانع ساخته‌شدن کلروفیل در جلبک‌ها شده و باعث اختلال در فتوسنتز می‌شوند. احتمالاً علت عدم کاهش معنی‌دار در میزان کاروتنوئید را بتوان به مقدار پایین LAS و خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاروتنوئیدهای ریز جلبک *N. oculata* نسبت داد. ریز جلبک‌ها به تغییرات محیطی ازجمله افزایش غلظت سورفاکتانت‌ها حساسیت زیادی داشته و این تغییرات می‌تواند باعث ایجاد اختلال در میزان کلروفیل و کاروتنوئید و بسیاری از متابولیسم‌های سلولی شود؛ بنابراین ضرورت استفاده از سورفاکتانت‌هایی که دارای سرعت تجزیه‌پذیری بالاتر و ماندگاری کوتاه‌تر در طبیعت هستند، امری مهم و قابل‌توجه به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: تست مزمن، سورفاکتانت‌ها، کاروتنوئید، کلروفیل، *Nannochloropsis oculata*.

محسن مختاریان[۱]

رسول زمانی احمدمحمودی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. گروه شیلات و محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

***مسئول مکاتبات:**

rasoolzamani@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۷۰۲۰۶۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

با توجه به توسعه‌ی فناوری در عصر حاضر، آلودگی‌های بسیار متعدد و متنوعی توسط انسان وارد محیطزیست می‌شود. ازجمله‌ی این آلودگی‌ها فاضلاب‌های شهری و صنعتی هستند که باعث آلوده کردن آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند و درنهایت طیف وسیعی از مواد سمی و غیر سمی را وارد اکوسیستم‌های آبی می‌کنند و در زنجیره غذایی جانوران و موجودات آبزی اختلالاتی را به وجود می‌آورند و سپس با توجه به مصرف این موجودات آبزی توسط انسان، انواعی از بیماری‌ها و اختلالات فیزیولوژیکی در بدن انسان به وجود می‌آید (غلامی و فلاحی، ۱۳۸۷). مصرف گسترده سورفاکتانت‌ها توسط بشر امروزی باعث افزایش چشم‌گیر غلظت این مواد در فاضلاب‌های شهری و صنعتی گردیده است (بابایی و خداپرست، ۱۳۸۹). در حال حاضر عمده‌ترین ترکیب مواد شوینده‌ی آلی آنیونی آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS: Linear Alkyl Benzene Sulphonate) می‌باشد که به دلایل مختلفی ازجمله جلوگیری از پدیده کف کردن و جلوگیری از ماندگاری طولانی و... جایگزین آلکیل بنزن سولفونات‌های شاخه‌ای شده‌اند چراکه سرعت تجزیه‌ی آن‌ها سریع‌تر و شدیدتر می‌باشد (حاجیان نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). این آلاینده‌ها و شوینده‌ها با ورود به اکوسیستم‌های آبی، در غلظت‌های بالا باعث مسمومیت و مرگ‌ومیر بسیاری از ماهی‌ها و جلبک‌ها و بسیاری از موجودات آبزی دیگر می‌شوند (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۴). جلبک‌ها و ریز جلبک‌ها به‌عنوان اولین حلقه‌ی زنجیره‌ی غذایی آب‌ها نیز تحت

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

تأثیر این آلودگی‌ها قرارگرفته و در بسیاری از موارد آسیب‌های جبران‌ناپذیری را متحمل می‌شوند. ریز جلبک‌ها در اکوسیستم‌های دریایی اساس زنجیره‌ی غذایی را تشکیل می‌دهند و در آبزی‌پروری نیز به‌عنوان غذای زنده برای رشد زئوپلانکتون‌ها مانند روتیفر و نرم‌تنان و میگو و همچنین در کارگاه‌های تکثیر لارو ماهیان دریایی مورداستفاده قرار می‌گیرند (Barbosa, 2003). یکی از جنس‌های ریز جلبک‌های موجود در محیط‌زیست دریا *Nannochloropsis* می‌باشد که شش گونه آن شناسایی‌شده است (Fawley and Fawley, 2007). به دلیل یوری-هالین و یوری‌ترمیک بودن گونه‌های موجود در این جنس، می‌توان آن‌ها را در آب‌های شور و لب‌شور و شیرین پرورش داد (Chiu *et al*., 2009). در زمینه تولید سوخت زیستی از این ریز جلبک‌ها نیز مطالعاتی انجام‌شده است (Brown, 2002). ریز جلبک*Nannochloropsis* سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع و محتوی مقادیر بالایی ایکوزوپنتانوئیک اسید (EPA:Eicosapentaenoic acid) می‌باشد (Abu-Rezq *et al*., 1999, Chini-Zitelli *et al*., 1999; Sukenik, 1999; Rocha *et al*., 2003). همچنین به‌عنوان منبع مناسبی برای تأمین رنگ‌دانه‌هایی مانند آستاگزانتین، کانتاگزانتین و... می‌باشد (Rocha *et al*., 2003). ریز جلبک*Nannochloropsis* ازجمله ریز جلبک‌های سبز است که به‌منظور ایجاد شرایط محیطی مطلوب و یا به‌عنوان آب سبز در کارگاه‌های تکثیر لارو ماهیان دریایی و همچنین در پرورش روتیفر به‌عنوان غذای روتیفر مورداستفاده قرار می‌گیرد (Fulks and Main, 1991; Lubzens *et al*., 1995). رنگیزه‌های جلبک ها شامل کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و ... می‌باشد. کلروفیل رنگ‌دانه سبز موجود در گیاهان است که به جذب نور خورشید و تبدیل آن به انرژی کمک می‌کند. کاروتنوئیدها گروه مهمی از رنگیزه‌ها هستند که درون کلروپلاست گیاهان، جلبک‌ها و بعضی باکتری‌ها وجود دارند (سلمانی نژاد، ۱۳۹۴). کاروتنوئیدها علاوه بر اینکه رنگ‌دانه‌های طبیعی تولید می‌کنند، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی نیز می‌باشند. جانوران و انسان توانایی ساخت کاروتنوئیدها را ندارند و برای تأمین کاروتنوئید موردنیازشان، باید آن را از رژیم غذایی به دست آورند. البته بعضی از سخت‌پوستان قادر هستند بتاکاروتن و زیگزانتین را به‌صورت مستقیم به آستاگزانتین تبدیل کنند (قائنی و همکاران، ۱۳۹۱). ریز جلبک *N. oculata* ازلحاظ رده-بندی جزء جلبک‌های یوستیگماتوفیسه می‌باشد (Hibberd, 1981) که این‌گونه شاخص‌ترین گونه در بین گونه‌های جنس *Nannochloropsis* می‌باشد (Fawley and Fawley, 2007). همه‌ی گونه‌ها تک‌سلولی و غیر متحرک هستند چراکه تاژک مشخصی ندارند. علت انتخاب این ریز جلبک اندازه‌ی بسیار کوچک آن (۲-۴ میکرون) و کاربرد بسیار آن در کارگاه‌های تکثیر لارو ماهیان دریایی بود. با توجه به اینکه در داخل کشور تاکنون هیچ مطالعه‌ای در مورد تأثیر سورفاکتانت‌ها بر ریز جلبک‌ها، ازجمله *N. oculata* انجام‌نشده است لذا بررسی اثرات مزمن آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS) بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید ریز جلبک *N. oculata* مهم می‌باشد که در این مطالعه به آن پرداخته‌شده است.

مواد و روش‌ها

برای به دست آوردن ذخیره‌ی اولیه ریز جلبک *N.oculata* جهت انجام آزمایش‌های لازم، پرورش جلبک موردنظر در ارلن مایرهای ۴ لیتری با محیط کشت کانوی (AL-Ansari, 2007) در شوری ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر انجام گردید. کشت‌ها در یک محیط کنترل‌شده در دمای ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ساعت تاریکی پرورش داده شدند (Nichols, 1973) و برای تأمین نور موردنیاز از ۴ عدد لامپ مهتابی در اندازه بزرگ استفاده شد.

آزمایش با ۲ تیمار اصلی و یک تیمار شاهد انجام شد. نمونه‌ی شاهد (کنترل) عاری از هرگونه ماده‌ی سمی بود. برای انجام تست مزمن از ۰/۲ و ۰/۳ میزان (Half maximum effective concentration) EC_{50} به‌دست‌آمده برای آلکیل بنزن سولفونات استفاده شد. در این تحقیق به دلیل اینکه EC_{50} برابر با ۳ میلی‌گرم بر لیتر بود؛ از غلظت‌های ۰/۶ و ۰/۹ میلی‌گرم بر لیتر آلکیل بنزن سولفونات (ساخت شرکت هک) به‌منظور

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

بررسی اثرات بر ریز جلبک *N. oculata* استفاده شد. به‌طورکلی آزمایش با ۳ تیمار و ۳ تکرار در ۹ عدد ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی‌لیتری انجام گردید. مدت‌زمان بررسی اثرات مزمن ۱۴ روز در نظر گرفته شد.

برای تجزیه‌وتحلیل پاسخ رشد ریز جلبک *N. oculata* پس از اضافه سازی غلظت‌های موردنظر، شمارش ریز جلبک به‌وسیله‌ی لام هماسایتومتری و میکروسکوپ نوری انجام گرفت (Martinez and Chakroff, 1975). شمارش ریز جلبک در طول دوره‌ی کشت هرروز در یک ساعت مشخص انجام گرفت.

به‌منظور سنجش کلروفیل و کاروتنوئید نمونه‌ها، نمونه‌برداری در سه دوره ابتدایی، میانی و انتهایی انجام گرفت که هرکدام از نمونه‌برداری‌ها بافاصله‌ی ۳ روز انجام گرفت. بدین منظور از درون ارلن‌های محتوی جلبک موردنظر مقدار ۱۰ میلی‌لیتر نمونه به‌وسیله‌ی پیپت برداشته‌شده و نمونه با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر شد و پس از گذاشتن کاغذ صافی‌درون لوله فالکون، به میزان ۱۰ میلی‌لیتر استون اضافه کرده و با همزن شیشه‌ای به میزان کافی کوبیده شد و سپس به مدت ۲ الی ۵ دقیقه عملیات تکان دادن نمونه‌ها انجام می‌شد. در ادامه لوله‌های فالکون در فریزر و محیط تاریک به مدت ۲ ساعت نگهداری شده و سپس ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ و درنهایت بعد از انجام تمامی این مراحل اندازه‌گیری کلروفیل به‌وسیله‌ی دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR 3900 ساخت شرکت هک، کشور آلمان) انجام شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید، میزان جذب به‌وسیله‌ی دستگاه اسپکتروفتومتر در چهار طول‌موج ۶۳۰، ۶۴۷، ۶۶۴ و ۷۵۰ نانومتر برای کلروفیل قرائت گردید و سپس با استفاده از رابطه زیر، میزان کلروفیل اندازه‌گیری شد (Jeffrey and Hamphrey, 1975).

Chlorophyll a = (11.85*(E664-E750)-1.54*(E647-E750)-0.08(E630-E750))*Ve/L*Vf

در این رابطه، L بیانگر خط سیرکوت به سانتیمتر، Vf بیانگر حجم آب فیلتر شده به لیتر و Ve برابر با حجم عصاره به میلی‌لیتر می‌باشد. تمامی غلظت‌ها در واحد میلی‌گرم در مترمکعب است.

برای اندازه‌گیری کاروتنوئید میزان جذب در دو طول‌موج ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر قرائت شد و سپس با استفاده از فرمول زیر میزان کاروتنوئید محاسبه گردید (Strickland and Parsons 1968).

Total carotenoid = 4.0 (E480-E750)*Ve/L*Vf if predominantly chlorophytes or cyanobacteria

L= خط سیرکوت به سانتیمتر

Vf= حجم آب فیلتر شده به لیتر

Ve= حجم عصاره به میلی‌لیتر

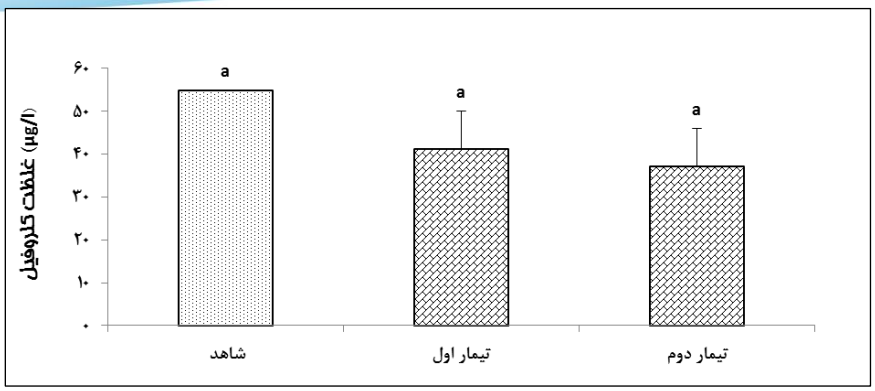
غلظت‌ها در واحد میلی‌گرم در مترمکعب است.

جهت انجام آنالیزهای آماری از نرم‌افزارهای اکسل ۲۰۱۳ و SPSS ویرایش شانزدهم استفاده گردید. از آزمون‌های t test و one sample برای مقایسه بین تیمارها و همچنین تیمارها با شاهد استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده گردید.

نتایج

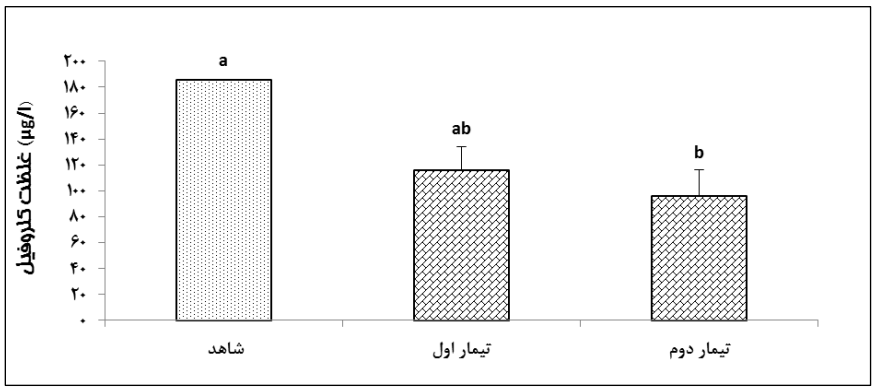
در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نتایج اثرات آلکیل بنزن سولفونات خطی بر میزان کلروفیل در دوره‌های ابتدایی و میانی و انتهایی نمایش داده‌شده است. اطلاعات به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که میزان کلروفیل اندازه‌گیری شده در تیمارهای هر دوره (ابتدایی، میانی و انتهایی) نسبت به میزان کلروفیل اندازه‌گیری شده در نمونه شاهد در همان دوره، کمتر بوده است.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]



شکل ۱: مقایسه محتوای کلروفیل (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره ابتدایی.

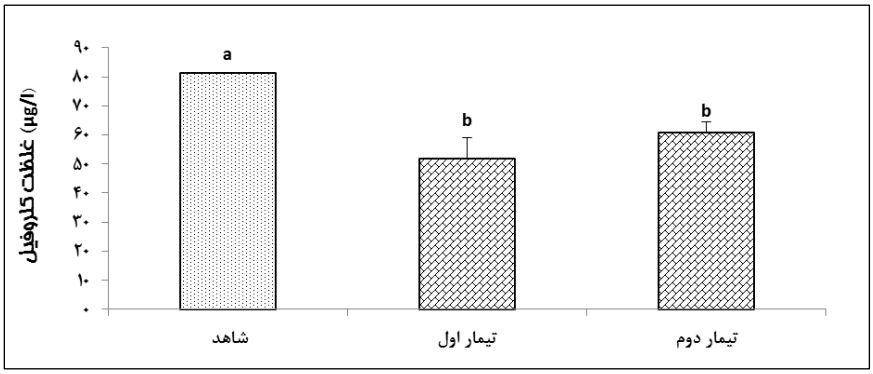
در دوره ابتدایی اختلاف معنی‌داری در میزان کلروفیل تیمار یک و دو (۰/۶ و ۰/۹ پی‌پی‌ام آلکیل بنزن سولفونات خطی) مشاهده نگردید (P>۰/۰۵)، همچنین نتایج آزمون one sample نشان داد بین میزان کلروفیل تیمار اول و دوم در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵) (شکل ۱).



شکل ۲: مقایسه محتوای کلروفیل (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره میانی.

در دوره میانی اختلاف معنی‌داری در میزان کلروفیل تیمار یک و دو مشاهده نگردید (t test, P>۰/۰۵). همچنین نتایج آزمون one sample نشان داد بین میزان کلروفیل تیمار اول در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵)، ولی بین میزان کلروفیل تیمار دوم و گروه شاهد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده گردید (P<۰/۰۵) (شکل ۲).

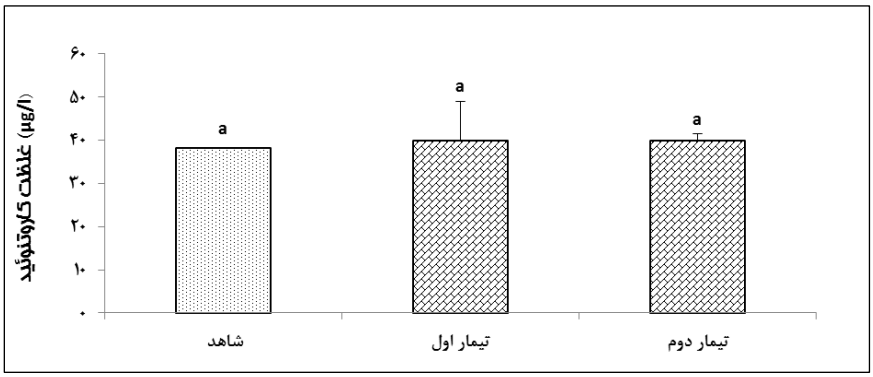
[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]



شکل ۳: مقایسه محتوای کلروفیل (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره انتهایی.

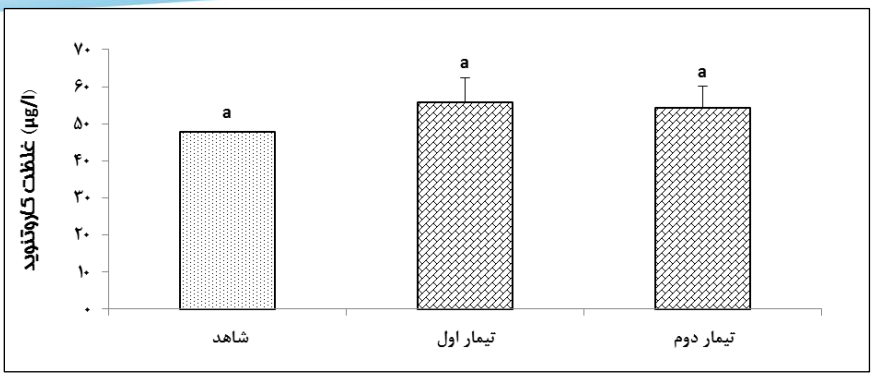
با توجه به شکل ۳ در دوره انتهایی اختلاف معنی‌داری در میزان کلروفیل تیمار یک و دو مشاهده نگردید (t test, P>۰/۰۵). نتایج آزمون one sample نشان داد بین میزان کلروفیل تیمار اول در مقایسه با شاهد و همچنین بین میزان کلروفیل تیمار دوم و گروه شاهد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد (P <۰/۰۵).

نتایج آزمایش‌های حاضر که بر روی تأثیر آلکیل بنزن سولفونات خطی بر میزان کاروتنوئید ریز جلبک *N.oculata* در سه دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی انجام گردید، در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نمایش داده‌شده است.

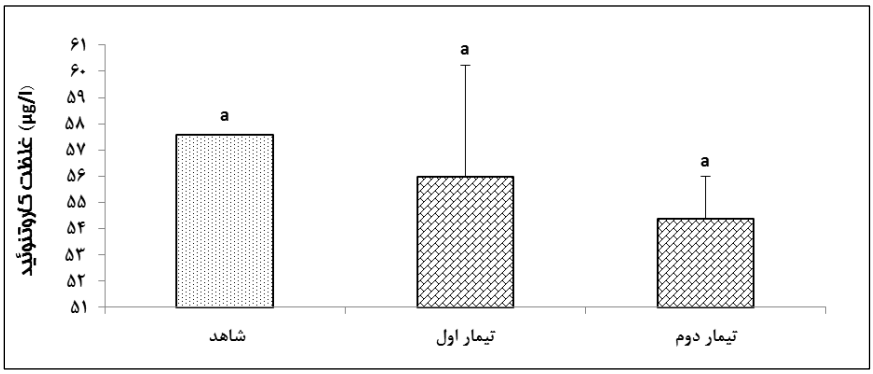


شکل ٤: مقایسه محتوای کاروتنوئید (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره ابتدایی.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]



شکل ۵: مقایسه محتوای کاروتنوئید (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره میانی.



شکل ٦: مقایسه محتوای کاروتنوئید (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه شاهد ریز جلبک سبز دریایی *Nannochloropsis oculata* با تیمارها در دوره انتهایی.

در هر سه دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی در میزان کاروتنوئید تیمار اول و تیمار دوم اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نگردید (tset,P >۰/۰۵ t). همچنین با استفاده از آزمون one sample مشخص گردید که در هر سه دوره‌ی ابتدایی، میانی و انتهایی در میزان کاروتنوئید تیمار اول و گروه شاهد و همچنین میزان کاروتنوئید تیمار دوم در مقایسه با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P >۰/۰۵) (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاضر نشان می‌دهد باگذشت زمان، تأثیر آلکیل بنزن سولفونات‌های خطی بر میزان کلروفیل ریز جلبک *N. oculata* بیشتر شده و میزان کلروفیل ریز جلبک موردمطالعه در مقایسه با تیمار شاهد روند کاهشی پیدا می‌کند. این کاهش میزان کلروفیل منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا احتمالاً در شرایط تنش، تغییرات در ترکیب کلروفیل جلبک یک پدیده شایع می‌باشد، همان‌طور که در مطالعات گذشته اشاره‌شده است مواد شوینده از طریق اختلال در سنتز پروتئین، مانع سنتز کلروفیل در ریز جلبک Scenedesmus quadricauda می‌شوند (Chawla *et al*., 1987). همچنین مواد شوینده می‌توانند بر ترکیب رنگ‌دانه‌ها، تخریب مولکول‌های رنگ‌دانه‌ها و مهار بیوسنتز آن‌ها، تأثیرگذار باشند (Azizullah *et al*., 2011). برخی از گونه‌های *Dunaliell* در حضور سورفاکتانت‌ها و یا دیگر آلاینده‌ها گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپر

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

اکسید(O_2) ، اکسیژن مجزا یا منفرد ($1O_2$) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تولید می‌کنند (Haghjoua *et al*., 2009) که به‌طورجدی از طریق آسیب اکسیداتیو به لیپید غشاء، پروتئین‌ها، رنگ‌دانه‌ها و اسیدهای نوکلئیک، متابولیسم طبیعی سلول را مختل می‌کند (Posmyk *et al*., 2009). همچنین تأثیرات آلاینده‌های دیگر بر ریز جلبک‌ها نیز تا حدودی بامطالعه‌ی حاضر همخوانی دارد.

نتایج سنجش کاروتنوئید نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها و گروه شاهد وجود ندارد. احتمالاً علت این عدم کاهش معنی‌دار در میزان کاروتنوئید را بتوان به مقدار پایین غلظت آلکیل بنزن سولفونات خطی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاروتنوئیدهای ریز جلبک *N.oculata* نسبت داد. به‌طورکلی، مطالعات انجام‌شده اثرات و نتایج متنوع و متفاوتی در سمیت مواد شوینده و سورفاکتانت‌های مختلف بر ارگانیسم‌های گوناگون، نشان می‌دهد. به‌عنوان‌مثال طی مطالعه‌ای که Liu و Wu (۲۰۱۸) بر سمیت (LAS) بر گیاه غوطه‌ور در آب *Chara vulgaris* L. کارکردند، اذعان داشتند که افزایش میزان کاروتنوئید در *C. vulgaris* ممکن است بخشی از استراتژی گیاهان برای مقاومت در برابر اثرات سمی رادیکال‌های آزاد تولیدشده تحت استرسLAS باشد. نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد با افزایش مدت‌زمان درم عرض قرارگیری، تحرک، گرانشی، فشرده‌سازی سلول و فتوسنتز، علائمی از بازیابی و ترمیم را نشان می‌دهند (اگرچه الگوی بازیابی برای پارامترهای مختلف متفاوت بود؛ به‌عنوان‌مثال، روند بازیابی در تحرک پس از ۶ ساعت مشاهده شد، درحالی‌که روند بازیابی و بهبود در فتوسنتز پس از ۷۲ ساعت مشاهده شد). این پدیده را می‌توان باقابلیت انطباق و سازش Euglena با افزایش مدت‌زمان قرار گرفتن در شرایط تنش مرتبط دانست، همچنان این پدیده در برخی از مطالعات قبلی نیز گزارش‌شده است (Mikolajczyk and Diehn, 1978; Danilov and Ekelund, 2002).

برخی از مطالعات نشان داده‌اند هنگامی‌که ریز جلبک‌ها در معرض آلاینده‌هایی دیگر ازجمله فلزات سنگین قرار می‌گیرند میزان کلروفیل روند رو به افزایشی را نشان می‌دهد. طی مطالعه‌ی الهوردی و همکاران که در سال ۱۳۹۰ در رابطه با استفاده از محتوای کلروفیل جلبک‌های *Ulva intestinalis* و *Sargassum angustifolium* به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزی انجام دادند، مشخص گردید که همبستگی بالایی بین غلظت نیکل و غلظت کلروفیل a و بین غلظت سرب و غلظت کلروفیل‌های a و b در جلبک *U. intestinalis* وجود دارد. این امر بدین معناست که با افزایش غلظت نیکل و سرب در جلبک *U. intestinalis*، مقدار کلروفیل‌های a و b نیز افزایش می‌یابد که این افزایش امری غیرطبیعی و دور از انتظار است، زیرا مقادیر بالای این دو عنصر اثرات منفی زیادی به دنبال دارد. احتمالاً بتوان وجود این همبستگی مثبت و بالا را به مقاومت بالای این جلبک در برابر تجمع غلظت‌های بالای فلزات سنگین نسبت داد (الهوردی و همکاران ۱۳۹۰). نتایج پژوهش Muwafq و Bernd (۲۰۰۶) نشان داد افزایش غلظت عنصر روی تا ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر و افزایش غلظت منگنز تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، به‌صورت معنی‌داری باعث بهبود ویژگی‌های زیستی مانند رشد ویژه، تراکم جمعیت، کلروفیل *a* و مقدار کل کاروتنوئید در جلبک *S. quadricauda* می‌گردد (Muwafq and Bernd, 2006).

از مطالعات انجام‌شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سورفاکتانت‌ها اثرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی دارد. بااین‌حال، نتایج با گونه‌های جلبکی منفرد نمی‌تواند به جلبک‌های دیگر در محیط‌های آبزی تعمیم داده شود، همان‌طور که مطالعات قبلی نیز به این نتیجه رسیدند که مسمومیت سورفاکتانت‌ها برای همه‌ی جلبک‌ها به یک مقدار نیست (حساسیت دو جلبک مختلف، به یک ماده‌ی سمی متفاوت است)، بنابراین نیاز به مطالعات و بررسی‌های بیشتری در این زمینه است. با توجه به ساختار میکروسکوپی ریز جلبک‌ها و همچنین با توجه به اینکه ریز جلبک‌ها اولین حلقه‌ی زنجیره‌ی غذایی آب‌ها را تشکیل می‌دهند، بنابراین به تغییرات محیطی حساسیت زیادی داشته و این تغییرات می‌تواند باعث ایجاد اختلال در رشد، میزان کلروفیل و کاروتنوئید سلول شود. از طرف دیگر با توجه به افزایش مقدار شوینده‌ها در رودخانه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها، ضرورت استفاده از شوینده‌هایی که دارای سرعت تجزیه‌پذیری بالاتر و ماندگاری کوتاه‌تر در طبیعت هستند، امری مهم و قابل‌توجه به نظر می‌رسد.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد انجام‌شده است.

منابع

اله وردی، م.، سهراب، ع. د. ا.، صفاهیه، ع. ر. و سواری، ا.، ۱۳۹۰. استفاده از محتوای کلروفیل جلبک‌های *Ulva intestinalis* و *Sargassum angustifolium* به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزی. مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۱۰، شماره ۴، صفحات ۶۶-۵۶.

بابائی، ه. و خداپرست، ح.، ۱۳۸۹. بررسی و تعیین غلظت آلودگی شوینده آلکیل بنزن سولفونات خطی در آب رودخانه سفیدرود (استان گیلان). مجله علوم آبزیان، سال اول، شماره سوم، صفحات ۴۵ – ۳۵.

حاجبان نژاد، م.، گودرزی، ب.، طاهری، ا. و وحید دستجردی، م.، ۱۳۹۰. بررسی غلظت الکیل بنزن سولفونات خطی در رودخانه زایند هرود و چاه‌های حاشیه آن در سال ۱۳۸۶. مجله تحقیقات نظام سلامت، سال هفتم، شماره ششم، ویژه‌نامه بهداشت، صفحات ۸-۱.

سلمانی نژاد، م.، ۱۳۹٤. تأثیر محیط کشت و شدت نور بر رشد و کاروتنوئیدهای جلبک *Dunaliella salina* دریاچه ارومیه. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، شماره ۴، جلد ۲۸، صفحات ۷۸۲-۷۷۱.

شاهسونی، د.، مهری، م. و بیجارچی، ا.، ۱۳۸٤. بررسی تأثیر آلکیل بنزن سولفونات خطی (LABS) بر برخی از پارامترهای بیوشیمیایی سرم خون ماهی قرمز (*Carassius auratus*)، مجله علمی شیلات ایران، سال چهاردهم، (شماره ۲)، صفحات ۵۷-۵۱.

غلامی، م. و فلاحی، م.، ۱۳۸۷. بررسی میزان انتقال انفرادی و مخلوط فلزات سنگین مس و کادمیوم باشوینده Linear Alkyl Solfonate در زنجیره غذایی بچه ماهی سفید یک گرمی (*Rutilus frisii kutum*)، مجله دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۴، سال دوم، صفحات ۲۱-۱۵.

قائنی، م.، سید هشترودی، م.، قادری، ف. و رومیانی، ل.، ۱۳۹۱. بررسی کلروفیل a و کاروتنوئیدها در ریز جلبک اسپیرولینا، مجله علمی پژوهشی زیست‌شناسی دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال سوم، شماره چهاردهم، صفحات ۷۳-۶۷.

کیانی، س.، فرهادیان، ا. و محبوبی صوفیانی، ن.، ۱۳۹۳. تأثیر فلزهای سنگین (کادمیوم، مس، سرب، نیکل) بر کلروفیل a و زیست‌توده جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda*. علوم و فنون شیلات ۳: صفحات ۷۸-۶۷.

Abu-Rezq, T. S., Al-Musallam, L., Al-Shimmari, J. and Dias, P., 1999. Optimum production conditions for different high-quality marine algae. Hydrobiologia, 40(3): 97–107.

Azizullah, A., Richter, P. and Häder, D.P. 2011. Toxicity assessment of a common laundry detergent using the freshwater flagellate *Euglena gracilis*. Chemosphere, 84: 1392–1400.

Barbosa, M. J. G. V., 2003. Microalgal photobioreactors: scale-up and optimisation. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, Netherlands.

Baumann, H. A., Morrison, L. and Stengel, D. B., 2009. Metal accumulation and toxicity measured by PAM-Chlorophyll fluorescence in seven species of marine macroalgae. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72: 1063–1075.

Brown, M. R., 2002. Nutritional value of microalgae for aquculture. Quintana Roo, México.

Chawla, G., Viswanathan, P. N. and Devi, S., 1987. Biochemical studies on the toxicity of linear alkylbenzene sulphonate to *Scenedesmus quadricauda* in culture. Environmental and Experimental Botany, 27: 311–319.

Chini-Zitelli, G., Lavista, F., Bastianini, A., Rodolfo, L., Vincenzini, M. and Tredici, M.R, 1999. Production of eicosapentaenoic acid by *Nannochloropsis* sp. cultures in outdoor tubular photobioreactors. Journal of Biotechnology, 70: 299-312.

Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Tsai, M. T., Ong, S. C., Chen, C. H. and Lin, C. S., 2009. Lipid accumulation and CO2 utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO2 aeration. Bioresource Technology, 100: 833- 838.

Danilov, R. A. and Ekelund, N. G. A., 2002. Effects of short-term and long-term aluminium stress on photosynthesis, respiration, and reproductive capacity in a unicellular green flagellate (*Euglena gracilis*). Acta Hydrochim. Hydrobiologia, 30: 190–196.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

Fawley, K. P. and Fawley, M. W., 2007. Observations on the diversity and ecology of Freshwater *Nannochloropsis* (Eustigmatophyceae), with descriptions of new taxa. Protist, 158: 325-336.

Fulks, W. and Main, K. L, 1991. Rotifer and Microalgae Culture Systems. Proceedings of a U.S.-Asia Workshop. Honolulu, Hawaii. 28-31, 364 pp.

Haghjoua, M. M., Shariatia, M. and Smirnoff, N., 2009. The effect of acute high light and low temperature stresses on the ascorbate-glutathione cycle and superoxide dismutase activity in two *Dunaliella salina* strains. Physiologia Plantarum, 135: 272–280.

Hibberd, D. J., 1981. Notes on the taxonomy and nomenclature of the algal classes Eustigmatophyceae and Tribophyceae (synonym Xanthophyceae). Journal of the Linnean Society of London, Botany. 82: 93-119.

Jeffrey, S. W. and Hamphrey, G. F., 1975. New Spectrophotometric Equations for determining chlorophylls a, b, c_1 and c_2 in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton. Biochemie und Physiologie der Pflanze, 167: 191-194.

Küpper, H., Küpper, F. and Spiller, M., 1996. Environmental relevance of heavy metals substituted chlorophylls using the example of water plants. Journal of Experimental Botany, 47: 259-266.

Liu N. and Wu Z., 2018. Toxic effects of linear alkylbenzene sulfonate on *Chara vulgaris* L. Environmental Science and Pollution Research, 25: 4934–4941.

Lubzens, E., Gibson, O., Zmora, O. and Sukenik, A., 1995. Potential advantages of frozen algae (*Nannochloropsis* sp.) for rotifer (*Brachionus plicatilis) culture.* Aquaculture, 133: 295-309.

Martinez, M. P. and Chakroff, J. B. P., 1975. Direct phytoplankton counting technique using the hemacytometer. Philippine Agriculture Science, 59: 43-50.

Mikolajczyk, E. and Diehn, B., 1978. Morphological alteration in *Euglena gracilis* induced by treatment with CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) and Triton X-100: correlations with effects on photophobic behavioral responses. The Journal of Protozoology, 25: 461–470.

Muwafq, M. and Bernd, M., 2006. Toxicity of heavy metals on *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) deBrébisson in Batch Cultures (7 pp). Environmental Science and Pollution Research, 13: 98-104.

Nichols, H. W., 1973. Growth media – freshwater. In: Stein, JR. (Editor), Handbook of Phycological Methods– Culture Methods and Growth Measurements Cambridge University Press Cambridge. 7-24.

Posmyk, M. M., Kontek, R. and Janas, K. M., 2009. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72: 596–602.

Rocha, J. M. S., Garcia, J. E. C. and Henriques, M. H. F., 2003. Growth aspects of the marine microalga *Nannochloropsis gaditana*. Biomolecular Engineering, 20: 237-242.

Strickland, H. and Parsons, P., 1968. Spectrophotometric Determination of chlorophylls and total carotenoids. Pp. 185-206. In: A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Ottawa.

Sukenik, A., 1999. Production of eicosapentaenoic acid by the marine eustigmatophyte *Nannochloropsis*. In Chemicals from microalgae, (Cohen, Z., ed.). pp. 41-56. London, Taylor & Francis Ltd.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-06]