Journal of Fisheries
Vol. 77, No. 3, Autumn 2024
pp. 219-227

Using kaolin to control the Cyanobacterial bloom isolated from warm water fish ponds

Mostafa Alishiri Junaghani[1*], Alireza Fallah Nosratabad[2]

1. PhD graduate, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Promotion Research Organization, Karaj, Iran

Received: 27-Aug-2023 **Accepted: 12-Mar-2024**

Abstract
The phenomenon of cyanobacterial bloom, among other things, is chronic and periodic pollution, which is mainly caused by phosphorus and nitrogen, as well as high temperatures and direct sunlight. To carry out this experiment, in order to obtain blooming cyanobacteria in the warm water pond fish, water samples were taken from 5 farms and after purification, mass culture of 4 species of cyanobacteria that had the highest density was prepared. Then kaolin with a concentration of 0.5 g/liter and separately with two sizes of 50 and 100 micrometers was added to the pure culture of any cyanobacteria species using a 1-meter column. The amount of reduction of cyanobacteria was checked by counting by Neubauer chamber at 0, 3, 9 and 24 hours after adding to it. The results showed the decrease in the number of cyanobacteria *Chroococcus* sp. For kaolin with two sizes of 100 and 50 micrometers, it was 24.4 and 39%, respectively. This rate was 25.8 and 15.5% for the cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. Also, for cyanobacterium *Oscillatoria* sp., 23.5 and 35.3% were calculated and finally for cyanobacterium *Microcystis* sp., 29.4 and 33.3% were calculated. The results of this research showed that the separate use of two sizes of kaolin, 100 and 50 micrometers, is effective for the immediate control of cyanobacterial bloom, and also, comparing the two sizes of kaolin, kaolinite with the size of 50 micrometers had better operation.

Keywords*:* Kaolin, Cyanobacteria, Chemical control, Blue-green algae

∗ Corresponding author: Mostafa Alishiri Junaghani Email: mostafaalishiri@ut.ac.ir

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳
صفحات ۲۲۷-۲۱۹

استفاده از کائولینت جهت کنترل شکوفایی سیانوباکتریایی جدا شده از استخرهای مزارع پرورش ماهیان گرمابی

مصطفی علی‌شیری جونقانی[1*]، علیرضا فلاح نصرت آباد[2]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری تخصصی، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشیار موسسهٔ تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲

چکیده

پدیدهٔ شکوفایی سیانوباکتریایی از جمله، آلودگی‌های مزمن و دوره‌ایست که بیشترً ناشی از فسفر و نیتروژن و نیز در دماهای بالا و تابش نور مستقیم خورشید رخ می‌دهد. برای انجام این آزمایش، جهت دستیابی به سیانوباکتری‌های شکوفا کننده در استخر پرورش ماهیان گرمابی از آب ۵ مزرعه نمونه‌برداری شد و پس از خالص‌سازی، کشت انبوه ۴ گونهٔ سیانوباکتری دارای بیشترین تراکم، تهیه گردید. سپس کائولینت با غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر و به‌صورت مجزا با دو اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر به کشت خالص هر گونهٔ سیانوباکتر در یک ستون یک متری اضافه شد و میزان کاهش سیانوباکتری‌ها با شمارش به‌وسیلهٔ لام نئوبار در زمان های ۰، ۳، ۹ و ۲۴ ساعت پس از افزودن به آن بررسی گردید. نتایج نشان داد میزان کاهش تعداد سیانوباکتری .sp *Chroococcus* برای کائولینت با دو اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر به‌ترتیب ۲۴/۴ و ۳۹ درصد بود. این عدد برای سیانوباکتری .sp *Gloeocapsa*، ۲۵/۸ و ۱۵/۵ و برای سیانوباکتر .sp *Oscillatoria*، ۲۳/۵ و ۳۵/۳ و در نهایت برای سیانوباکتر .sp *Microcystis*، ۲۹/۴ و ۳۳/۳ درصد محاسبه شد ($P<۰/۰۵$). نتایج این پژوهش نشان داد استفاده مجزا از دو اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر کائولینت جهت کنترل فوری شکوفایی سیانوباکتریایی مؤثر است و کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر عملکرد بهتری دارد.

واژگان کلیدی: کائولینت، سیانوباکتری، شکوفایی سیانوباکتریایی، ماهیان گرمابی

* نویسنده مسئول: مصطفی علی‌شیری جونقانی
Email: mostafaalishiri@ut.ac.ir

۱. مقدمه

یوتریفیکاسیون و تغییرات آب و هوایی به‌عنوان محرک‌های اصلی شکوفایی سیانوباکتریایی در منابع آبی شناخته می‌شوند (Gobler, 2020). اکثر سیانوباکترها در ستون آب معلق هستند و می‌توانند شناوری خود را براساس اعماق بهینه از نظر نور و دسترس بودن مواد مغذی تنظیم کنند (Reynolds *et al.*, 1987). سیانوباکتری‌ها در زمان شکوفایی به‌دلیل توانایی آنها در تولید متابولیت‌هایی مانند سیانوتوکسین‌ها، معمولاً به‌عنوان پدیده‌های مضر شناخته می‌شوند (Lefebvre *et al.*, 2016). این متابولیت‌ها باعث نگرانی جهت صنایع وابسته به آب مانند آبزی‌پروری می‌شوند و به‌طور قابل توجهی بر اقتصاد یک منطقه تأثیرگذار هستند (Bechard, 2019). وقوع پدیده‌های شکوفایی سیانوباکتریایی در نتیجه عوامل مختلف محیطی و انسانی از جمله آلودگی‌های مزمن و دوره‌ای است که بیشتر ناشی از افزایش غلظت فسفر و نیتروژن اند و نیز در دماهای بالا و قرار گرفتن در معرض نور مستقیم خورشید تقویت می‌شوند (Paerl and Otten, 2013). این شرایط دقیقاً مشابه یک استخر پرورش ماهی گرمابی کوددهی شده در تابستان است. همچنین پیش‌بینی شده است که به‌دلیل تغییرات آب و هوای جهانی، پدیدهٔ شکوفایی سیانوباکتریایی افزایش پیدا کند (Paerl *et al.*, 2016). یکی از راهکارهای مهم در کنترل این پدیده استفاده از روش‌های شیمیایی و فیزیکی جهت ته‌نشینی سیانوباکترها از ستون آب است. آلومینیوم، آهن، کربنات کلسیم و ذرات رس برای رسوب دادن سلول‌های سیانوباکتریایی پیشنهاد شده‌اند (Kibuye *et al.*, 2020). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی قابلیت کنترل شیمیایی شکوفایی سیانوباکتریایی و رسوب‌گذاری آنها به‌وسیلهٔ نانوذرات کائولینت انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. خالص‌سازی، جداسازی و شناسایی سیانوباکتری‌ها

نمونه‌برداری از ۵ استخر پرورش ماهی در استان گیلان، شهرستان رودبار، بخش رحمت‌آباد انجام شد. نمونه‌برداری از هر چهار طرف استخرها و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری سطح آب انجام گردید و پس از اختلاط نمونه‌ها، یک نمونهٔ ۲۵۰ میلی‌لیتری جهت کشت به آزمایشگاه گروه بیولوژی موسسهٔ تحقیقات خاک و آب کشور منتقل شد. سپس جهت تشکیل کلنی‌های اولیهٔ سیانوباکتری‌ها، مقدار ۱ میلی‌لیتر از رقت‌های 10^{-1} تا 10^{-5} نمونهٔ آب در پتری دیش‌های حاوی محیط کشت جامد BG11 به‌مدت ۱۴ روز در دمای ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و با شدت نور ۲۵۰۰ لوکس با تناوب نوری ۲۴ ساعت روشنایی در گرمخانه نگهداری شدند. بعد از پیدایش کلنی‌های متفاوت سیانوباکتری‌ها، هر کلنی به‌صورت جداگانه به پتری‌دیش‌های جدید حاوی محیط کشت جامد BG11 منتقل شد و مجدداً به‌مدت ۱۴ روز در شرایط مشابه آنچه به آن اشاره شد، انکوباته شدند. در ادامه، طی ۳ مرتبه واکشت مشابه شرایط قبل، سیانوباکتری‌ها خالص گردیدند. در ادامه، جدایه‌های سیانوباکتریایی به روش مورفولوژیک، با تهیهٔ لام از کلنی‌های مختلف، با استفاده از میکروسکوپ نوری و کلیدهای شناسایی سیانوباکتری‌ها، مشخصات میکروسکوپی و ماکروسکوپی نمونه‌های مورد نظر شناسایی شدند (John and Museum, 2012; Komarek *et al.*, 2014). سپس مقداری از هر کلنی در محیط کشت جامد برداشت شد و به فالکون‌های ۱۰ میلی‌لیتری و سپس ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی محیط کشت مایع BG11 تلقیح گردید و به‌مدت ۱۴ روز در اتاقک رشد روی دستگاه تکان‌دهنده (با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه) در دمای ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و دورهٔ نوری ۲۴ ساعت روشنایی قرار داده شدند (Johansson and Bergman, 2006).

۲.۲. کشت انبوده

جهت کشت انبوه، حجم ۲۵۰ میلی‌لیتری خالص تهیه شده از هر سیانوباکتر ابتدا درون محیط کشت ۱/۵ لیتری کشت داده شد و سپس حجم ۱/۵ لیتری به ۲۸/۵ لیتر محیط کشت مایع BG11 اضافه شد و با هوادهی و تابش نور غیر مستقیم در دمای محیط (۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد) طی ۶ هفته به شکوفایی رسیدند.

۳.۲. آماده‌سازی دوغاب کائولینت

کائولینت مورد نیاز از شرکت اطلس تهران تهیه شد. به‌منظور برداشت میزان مادهٔ مؤثر یکسان از نظر مادهٔ خشک و همچنین از بین بردن آلودگی‌های احتمالی و اثرگذار بر شکوفایی جلبکی، کائولینت در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شد. سپس برای اضافه کردن کائولینت به‌صورت دوغاب (با دو اندازهٔ ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر به‌صورت مجزا) به‌ازای هر لیتر کشت سیانوباکتریایی

۰/۵ گرم کائولینت برداشته شد (با توجه به کشت ۳۰ لیتری از هر سیانوباکتری، ۱۵ گرم کائولینت مورد نیاز است) و در ۲ لیتر آب مقطر حل شد (Sengco *et al.*, 2005).

۴.۲. نحوهٔ تیماربندی و روش اجرایی پژوهش

آزمایش با دوغاب کائولینت به مقدار ۱۵ گرم کائولینت به‌ازای ۳۰ لیتر کشت سیانوباکتریایی با دو اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر به‌صورت مجزا برای بررسی میزان ته‌نشینی ۴ گونه سیانوباکتریایی شامل *Gloeocapsa* sp.، *Oscillatoria* sp.، *Microcystis* sp. و *Chroococcus* sp. انجام شد (Beauiieu *et al.*, 2005). پس از اضافه کردن دوغاب کائولینت با دو اندازهٔ ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر به‌صورت مجزا به کشت سیانوباکتریایی، ۴ نمونه‌برداری از هر کشت جهت شمارش تعداد سلول‌ها در زمان‌های (نمونهٔ شاهد یا زمان ۰)، ۳، ۹ و ۲۴ ساعت انجام شد.

۵.۲. بررسی ته‌نشینی سیانوباکترها پس از استفاده از کائولینت

جهت بررسی میزان حذف سیانوباکترها از ستون آب و ته‌نشینی آن‌ها، یک ستون شیشه‌ای با ابعاد ۲۲×۱۵×۱۰۰ سانتی‌متر طراحی شد تا ۳۰ لیتر کشت خالص سیانوباکتریایی به‌صورت مجزا درون آن ریخته شود و ۳، ۹ و ۲۴ ساعت پس از افزودن دوغاب کائولینت (با غلظت ۳۰ گرم کائولینت در دو لیتر آب مقطر) نمونه‌برداری انجام شد. سپس به‌وسیلهٔ لام نئوبار تعداد سلول‌های سیانوباکتریایی شمارش گردید. لازم به ذکر است پس از اضافه کردن کائولینت به کشت خالص سیانوباکتریایی، محلول هر ۲ ساعت یکبار به آرامی همزده شد.

۶.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش بر مبنای طرح آزمایشی کاملاً تصادفی بود که برای تجزیه و تحلیل و رسم داده‌های مربوطه به‌ترتیب از نرم‌افزار SPSS-26 و Exel-2016 استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسیمرنوف و بررسی همگنی واریانس‌ها در تیمارهای جداگانه با آزمون لون، به جهت بررسی اختلاف معنی‌دار از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و در صورت مشاهده اختلاف معنی‌دار به‌منظور مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن (Duncan) استفاده شد. سطح معنی‌داری در این مطالعه ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

۳. نتایج

براساس نمودارهای شکل‌های ۱ تا ۴، افزودن کائولینت به هر ۴ گونهٔ کشت سیانوباکتریایی با هر دو اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر، باعث کاهش شکوفایی جلبکی شد.

۱.۳. تأثیر کائولینت بر شکوفایی سیانوباکتری *Chroococcus* sp.

اثر کائولینت بر ته‌نشینی سیانوباکتری *Chroococcus* sp. در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج، تعداد این سیانوباکتری ۳ ساعت پس از اضافه شدن کائولینت با اندازهٔ ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر هیچ کاهش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نشان نداد. اما ۹ ساعت پس از اضافه کردن دوغاب کائولینت هر دو گروه آزمایشی حاوی کائولینت با اندازهٔ ۱۰۰ و ۵۰ میکرومتر کاهش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نشان دادند. در نهایت پس از ۲۴ ساعت ۲۴/۴ درصد کاهش برای گروه آزمایشی حاوی کائولینت با اندازهٔ ۱۰۰ میکرومتر و کاهش ۳۹ درصد برای گروه آزمایشی حاوی کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر مشاهده شد ($P<0/05$).

۲.۳. تأثیر کائولینت بر شکوفایی سیانوباکتری *Gloeocapsa* sp.

براساس نتایج (شکل ۲)، در ۳ و ۹ ساعت اولیه، اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی با گروه شاهد مشاهده نشد اما پس از ۲۴ ساعت گروه آزمایشی حاوی کائولینت با اندازهٔ ۱۰۰ میکرومتر ۲۵/۸ درصد و گروه آزمایشی حاوی کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر ۱۵/۵ درصد کاهش نشان دادند ($P<0/05$).

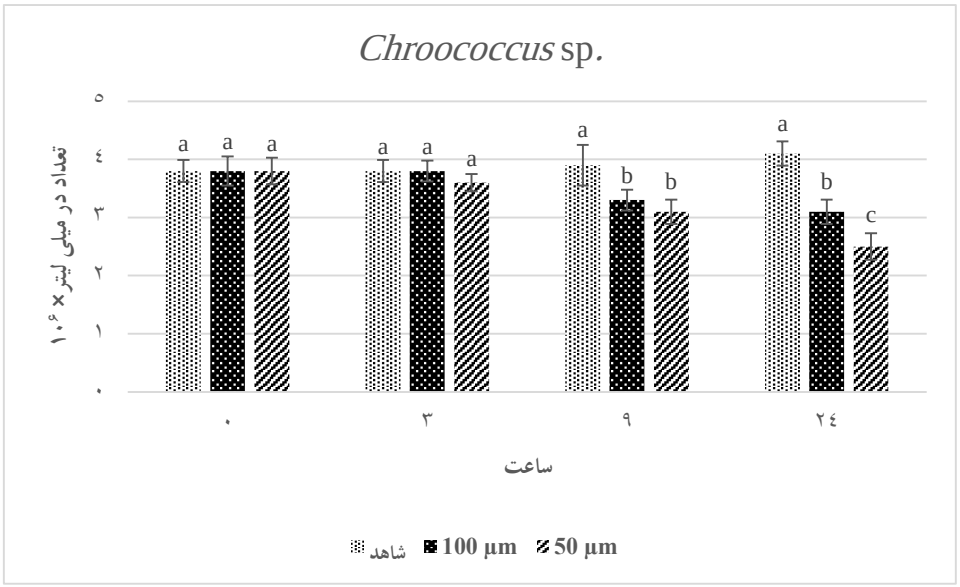
۳.۳. تأثیر کائولینت بر شکوفایی سیانوباکتری *Oscillatoria* sp.

نمودار شکل ۳ نشان داد، هر چند در ۳ ساعت اولیه برای سیانوباکتری *Oscillatoria* sp. گروه حاوی کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر اختلاف معنی‌داری با سایر گروه‌ها نشان داد اما ۶ ساعت پس از افزودن کائولینت هیچ اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی و گروه شاهد مشاهده نشد. اما ۲۴ ساعت پس از آن ۲۳/۵ درصد کاهش برای گروه حاوی کائولینت با

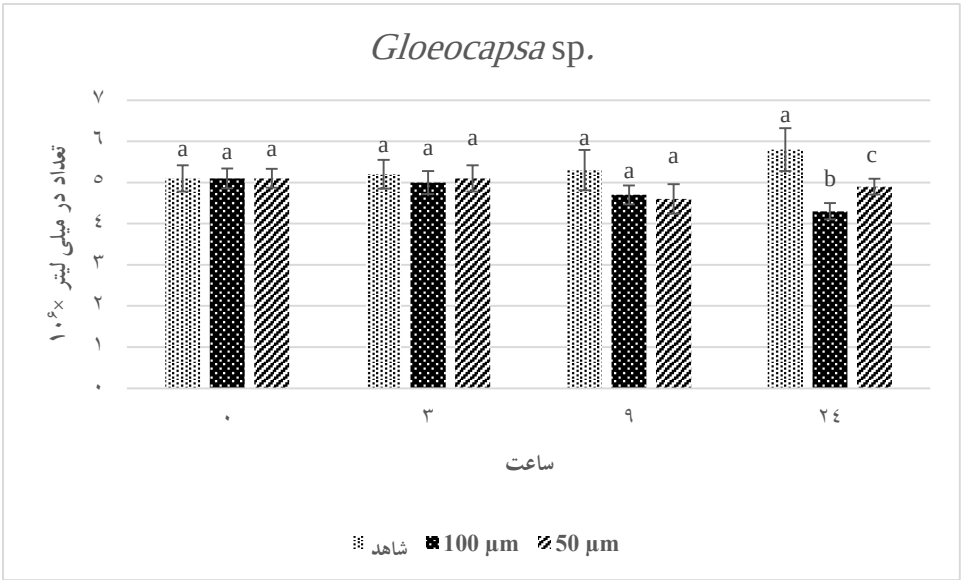
اندازۀ ۱۰۰ و ۳۵/۳ درصد کاهش برای گروه حاوی کائولینت با اندازۀ ۵۰ میکرومتر مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).

۴.۳. تأثیر کائولینت بر شکوفایی سیانوباکتری *Microcystis* sp.

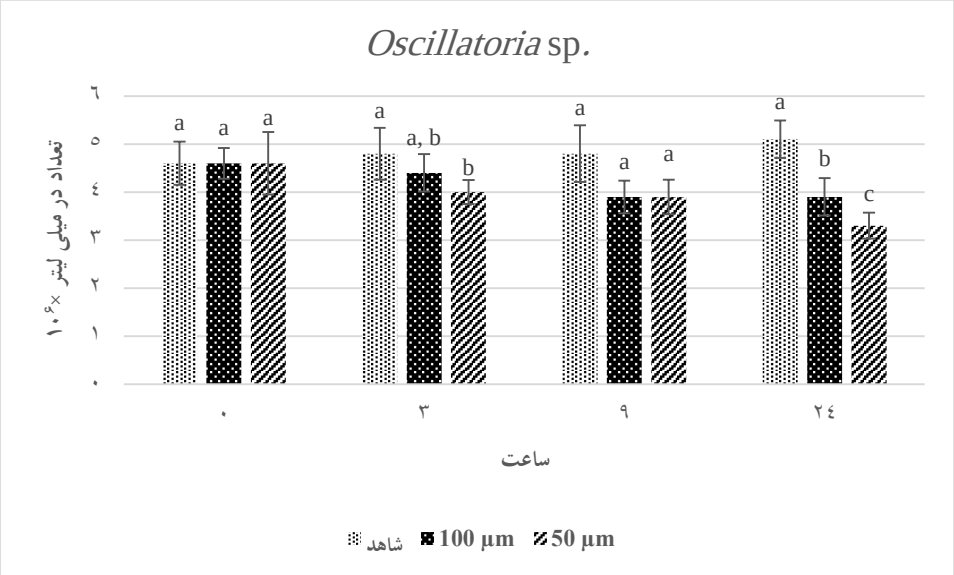
نتایج حاصل از نمودار شکل ۴ حاکی از آن است، اضافه کردن دوغاب کائولینت بر کنترل شکوفایی سیانوباکتری *Microcystis* sp. در ۳ ساعت ابتدایی اثر معنی‌داری نداشته است. اما پس از ۹ و ۲۴ ساعت هر دو گروه حاوی دوغاب کائولینت اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نشان دادند به‌طوری‌که پس از ۲۴ ساعت برای گروه حاوی کائولینت با اندازۀ ۱۰۰ و ۵۰ کاهش معنی‌داری به‌ترتیب ۲۹/۴ و ۳۳/۳ مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).



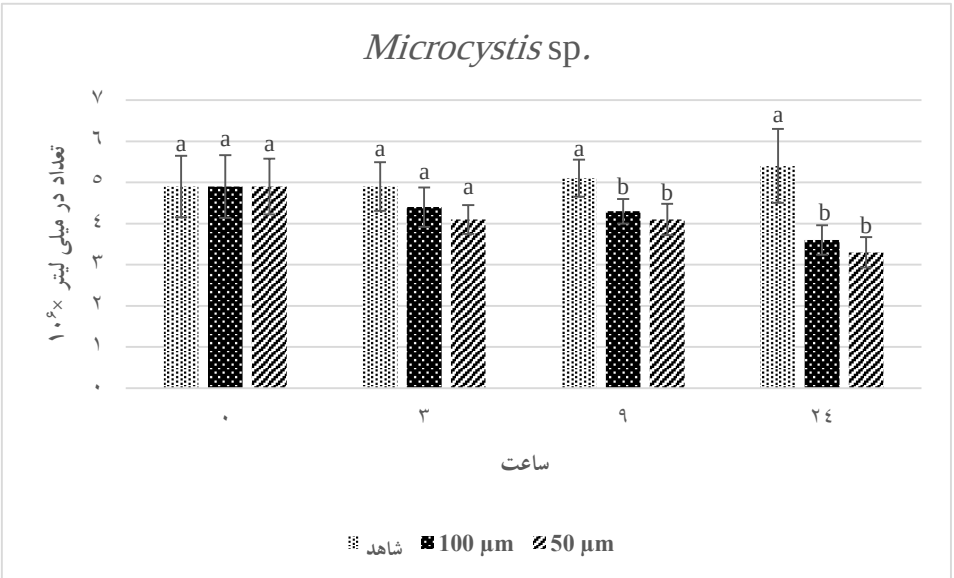
شکل ۱- نمودار میانگین اثر افزودن کائولینت با اندازه‌های مختلف به کشت سیانوباکتری *Chroococcus* sp. در زمان‌های مختلف. حروف لاتین غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهندۀ اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۲- نمودار اثر افزودن کائولینت با اندازه‌های مختلف به کشت سیانوباکتری *Gloeocapsa* sp. در زمان‌های مختلف. حروف لاتین غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهندۀ اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۳- نمودار اثر افزودن کائولینت با اندازه‌های مختلف به کشت سیانوباکتری *Oscillatoria* sp. در زمان‌های مختلف. حروف لاتین غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۴- نمودار اثر افزودن کائولینت با اندازه‌های مختلف به کشت سیانوباکتری *Microcystis* sp. در زمان‌های مختلف. حروف لاتین غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

اولین تلاش جهت کنترل شکوفایی سیانوباکتریایی و جلبکی با استفاده از مواد شیمیایی در سال ۱۹۵۷ میلادی در فلوریدا انجام شد که در آن سولفات مس برای مناطق وسیعی استفاده گردید. اما علاوه بر اینکه اثر طولانی‌مدت نداشت، به‌عنوان یک مادهٔ کنترل‌کننده بسیار گران بود و باید از منابع ارزان‌تری جهت کنترل شکوفایی استفاده می‌شد (Rounsenfell *et al*., 1958). گزارش شده است خاک رس در شرایطی که سرعت جریان آب کمتر از ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه باشد در ته‌نشین کردن سلول‌های جلبکی از ستون آب مؤثر است (Beauiieu et al., 2005). نتایج این پژوهش نشان داد

استفاده از کائولینت منجر به ته‌نشینی هر ۴ گونهٔ سیانوباکتریایی می‌شود. هر چند میزان ته‌نشینی برای هر گونهٔ سیانوباکتری متفاوت است و نیز اندازهٔ ذرات کائولینت در روند کاهشی آنها تأثیرگذار است. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر منجر به ته‌نشینی بیشتری برای دو سیانوباکتری *Chroococcus* sp. و *Oscillatoria* sp. نسبت به کائولینت با اندازهٔ ۱۰۰ میکرومتر شده است که نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد (Chen *et al*., 1998; Secher, 2009). همچنین هیچ تفاوت معنی‌داری در دو اندازهٔ ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر کائولینت برای سیانوباکتری *Microcystis* sp. مشاهده نشد. اما نتایج برای سیانوباکتری *Gloeocapsa* sp. بیانگر این است که کائولینت با اندازهٔ ۱۰۰ میکرومتر منجر به ته‌نشینی بیشتر این سیانوباکتری نسبت به کائولینت با اندازهٔ ۵۰ میکرومتر می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج متفاوت به‌دست آمده برای سیانوباکتری‌های مختلف، می‌توان نتیجه گرفت تنها اندازهٔ کائولینت عامل مؤثر در ته‌نشینی آنها نیست و عوامل دیگری مانند اندازهٔ خود سلول سیانوباکتری، شکل سلول، تراکم سلولی و سایر عوامل است (Kibuye *et al.,* 2020). در مطالعه‌ای مشابه گزارش شده است که افزودن ۰/۵ گرم بر لیتر بنتونیت به کشت جلبکی (*Prymnesium parvum*) باعث کاهش حداکثر ۱۷/۵ درصدی در تعداد سلول‌های جلبکی شده است. همچنین در همین مطالعه بیان شده است افزودن کائولینت با اندازهٔ ۱ میلی‌متر تأثیری در کاهش تعداد این جلبک ندارد (Sengco *et al.,* 2005). همچنین بیان شده است که افزودن دوغاب خاک رس فسفاته با غلظت ۰/۲۵ گرم بر لیتر بر کشت دینوفلاژلاتا باعث کاهش ۹۷ درصدی سموم تولیدی آن‌ها از ستون آب می‌شود (Pierce *et al*., 2004). از سویی دیگر انتظار می‌رود ترکیبات رسی مانند کائولینت اثرات مخرب زیست‌محیطی کمتری نسبت به سایر مواد شیمیایی بر موجودات آبزی و سایر زنجیره‌های اکوسیستم آبی ایجاد کنند (Anderson, 1997). با این حال بررسی اثر کائولینت بر روی فعالیت سایر آبزیان به‌خصوص ماهیان گرمابی ضروری به‌نظر می‌رسد. در همین راستا گزارشی منتشر شده است که بیان می‌کند ماهیانی که در دوره‌های زمانی کوتاه (یک ساعت) در معرض سوسپانسیون رسی قرار گرفتند اثرات نامطلوبی در سلامتی آنها گزارش نشده است (Beauiieu *et al.,* 2005). اما به‌نظر می‌رسد استفادهٔ مکرر و در دوره‌های طولانی‌تر از ترکیبات رسی می تواند تأثیرات منفی بر آبزیان به‌خصوص در مراحل اولیهٔ زندگی و به خصوص کفزیان داشته باشد (Archambault *et al.,* 2003). اما در مورد ماهیان بزرگتر نظیر کپور ماهیان خصوصاً در دورهٔ پرواری آنها در طول تابستان، اطلاعاتی در دسترس نیست و لازم است در این خصوص تحقیقات بیشتری انجام شود.

در این مطالعه دوغاب کائولینت به‌تدریج به سطح کشت سیانوباکتریایی اضافه شد و سپس به آهستگی همزده شد و در نهایت مشخص گردید که این فرآیند برای ته‌نشین کردن سیانوباکترها از ستون آب کارآمد است. هر چند در پژوهشی دیگر بیان شده است تکانه‌های شدید برای افزایش تماس فیزیکی بین ترکیبات رسی و سیانوباکتری‌ها، حذف آنها از ستون آب را تسهیل می‌کند (Pierce *et al.,* 2004). از آنجا که اکثر سلول‌های سیانوباکتریایی وزن جزئی پایینی دارند و معمولاً حامل بار منفی و مواد آلی هستند، در محیط آب به حالت پایدار باقی می‌مانند (Castellani, 2010). بنابراین یکی از مهمترین عومل جهت ته‌نشینی، اندازه و چگالی آنها است. همچنین بیان شده است برای لخته‌سازی بهینه، اندازهٔ لخته‌ساز نباید بیشتر از ۱۰۰ میکرومتر باشد تا ضمن اینکه سریعاً ته‌نشین و از دسترس خارج نشود، با اتصال به سیانوباکترها وزن آن افزایش یافته و ته‌نشینی آنها را بهبود بخشد (Chen *et al.,* 1998). نتایج این مطالعه نشان داد سیانوباکتری‌های سنگین‌تر و با اندازهٔ بزرگ‌تر مثل *Oscillatoria* sp. سریع‌تر توسط کائولینت ته‌نشین می‌شوند. در مقابل سیانوباکتر *Microcystis* sp. که اندازهٔ کوچک‌تری نسبت به سایر سیانوباکترهای آزمایش شده در این پژوهش دارد در ۹ ساعت اول تفاوت معنی‌داری نشان داده و پس از ۲۴ ساعت ته‌نشین شده است. با این حال این روش می‌تواند در چند ساعت اولیه، تراکم سلول‌های سیانوباکتریایی در آب را کاهش دهد. اما نمی‌تواند شکوفایی سیانوباکتریایی را به‌طور کامل برطرف کند، زیرا تأثیری در از بین بردن سلول‌ها ندارد و به این معنی است که پس از مدت کوتاهی مجدداً شکوفایی سیانوباکتریایی رخ می‌دهد. بنابراین با توجه به نتایج این آزمایش استفاده از کائولینت تنها یک اقدام ضروری جهت کنترل و کاهش موقت تعداد سلول‌ها است (Sun *et al.,* 2015).

نتیجه گیری نهایی

افزودن لخته‌سازهای شیمیایی مانند ترکیبات حاوی آلومینیوم،

آهن، مس و کلسیم جهت بهبود میزان رشته شدن و گلوله شدن و ته‌نشینی در مطالعات متعدد پیشنهاد شده است. اما با توجه به اینکه در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی خود ماهی و مجموعه‌ای از زئوپلانکتون‌ها وجود دارند، افزودن این مواد بر آنها تأثیرگذار است و محدودیت‌هایی در این زمینه وجود دارد. همچنین استفاده از این ترکیبات با توجه به عوارض عصبی و سرطان‌زا در نقاط مختلف جهان ممنوع شده است (Sun *et al.*, 2018).

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مشخص شد استفاده از کائولینت با هر دو اندازۀ ۵۰ و ۱۰۰ میکرومتر جهت کنترل شکوفایی سیانوباکتریایی در مدت زمان ۲۴ ساعت مؤثر است. هر چند کاهش تعداد سیانوباکتری‌ها با اندازۀ ۵۰ میکرومتر بیشتر رخ داده است. با این حال در پژوهش‌های دیگر بایستی تأثیر استفاده از این کانی سیلیکاته بر آبزی هدف در اندازه های مختلف بیشتر بررسی شود.

۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از موسسۀ تحقیقات خاک و آب کشور به‌خصوص از اعضای بخش بیولوژی خاک به‌دلیل همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش کمال امتنان را دارند.

۶. منابع

References

Anderson, D.M., 1997. Turning back the harmful red tide. *Nature* 388(6642), 513-514.

Archambault, M.C., Grant, J., Bricelj, V.M., 2003. Removal efficiency of the dinoflagellate Heterocapsa triquetra by phosphatic clay, and implications for the mitigation of harmful algal blooms. *Marine Ecology Progress Series* 253, 97-109. DOI: 10.3354/meps253097

Beauiieu, stace E., Sengco, M.R., Anderson, D.M., 2005. Using clay to control harmful algal blooms: Deposition and resuspension of clay/algal flocs. *Harmful Algae* 4(1), 123-138. DOI: 10.1016/j.hal.2003.12.008

Bechard, A., 2019. Red tide at morning, tourists take warning? County-level economic effects of HABS on tourism dependent sectors. *Harmful Algae* 85, 101689. DOI: 10.1016/j.hal.2019.101689

Castellani, C., 2010. Plankton: A Guide to their Ecology and Monitoring for Water Quality. *Journal of Plankton Research* 32(2), 261-262. DOI: 10.1093/plankt/fbp102

Chen, Y.M., Liu, J.C., Ju, Y.-H., 1998. Flotation removal of algae from water. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 12(1), 49-55. DOI: 10.1016/S0927-7765(98)00059-9

Gobler, C. J., 2020. Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae* 91, 101731. DOI: 10.1016/j.hal.2019.101731

Johansson, C., Bergman, B., 2006. Reconstitution of the symbiosis of Gunnera manicata Linden: Cyanobacterial specificity. *New Phytologist* 126(4), 643-652. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1994.tb02960.x

John, D.M., Museum, N.H., 2012. The Freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae. *Choice Reviews Online* 49(12), 49-6880-49–6880.

Kibuye, F.A., Zamyadi, A., Wert, E.C., 2020. A critical review on operation and performance of source water control strategies for cyanobacterial blooms: Part I-chemical control methods. *Harmful Algae* 109, 102099. DOI: 10.1016/j.hal.2021.102099

Komárek, J., Kaštovský, J., Mareš, J., Johansen, J.R., 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (*Cyanobacterial* genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia* 86(4), 295-335.

Lefebvre, K.A., Quakenbush, L., Frame, E., Huntington, K.B., Sheffield, G., Stimmelmayr, R., Bryan, A., Kendrick, P., Ziel, H., Goldstein, T., Snyder, J.A., Gelatt, T., Gulland, F., Dickerson, B., Gill, V. 2016. Prevalence of algal toxins in Alaskan marine mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment. *Harmful Algae* 55, 13-24. DOI: 10.1016/j.hal.2016.01.007

Paerl, H.W., Gardner, W.S., Havens, K.E., Joyner, A.R., McCarthy, M.J., Newell, S.E., Qin, B., Scott, J.T., 2016. Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients. *Harmful Algae* 54, 213-222. DOI: 10.1016/j.hal.2015.09.009

Paerl, H.W., Otten, T.G., 2013. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls. *Microbial Ecology* 65(4), 995-1010. DOI: 10.1007/s00248-012-0159-y

Pierce, R.H., Henry, M.S., Higham, C.J., Blum, P., Sengco, M.R., Anderson, D.M., 2004. Removal of harmful algal cells (*Karenia brevis*) and toxins from seawater culture by clay flocculation. *Harmful Algae* 3(2), 141-148. DOI: 10.1016/j.hal.2003.09.003

Reynolds, C.S., Oliver, R.L., Walsby, A.E., 1987. Cyanobacterial dominance: The role of buoyancy regulation in dynamic lake environments. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 21(3), 379-390. DOI: 10.1080/00288330.1987.9516234

Rounsenfell, G.A., Evans, J. E., Rounsefell, G.A., Evans, J.E., 1958. Large-scale experimental test of copper sulfate as a control for the Florida red tide. *US Fish Wildlife Service* Special sc(270), 57.

Secher, S., 2009. Measures to Control Harmful Algal Blooms. *The Plymouth Student Scientist* 2(1), 212-227.

Sengco, M.R., Hagström, J.A., Granéli, E., Anderson, D.M., 2005. Removal of Prymnesium parvum (Haptophyceae) and its toxins using clay minerals. *Harmful Algae* 4(2), 261-274. DOI: 10.1016/j.hal.2004.05.001

Sun, P.-F., Lin, H., Wang, G., Lu, L.-L., Zhao, Y.-H., 2015. Preparation of a new-style composite containing a key bioflocculant produced by Pseudomonas aeruginosa ZJU1 and its flocculating effect on harmful algal blooms. *Journal of Hazardous Materials* 284, 215-221. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.11.025

Sun, R., Sun, P., Zhang, J., Esquivel-Elizondo, S., Wu, Y., 2018. Microorganisms-based methods for harmful algal blooms control: A review. *Bioresource Technology* 248, 12-20. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.175