مقاله پژوهشی

اثرات استرس شوری بر روی مقادیر لیپیدی تام، پروفایل اسیدهای چرب، امگا-۳، امگا-۶ و امگا-۹، در جلبک قهوه‌ای سارگاسوم بوویانوم سواحل بوشهر

مریم اکبری[۱]، رویا رضوی‌زاده[۱]، حمید سبحانیان[۱]، غلامرضا بخشی خانیکی[۱] و غلامحسین محبی[۲]*

[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

[۲]مرکز تحقیقات زیست‌فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۴/۰۴، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۵/۱۴)

چکیده

برخی جلبک‌ها منابع غنی لیپیدها و اسیدهای چرب مفید مختلفی هستند. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی برای ارزیابی اثر تیمارهای مختلف شوری بر روی کمیت و کیفیت این لیپیدها در جلبک‌ها انجام شده است. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلرید بر میزان لیپید تام، پروفایل اسیدهای چرب و مقادیر امگا ۳، ۶ و ۹ در جلبک سارگاسوم بوویانوم انجام شد. نمونه جلبک، از سواحل استان بوشهر جمع‌آوری و طی ۳۰ روز، در سه گروه کنترل و تیمارهای ۱ و ۲ گرم بر لیتر سدیم کلرید در یک آکواریوم نگهداری گردید. سپس استخراج لیپید آنها، با استفاده از روش بلای و دایر (۱۹۵۹) انجام گردید. فاکتورهای عدد اسیدی (AV)، عدد پراکسید (PV) و ضریب شکست (RI) لیپیدها، به‌ترتیب براساس روش‌های استاندارد ایزو به شماره‌های ۶۶۰ (۲۰۰۹)، ۳۹۶۰ (۲۰۱۷) و ۶۳۲۰ (۲۰۱۷) انجام شدند. متیل استر نمودن نمونه‌ها براساس روش استاندارد AOCS –Ce–۲-۶۶، و آنالیز اسیدهای چرب، توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی، مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله (GC-FID)، انجام گردیدند. میزان چربی تیمار یک گرم بر لیتر نمک نسبت به گروه کنترل افزایش و سپس روند کاهشی را در تیمار دو گرم بر لیتر نشان داد؛ هر چند این اختلاف معنی¬دار نبود. آنالیز GC-FID، تعداد ۱۷ نوع اسید چرب را در هر یک از گروه‌ها نشان داد. در بین اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، پالمیتیک اسید و سرونیک اسید، به‌ترتیب بیشترین میزان را در هر سه گروه نشان دادند. افزایش ملایم شوری موجب تغییر در مقادیر اسیدهای چرب امگا گردید. یافته‌های این مطالعه را می‌توان برای دستیابی به مکانیسم‌ها و شرایط هدفمند تنش شوری که موجب افزایش اسیدهای چرب خاص می‌شود، گسترش داد.

واژگان کلیدی: اسیدچرب، تنش شوری، سارگاسوم بوویانوم، لیپید، ماکروجلبک

مقدمه

لیپیدها به‌عنوان یکی از ماکروملکول‌های مهم ساختاری غشای سلولی و ذخیره انرژی بوده و برای عملکرد سلولی حیاتی هستند (Xu, 1994; Rismani and Shariati, 2017). برخی جلبک‌ها منابع غنی لیپیدها و اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA)، نظیر آلفا- لینولنیک اسید (ALA)، ایکوزاپنتانوئیک (EPA)، دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA)، آراشیدونیک اسید (ω_6) و گاما- لینولنیک اسید (ω_6) هستند (Powell and Hill, 2009). چندی است که مطالعات متعددی با هدف ایجاد شرایط بهینه بر روی کمیت و کیفیت این

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Mohebbihsn @ yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

لیپیدهای جلبکی و محتوای اسیدهای چرب آنها انجام می‌پذیرد (Yongmanitchai and Ward, 1991; Boswell *et al.*, 1996). امروزه، استفاده از EPA و DHA، به‌دلیل اثرات مفید آنها در سلامت انسان از جمله کاهندگی کلسترول خون، پیشگیری از بیماری‌های قلبی- عروقی، چاقی و افسردگی مورد توجه فراوانی قرار گرفته است (Buckley and Howe, 2010). با توجه به ناکافی‌بودن منبع اصلی امگا-۳، یعنی ماهی‌ها و لزوم معرفی منابع جدیدتر این اسیدهای چرب (Fontani *et al.*, 2005)، جلبک‌ها به‌عنوان منابع غنی امگا-۳ پیشنهاد گردیده‌اند (Rismani and Shariati, 2017). جلبک‌ها نسبت به ماهی‌ها، می‌توانند منابع قابل اعتمادتری جهت تأمین EPA و DHA باشند چرا که دارای آلودگی بسیار ناچیزی به فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها هستند (Gill and Valivety, 1997)؛ هر چند، منشاء اسیدهای چرب امگا- ۳ روغن ماهی نیز عمدتاً از ریزجلبک‌های مورد استفاده آنها است (Buckley and Howe, 2010).

جلبک‌های جنس سارگاسوم، اوکروفیتا (Ochrophyta)، به‌طور گسترده‌ای از عرض‌های جغرافیایی معتدل تا گرمسیری اقیانوس‌های جهان توزیع شده‌اند و نسبت به سایر جلبک‌ها، فعالانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Ye *et al.*, 2009). در دهه‌های گذشته، توجه محققان به برخی خصوصیات نوتریسیتیکال (Khalifeh *et al.*, 2021) و فعالیت‌های مختلف بیولوژیکی چون خواص آنتی‌اکسیدانی (Hwang *et al.*, 2010)، ضدالتهابی (Yang *et al.*, 2013)، تحریک‌کنندگی سیستم ایمنی (Zhang *et al.*, 2012)، ضدقارچی (Kim *et al.*, 2007)، فیبرینولیتیک (Wu *et al.*, 2009)، ضدباکتریایی (Arunkumar *et al.*, 2005)، ضدویروسی (Plouguerne *et al.*, 2013) و ضدسرطانی (Ayyad *et al.*, 2011) گونه‌های خاصی از این جلبک‌ها معطوف گشته‌اند. محتوای لیپیدی و اسیدهای چرب برخی گونه‌های سارگاسوم برای ارزیابی ویژگی‌های تغذیه‌ای و دارویی آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Nomura *et al.*, 2013; Paiva *et al.*, 2014). موفقیت جلبک‌ها در تولید بیودیزل به‌دلیل سرعت رشد سریع، تجمع بالای لیپید درون سلولی و کمک به انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا چشم‌های امید در این حوزه را نیز به خود دوخته است (Jin *et al.*, 2011; Kumar and Sharma, 2014).

جلبک‌ها جهت فتوسنتز و رشد خود به شرایط ساده‌ای چون نور، آب، دی‌اکسید کربن و برخی مواد معدنی نیازمند هستند. آنها بسته به گونه، شرایط و وضعیت فیزیولوژیکی کشت، می‌توانند به سرعت مقادیر زیادی لیپیدها، کربوهیدرات-ها، پروتئین‌ها و پیگمان‌هایی با ترکیبات و غلظت‌های مختلف را تولید نمایند (Sanchez *et al.*, 2008). براساس برخی مطالعات، شرایطی چون تنش شوری، فقر مواد مغذی، تابش و دمای بالا، محتویات لیپیدی و ترکیبات اسیدهای چرب در جلبک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Xu, 1994; Rao *et al.*, 2007). تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌هایی است که جلبک‌ها آن را متحمل می‌شوند (Rismani and Shariati, 2017)؛ هر چند، بیشتر مطالعات اثرات شوری بر تولید و ترکیب لیپید، عمدتاً بر روی تعداد معدودی از ریزجلبک‌ها، آن هم بر گونه‌های معتدل محدود شده‌اند (Xu and Beardall, 1997). به‌طورکلی، تجمع لیپید زمانی به حداکثر میزان خود می‌رسد که سلول‌های جلبک تحت استرس قرار گیرند و سلول‌ها از تقسیم فعال به سمت ذخیره انرژی تمایل پیدا نمایند. توانایی سلول‌ها برای بقاء و شکوفایی در محیط شور تحت تأثیر فشار اسمزی، توجه زیادی را به خود جلب نموده‌است (Kirrolia *et al.*, 2011). سلول‌ها در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری، استراتژی‌های تطبیقی زیادی را ایجاد می‌نمایند. سلول‌ها در برابر این تنش‌ها، خود را با مکانیسم‌های مختلفی از جمله تغییرات در الگوی مورفولوژیکی و رشدی و نیز فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سازگار می‌کنند (Kirrolia *et al.*, 2011; Pancha *et al.*, 2015).

براساس مطالعات پیشین، افزایش منطقی سطح سدیم کلرید در محیط پرورش جلبک، موجب افزایش محتوای لیپیدی (Ben-Amotz *et al.*, 1985) و افزایش اسیدهای چرب اشباع و تک غیراشباع گردیده است (Xu and Beardall, 1997). از طرفی، نشان داده شده است که استرس اسموتیک ناشی از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

نمک، مسئول استرس اکسیداتیو ایجادشده از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است که منجر به تخریب ماکرومولکول‌های سلولی نیز می‌گردد (Chokshi *et al.*, 2015). استرس اکسیداتیو، واسطه‌ای برای تجمع چربی در برخی جلبک‌ها است (Yilancioglu *et al.*, 2014).

تجمع بالای چربی در جلبک‌ها از نظر تغذیه‌ای و تولید سوخت زیستی، اهمیت اساسی دارد. به‌نظر می‌رسد که اغلب بین سرعت رشد و محتوای بالای لیپیدی تناقض وجود دارد. انباشته‌شدن لیپید، وسیله‌ای برای ذخیره انرژی در شکل شیمیایی در شرایط نامساعد است درحالی‌که در شرایط بهینه، متابولیسم جلبک‌ها به سمت تکثیر و رشد است (Chtourou *et al.*, 2015). مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلرید بر میزان لیپید تام، پروفایل اسیدهای چرب و مقادیر امگاهای ۳، ۶ و ۹ در جلبک سارگاسوم بوویانوم انجام شد. یافته‌های این مطالعه را می‌توان برای شناخت مکانیسم‌های خاص در شرایط تنش شوری با هدف افزایش اسیدهای چرب خاص و مورد نظر، گسترش داد.

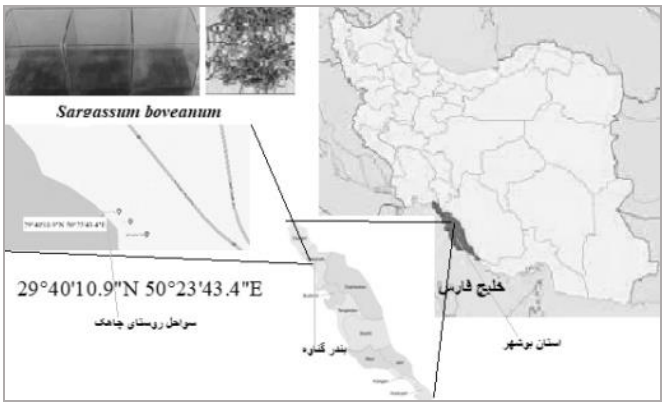
مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی: مواد شیمیایی وحلال‌های مورد استفاده در این مطالعه از شرکت‌های مرک (Merck) و استانداردهای پروفایل اسیدهای چرب از شرکت سیگمای (Sigma) آلمان، تهیه گردیدند.

نمونه‌گیری و آماده‌سازی نمونه: نمونه جلبک سارگاسوم بوویانوم، از فاصله جزر و مدی سواحل روستای چاهک شهرستان گناوه (شکل ۱)، بدلیل تمرکز این زیست‌مندان دریایی در این منطقه در سه نوبت در زمستان سال ۱۴۰۰ در سه نمونه دو کیلوگرمی و در مجموع شش کیلوگرم، جمع‌آوری گردید. پس از شناسایی جلبک توسط پژوهشگران پژوهشکده زیست‌فناوری خلیج‌فارس دانشگاه علوم پزشکی بوشهر و جداسازی اولیه عوامل اضافی از جلبک و شستشوی اولیه با آب دریا به آزمایشگاه منتقل گردیدند. جلبک‌های جمع‌آوری شده پس از شستشوی مجدد با آب دریا و جداسازی گل‌ولای و اپی‌فیت‌های متصل به آنها، با آب تمیز شستشو داده شدند. جهت نگهداری جلبک در شرایط آزمون، یک آکواریوم رو باز شیشه‌ای با ابعاد طول یک متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر، طراحی و به سه قسمت مساوی تقسیم گردیدند و در یک فضای آزاد قرار داده شد. هر قسمت آکواریوم حاوی ۲۰۰ گرم جلبک سالم و تمیز از کل جلبک و ۱۰ لیترآب دریا و بخش اول شامل نمونه کنترل (بدون افزودن سدیم کلرید)، بخش دوم (یک گرم در لیتر سدیم کلرید) و بخش سوم (دو گرم در لیتر سدیم کلرید) بودند. در طی مدت یک‌ماه نگهداری، دمای آکواریوم به‌طور روزانه در سه مرحله (۶ صبح، ۱۲ ظهر و ۲۰ شب) اندازه‌گیری شدند. هر هفته یک بار آب آکواریوم تعویض و به بخش‌های دوم و سوم سدیم کلرید افزوده می‌شد. پس از طی دوره، هر گروه توزین و سپس در دمای محیط درون سایه به‌مدت چهار روز خشک شدند؛ به‌منظور هوادهی بهتر، جلبک‌ها هر شش ساعت زیر و رو شدند. هر یک از نمونه‌های جلبک خشک، توسط آسیاب برقی به‌صورت پودر درآمدند و در ظرف درب‌دار بدون منفذ تا زمان آزمون در دمای ۴°C نگهداری گردیدند. بخشی از نمونه اولیه نیز قبلاً جهت استخراج چربی تام و آنالیز اسیدهای چرب در دمای ۳۷°C خشک گردیدند و به‌صورت پودر در آمدند و همانند نمونه‌های تیمار، جهت آنالیز آماده شدند (Khalifeh *et al.*, 2021).

استخراج و تعیین درصد لیپید: استخراج لیپید هر یک از نمونه‌های جلبک سارگاسوم بوویانوم، با استفاده از روش بلای و دایر (Bligh and Dyer) انجام شد (Bligh and Dyer, 1959). به‌طورخلاصه، ۱۰ میلی‌لیتر حلال ان- هگزان، به یک گرم از هر نمونه جلبک آسیاب‌شده افزوده شد. پس از قرار دادن در روتاتور با دور ۱۰۰ rpm برای مدت زمان ۷۲ ساعت، محلول رویی جمع‌آوری گردید. پس از تبخیر کامل حلال توسط روتاری، میزان چربی کل (درصد)، از نسبت وزن چربی به‌دست آمده به وزن نمونه اولیه با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه: سواحل جزر و مدی گناوه- بوشهر. تیمارهای مختلف جلبک قهوه ای سارگاسوم بوویانوم درون آکواریوم روباز

$$\text{درصد روغن}(\%) = \frac{\text{وزن روغن استخراجی}}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

رابطه (۱)

عدد اسیدی (AV): عدد اسیدی، مقدار پتاسیم هیدروکسید لازم (برحسب میلی‌گرم)، جهت خنثی‌نمودن اسیدهای چرب آزاد یک میلی‌گرم چربی است. جهت تعیین این فاکتور، از روش استاندارد ایزو شماره ۶۶۰ (۲۰۰۹) استفاده شد (ISO 660: 2009). به‌طور خلاصه، مقدار ۰/۲ گرم از روغن استخراجی از هر نمونه به یک ارلن اضافه شد؛ به‌ازای هر نمونه، ۵ میلی‌لیتراتانول افزوده و بر روی یک هیتر قرار گرفت. پس از آن، چند قطره شناساگر فنول فتالئین اضافه گردید. درحالی‌که دمای اتانول بیش از ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود محلول توسط محلول پتاسیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال خنثی گردید. پس از انتقال اتانول خنثی‌شده به ارلن دارای آزمایه، با استفاده از پتاسیم هیدروکسید ۰/۰۱ نرمال تیتر گردید. عدد اسیدی هر نمونه از رابطه (۲) به‌دست آمد.

رابطه (۲)

$$AV = \frac{56.1 \times cv}{m}$$

که در آن C: غلظت حقیقی استاندارد حجمی پتاسیم هیدروکسید مورد استفاده برحسب مول بر لیتر؛ V: حجم استاندارد حجمی پتاسیم هیدروکسید مورد استفاده برحسب میلی‌گرم و m: وزن آزمایه برحسب گرم است.

عدد پراکسید (PV): عدد پراکسید به‌صورت میلی‌اکی والان اکسیژن فعال در یک کیلوگرم نمونه روغن بیان می‌شود. برای تعیین عدد پراکسید از روش استاندارد ایزو به شماره ۳۹۶۰ (۲۰۱۷) استفاده گردید (ISO 3960, 2017). به‌طور خلاصه، مقدار ۰/۵ گرم روغن استخراجی از هر نمونه توزین به ۳ میلی‌لیتر حلال پراکسید (کلروفرم: استیک اسید (حجمی: حجمی)۲ :۳) اضافه و مخلوط شد. پس از آن، ۰/۵میلی‌لیتر پتاسیم یدید اشباع افزوده و در فضای تاریک قرار داده شد و پس از گذشت یک دقیقه، ۳۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به آن اضافه گردید. تیتراسیون محلول به آرامی با سدیم تیوسولفات ۰/۱ نرمال در حضور شناساگر چسب نشاسته یک درصد تا زایل شدن رنگ آبی صورت گرفت. نتایج به‌صورت میلی‌اکی والان گرم اکسیژن در کیلوگرم روغن گزارش گردیدند. عدد پراکسید هر نمونه با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

رابطه (۳)

$$PV_{(meq/Kg)} = (V - V0).Cs.F.1000$$

که در آن V: حجم محلول سدیم تیوسولفات مورد استفاده برحسب میلی‌لیتر؛ V_0: حجم محلول استاندارد سدیم تیوسولفات مورد استفاده برای آزمون شاهد برحسب میلی‌لیتر؛ Cs: غلظت محلول سدیم تیوسولفات برحسب مول در هر لیتر؛ m: جرم بخش آزمون برحسب گرم و F: فاکتور محلول سدیم تیوسولفات ۰/۰۱۰ نرمال است.

ضریب شکست (Refractive Index): ضریب شکست یک ماده، نسبت سرعت نور با طول‌موج معین در خلاء با سرعت نور در آن ماده است. ضریب شکست هر یک از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

نمونه‌ها با استفاده از یک رفراکتومتر کروز (KRUSS DR201-95)، براساس روش استاندارد ایزو به شماره ۶۳۲۰ (۲۰۱۷) تعیین گردید (ISO 6320, 2017).

آنالیز پروفایل اسیدهای چرب، متیل استرنمودن نمونه: متیل استر نمودن نمونه براساس روش Akbari و همکاران (۲۰۱۲)، انجام گردید. به‌طور خلاصه، به ۰/۰۲ گرم از روغن استخراجی هر نمونه، دو میلی‌لیتر متانول، یک میلی‌لیتر ان-هگزان و یک قطره سولفوریک اسید غلیظ افزوده شد؛ سپس به‌مدت ۲ ساعت، در دمای ۷۱ درجه سانتی‌گراد، رفلاکس و پس از سرد شدن، چند مرتبه با آب‌مقطر، شستشو گردید. پس از جدا نمودن فاز هگزان بالایی حاوی اسیدهای چرب متیل استر شده و آبگیری، یک میکرولیتراز آن، برای تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی با دتکتور یونش شعله‌ای (GC-FID) برداشته شد (Akbari *et al*., 2012).

تعیین پروفایل اسیدهای چرب: آنالیز اسیدهای چرب، توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی واریان مدل (CP-3800)، مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله (FID)، ستون موئینه (Bpx 70, SGE)، ساخت استرالیا، از جنس سیلیکای ذوب شده، از نوع فاز پیوندی (طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ستون ۰/۲۲ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر) بود. از گاز هلیوم با فشار ۲۵ بار با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. دماهای دتکتور FID و اینجکتور، به‌ترتیب ۲۵۵ و ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد بودند. برنامه دمایی دستگاه، در ابتدا ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت نیم دقیقه و سپس ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲۵۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه به‌مدت ۲ دقیقه و سرانجام ۲۰۰ درجه سانتیگراد با سرعت ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به‌مدت ۹۰ دقیقه تنظیم گردید. فلوی گازهای نیتروژن، هیدروژن و هوا در دتکتور، به‌ترتیب ۲۵، ۳۰ و ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه بودند. پس از تزریق نمونه به دستگاه GC-FID، سطح زیر پیک و زمان بازداری مربوط به هر اسید چرب با سطح زیر پیک (Peak Area) مربوط به اسید چرب استاندارد و زمان بازداری (RT) موجود در کروماتوگرام-ها مقایسه گردیدند. بدین ترتیب، نوع و میزان اسیدهای چرب چرب امگا-۳، ۶ و ۹ موجود در هر نمونه مورد آزمون مشخص گردیدند (Akbari *et al*., 2012). از نرم‌افزار ورکستیشن نسخه ۶/۴۱، جهت مدیریت دستگاه استفاده گردید.

شرایط منطقه نمونه‌برداری: شرایط منطقه نمونه‌برداری جلبک شامل مقادیر pH، هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول در آب و کدورت، در زمان¬های نمونه‌برداری در جدول ۱ آورده شده است.

میانگین دما طی یک‌ماه نگهداری: میانگین دما در جلبک سارگاسوم بوویانوم در نمونه¬ها در زمان جمع‌آوری و همچنین، پس از ۳۰ روز در تیمارهای کنترل، ۱ و ۲ گرم در لیتر سدیم کلرید در جدول ۲، آورده شده است.

برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن جلبک سارگاسوم بوویانوم: میزان درصد چربی تام و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی جلبک سارگاسوم بوویانوم، با استخراج توسط حلال ان- هگزان در زمان‌های جمع‌آوری و پس از یک‌ماه در گروه کنترل و تیمارهای یک و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید در جدول ۳ آورده شده است.

براساس آنالیز آماری توصیفی، مشخص گردید که گروه اولیه دارای بیشترین میانگین چربی نسبت به سه گروه دیگر است. علاوه‌براین، براساس آنالیز دانکن، مقدار چربی گروه اولیه با گروه کنترل و سایر گروه‌ها، دارای اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود؛ همچنین، بین گروه کنترل با گروه‌های یک گرم بر لیتر (p:۰/۶۴۵) و دو گرم بر لیتر (p: ۰/۹۹۸)، اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. براساس آنالیز توصیفی، گروه کنترل دارای میانگین عدد اسیدی بیشتری نسبت به سه گروه دیگر بود و گروه اولیه کمترین میزان را دارا بود؛ براساس آزمون دانکن، مقادیر عدد اسیدی در همه گروه‌ها با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). براساس آنالیز آمار توصیفی، گروه‌های اولیه و کنترل دارای میانگین عدد پراکسید بیشتری نسبت به دو گروه دیگر بودند و تیمار دو گرم بر لیتر سدیم کلرید، کمترین میانگین را داشت. هیچ اختلاف معناداری بین گروه‌ها مشاهده نگردید. در تحلیل مقدار ضریب شکست در گروه‌های مختلف، مشخص گردید که براساس آمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

جدول ۱- متغیرهای pH، هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول در آب و کدورت منطقه نمونه‌برداری جلبک سارگاسوم بوویانوم سواحل بوشهر در زمان نمونه‌برداری

منطقه نمونه‌برداری	زمان نمونه‌برداری	متغیر					
		pH	EC	SALT (%)	DO (mg/l)	کدورت (NTU)	وضعیت هوا
ایستگاه دریایی کمپ	۱۳۹۹/۱۰/۱۷	۸/۳۲	۶۲۲۰۰	۴۲<	۸/۱۲	۱۹۰۷	دریا آرام
دانش آموزی- ساحل	۱۳۹۹/۱۰/۱۸	۸/۲۶	۶۲۳۰۰	۴۱/۸	۸/۰۴	۲۹/۸	دریا طوفانی
گناوه- بوشهر	۱۳۹۹/۱۰/۱۹	۸/۰۲	۶۲۱۰۰	۴۲<	۸۰۸۵	۲۲/۲	حدوداً آرام

جدول ۲- میانگین دمای ثبت‌شده روزانه (سه بار در روز) در آکواریوم تعبیه‌شده جهت نگهداری جلبک سارگاسوم بوویانوم طی ۳۰ روز، در گروه کنترل و تیمارهای ۱ و ۲ گرم بر لیتر سدیم کلرید

تیمار (گرم بر لیتر)	۶ صبح	۱۴ عصر	۲۰ شب
	دما (سانتی‌گراد)		
کنترل	۱۹	۲۰	۲۰
۱	۲۰	۲۰	۲۰
۲	۱۹	۲۱	۲۰

جدول ۳- میزان درصد روغن جلبک سارگاسوم بوویانوم با استخراج توسط حلال ان- هگزان در زمان جمع‌آوری و یک‌ماه پس از آن، در گروه‌های کنترل، و تیمار با یک و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید

ردیف	گروه (گرم بر لیتر)	چربی تام (٪)	عدد اسیدی (میلی‌گرم بر گرم سود)	عدد پراکسید (میلی‌اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن)	ضریب شکست نور
۱	اولیه	۳/۰±۱۴۳/۰۲۵۲	۰/۰±۲۱۷/۰۱۵	۱/۰±۶۱۷/۰۲۸۹	۱/۰±۴۱/۰۰۲
۲	کنترل	۲/۰±۶۷/۰۴۷	۱/۰±۴/۰۴۵۸	۱/۰±۶۱/۰۲۰۸	۱/۰±۴۲۳/۰۰۱۷
۳	یک	۲/۰±۷۴۳/۱۵۶	۱/۰±۱۲۳/۰۶۸	۱/۰±۴۹/۰۱۷	۱/۰±۴۳۷/۰۰۱۱
	دو	۲/۰±۶۸۳/۰۴۷۲	۰/۰±۴۴۷/۰۲۵۲	۱/۰±۳۰۳/۰۲۵۲	۱/۰±۴۳/۰

توصیفی تیمارهای یک و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید دارای میانگین ضریب شکست بیشتری نسبت به دو گروه دیگر هستند و میانگین ضریب شکست گروه اولیه دارای کمترین مقدار بود؛ براساس آنالیز ANOVA، مقادیر ضریب شکست گروه کنترل با هر یک از دیگر گروه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود (Sig= 0. 000). جهت معناداری گروه‌های مختلف با گروه‌های کنترل براساس آزمون دانکن دو دنباله مشخص گردید که این فاکتور در هر سه گروه با گروه کنترل دارای اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰۵)، ولی متوسط ضریب شکست نور در تیمارهای یک و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید دارای اختلاف معناداری نبودند.

اسیدهای چرب جلبک سارگاسوم بوویانوم، پروفایل استاندارد اسیدهای چرب: پروفایل ۳۷ اسید چرب استاندارد، جهت شناسایی اسیدهای چرب در نمونه‌های مورد آزمون، در جدول ۴ آورده شده است.

پروفایل اسیدهای چرب جلبک در نمونه کنترل: اسیدهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

جدول ۴- پروفایل اسیدهای چرب نمونه استاندارد و زمان بازداری آنها

ردیف	فرمول مولکولی	نام ترکیب	تعداد کربن	میانگین درصد (±SD)	زمان بازداری (دقیقه)
۱	$C_4H_8O_2$	بوتیریک اسید	$C_{4:0}$	۲/۰±۰/۰۵	۵/۴۹۷
۲	$C_6H_{12}O_2$	کاپروئیک اسید	$C_{6:0}$	۲/۰±۲/۰۶	۶/۱۸۰
۳	$C_8H_{16}O_2$	کاپریلیک اسید	$C_{8:0}$	۵/۰±۰/۰۷	۹/۵۰۳
۴	$C_{10}H_{20}O_2$	کاپریک اسید	$C_{10:0}$	۵/۰±۵/۰۶	۱۳/۵۳۰
۵	$C_{11}H_{22}O_2$	اندکانوئیک اسید	$C_{11:0}$	۳/۰±۰/۰۵	۱۵/۴۶۰
۶	$C_{12}H_{24}O_2$	لوریک اسید	$C_{12:0}$	۵/۰±۶/۰۵	۱۷/۲۷۷
۷	$C_{13}H_{26}O_2$	تری دکانوئیک اسید	$C_{13:0}$	۲/۰±۸/۰۲	۱۸/۹۷۷
۸	$C_{14}H_{28}O_2$	میریستیک اسید	$C_{14:0}$	۵/۰±۵/۰۴	۲۰/۵۸۰
۹	$C_{14}H_{26}O_2$	میریستولئیک اسید	$C_{14:1}$	۲/۰±۶/۰۵	۲۱/۶۹۷
۱۰	$C_{15}H_{30}O_2$	پنتادکانوئیک اسید	$C_{15:0}$	۲/۰±۸/۰۴	۲۲/۰۸۳
۱۱	$C_{15}H_{30}O_2$	سیس- ۱۰- پنتادکانوئیک اسید	$C_{15:1}$	۲/۰±۵/۰۴	۲۳/۱۵۷
۱۲	$C_{16}H_{32}O_2$	پالمتیک اسید	$C_{16:0}$	۸/۰±۱/۰۴	۲۳/۵۲۷
۱۳	$C_{16}H_{30}O_2$	پالمیتولئیک اسید	$C_{16:1}$	۲/۰±۵/۰۴	۲۴/۳۵۷
۱۴	$C_{17}H_{34}O_2$	هپتادکانوئیک اسید	$C_{17:0}$	۰/۰±۱/۰۵	۲۴/۷۰۰
۱۵	$C_{17}H_{32}O_2$	سیس-۱۰- هپتادکانوئیک اسید	$C_{17:1}$	۲/۰±۳/۰۴	۲۴/۸۷۰
۱۶	$C_{18}H_{36}O_2$	استئاریک اسید	$C_{18:0}$	۲/۰±۵/۰۴	۲۵/۶۸۰
۱۷	$C_{18}H_{34}O_2$	الائیدیک اسید	$C_{18:1n9t}$	۵۲/۰±۱/۰۴	۲۶/۱۸۳
۱۸	$C_{18}H_{34}O_2$	اولئیک اسید	$C_{18:1n9c}$	۰/۰±۲/۰۱	۲۶/۲۷۷
۱۹	$C_{18}H_{32}O_2$	لینولئیدیک اسید	$C_{18:2n6t}$	۲/۰±۵/۰۲	۲۶/۶۵۰
۲۰	$C_{18}H_{32}O_2$	لینولئیک اسید	$C_{18:2\ n6c}$	۵/۰±۰/۰۳	۲۶/۸۵۰
۲۱	$C_{20}H_{30}O_2$	آراشیدیک اسید	$C_{20:0}$	۱/۰±۸/۰۲	۲۷/۴۸۷
۲۲	$C_{18}H_{30}O_2$	گاما- لینولئیک اسید	$C_{18:3n6}$	۱/۰±۷/۰۴	۲۷/۹۲۷
۲۳	$C_{20}H_{38}O_2$	سیس-۱۱ ایکوسنوئیک اسید	$C_{20:1}$	۴/۰±۶/۰۲	۲۸/۶۲۳
۲۴	$C_{18}H_{32}O_2$	لینولئیک اسید	$C_{18:3n3}$	۱/۰±۳/۰۲	۲۸/۷۱۷
۲۵	$C_{21}H_{42}O_2$	هنیکوسانوئیک اسید	$C_{21:0}$	۰/۰±۱/۰۵	۲۹/۰۸۰
۲۶	$C_{20}H_{36}O_2$	سیس-۱۱و۱۴-ایکوزادینوئیک اسید	$C_{20:2}$	۳/۰±۶/۰۷	۲۹/۲۲۰
۲۷	$C_{22}H_{44}O_2$	بهنیک اسید	$C_{22:0}$	۲/۰±۱/۰۳	۲۹/۷۶۰
۲۸	$C_{20}H_{34}O_2$	سیس- ۸ و۱۱و۱۴-ایکوزادینوئیک اسید	$C_{20:3n6}$	۱/۰±۶/۰۲	۳۰/۲۳۳
۲۹	$C_{22}H_{42}O_2$	آریواسید	$C_{22:1n9}$	۳/۰±۰/۰۴	۳۰/۸۸۰
۳۰	$C_{20}H_{34}O_2$	سیس-۱۱و۱۴و۱۷-ایکوزاترینوئیک اسید	$C_{20:3n3}$	۱/۰±۱/۰۳	۳۰/۹۵۷
۳۱	$C_{23}H_{46}O_2$	تریکوزانوئیک اسید	$C_{23:0}$	۳/۰±۳/۰۱	۳۱/۴۴۳
۳۲	$C_{20}H_{32}O_2$	متیل -سیس-۵و۸و۱۱و۱۴-ایکوزاتترانوئیک اسید	$C_{20:4n6}$	۱/۰±۰/۰۲	۳۱/۵۰۷
۳۳	$C_{22}H_{40}O_2$	سیس-۱۳و۱۶ دوکوزادی انوئیک اسید	$C_{22:2}$	۱/۰±۲/۰۳	۳۱/۹۴۰
۳۴	$C_{24}H_{48}O_2$	لیگنوسریک اسید	$C_{24:0}$	۱/۰±۷/۰۴	۳۲/۳۸۳
۳۵	$C_{20}H_{30}O_2$	سیس-۵و۸و۱۱و۱۴و۱۷-ایکوزاپنتانوئیک اسید	$C_{20:5n3}$	۰/۰±۷/۰۵	۳۲/۷۰۷
۳۶	$C_{24}H_{46}O_2$	نرونیک اسید	$C_{24:1}$	۱/۰±۴/۰۴	۳۲/۹۸۳
۳۷	$C_{22}H_{32}O_2$	سیس-۴و۷و۱۰و۱۳و۱۶و۱۹ دوکوزاهگزانوئیک اسید	$C_{22:6n3}$	۲/۰±۲/۰۳	۳۳/۵۲۷

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

جدول ۵- پروفایل اسیدهای چرب در جلبک سارگاسوم بوویانوم در نمونه کنترل (بدون افزایش سدیم کلرید)

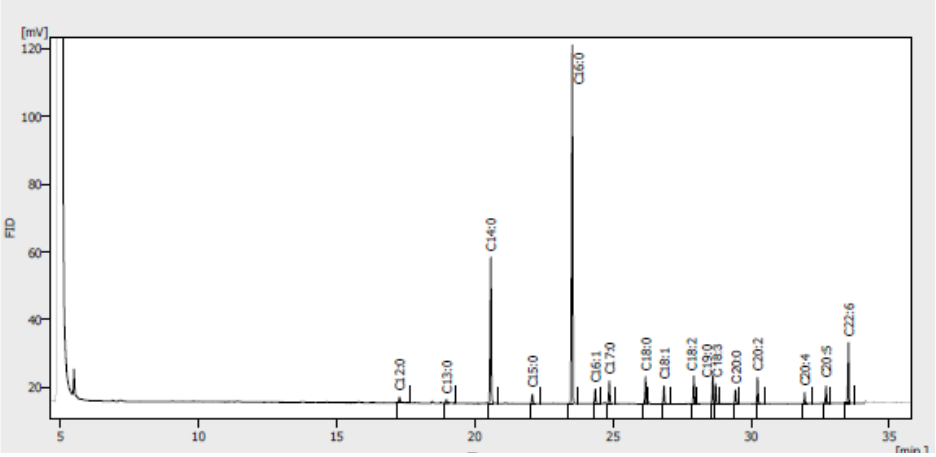
ردیف	فرمول مولکولی	نام ترکیب	تعداد کربن	میانگین درصد (±SD)	RT (دقیقه)
۱	$C_{12}H_{24}O_2$	دودکانوئیک اسید	$C_{۱۲:۰}$	۱/۰±۱/۰۳	۱۷/۲۷۷
۲	$C_{13}H_{26}O_2$	تری دکانوئیک اسید	$C_{۱۳:۰}$	۰/۰±۷/۰۲	۱۸/۹۷۷
۳	$C_{14}H_{28}O_2$	تترادکانوئیک اسید	$C_{۱۴:۰}$	۱۸/۰±۸/۰۱	۲۰/۵۸۰
۴	$C_{15}H_{30}O_2$	پنتادکانوئیک اسید	$C_{۱۵:۰}$	۱/۰±۳/۰۴	۲۲/۰۸۳
۵	$C_{16}H_{32}O_2$	هگزادکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۰}$	۴۴/۰±۴/۰۵	۲۳/۵۲۷
۶	$C_{16}H_{30}O_2$	هگزا-۹-دکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۱}$	۱/۰±۹/۰۴	۲۴/۳۵۷
۷	$C_{17}H_{34}O_2$	هپتادکانوئیک اسید	$C_{۱۷:۰}$	۲/۰±۶/۰۴	۲۴/۸۷۰
۸	$C_{18}H_{36}O_2$	اکتادکانوئیک اسید	$C_{۱۸:۰}$	۳/۰±۲/۰۲	۲۶/۱۸۳
۹	$C_{18}H_{34}O_2$	اکتا دکا مونوانوئیک اسید	$C_{۱۸:۱}$	۲/۰±۱/۰۳	۲۶/۸۵۰
۱۰	$C_{18}H_{32}O_2$	اکتا دکا۹و۱۲ دی‌انوئیک اسید	$C_{۱۸:۲}$	۳/۰±۲/۰۴	۲۷/۹۲۷
۱۱	$C_{19}H_{38}O_2$	نونادکانوئیک اسید	$C_{۱۹:۰}$	۳/۰±۵/۰۴	۲۸/۶۲۳
۱۲	$C_{18}H_{30}O_2$	اکتادکاتری‌انوئیک اسید	$C_{۱۸:۳}$	۲/۰±۴/۰۲	۲۸/۷۱۷
۱۳	$C_{20}H_{30}O_2$	ایکوزانوئیک اسید	$C_{۲۰:۰}$	۱/۰±۸/۰۳	۲۹/۴۳۷
۱۴	$C_{20}H_{36}O_2$	ایکوزادی انوئیک اسید	$C_{۲۰:۲}$	۳/۰±۰/۰۴	۳۰/۲۳۳
۱۵	$C_{20}H_{32}O_2$	ایکوزا تترا‌انوئیک اسید	$C_{۲۰:۴}$	۱/۰±۳/۰۲	۳۱/۹۴۰
۱۶	$C_{20}H_{30}O_2$	ایکوزاپنتاانوئیک اسید	$C_{۲۰:۵}$	۲/۰±۰/۰۱	۳۲/۷۰۷
۱۷	$C_{22}H_{32}O_2$	سرونیک اسید	$C_{۲۲:۶}$	۶/۰±۶/۰۴	۳۳/۵۲۷

چرب شناسایی‌شده در جلبک سارگاسوم بوویانوم در نمونه کنترل، در جدول ۵ ذکر شده است. آنالیز GC-FID، تعداد ۱۷ نوع اسید چرب را در این گروه نشان داد (جدول ۵). نمونه‌ای از کروماتوگرام مربوط به پروفایل اسیدهای چرب در جلبک سارگاسوم بوویانوم در نمونه کنترل در شکل ۲ آورده شده است.

از این میان، تعداد ۹ اسید چرب متعلق به اسیدهای چرب اشباع (SFA)، شامل دودکانوئیک اسید ($C_{۱۲:۰}$)، تری دکانوئیک اسید ($C_{۱۳:۰}$)، تترادکانوئیک اسید ($C_{۱۴:۰}$)، پنتادکانوئیک اسید ($C_{۱۵:۰}$)، هگزادکانوئیک اسید ($C_{۱۶:۰}$)، هپتادکانوئیک اسید ($C_{۱۷:۰}$)، اکتادکانوئیک اسید ($C_{۱۸:۰}$)، نونادکانوئیک اسید ($C_{۱۹:۰}$) و ایکوزانوئیک اسید ($C_{۲۰:۰}$) و تعداد ۸ اسید چرب غیراشباع (UFA)، شامل هگزا-۹- دکانوئیک اسید ($C_{۱۶:۱}$)، سیس-۹-اکتادکانوئیک اسید ($C_{۱۸:۱}$)، متعلق به $MUFA_s$ و (۹z و ۱۲z) اکتا دکا ۹ و۱۲ دی‌انوئیک اسید ($C_{۱۸:۲}$)، اکتادکاتری انوئیک اسید ($C_{۱۸:۳}$)، ایکوزادی انوئیک اسید ($C_{۲۰:۲}$)، ایکوزاتترا‌انوئیک اسید ($C_{۲۰:۴}$)، ایکوزاپنتاانوئیک اسید ($C_{۲۰:۵}$) و سرونیک اسید ($C_{۲۲:۶}$) متعلق به $PUFA_s$ بودند. براساس جدول ۵، اسید چرب اشباع پالمیتیک اسید (هگزادکانوئیک اسید)، بالاترین درصد (۴۴/۴±۰/۰۵ درصد) و پس از آن، میریستیک اسید و نونادکانوئیک اسید به‌ترتیب با مقادیر ۱۸/۸±۰/۰۱ و ۳/۵±۰/۰۴ درصد بیشترین میزان را دارا بودند. در بین اسیدهای چرب غیراشباع، سرونیک اسید و ایکوزادی انوئیک اسید به‌ترتیب با مقادیر ۶/۶±۰/۰۴ و ۳±۰/۰۴ درصد دارای بیشترین سهم بودند. مجموع اسیدهای چرب اشباع، ۷۷/۴±۰/۰۳ درصد و غیراشباع، ۲۲/۶±۰/۰۲ درصد بودند. مجموع میزان اسیدهای چرب امگا-۳ شامل لینولنیک اسید (۲/۴±۰/۰۲ درصد)، ایکوزاپنتاانوئیک اسید (۲±۰/۰۱ درصد)، و سرونیک اسید (۶/۶ ±۰/۰۴ درصد)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]



شکل ۲- کروماتوگرام مربوط به اسیدهای چرب در نمونه کنترل جلبک سارگاسوم بوویانوم سواحل استان بوشهر

برابر (۱۱±۰/۰۲) درصد؛ اسیدهای چرب امگا-۶ شامل لینولئیک اسید (۳/۲±۰/۰۴ درصد)، ایکوزادی انوئیک اسید (۰/۰۴± ۳ درصد) و ایکوزاتترااانوئیک اسید (۱/۳±۰/۰۲ درصد) برابر ۷/۵±۰/۰۳ درصد، و امگا-۹ (اولئیک اسید) نیز (۲/۱±۰/۰۳) درصد از کل اسیدهای چرب بود.

پروفایل اسیدهای چرب در گروه یک گرم در لیتر سدیم کلرید: جدول ۶، تعداد ۱۷ نوع اسید چرب شناسایی‌شده در جلبک سارگاسوم بوویانوم در نمونه تیمار با یک گرم در لیتر سدیم کلرید را نشان می‌دهد.

از این میان، تعداد ۹ اسید چرب آن متعلق به اسیدهای چرب اشباع (SFA)، شامل دودکانوئیک اسید ($C_{12:0}$)، تری دکانوئیک اسید ($C_{13:0}$)، تترادکانوئیک اسید ($C_{14:0}$)، پنتادکانوئیک اسید ($C_{15:0}$)، هگزادکانوئیک اسید ($C_{16:0}$)، هپتادکانوئیک اسید ($C_{17:0}$)، اکتادکانوئیک اسید ($C_{18:0}$)، نونادکانوئیک اسید ($C_{19:0}$) و ایکوزانوئیک اسید ($C_{20:0}$) و همچنین تعداد ۸ نوع اسید چرب غیراشباع (UFA) شامل هگزا-۹-دکانوئیک اسید($C_{16:1}$)، اکتادکامونو انوئیک اسید ($C_{18:1}$) متعلق به $MUFA_s$ و (9z,12z)-اکتادکا-۹ و۱۲دی-انوئیک اسید ($C_{18:2}$)، اکتادکاتری انوئیک اسید ($C_{18:3}$)، ایکوزادی انوئیک اسید ($C_{20:2}$)، ایکوزاتترا انوئیک اسید ($C_{20:4}$)، ایکوزاپنتا انوئیک اسید ($C_{20:5}$) و سرونیک اسید ($C_{20:6}$) متعلق به $PUFA_s$ بودند.

اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک اسید (هگزادکانوئیک اسید)، میریستیک اسید و اکتادکامونوانوئیک اسید، به‌ترتیب با مقادیر ۳۶/۴±۰/۰۴، ۱۶/۲±۰/۰۴ و ۳/۱±۰/۰۲ درصد دارای بیشترین میزان بودند. در بین اسیدهای چرب غیراشباع، سرونیک اسید به میزان ۱۲/۳±۰/۰۲ درصد و اکتادکاتری انوئیک اسید، ۰/۰۴± ۶ درصد دارای بیشترین میزان بودند. مجموع اسیدهای چرب اشباع، ۰/۰۳± ۶۵/۵ و مجموع اسیدهای چرب غیراشباع ۰/۰۳± ۳۴/۵ درصد بودند. یک کروماتوگرام مربوط به اسیدهای چرب در نمونه تیمار با یک گرم در لیتر سدیم کلرید در شکل ۳ آورده شده است.

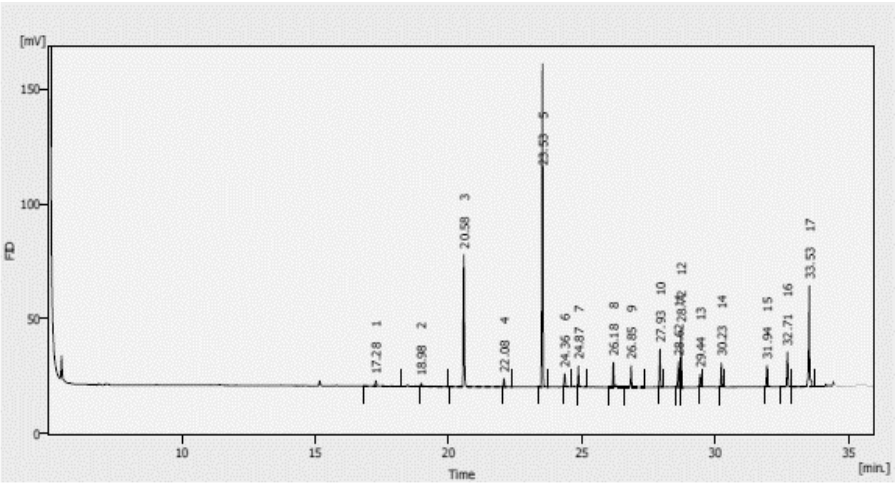
در مجموع، میزان اسیدهای چرب امگا-۳ شامل لینولنیک اسید (۶±۰/۰۴ درصد)، ایکوزاپنتاانوئیک اسید (۳/۸±۰/۰۴ درصد)، سرونیک اسید (۱۲/۳±۰/۰۲درصد)، ۲۲/۱±۰/۰۳ درصد؛ اسیدهای چرب امگا-۶ مشتمل بر لینولئیک اسید (۴±۰/۰۱ درصد)، ایکوزا دی انوئیک اسید (۲/۴±۰/۰۲ درصد) و ایکوزاتترااانوئیک اسید (۲±۰/۰۳ درصد)، برابر ۸/۴±۰/۰۲ درصد و نیز اسیدهای چرب امگا-۹ شامل اولئیک اسید (۲/۴±۰/۰۳ درصد) از کل درصد اسیدهای چرب بود.

پروفایل اسیدهای چرب در گروه دو گرم در لیتر سدیم کلرید: اسیدهای چرب شناسایی‌شده در نمونه تیمار با دو گرم در لیتر سدیم کلرید جلبک سارگاسوم بوویانوم در جدول ۷ نشان داده شده است. آنالیز GC-FID، تعداد ۱۷ نوع اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

جدول ۶- پروفایل اسیدهای چرب در نمونه جلبک سارگاسوم بویانوم در گروه تیمار با یک گرم در لیتر سدیم کلرید

ردیف	فرمول مولکولی	نام ترکیب	تعدادکربن	میانگین درصد (±SD)	RT (دقیقه)
۱	$C_{۱۲}H_{۲۴}O_{۲}$	دودکانوئیک اسید	$C_{۱۲:۰}$	۱/۰±۵/۰۵	۱۷/۲۷۷
۲	$C_{۱۳}H_{۲۶}O_{۲}$	تری‌دکانوئیک اسید	$C_{۱۳:۰}$	۰/۰±۸/۰۵	۱۸/۹۷۷
۳	$C_{۱۴}H_{۲۸}O_{۲}$	تترادکانوئیک اسید	$C_{۱۴:۰}$	۱۶/۰±۲/۰۴	۲۰/۵۸۰
۴	$C_{۱۵}H_{۳۰}O_{۲}$	پنتادکانوئیک اسید	$C_{۱۵:۰}$	۱/۰±۱/۰۴	۲۲/۰۸۳
۵	$C_{۱۶}H_{۳۲}O_{۲}$	هگزادکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۰}$	۳۶/۰±۴/۰۴	۲۳/۵۲۷
۶	$C_{۱۶}H_{۳۰}O_{۲}$	هگزا-۹-دکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۱}$	۱/۰±۶/۰۴	۲۴/۳۵۷
۷	$C_{۱۷}H_{۳۴}O_{۲}$	هپتادکانوئیک اسید	$C_{۱۷:۰}$	۲/۰±۲/۰۴	۲۴/۸۷۰
۸	$C_{۱۸}H_{۳۴}O_{۲}$	اکتادکا نوئیک اسید	$C_{۱۸:۰}$	۳/۰±۱/۰۲	۲۶/۱۸۳
۹	$C_{۱۸}H_{۳۴}O_{۲}$	اکتادکا مونوانوئیک اسید	$C_{۱۸:۱}$	۲/۰±۴/۰۳	۲۶/۸۵۰
۱۰	$C_{۱۸}H_{۳۲}O_{۲}$	اکتادکادی‌انوئیک اسید	$C_{۱۸:۲}$	۴/۰±۰/۰۱	۲۷/۹۲۷
۱۱	$C_{۱۹}H_{۳۸}O_{۲}$	نونادکانوئیک اسید	$C_{۱۹:۰}$	۲/۰±۹/۰۳	۶۲۳,۲۸
۱۲	$C_{۱۸}H_{۳۰}O_{۲}$	اکتادکاتری‌انوئیک اسید	$C_{۱۸:۳}$	۶/۰±۰/۰۴	۲۸/۷۱۷
۱۳	$C_{۲۰}H_{۳۰}O_{۲}$	ایکوزانوئیک اسید	$C_{۲۰:۰}$	۱/۰±۴/۰۲	۲۹/۴۳۷
۱۴	$C_{۲۰}H_{۳۶}O_{۲}$	ایکوزادی انوئیک اسید	$C_{۲۰:۲}$	۲/۰±۴/۰۲	۳۰/۲۳۳
۱۵	$C_{۲۰}H_{۳۲}O_{۲}$	ایکوزا تترانوئیک اسید	$C_{۲۰:۴}$	۲/۰±۰/۰۱	۳۱/۹۴۰
۱۶	$C_{۲۰}H_{۳۰}O_{۲}$	ایکوزا پنتانوئیک اسید	$C_{۲۰:۵}$	۳/۰±۸/۰۴	۳۲/۷۰۷
۱۷	$C_{۲۲}H_{۳۲}O_{۲}$	سرونیک اسید	$C_{۲۲:۶}$	۱۲/۰±۳/۰۲	۳۳/۵۲۷



شکل ۳- نمونه ای‌از کروماتوگرام اسیدهای چرب مربوط به تیمار با یک گرم در لیتر سدیم کلرید جلبک سارگاسوم بوویانوم

چرب را نشان داد که تعداد ۹ اسید چرب آن متعلق به اسیدهای چرب اشباع و شامل دودکانوئیک اسید ($C_{۱۲:۰}$)، تری دکانوئیک اسید ($C_{۱۳:۰}$)، تترادکانوئیک اسید ($C_{۱۴:۰}$)، پنتادکانوئیک اسید ($C_{۱۵:۰}$)، هگزادکانوئیک اسید ($C_{۱۶:۰}$)، هپتادکانوئیک اسید ($C_{۱۷:۰}$)، اکتادکاموانوئیک اسید ($C_{۱۸:۰}$)، نونادکانوئیک اسید ($C_{۱۹:۰}$) و ایکوزانوئیک اسید ($C_{۲۰:۰}$) و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

جدول ۷- پروفایل اسیدهای چرب در نمونه جلبک سارگاسوم بوویانوم در گروه تیمار با دو گرم در لیتر سدیم کلرید

ردیف	فرمول مولکولی	نام ترکیب	تعداد کربن	میانگین درصد (±SD)	RT (دقیقه)
۱	$C_{۱۲}H_{۲۴}O_{۲}$	دودکانوئیک اسید	$C_{۱۲:۰}$	۳/۰±۰۵/۱	۱۷/۲۷۷
۲	$C_{۱۳}H_{۲۶}O_{۲}$	تری دکانوئیک اسید	$C_{۱۳:۰}$	۰/۰±۰۱/۰	۱۹/۰۴۰
۳	$C_{۱۴}H_{۲۸}O_{۲}$	تترادکانوئیک اسید	$C_{۱۴:۰}$	۲۰/۰±۱/۰۴	۲۰/۵۸۰
۴	$C_{۱۵}H_{۳۰}O_{۲}$	پنتادکانوئیک اسید	$C_{۱۵:۰}$	۱/۰±۴/۰۴	۲۲/۰۸۳
۵	$C_{۱۶}H_{۳۲}O_{۲}$	هگزادکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۰}$	۳۹/۰±۲/۰۴	۲۳/۵۲۷
۶	$C_{۱۶}H_{۳۰}O_{۲}$	هگزا-۹-دکانوئیک اسید	$C_{۱۶:۱}$	۲/۰±۲/۰۴	۲۴/۳۵۷
۷	$C_{۱۷}H_{۳۴}O_{۲}$	هپتادکانوئیک اسید	$C_{۱۷:۰}$	۳/۰±۱/۰۴	۲۴/۸۷۰
۸	$C_{۱۸}H_{۳۴}O_{۲}$	اکتادکا نوئیک اسید	$C_{۱۸:۰}$	۳/۰±۷/۰۲	۲۶/۱۸۳
۹	$C_{۱۸}H_{۳۴}O_{۲}$	اکتادکامونوانوئیک اسید	$C_{۱۸:۱}$	۲/۰±۵/۰۱	۲۶/۸۵۰
۱۰	$C_{۱۸}H_{۳۲}O_{۲}$	اکتادکادی انوئیک اسید	$C_{۱۸:۲}$	۵/۰±۰/۰۳	۲۷/۹۲۷
۱۱	$C_{۱۹}H_{۳۸}O_{۲}$	نونادکانوئیک اسید	$C_{۱۹:۰}$	۳/۰±۹/۰۴	۲۸/۶۲۳
۱۲	$C_{۱۸}H_{۳۰}O_{۲}$	اکتادکاتری انوئیک اسید	$C_{۱۸:۳}$	۲/۰±۷/۰۱	۲۸/۷۱۷
۱۳	$C_{۲۰}H_{۳۰}O_{۲}$	ایکوزانوئیک اسید	$C_{۲۰:۰}$	۲/۰±۱/۰۲	۲۹/۴۳۷
۱۴	$C_{۲۰}H_{۳۶}O_{۲}$	ایکوزا دی‌انوئیک اسید	$C_{۲۰:۲}$	۳/۰±۴/۰۳	۳۰/۲۳۳
۱۵	$C_{۲۰}H_{۳۲}O_{۲}$	ایکوزاتترااانوئیک اسید	$C_{۲۰:۴}$	۱/۰±۷/۰۲	۳۱/۹۴۰
۱۶	$C_{۲۰}H_{۳۰}O_{۲}$	ایکوزپنتاانوئیک اسید	$C_{۲۰:۵}$	۲/۰±۳/۰۴	۳۲/۷۰۷
۱۷	$C_{۲۲}H_{۳۲}O_{۲}$	سرونیک اسید	$C_{۲۲:۶}$	۵/۰±۴/۰۴	۳۳/۵۲۷

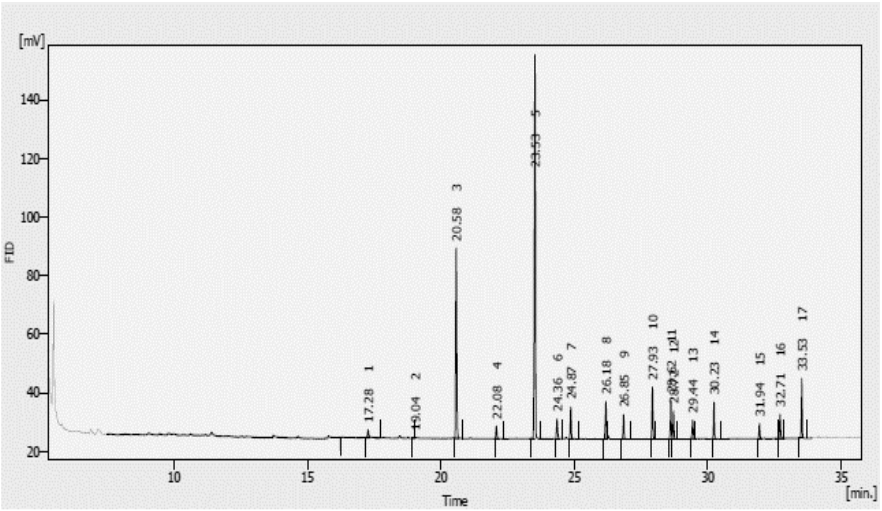
تعداد ۸ اسید چرب غیراشباع دیگر شامل هگزا-۹-دکانوئیک اسید ($C_{۱۶:۱}$)، سیس -۹- اکتادکانوئیک اسید ($C_{۱۸:۱}$) متعلق به MUFAs و (9z,12z) اکتادکا ۹ و ۱۲دی انوئیک اسید ($C_{۱۸:۲}$)، اکتادکاتری انوئیک اسید ($C_{۱۸:۳}$)، ایکوزادی انوئیک اسید ($C_{۲۰:۲}$)، ایکوزاتترا انوئیک اسید ($C_{۲۰:۴}$)، ایکوزاپنتاانوئیک اسید ($C_{۲۰:۵}$) و سرونیک اسید ($C_{۲۰:۶}$) متعلق به PUFAs بودند.

براساس جدول ۷، پالمیتیک اسید (هگزادکانوئیک اسید)، میریستیک اسید و نونادکانوئیک اسید به‌ترتیب با مقادیر ۳۹/۰±۲/۰۴، ۲۰/۰±۱/۰۴ و ۳/۹ ±۰/۰۴ درصد، دارای بیشترین میزان درصد اسید چرب اشباع بودند. در بین اسیدهای چرب غیراشباع، سرونیک اسید به میزان ۵/۴±۰/۰۴ درصد و پس از آن ایکوزادی انوئیک اسید، با میزان ۳/۴ ±۰/۰۳ درصد دارای بیشترین سهم بودند. مجموع اسیدهای چرب اشباع، ۷۴/۸ ±۰/۰۳ درصد و مجموع اسیدهای چرب غیراشباع ۲۵/۲±۰/۰۲ درصد بودند. نمونه‌ای از کروماتوگرام مربوط به اسیدهای چرب در گروه تیمار با دو گرم در لیتر سدیم کلرید در جلبک سارگاسوم بوویانوم شکل ۴ آورده شده است.

میزان اسیدهای چرب امگا-۳ (لینولنیک اسید) ۲/۷±۰/۰۱ درصد، (ایکوزاپنتانوئیک اسید) ۲/۳ ±۰/۰۴ درصد، (سرونیک اسید) ۵/۴ ±۰/۰۴ درصد؛ امگا- ۶ (لینولئیک اسید) ۵±۰/۰۳ درصد، (ایکوزادی انوئیک اسید) ۳/۴ ±۰/۰۳ درصد و ایکوزاتترااانوئیک اسید ۱/۷ ±۰/۰۲ درصد و نیز امگا-۹ (اولئیک اسید) ۲/۷±۰/۰۱ درصد کل اسیدهای چرب بود.

در مجموع، در آنالیز پروفایل اسیدهای چرب با دستگاه GC-FID، در سه نمونه جلبک سارگاسوم بوویانوم (گروه کنترل، تیمارهای یک و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید)، مشخص گردید که در هر سه گروه در بین اسیدهای چرب اشباع،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]



شکل ۴- نمونه‌ای از کروماتوگرام اسیدهای چرب مربوط به تیمار با یک گرم در لیتر سدیم کلرید جلبک سارگاسوم بوویانوم

پالمیتیک اسید بیشترین میزان را دارا است و پس از آن، میریستیک اسید با میزان قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد. در بین اسیدهای چرب غیراشباع نیز در هر سه گروه، سرونیک اسید دارای بیشترین میزان بود. در دو گروه کنترل و تیمار با دو گرم در لیتر سدیم کلرید، در بین اسیدهای چرب غیراشباع، ایکوزا دی انوئیک اسید پس از سرونیک اسید بیشترین میزان را دارا بود. همچنین، در گروه تیمار یک گرم بر لیتر سدیم کلرید، اکتادکاتری انوئیک اسید، پس از سرونیک اسید بیشترین درصد را داشت. براساس آزمون دانکن، باستثنای اسید چرب اکتادکامونوانوئیک اسید بین تیمارهای یک (p=۰/۶۵۸) و دو گرم در لیتر سدیم کلرید (p=۰/۱۰۱)، و گروه کنترل، هر یک از اسیدهای چرب در گروه‌های مختلف و گروه کنترل، دارای اختلاف معنادار بودند (P<۰/۰۵).

بحث

مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم کلرید بر میزان لیپید تام، پروفایل اسیدهای چرب و میزان امگاهای ۳، ۶ و ۹ در جلبک سارگاسوم بویانوم انجام شد. براساس نتایج، بیشترین میزان چربی تام جلبک مربوط به نمونه اولیه و پس از جمع‌آوری نمونه بود که می‌تواند نشان از اثر محیط طبیعی بر زیستمند داشته باشد؛ در شرایط اکواریوم نیز، با افزایش میزان نمک، میزان چربی نیز افزایش یافت لکن این میزان بین هر سه گروه کنترل و تیمار دارای اختلاف معنی‌داری نبود. براساس مطالعه Chisti، مطالعه بسیاری از جلبک‌ها می‌توانند ۵۰- ۱۵ درصد وزن خشک خود را چربی تجمع نمایند (Chisti, 2007). گر چه محتوای لیپیدی جلبک‌های قهوه‌ای با منابع معمول لیپیدی قابل مقایسه نیست اما از نظر کیفی، دارای ترکیبات زیست فعال بسیار ارزشمندی هستند (Miyashita, 2013). نتایج مطالعه Khairy و El-Shafay (۲۰۱۳)، بر روی میزان چربی جلبک سارگاسوم بوویانوم، سواحل مصر نشان داد که چربی کل معادل ۳ درصد است (Khairy and El-Shafay, 2013). در مطالعه Herbreteau و همکاران (۱۹۹۷)، کل محتوای چربی تام این جلبک‌ها کمتر از ۴ درصد گزارش گردید (Herbreteau *et al*., 1997). همچنین، مقادیر چربی تام در جلبک سارگاسوم در مطالعه Jaswir و همکاران (۲۰۱۲)، در سارگاسوم ۱/۶۶ درصد وزن خشک بود.

افزایش سریع تجمع لیپید در جلبک‌ها به‌ویژه سویه‌های ریزجلبکی هنگام شرایط استرس یا کمبود مواد مغذی چون نیتروژن، فسفات، کربن، سیلیکون و کامپوزیت‌های آهن اتفاق افتاده است. علاوه‌براین، محرک‌های شیمیایی مختلفی چون pH، شدت نور و دمای محیط رشد نیز عوامل مؤثر بوده‌اند (Pandit *et al*., 2017). تنش‌های یونی، اسمزی و اکسیداتیو، سه تنش اصلی ناشی از غلظت بالای نمک در محیط‌های کشت جلبک‌ها به‌شمار می‌روند (Elloumi *et al*., 2020; Zhu,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

2002). تنش‌های یونی از عدم تعادل هموستاز یونی سدیم و پتاسیم ناشی می‌شوند و منجر به مهار آنزیم‌های دارای جایگاه‌های پیوند پتاسیم توسط کاتیون سدیم می‌گردند (Maathuis and Amtmann, 1999).

براساس Allakhverdiev و همکاران (۲۰۰۰)، پتانسیل اسمزی سلول‌های زنده با غلظت بالای نمک کاهش می‌یابد و بنابراین، موجب کاهش مقدار آب و افزایش سریع غلظت نمک در داخل سیتوزول می‌گردد. علاوه‌براین، انتقال الکترون فتوسنتزی پس از انقباض فضای درون سلولی به‌طور برگشت‌پذیر غیرفعال می‌شود (Allakhverdiev *et al*., 2000).

براساس مطالعات دهه اخیر، استرس اکسیداتیو، به‌عنوان مدیاتوری برای تجمع لیپید در برخی جلبک‌های مورد مطالعه عمل می‌نماید (Pancha *et al*., 2015; Dahmen *et al*., 2016). در مطالعات Leshem و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Chokshi و همکاران (۲۰۱۵)، نشان داده شد که در تنش شوری جلبکی، گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) موجب استرس اکسیداتیو می‌شوند که منجر به تخریب ماکرومولکول‌های سلولی می‌گردند؛ با این وجود، هنوز نقش ROS در تجمع چربی تحت تنش شوری ضعیف گزارش شده است (Pandit *et al*., 2017). هر چند، بر اساس مطالعه Huh و همکاران (۲۰۰۲)، غلظت بالای نمک منجر به مرگ سلولی برنامه‌ریزی‌شده (PCD) می‌شود که به‌عنوان مکانیسم پاسخ نمک در نظر گرفته شده است (Huh *et al*., 2002)؛ این بدان معنی است که هنگام تکثیر و پرورش با هدف افزایش لیپید، باید به میزان افزایش شرایط شوری دقت نمود.

در مطالعه Griffiths و Harrison (۲۰۰۹)، بر روی جلبک کلامیدوموناس رینهاردتی و همچنین مطالعه Fan و همکاران (۲۰۱۴) بر روی جلبک کلرلا پیرنوئیدوزا، نیز اثر تنش در شرایط شوری بالا در تجمع محتوای لیپیدی به‌ویژه تری‌گلیسرول نشان داده شده است. برای جلوگیری از آسیب ناشی از استرس بالای نمک، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مختلفی درگیر می‌شوند (Sekmen *et al*., 2007). همچنین، در مطالعه Shah و همکاران (۲۰۱۳)، جلبک پاولوا لوتری (*Pavlova lutheri*)، هنگام افزایش شوری از ۳۵ –۳۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به ۴۰–۳۵ میکروگرم بر میلی¬لیتر، محتوای چربی بالاتری (۳۶–۳۴ درصد) را تولید نمود. آنها این محدوده را محدوده‌ای امن و بهینه برای این جلبک معرفی نمودند (Shah *et al*., 2013). مشابه با مطالعه حاضر، در مطالعه Sujatha و Nagarajan (۲۰۱۴)، در اسپیرولینا نیز در شرایط تنش شوری، میزان چربی و کاروتنوئیدها افزایش یافت. پدیده افزایش لیپید در حد متعارفی از تنش شوری، در مطالعات قدیمی نیز به چشم می‌خورد. در مطالعه Shariati و Lilley (۱۹۹۴)، افزایش غلظت سدیم کلرید موجب کاهش سرعت رشد جلبک دونالیلا سالینا (*Dunaliella salina*) و افزایش محتوای گلیسرول گردید (Shariati and Lilley, 1994). همچنین، براساس مطالعه Seto و همکاران (۱۹۸۴)، به‌نظر می‌رسد بخشی از انرژی متابولیک که صرف تولید گلیسرول می‌شود می‌تواند موجب کاهش رشد گردد. در مطالعه Johnson و همکاران (۱۹۸۶)، نشان داده شده بود که رشد کلرلا ولگاریس تحت تنش شوری کاهش می‌یابد و برخی از اسمولیت‌های آلی نظیر پرولین با صرف انرژی متابولیک در برخی از گونه‌های خانواده کلروفیسه نظیر کلرلا تحت تنش شوری تجمع می‌یابد.

در مطالعه Pandit و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی محتوای لیپیدی و بهره‌وری لیپیدی تحت تنش شوری سویه‌های ریزجلبکی کلرلا ولگاریس و اکوتودسموس ابلیکوس (*Acutodesmus obliquus*) نشان داده شد که افزایش غلظت سدیم کلرید از ۰/۰۶ به ۰/۴ مولار به‌ترتیب موجب بهبود محتوای لیپیدی از ۳۱/۵ به ۴۹/۵ درصد و از ۲۳/۴ به ۴۳/۴ درصد در دو جلبک می‌گردد (Pandit *et al*., 2017). براساس مطالعه آنها، به‌دلیل مهار سیستم‌های فتوسنتزی و تنفسی، هنگامی که سلول‌های جلبک در معرض تنش نمکی قرار گیرند، مکانیسم‌های ویژه‌ای چون شیفت سلول‌ها از تقسیم فعال به ذخیره انرژی، تجمع املاح محافظ اسمزی برای محافظت از ترکیبات زیستی، تنظیم فرآیندهای تبادل یونی از طریق غشای سلولی و اصلاح فشار تورگر و دیگر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای انطباق آنها به شرایط موجود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

رخ می‌دهد (Pandit *et al*., 2017). براساس مطالعه Kan و همکاران (۲۰۱۲)، وجود سدیم کلرید منجر به استرس اکسیداتیو می‌شود که آن نیز موجب افزایش محتوای تری گلیسرول می‌گردد (Kan *et al*., 2012). علاوه‌براین، Zhila و همکاران (۲۰۱۰)، نیز نشان دادند که یک محیط رشد با شوری بالا، محتوای سلولی جلبک‌ها را با بهبود تشکیل تری گلیسرول افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد افزایش محتوای لیپید، یک پاسخ تطبیقی به تنش شوری است که احتمالاً به‌دلیل تولید گلیسرول به‌عنوان یک منبع اسمولیت آلی و اسیدهای چرب باشد. با این حال، رابطه بین غلظت سدیم کلرید و تجمع چربی نیز ناشناخته باقی مانده است (Takagi and Karseno, 2006). متابولیت‌های سازگار تولیدشده با تنش شوری چون گلیسرول و کاروتنوئیدها، می‌توانند با از بین‌بردن رادیکال‌های آزاد به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت عمل نموده (Cuin and Shabala, 2007) و سلول‌ها را در برابر سایر آسیب‌های نمک محافظت نمایند (Del Campo *et al*., 2004).

علاوه بر تغییرات در میزان لیپید، جهت آگاهی از تغییرات ملکولی، لیپید تولید مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز چربی تام جلبک سارگاسوم بوویانوم، ۱۷ نوع اسید چرب ($C_{۱۲}$–$C_{۲۲}$) را در هر سه گروه نشان داد. از بین تمام اسیدهای چرب مورد شناسایی در هر سه گروه، بیشترین درصد مربوط به اسید چرب اشباع پالمتیک اسید و در بین اسیدهای چرب غیراشباع، سرونیک اسید بود. در مطالعه Hafezieh و همکاران (۲۰۱۴)، بر روی مقادیر اسیدهای چرب جلبک‌های دریایی سارگاسوم ایلیسیفولیوم دریای عمان، نیز بیشترین اسید چرب مربوط به پالمتیک اسید با میزان ۶۷/۸۳ درصد از کل اسیدهای چرب بود. مقادیر اسیدهای چرب اشباع، غیراشباع با یک باند دوگانه و غیراشباع با بیش از یک باند دوگانه به‌ترتیب ۱۰/۸۷، ۱/۱۱ و ۱/۰۶ درصد و نسبت DHA به EPA نیز ۳/۶۶ درصد به‌دست آمد (Hafezieh *et al*., 2014). همچنین، در مطالعه Chen و همکاران (۲۰۱۶)، بررسی پروفایل اسیدهای چرب چهار جلبک سارگاسوم پالیدوم (*S. pallidum*)، سارگاسوم هورنری (*S. horneri*)، سارگاسوم تونبرگی (*S. thunbergii*) و سارگاسوم فوزیفورم (*S. fusiforme*) در آنالیز با GC-MS، تعداد ۱۹ اسید چرب را در همه نمونه‌ها نشان داد و مشابه با مطالعه اخیر، پالمیتیک اسید بالاترین درصد اسیدهای چرب را در همه نمونه‌ها دارا بود (Chen *et al*., 2016). براساس مطالعه Agostoni و همکاران (۲۰۱۶)، با وجود اثرات سوء مشخص پالمیتیک اسید بر برخی بیماری‌های مزمن در بزرگسالان، لکن این اسید چرب یکی از اجزای اساسی لیپیدهای غشایی، ترشحی و ترانسپورتی با نقش‌های مهم در پالمیتولاسیون پروتئین سیگنال‌های مولکولی است. همچنین، پالمتیک اسید، برای رشد نوزادان مفید است. در بدو تولد، ۱۰ درصد انرژی رژیم غذایی نوزاد از طریق شیر به‌صورت پالمیتیک اسید فراهم می‌گردد (Agostoni *et al*., 2016). به‌علاوه، در مطالعه Harikumar و همکاران (۲۰۱۰)، پالمیتیک اسید در بدن موش‌ها فعالیت ضدتوموری را نشان داد (Harikumar *et al*., 2010). این یافته‌ها با مطالعه حاضر از نظر میزان بالای اسیدهای چرب اشباع (SFA)، و غنای پالمتیک اسید در نمونه جلبک سارگاسوم بوویانوم مطابقت دارد. درصد اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک اسید و لینولئیک اسید در تیمارهای یک گرم و دو گرم بر لیتر سدیم کلرید، نسبت به گروه کنترل و همچنین، اسید چرب اشباع استئاریک در گروه دو گرم بر لیتر نسبت به گروه کنترل بیشتر بود. این نتایج با یافته‌های Chen و همکاران (۲۰۰۸)، مطابقت داشت. در مسیر بیوسنتزی امگا-۳، پالمیتیک اسید به‌ترتیب به استئاریک اسید، اولئیک اسید و لینولئیک اسید تبدیل می‌گردد (Chen *et al*., 2008). در یک مطالعه مشابه، Salama و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که افزایش غلظت سدیم کلرید از ۰/۴۳ به ۲۵ میلی‌مولار در کشت کلامیدوموناس مکزیکانا (*Chlamydomonas Mexicana*) و سندسموس ابلیکوس (*Scenedesmus obliquus*)، منجر به بهبود تولید لیپید از ۲۳ به ۳۷ درصد و بالاترین محتوای اسید اولئیک به میزان ۴۱ درصد در ابلیکوس می‌گردد (Salama *et al*., 2013).

میزان MUFA در تیمار دو گرم بر لیتر نسبت به سایر گروه‌ها دارای افزایش معناداری بود. غیراشباعیت اسیدهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

چرب، به‌ویژه تشکیل‌دهنده‌های غشای سلولی، به نقش حیاتی آنها در پایداری غشای سلولی و پاسخ انطباقی به شرایط محیطی نامطلوب نظیر تنش شوری مربوط می‌شود (Guschina and Harwood, 2006). میزان PUFA در تیمار یک گرم بر لیتر و پس از آن تیمار دوگرم بر لیتر، نسبت به گروه کنترل، دارای افزایش معناداری بود. بسیاری از گونه‌های جلبکی متابولیت‌های ثانویه ارزشمندی از جمله اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFAs)، را تولید می‌نمایند. این متابولیت‌ها زمانی تولید می‌شوند که جلبک‌ها در معرض شرایط استرسی مرتبط با کمبود مواد مغذی، شدت نور، دما، شوری و pH قرار گیرند. مقدار اسیدهای چرب در جلبک‌ها به شرایط کشت بستگی دارد. دماهای پایین‌تر در تشکیل اسیدهای چرب غیراشباع مؤثر است (Sushchik *et al*., 2003) و pH پایین به‌نفع تشکیل اسیدهای چرب اشباع است (Tatsuzawa *et al*., 1996). در مطالعه Azachi و همکاران (۲۰۰۲)، غلظت بالای نمک منجر به نسبت بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع در دونالیلا گردید و می‌تواند نوعی سازگاری با سطوح بالای گلیسرول درون سلولی باشد که تحت غلظت نمک بالا تشکیل می‌گردد.

در مطالعه Custodio و همکاران (۲۰۱۴)، گونه سندسموس تحت تنش ۱۰ گرم در لیتر سدیم‌کلرید، غنی از اسیدهای چرب اشباع و به‌ویژه اسیدهای چرب غیراشباع بود. همچنین، این تنش موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH و FRAP و نیز فعالیت‌های مهاری بالای آنزیم‌های تیروزیناز و الاستاز گردید. یافته‌های آنها نشان داد که گونه سندسموس با تجمع متابولیت‌های ثانویه برای استرس خفیف نمک سازگار می‌شود (Custodio *et al*., 2014).

در مطالعات Ben-Amotz و همکاران (۱۹۸۵) و همچنین، Chen و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده شد که غلظت‌های بالای نمک می‌تواند نسبت اسیدهای چرب غیراشباع را کاهش دهد. در مطالعه حاضر، این کاهش در هر دو تیمار، نسبت به گروه کنترل مشاهده شد؛ هر چند این کاهش در گروه تیمار یک گرم بر لیتر نمک قابل‌ملاحظه بود ($P< 0.05$) (Chen *et al*., 2008; Ben-Amotz *et al*., 1985). در دو مطالعه Takagi و Yoshida (۲۰۰۶) و همچنین Zhila و همکاران (۲۰۱۰)، با افزایش غلظت شوری، به‌ترتیب در جلبک‌های دونالیلا و بوتیروکوکوس بروانی (*Botryococcus braunii*)، یک افزایش قابل‌توجه در اسیدهای چرب اشباع و تک غیراشباع و کاهش در میزان اسیدهای چرب چند غیراشباع مشاهده شد (Takagi and Karseno, 2006; Zhila *et al*., 2010). این نتایج با یافته‌های مطالعه اخیر در هنگام افزایش میزان نمک از یک گرم بر لیتر به دو گرم بر لیتر مشابه است. در واقع، این نشان می‌دهد که افزایش فاکتورهای مورد بحث، تحت شرایط تنش شوری ملایم اتفاق می‌افتد. این روند در مقادیر امگا-۳، ALA، EPA و DHA نیز مشاهده شد که افزایش قابل‌ملاحظه این اسیدهای چرب در یک گرم بر لیتر سدیم کلرید و سپس کاهش آن در غلظت بیشتر نمک (دو گرم بر لیتر)، را نشان می‌دهد. هر چند، مقادیر امگا-۶ و امگا-۹ با افزایش میزان سدیم کلرید سیر افزایشی خود را حفظ نمود.

حضور لینولئیک اسید (امگا-۶) و α- لینولنیک اسید (امگا۳)، که از اسیدهای چرب ضروری برای انسان و حیوانات به‌شمار می‌آیند می‌تواند یک نقطه عطفی برای ساخت زنجیره‌های بلندتر باشد. این شرایط و نتایج با یافته‌های Skjanes و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت.

مطالعات انجام‌شده توسط Srivastava و همکاران (۲۰۱۴)، برای درک تأثیر شوری بر متابولیسم سنتز لیپید جلبک، پس از استخراج چربی تام و تبدیل آن به متیل استر اسید چرب (FAME)، در شرایط بهینه شوری نشان دادند که مکانیسم‌های فیزیولوژیکی متفاوتی چون جذب، جریان و احتباس افتراقی یون سدیم در داخل و خارج سلول و سیالیت غشای سلولی ایجاد می‌شوند که منجر به تغییر در ترکیب اسیدهای چرب می‌شود (Srivastava *et al*., 2014). لیپیدهای جلبکی از اسیدهای چرب اشباع، تک غیراشباع و چند غیراشباع تشکیل شده اند. متیل‌استرهای اسیدهای چرب سنتزشده (FAME)، معمولاً دارای طول زنجیره‌ای از C_{16} تا C_{18} هستند (Miao and Wu, 2007). اسیدهای چرب مطالعه اخیر از C_{12} تا C_{22} شامل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

شد که با مطالعه Heiba و همکاران (۱۹۹۷)، مطابقت دارد. برخی ویژگی‌های اسیدهای چرب نظیر طول زنجیره کربنی، درجه غیر اشباعیت و ترکیب درصد به‌شدت بر پایداری اکسیداتیو تأثیر می‌گذارد (Singh *et al*., 2014). در بخشی از مطالعه Shekh و همکاران (۲۰۱۶)، اثر شوری بر ترکیب اسیدهای چرب، در شوری ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر PUFA، MUFA و SFA به‌ترتیب ۴۶/۵۶، ۱۶/۴۱ و ۱۹/۵۱ درصد گزارش گردید (Shekh *et al*., 2016).

در یک مطالعه مشابه توسط Dahmen و همکاران (۲۰۱۶)، نیز نشان داده شد که تنش شوری در سدیم کلرید دو مولار موجب افزایش کل SFA و MUFA و کاهش PUFA در امفورا سابتروپیکا (*Amphora subtropica*) و گونه دونالیلا می‌گردند. در مطالعه Pandit و همکاران (۲۰۱۷)، مشابه با مطالعه حاضر، تنش شوری در ۰/۴ مولار سدیم کلرید موجب افزایش محتوای چربی تام از طریق افزایش SFA و MUFA در دو جلبک کلرلا ولگاریس و اکوتودسموس ابلیکوس گردید (Pandit *et al*., 2017). همچنین، در مطالعه Xu و Beardall (۱۹۹۷)، بر روی دونالیلای دریاچه فوق شور آنتارتیک، مشاهده شد که با بالا-رفتن شوری، اسیدهای چرب اشباع $C_{16:0}$ افزایش می‌یابد و به-تبع، منجر به یک افزایش کلی در تک غیراشباع شدن و کاهش چند غیراشباعی می‌گردد. همین روند در مطالعه حاضر بین دو گروه تیمار یک و دوگرم بر لیتر مشاهده گردید. افزایش نسبت SFA/PUFA با افزایش غلظت شوری، نشان‌دهنده افزایش اسیدهای چرب اشباع عمدتاً از طریق تبدیل SFAs به PUFA از طریق آنزیم‌های خاص است (Chi *et al*., 2008). بر اساس مطالعه Salama و همکاران (۲۰۱۳)، تغییرات در پروفایل اسیدهای چرب در پاسخ به شوری بالای محیط برای حفظ سیالیت غشاء و جلوگیری از تخریب آن ضروری است.

براساس مطالعات مختلف، افزایش درجه غیراشباعیت و افزایش محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره مانند انواع امگا-۳ شامل DHA، EPA و به‌ویژه ALA، احتمالاً به‌دلیل نقش دوگانه سدیم کلرید در افزایش فعالیت آنزیم‌های مسئول ازدیاد طول و غیراشباعیت اسیدهای چرب در پاسخ به استرس شوری است (Abd El-Baky *et al*., 2004; Guschina and Harwood, 2006). همان‌گونه که اشاره گردید و در نتایج مطالعه اخیر نیز دیده شد این روند تا حد شوری قابل‌تحمل برای جلبک صدق می‌کند. در مسیر بیوسنتزی امگا-۳، پالمتیک اسید به‌ترتیب به استئاریک اسید، اولئیک اسید و لینولئیک اسید تبدیل می‌شود. لینولئیک اسید به نوبه خود ممکن است با عملکرد افزایش طول و غیر اشباعیت آنزیم‌های خاصی به ALA، EPA و سپس DHA تبدیل گردد (Chen *et al*., 2008). به نظر می‌رسد در مطالعه اخیر، تنش اولیه شوری منجر به کاهش پالمیتیک اسید و سپس افزایش تولید ALA، EPA و DHA شده باشد. کاهش قابل‌توجه پالمیتیک اسید می‌تواند یکی از علل افزایش محتوای امگا-۳ کل باشد. افزایش محتوای EPA در چندین جلبک دیگر از جمله نیتزکیا لیویس (*Nitzchia laevis*) و کلرلا مینوتیسیما (*Chlorella minutissima*)، تحت تنش شوری ملایم گزارش شده است (Bumbak *et al*., 2011; Sharma *et al*., 2012). به نظر می‌رسد افزایش PUFAs نظیر ALA و EPA نقش کلیدی در بقای جلبک‌ها تحت تنش شوری دارد و متابولیسم لیپید و افزایش محتوای چربی تام و عمدتاً امگا-۳، تحت تأثیر استرس نمک قرار دارد (Rismani and Shariati, 2017). براساس نتایج مطالعه حاضر، افزایش محتوای امگا-۶، می‌تواند مستقیماً تحت تأثیر استرس نمک قرار گیرد و با غلظت سدیم کلرید ارتباط مستقیم دارد. اخیراً، PUFAs، به‌عنوان منابع ریزمغذی امگا-۳ و امگا-۶ برای تغذیه انسان، در نظر گرفته می شوند (Simopoulos, 2008) و در صورتی که هدف افزایش آنها در جلبک باشد باید شرایط را به سمت تولید آنها در این زیستمندان دریایی سوق داد. اسیدهای چرب امگا-۳ نقش‌های گسترده و مهمی در فیزیولوژی به‌ویژه در دوران جنینی و نوزادی ایفاء می‌نمایند (Bowen and Clandinin, 2005)؛ آنها جهت جلوگیری از بیماری‌های قلبی- عروقی و تشکیل لخته خون و رفع التهاب مفید هستند (Otles and Pire, 2001). در حقیقت، علاوه بر عوارض سوء ناشی از کمبود اسیدهای چرب امگا-۳ به‌عنوان اسید چرب ضروری، نسبت پایین میزان این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

اسیدهای چرب به اسیدهای چرب امگا- ۶ دررژیم‌های غذایی، خود سبب اثرات سوء بر سلامت می‌گردد (Galli *et al*., 2006)؛ بنابراین، معرفی منابع جدید و قابل‌دسترس اسیدهای چرب امگا -۳ می‌تواند گامی مؤثر در بهبود سلامت جامعه باشد. به همین دلیل، در دهه گذشته، تحقیقات متعددی جهت معرفی منابع غنی از لینولنیک اسید صورت گرفته است (Goli *et al*., 2013). قابل ذکر است که PUFA، خصوصاً، آلفا-لینولنیک اسید در بدن انسان ساخته نمی‌شوند و ماهیان خوراکی نیز خود قادر به تولید آن نیستند؛ بلکه ماهیان نیز آن را با خوردن ریزجلبک‌ها دریافت می‌نمایند. لذا، با توجه به سهولت رشد جلبک‌ها نسبت به ماهی‌ها، شرایط جایگزینی جلبک‌ها به‌عنوان منابع اصلی تولیدکننده PUFA، در رژیم‌های غذایی انسان کاملاً منطقی به نظر می‌رسد (Abyor *et al*., 2011). لینولئیک اسید، یک اسید چرب ۱۸ کربنه با دو پیوند دوگانه در موقعیت سیس است. این ترکیب، یکی از اسیدهای چرب ضروری است که انسان و دیگر حیوانات برای سلامتی به آن نیاز دارند و بدن برای فرایندهای زیستی خود به آن احتیاج دارد اما نمی‌تواند آنها را از ترکیبات غذایی دیگر سنتز نماید. (Ha *et al*., 1990). مطالعه Vanden- bergو Cook(۱۹۹۵)، نشان داد لینولئیک اسید در بیماری‌های قلبی و عروقی اثرات مفیدی دارد (Vanden- berg and Cook, 1995). همچنین، در مطالعه Ha و همکاران (۱۹۹۰)، نشان داده شد که لینولئیک اسید کونژوگه یک آنتی-اکسیدان مؤثر، قوی‌تر از آلفا توکوفرول است و تقریباً به اندازه هیدروکسی تولوئن بوتیله (BHT) مؤثر است (Ha *et al*., 1990). اثر آنتی‌اکسیدانی لینولئیک اسید کونژوگه ممکن است در فعالیت ضدسرطان‌زایی آن دخیل باشد (Chen *et al*., 1997). حداقل میزان کافی لینولنیک اسید (امگا-۳) و لینولئیک اسید (امگا-۶)، از طریق رژیم غذایی برای هر فرد بالغ به‌طور روزانه مقدار ۱/۵ گرم از هر کدام است. کمبود میزان اسیدهای چرب ضروری و ناهماهنگ بودن نسبت امگا-۶ به امگا-۳ موجب بروز ناراحتی‌های جدی چون سکته قلبی، سرطان، مقاومت به انسولین، آسم، بیماری لوپوس، افسردگی، پیری زودرس، گرفتگی عروق، چاقی، دیابت وآلزایمر می‌شود.

اسیدهای چرب امگا-۶ یکی از متداول‌ترین اسیدهای چرب غیراشباع هستند که در تراکم پلاکت‌های خونی، تشکیل لخته و انقباض رگ‌های خونی نقش دارند. اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۶ و امگا-۳، اجزای ساختاری مهم غشای سلولی هستند. آنها در ترکیب فسفولیپیدها، بر ویژگی‌های غشای سلولی مانند سیالیت، انعطاف‌پذیری، نفوذپذیری و فعالیت آنزیم‌های متصل به غشاء و مسیرهای سیگنال‌دهی سلولی تأثیر می‌گذارند (Jump *et al*., 2013). با اینکه زیست‌توده ماکروجلبک‌ها منابعی با پتانسیل قابل‌توجه هستند و در موارد گوناگونی چون اثرات غذا- دارویی، فعالیت‌های زیست پزشکی، تولید بیواتانول، بیوگازها، سوخت‌های زیستی، کاربرد دارند در عین حال، باید تولید آنها نیز با مدیریت انجام گیرد چرا که جلبک‌های پوسیده به منبع گازهای گلخانه ای تبدیل می‌گردند و یک بار انتروپوژنیک (anthropogenic) بر روی بیوسفر ایجاد می‌نمایند. پتانسیل تشکیل گازهای گلخانه‌ای برای جلبک‌ها نسبتاً زیاد است و به ۴۹۸/۷۵ میلی‌لیتر در هر یک گرم ماده خشک می‌رسد (Venugopa, 2008).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر استرس شوری مقادیر لیپیدی تام، پروفایل اسیدهای چرب، امگا-۳، امگا-۶ و امگا-۹، در جلبک قهوه¬ای سارگاسوم بوویانوم سواحل بوشهر را تغییر داد. میزان چربی تیمار یک گرم بر لیتر نمک نسبت به گروه کنترل افزایش و سپس روند کاهشی را در تیمار دو گرم بر لیتر نشان داد؛ هر چند این اختلاف معنی¬دار نبود. آنالیز GC-FID، تعداد ۱۷ نوع اسید چرب را در هر یک از گروه¬ها با تغییر در مقادیر آنها نشان داد. در بین اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، پالمیتیک اسید و سرونیک اسید، به‌ترتیب بیشترین میزان را در هر سه گروه نشان دادند. افزایش ملایم شوری موجب تغییر در مقادیر اسیدهای چرب هر سه امگا گردیده بود. یافته‌های این مطالعه را می¬توان برای دستیابی به مکانیسم‌ها و شرایط هدفمند تنش شوری که موجب افزایش اسیدهای چرب خاص می‌شود، گسترش داد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

منابع

Abd El-Baky, H. H., El Baz, F. K. and El-Baroty, G. S. (2004) Production of lipids rich in omega-3 fatty acids from the halotolerant alga *Dunaliella salina*. Biotechnology 3: 102-108.

Abyor, N., Ariyanti, D. and Hadiyanto, H. (2011) Potential production of polyunsaturated fatty acids from microalgae. International Journal of Science 2: 13-16.

Agostoni, C., Moreno, L. and Shamir, R. (2016) Palmitic acid and health. Introduction Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56: 1941-1942.

Akbari, M., Razavizadeh, R., Mohebbi, G. H. and Barmak, A. (2012) Oil characteristics and fatty acid profile of seeds from three varieties of date palm (*Phoenix dactylifera*) cultivars in Bushehr-Iran. African Journal of Biotechnology. 11: 12088-93.

Allakhverdiev, S. I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y. and Murata, N. (2000) Inactivation of photosystems I and II in response to osmotic stress in Synechococcus: Contribution of water channels. Plant Physiology 2000, 122: 1201-1208.

Arunkumar, K., Selvapalam, N. and Rengasamy, R. (2005) The antibacterial compound sulphoglycerolipid 1-0 palmitoyl-3-0-(6'-sulpho-α-quinovopyranosyl)-glycerol from *Sargassum wightii* Greville (Phaeophyceae). Botanica Marina 48: 441-445.

Ayyad, S. E., Ezmirly, S. T., Basaif, S. A., Alarif, W. M., Badria, A. F. and Badria, F. A. (2011) Antioxidant, cytotoxic, antitumor, and protective DNA damage metabolites from the Red Sea Brown alga *Sargassum* sp. Pharmacognosy Research 3: 160-165.

Azachi, M., Sadka, A., Fisher, M., Goldshlag, P., Gokhman, I. and Zamir, A. (2002) Salt induction of fatty acid elongase and membrane lipid modifications in the extreme halotolerant alga *Dunaliella salina*. Plant Physiology 129: 1320-1329.

Ben-Amotz, A., Tornabene, T. G. and Thomas, W. H. (1985) Chemical profile of selected species of microalgae with emphasis on lipids 1. Journal of Phycology 21: 72-81.

Bligh, E. G. and Dyer, W. J. A. (1959) rapid method of increase lipid yields. Arquipelago. Life and Marine Science 31: 9-14.

Boswell, K., Koskelo, E., Carl, K. L., Glaza, S., Hensen, D. J. and Williams, K. D. (1996) Preclinical evaluation of single-cell oils that are highly enriched with arachidonic acid and docosahexaenoic acid. Food and Chemical Toxicology 34: 585-593.

Bowen, R. A. and Clandinin, M. T. (2005) Maternal dietary22:6n-3 is more effective than 18:3n-3 inincreasing content in phospholipids of glialcells from neonatal rat brain. British Journal of Nutrition 93: 601-11.

Buckley, J. D. and Howe, P. R. C. (2010) Long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids may be beneficial for reducing obesity. A review. Nutrients 2: 1212-1230.

Bumbak, F., Cook, S., Zachleder, V., Hauser, S. and Kovar, K. (2011) Best practices in heterotrophic high-cell-density microalgal processes: achievements, potential and possible limitations. Apply Microbiology and Biotechnology 91: 31-46.

Chen, Z., Chan, P., kwan, K. and zhang, A. (1997) Reassessment of the antioxcidant activity of conjugated linoleic acids. Journal of the American Oil Chemical Society 74: 749-753.

Chen, G. Q., Jiang, Y. and Chen, F. (2008) Salt induced alterations in lipid composition of diatom *Nitzschia laevis* (Bacillariophyceae) under heterotrophic culture condition. Journal of Phycology 44: 1309-1314.

Chen, Z., Xu, Y., Liu, T., Zhang, L., Liu, H. and Guan, H. (2016) Comparative studies on the Characteristic fatty acid profiles of four different Chinese medicinal Sargassum seaweeds by GC-MS and chemometrics. Marine Drug 14: 68.

Chen, G. Q., Jiang, Y. and Chen, F. (1985) Salt-induced alterations in lipid composition of diatom nitzschia laevis (bacillariophyceae) under heterotrophic culture condition 1. Journal of Phycology 44: 1309-1314.

Chi, X., Yang, Q., Zhao, F., Qin, S., Yang, Y., Shen, J. and Lin, H. (2008) Comparative analysis of fatty acid desaturases in cyanobacterial genomes. Comparative and Functional Genomics 1-25.

Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: 294-306.

Chokshi, K., Pancha, I., Trivedi, K., George, B., Maurya, R., Ghosh, A. and Mishra, S. (2015) Biofuel potential of the newly isolated microalgae *Acutodesmus dimorphus* under temperature induced oxidative stress conditions. Bioresourse Technology 180: 161-171.

Chtourou, H., Dahmen, I., Jebali, A., Karray, F., Hassairi, I., Abdel-kafi, S., Ayadi, H., Sayadi, S. and Dhouib, A. (2015) Characterization of *Amphora* sp., a newly isolated diatom wild strain, potentially usable for biodiesel production. Journal of Bioprocess and Biosystem Engineering 38: 1381-1392.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

Cuin, T. A. and Shabala, S. (2007) Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in Arabidopsis roots. Plant Cell and Environment 30: 875-885.

Custodio, L., Soares, F., Pereira, H., Barreira, L., Vizetto-Duarte, C., Rodrigues, M. J. and Varela, J. (2014) Fatty acid composition and biological activities of *Isochrysis galbana* T-ISO, *Tetraselmis* sp. and *Scenedesmus sp*.: Possible application in the pharmaceutical and functional food industries. Journal of Apply Phycology 26: 151-161.

Dahmen, M. B. I., Chtourou, H., Rezgui, F., Sayadi, S. and Dhouib, A. (2016) Salinity stress increases lipid, secondary metabolites and enzyme activity in *Amphora subtropica* and *Dunaliella* sp. for biodiesel production. Bioresource Technology 816-825.

Del- Campo, J. A., Rodriguez, H., Moreno, J., Vargas, M. A., Rivas, J. and Guerrero, M. G. (2004) Accumulation of astaxanthin and lutein in *Chlorella zofingiensis* (Chlorophyta). Journal of Applied Microbiology and Biotechnology 64: 848-854.

Elloumi,W., Jebali, A., Maalej, A., Chamkha, M. and Sayadi, S. (2020) Effect of mild salinity stress on the growth, fatty acid and carotenoid compositions, and biological activities of the Thermal Freshwater Microalgae *Scenedesmus* sp. Biomolecules 10: 1515.

Fan, J., Cui, Y., Wan, M., Wang, W. and Li, Y. (2014) Lipid accumulation and biosynthesis genes response of the oleaginous *Chlorella pyrenoidosa* under three nutrition stressors. Biotechnology Biofuels 7: 17.

Fontani, G., Corradeschi, F., Felici, A., Alfatti, F., Migliorini, S. and Lodi, L. (2005) Cognitive and physiological effects of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation in healthy subjects. European Journal of Clinical Investigation 35: 691-699.

Galli, C. and Marangoni, F. (2006) N-3 fatty acids in the Mediterranean diet. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids 75: 129-133.

Gill, I. and Valivety, R. (1997) Polyunsaturated fatty acids. part I: Occurrence, biological activities and applications. Trends in Biotechnology 15: 401-409.

Goli, S. A. H., Sahafi, S. M. and Rashidi, B. (2013) Novel oilseed of *Dracocephalum kotschyi* with high n3 to n6 polyunsaturated fatty acid ratio. Industrial Crop and Products 43: 188-93.

Griffiths, M. J. and Harrison, S. T. L. (2009) Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production. Journal Apply of Phycology 493-507.

Guschina, I. A. and Harwood, J. L. (2006) Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae. Program in Lipid Research 2006; 45: 160-186.

Ha, Y., Storkson, J. and Pariza, M. W. (1990) Inhibition of benze pyrene –induced mouse fores tomach neoplasia by conjugated dienoic derivatives of linoleic acid. Cancer Research 1990; 50: 1097-1101.

Hafezieh, M., Hosseini, S. H., Ajdari, D. and Hossein Pour, H. (2014) Nutritional value evaluation of two seaweed of the Gulf of Oman: *Sargassum illicifolium* and *Gracillaria cortica*. Journal of Oceangraphy 5: 83-90.

Harikumar, K. B., Sung, B., Tharakan, S. T., Pandey, M. K., Joy, B., Guha, S., Krishnan, S. and Aggarwal, B. B. (2010) Sesamin manifests chemopreventive effects through the suppression of NF-kappa B-regulated cell survival, proliferation, invasion, and angiogenic gene products. Molecular Cancer Research 8: 751-61.

Heiba, H. I., Al-Easa, H. S. and Rizk, A. F. M. (1997) Fatty acid composition of twelve algae from the coastal zones of Qatar. Plant Foods for Human Nutrition 51: 27-34.

Herbreteau, F., Coiffard, L. J. M. and Derrien, A. (1997) The fatty acid composition of five species of macroalgae. Botanical Marina 40: 25-8.

Huh, G. H., Damsz, B., Matsumoto, T. K., Reddy, M. P., Rus, A. M., Ibeas, J. I., Narasimhan, M. L., Bressan, R. A. and Hasegawa, P. M. (2002) Salt causes ion disequilibrium-induced programmed cell death in yeast and plants. Plant Journal 29: 649-659.

Hwang, P. A., Wu, C. H., Gau, S. Y., Chien, S. Y. and Hwang, D. F. (2010) Antioxidant and immune-stimulating activities of hot-water extract from seaweed *Sargassum hemiphyllum*. Journal of Marine Science and Technology 18: 41-46.

ISO 3960: 2017. Animal and vegetable fats and oils - Determination of peroxide value - Iodometric (visual) endpoint determination.

ISO 6320: 2017. Animal and vegetable fats and oils - Determination of refractive index.

ISO 660: 2009. Animal and vegetable fats and oils- Determination of acid value and acidity- Test method.

Jaswir, I., Novirndri, D. and Salleh, H. M. (2012) fucoxanthin extractions of brown seaweeds and analysis of their lipid fraction in methanol. Food Science and Technology Research 18: 25.

Jin, L., Junchao, H., Zheng, S., Yujuan, Z., Yue, J. and Feng, C. (2011) Differential lipid and fatty acid profiles of photoautotrophic and heterotrophic *Chlorella zofingiensis*: Assessment of algal oils for biodiesel production. Bioresource Technology 102: 106-110.

Johnson, M. K., Johnson, E. J., M.C. Elroy, R. D., Speer, H. L. and Bruff, B. S. (1968) Effect of salt on the halophilic alga *Dunaliella viridis*. Journal of Bacteriology 95: 1461-1468.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

Jump, D. B., Tripathy, S. and Depner, C. M. (2013) Fatty acid-regulated transcription factors in the liver. The Annual Review of Nutrition 33: 249-269.

Kan, G., Shi, C., Wang, X., Xie, Q., Wang, M., Wang, X. and Miao, J. (2012) Acclimatory responses to high-salt stress in Chlamydomonas (Chlorophyta, Chlorophyceae) from Antarctica. Acta Oceanology Sinica 31: 116-124.

Khairy, H. M. and El-Shafay, S. M. (2013) Seasonal Variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt. Oceanologia Journals 55: 435-52.

Khalifeh, T., Vazirizadeh, A., Mohebbi, G. H., Barmak, A. R. and Darabi, A. H. (2021) Determination of some nutraceutical compounds, amino acids and fatty acids present in the extracts of *Sargasum boveanum* algae obtained from the Coastal Waters of Central Bushehr, Iran. Iran South Medical Journal 24: 134-159.

Kim, Y. H., Kim, E. H., Lee, C., Kim, M. H. and Rho, J. R. (2007) Two new monogalactosyl diacylglycerols from brown alga *Sargassum thunbergii*. Lipids 42: 395-399.

Kirrolia, A., Bishnoi, N. R. and Singh, N. (2011) Salinity as a factor affecting the physiological and biochemical traits of *Scenedesmus quadricauda*. Journal of Algal Biomass Utillization 2: 28-34.

Kumar, M. and Sharma, M. P. (2014) Potential assessment of microalgal oils for biodiesel production: A review. Journals of Materals and Environmental Science 5: 757-766.

Leshem, Y., Seri, L. and Levine, A. (2007) Induction of phosphatidylinositol 3-kinase-mediated endocytosis by salt stress leads to intracellular production of reactive oxygen species and salt tolerance. Plant Journal 51: 185-197.

Maathuis, F. J. M. and Amtmann, A. (1999) K^+ nutrition and Na^+ toxicity: The basis of cellular K^+/Na^+ ratios. Annals of Botany 84: 123-133.

Miao, X. and Wu, Q. (2007) Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. Bioresourorce Technology 97: 841-846.

Miyashita, K., Mikami, N. and Hosokawa, M. (2013) Chemical and nutritional characteristics of brown seaweed lipids: A review. Journal of Functional Foods 5: 1507-17.

Nomura, M., Kamogawa, H., Susanto, E., Kawagoe, Ch., Yasui, H., Saga, N., Hosokawa, M. and Miyashita, K. (2013) Seasonal variation of total lipids, fatty acid composition, and fucoxanthin contents of *Sargassum horneri* (Turner) and *Cystoseira hakodatensis* (Yendo) from the Northern Seashore of Japan. Journal of Applied Phycology 25: 1159-1169.

Otles, S. and Pire, R. (2001) Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgae species. Journal of AOAC International 84: 1708-14.

Paiva, L., Lima, E., Patarra, R. F., Neto, A. I. and Baptista, J. (2014) Edible azorean macroalgae as source of rich nutrients with impact on human health. Food Chemistry 164: 128-135.

Pancha, I., Chokshi, K. and Mishra, S. (2015) Enhanced biofuel production potential with nutritional stress amelioration through optimization of carbon source and light intensity in *Scenedesmus* sp. CCNM 1077. Bioresource Technology 179: 565-572.

Pandit, P. R., Fulekar, M. H. and Karuna, M. S. L. (2017) Effect of salinity stress on growth, lipid productivity, fatty acid composition, and biodiesel properties in *Acutodesmus bliquus* and *Chlorella vulgaris*. Environmental Science and Pollution 24: 13437-13451.

Plouguerne, E. D. E., Souza, L. M., Sassaki, G. L., Cavalcanti, J. F., Romanos, M. T. V., DA- Gama, B. A. P., Pereira, R. C. and Barreto-Bergter, E. (2013) Antiviral Sulfoquinovosyldiacylglycerols (SQDGs) from the Brazilian Brown Seaweed *Sargassum vulgare*. Marine Drugs 11: 4628-4640.

Powell, E. E. and Hill, G. A. (2009) Economic assessment of an integrated bioethanol biodiesel microbial fuel cell facility utilizing yeast and photosynthetic algae. Chemical Engineering Research and Design 87: 1340-1348.

Rao, A. R., Dayananda, C., Sarada, R., Shamala, T. R. and Ravishankar, G. A. (2007) Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents. Bioresouroce Technology 98: 560-564.

Rismani, S. and Shariati, M. (2017) Changes of the total lipid and omega-3 fatty acid contents in two microalgae *Dunaliella salina* and *Chlorella vulgaris* under salt stress. Brazilian Archives of Biological and Applied Sciences 60.

Salama, E. S., Kim, C. H., Reda, A. I., Shanab, A., Kyu, J. M., Kwan, O. K., Seong, H, K. and Byong, H. J. (2013) Biomass, lipid content, and fatty acid composition of freshwater *Chlamydomonas mexicana* and *Scenedesmus obliquus* grown under salt stress. Bioprocess and Biosystem Engineering 36: 827-833.

Sanchez, J. F., Fernandez, J. M., Acien, F. G., Rueda, A., Perez-Parra, J. and Molina, E. (2008) Influence of culture conditions on the productivity and lutein content of the new strain *Scenedesmus almeriensis*. Process Biochemistry 2008; 43: 398-405.

Sekmen, A. H., Turkan, I. and Takio, S. (2007) Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt-tolerant *Plantago maritima* and salt-sensitive *Plantago media*. Plant of Physiology 131: 399-411.

Seto, A., Wang, H. L. and Hesseltine, C. W. (1984) Culture conditions affect eicosapentaenoic acid content of *Chlorella minutissima*. Journal of the American Oil Chemists Society 61: 892-894

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

Shah, M. U. S., Radziah, C. C., Ibrahim, S., Latiff, F., Othman, M. F. and Abdullah, M. A. (2013) Effects of photoperiod, salinity and pH on cell growth and lipid content of *Pavlova lutheri*. Annual of Microbiology 64: 157-164.

Shariati, M. and Lilley, R. M. C. C. (1944) Loss of intracellular glycerol from *Dunaliella* by electroporation at constant osmotic pressure: Subsequent restoration of glycerol content and associated volume changes. Plant, Cell and Environmental 17: 1295-1304.

Sharma, K. K., Schuhmann, H. and Schenk, P. M. (2012) High lipid induction in microalgae for biodiesel production. Jouanals Energies 5: 1532-1553.

Shekh, A. Y., Shrivastava, P., Gupta, A., Krishnamurthi, K., Devi, S. S. and Mudliar, N. S. (2016) Biomass and lipid enhancement in *chlorella* sp. with emphasis on biodiesel quality assessment through detailed FAME signature. Bioresource of Technology 201: 276-286.

Simopoulos, A. P. (2008) The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. Experimental Biology and medicine 233: 674-688.

Singh, B., Guldhe, A., Rawat, I. and Bux, F. (2014) Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29: 216-245.

Skjanes, K., Rebours, C. and Lindblad, P. (2013) Potential for green microalgae to produce hydrogen, pharmaceuticals and other high value products in a combined process. Biotechnology 33: 172-215.

Srivastava, A., Singh, S. S. and Mishra, K. A. (2014) Modulation in fatty acid composition influences salinity stress tolerance in *Frankia strains*. Annals of Microbiology 64: 1315-1323.

Sujatha, K. and Nagarajan, P. (2014) Effect of salinity on biomass and biochemical constituents of *Spirulina platensis* (Geitler). International Journal of Plant Protection 7: 71-73.

Sushchik, N. N., Kalacheva, G. S., Zhila, N. O., Gladyshev, M. I. and Volova, T. G. (2003) A temperature dependence of the intra-and extracellular fatty-acid composition of green algae and cyanobacterium. Russian Journal of Plant Physiology 50: 374-380.

Takagi, M. and Karseno, Y. T. (2006) Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells. Journal of Bioscience and Bioenergy 2006; 101: 223-226.

Tatsuzawa, H., Takizawa, E., Wada, M. and Yamamoto, Y. (1996) Fatty acid and lipid composition of the acidophilic green alga *Chlamydomonas* sp. 1. Journal of Phycology 32: 598-601.

Vanden- berg, J. J. and Cook, N. (1995) Reinvestigation of the antioxcidant properties of conjugated linoleic acids. Lipids 30: 599-605.

Wu, W., Hasumi, K., Peng, H., Hu, X., Wang, X. and Bao, B. (2009) Fibrinolytic compounds isolated from a brown alga, *Sargassum fulvellum*. Marine Drugs 7: 85-94.

Xu, X. Q. (1994) Studies on microalgae from *Antarctic hypersaline* lakes. Monash University, Australia.

Xu, X. Q. and Beardall, J. (1997) Effect of salinity on fatty acid composition of a green microalga from an antarctic hypersaline lake. Phytochemistry 45: 655-658.

Yang, E. J., Ham, Y. M., Lee, W. J., Lee, N. H. and Hyun, C. G. (2013) Anti-Inflammatory effects of apo-9'-fucoxanthinone from the brown alga, *Sargassum muticum*. DARU Journal of Pharmaceutical Sciences 21: 62-68.

Ye, H., Zhou, C., Sun, Y., Zhang, X., Liu, J., Hu, Q. and Zeng, X. (2009) Antioxidant activities in vitro of ethanol extract from brown seaweed *Sargassum pallidum*. European Food Research and Technology 230: 101-109.

Yilancioglu, K., Cokol, M., Pastirmaci, I., Erman, B. and Cetiner, S. (2014) Oxidative stress is a mediator for increased lipid accumulation in a newly isolated *Dunaliella salina* strain. PLoS One 9: e91957.

Yongmanitchai, W. and Ward, O. P. (1991) Growth of and omega-3 fatty acid production by *Phaeodactylum tricornutum* under different culture conditions. Apply of Environmental Microbiology 57: 419-425.

Zhang, R. L., Luo, T. N. and Zhou, S. K. (2012) Evaluation of antioxidant and immunity-enhancing activities of *Sargassum pallidum* aqueous extract in Gastric Cancer Rats. Molecules 17: 8419-8429.

Zhila, N. O., Kalacheva, G. S. and Volova, T. G. (2010) Effect of salinity on the biochemical composition of the alga *Botryococcus braunii* Kutz IPPAS H-252. Journal of Apply Phycology 23: 47-52.

Zhu, J. K. (2002) Salt and drought stress signal transduction in plants. Plant of Biology 53: 247-273.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]

Effects of salt stress on total lipid values, fatty acid profiles, omega-3, omega-6 and omega-9, in the brown algea *Sargassum boveanum* on Bushehr coast

Maryam Akbari[1], Roya Razavizadeh[1], Hamid Sobhanian[1], Ghlomreza BakhshiKhaniki[1], Gholamhossein Mohebbi[2*]

[1] Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran
[2] The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran
(Received: 25/06/2022, Accepted: 05/08/2022)

Abstract

Some algae are rich sources of various beneficial lipids and fatty acids. In recent years, several studies have been performed on algae to evaluate the effect of different salinity treatments on the quantity and quality of these lipids. The present study was performed to investigate the effect of different concentrations of sodium chloride on total lipid content, fatty acid profile, and omega-3, 6, and 9 amounts in the alga Sargassum boveanum. Algae samples were collected from the shores of Bushehr Province and kept in three aquariums for 30 days in three control groups and treatments of 1 and 2 g / l sodium chloride. Then their lipid extraction was performed using Bligh and dyer method (1959). The factors of acid value (AV), peroxide value (PV), and refractive index (RI) of lipids were determined according to ISO standard methods for numbers 660 (2009), 3960 (2017), and 6320 (2017), respectively. The methylation of the samples was performed according to the standard method of 66-2-AOCS-Ce, and the analysis of fatty acids was performed by gas chromatography equipped with a flame ionization detector (GC-FID). The amount of fat in the treatment of one gram/liter of salt increased compared to the control group and then showed a decreasing trend in the treatment of two grams per liter; however, this difference was not significant. GC-FID analysis showed 17 types of fatty acids in each group. Among saturated and unsaturated fatty acids, palmitic acid and seronic acid showed the highest levels in all three groups, respectively. A slight increase in salinity caused a change in the values of omega-fatty acids. The findings of this study can be extended to achieve targeted mechanisms and conditions of salinity stress that increase specific fatty acids.

Keywords: Fatty acids, Lipid, Macroalgae, Salt stress, *Sargassum boveanum*

Corresponding author, Email: mohebbihsn@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.8.5]