University of Hormozgan

Journal of Aquatic Ecology

ISSN Print: 2322-2751 ISSN Online: 2980-9355

Homepage: https://jae.hormozgan.ac.ir

Influence of environmental factors on the toxicity of abamectin pesticide in *Artemia franciscana* as a non-target organism

Hashem Khandan Barani[1]✉, Sahel Pakzad Toochaei [2], Narjes Sanchooli[1]

1-Department of Aquatic Sciences, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran.

2-Department of Natural Ecosystems, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 17 June 2025
Accepted: 3 August 2025
Published: 9 August 2025

✉**Corresponding Author:**
hashem.barani@uoz.ac.ir

Keywords:
Abamectin,
Artemia,
Acute toxicity,
Environmental stressors,
Aquatic toxicology.

ABSTRACT

Abamectin, a widely used pesticide in agriculture and aquaculture, poses significant toxicity risks to non-target aquatic crustaceans. In the context of climate change and increasing pesticide use, this study evaluated how environmental factors influence abamectin toxicity in *Artemia franciscana*. Nauplii were exposed for 24 hours to abamectin concentrations ranging from 0 to 2 µg/L under varying salinities (25, 30, 40 ppt), temperatures (25 and 30°C), pH levels (6.5, 8, 9.5), and light conditions (photoperiodic cycle, continuous darkness, continuous light). The effects of a 24-hour recovery period and salinity stress during recovery were also assessed. Survival rate was measured as the primary toxicity endpoint. Results showed a significant concentration-dependent decrease in survival ($p < 0.05$), modulated by environmental conditions. Higher salinity (40 ppt) amplified toxicity, reducing survival at 2 µg/L from 70.3% (25 ppt) to 51.2%. Similarly, increasing temperature from 25 to 30°C decreased survival from 63.3% to 52.4%, indicating enhanced toxicity at elevated temperatures. Toxicity was further increased under continuous darkness and at alkaline pH (9.5). Delayed toxicity was observed after a 24-hour recovery period in clean water, with additional mortality under high salinity stress (60 ppt). These findings highlight the critical role of environmental factors in modulating abamectin toxicity and have important implications for risk assessment and management in aquatic ecosystems.

CC BY NC

Publisher: University of Hormozgan

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Pesticides are widely used to support agricultural production and livestock health but often contaminate aquatic environments through runoff, atmospheric deposition, and leaching, posing risks to ecosystem integrity and biodiversity. Abamectin, a commonly used avermectin, targets pests in agriculture and aquaculture by acting as a GABA receptor agonist in invertebrates, disrupting neural signaling and causing paralysis and death. While its toxicity to non-target aquatic organisms such as fish is well documented, its effects on marine crustaceans remain poorly understood. Crustaceans play key roles in marine food webs, and their decline due to pollutants like abamectin could trigger cascading impacts across higher trophic levels. Moreover, abiotic factors including salinity, temperature, pH, and light—shaped by natural variability and climate change—critically influence organismal physiology and can modulate pesticide toxicity by affecting biological responses or chemical properties of contaminants. Despite their importance, interactions between environmental factors and pesticide toxicity are insufficiently studied, particularly for marine crustaceans. This study investigates the acute toxicity of abamectin on *Artemia franciscana* under varying salinity, light regimes, pH, and temperature. Due to their rapid development, small size, ease of culture, and cost-effectiveness, *Artemia* species are widely used in ecotoxicological research, making them ideal models for studying combined effects of pollutants and environmental stressors.

Materials and Methods

Commercially sourced *A. franciscana* cysts were hatched in artificial seawater at 35 ppt over 24 hours, under constant aeration at 25°C with a 12:12 h light/dark cycle. Nauplii were then exposed to abamectin at concentrations of 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 µg/L under the following conditions:

1. **Salinity effect:** 25, 30, and 35 ppt at 30°C under a 16:8 h light/dark cycle.
2. **Light regime:** 35 ppt, 30°C under continuous light, continuous dark, or a 12:12 h light/dark cycle.
3. **pH effect:** 6.5, 8.0, and 9.5 at 30°C and 35 ppt salinity.
4. **Temperature effect:** 25°C and 30°C at 35 ppt salinity.
5. **Post-exposure recovery:** Surviving nauplii were transferred to clean media under constant conditions (pH =8.0, temperature 30°C and salinity 35 ppt) for 24 hours to evaluate delayed toxicity.
6. **Salinity shock:** Post-exposure survivors were transferred to 15, 30, and 60 ppt salinity to simulate salinity stress.

All treatments were performed in triplicate. Mortality was recorded after 24 hours of exposure and during the 24-hour recovery period. The interaction between environmental factors and abamectin toxicity was analyzed using ANOVA at $p < 0.05$.

Results

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

Abamectin induced significant, concentration-dependent mortality in *A. franciscana*, with environmental factors modulating toxicity. Higher salinity (40 ppt), darkness, elevated temperature (30°C), and alkaline pH (9.5) all increased toxicity. Post-exposure recovery tests revealed delayed mortality, indicating persistent effects even after transfer to clean water. Salinity shock following exposure further reduced survival, particularly at higher pesticide concentrations. These results demonstrate the synergistic effects of environmental stressors on abamectin toxicity and highlight the importance of considering such interactions in ecotoxicological assessments.

Conclusion

Abamectin toxicity in *A. franciscana* is strongly influenced by environmental conditions including salinity, temperature, light, and pH. These factors affect both acute and delayed mortality, emphasizing their relevance in realistic ecotoxicological evaluations. The increased toxicity under high salinity and temperature scenarios suggests potential future risks under climate change, particularly in coastal lagoons, saline wetlands, and arid-region aquaculture systems. Regulatory assessments should incorporate environmental variables and complex exposure dynamics to more accurately predict pesticide risks in aquatic ecosystems.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir
دانشگاه هرمزگان

تاثیر برخی عوامل محیطی بر سمیت آفت کش آبامکتین بر *Artemia franciscana* به عنوان گونه‌ای غیر هدف

هاشم خندان بارانی[۱]✉، ساحل پاکزاد توچایی[۲]، نرجس سنچولی [۱]

۱. گروه علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. گروه اکوسیستم های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

✉ **نویسنده مسئول:**
Hashem.barani@uoz.ac.ir

کلیدواژه‌ها:
آبامکتین،
آرتمیا،
سمیت حاد،
استرس های محیطی،
سم شناسی آبزیان.

چکیده

آبامکتین یکی از آفت‌کش‌های پرکاربرد در کشاورزی و آبزی‌پروری است که سمیت قابل توجهی بر گونه‌های غیر هدف از جمله سخت پوستان آبزی دارد. با توجه به تغییرات اقلیمی و گسترش مصرف این آفت کش، هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر عوامل محیطی بر سمیت آبامکتین بر گونه *Artemia franciscana* می باشد. ناپلیوس‌های آرتمیا به مدت ۲۴ ساعت در معرض غلظت‌های مختلف آبامکتین (۰ تا ۲ µg/L) و تحت شرایط متفاوت شوری (۲۵، ۳۰ و ۴۰ ppt) ، دما (۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، pH (۶/۵، ۸ و ۹/۵) و نور (چرخه نوری متناوب، تاریکی و روشنایی مداوم) قرار گرفتند. همچنین، اثر دوره بازیابی ۲۴ ساعته پس از تماس اولیه و استرس شوری در دوره بازیابی نیز ارزیابی شد. درصد بقاء ناپلیوس‌ها به عنوان شاخص سمیت در پایان آزمایش‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که افزایش غلظت آبامکتین موجب کاهش معنی‌دار درصد بقاء شد ($p<۰/۰۵$)، که این کاهش تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف متغیر بود. افزایش شوری به ویژه در سطح ۴۰ ppt سمیت آبامکتین را تشدید کرد، به طوری که در این شرایط در غلظت ۲ µg/L، درصد بقاء از ۷۰/۳ در شوری ۲۵ ppt به ۵۱/۲ درصد کاهش یافت. همچنین، افزایش دما از ۲۵ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش معنی‌دار درصد بقاء از ۶۳/۳ به ۵۲/۴ درصد شد ($p<۰/۰۵$) و بیانگر تشدید سمیت آبامکتین در دمای بالاتر است. سمیت در شرایط تاریکی و pH قلیایی (۹/۵) نیز افزایش یافت. علاوه بر این سمیت تأخیری پس از ۲۴ ساعت دوره بازیابی در آب تمیز و کاهش بقاء تحت استرس شوری ۶۰ ppt مشاهده گردید. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه عوامل محیطی بر شدت سمیت آبامکتین است.

ناشر: دانشگاه هرمزگان.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

مقدمه

آفت کش‌ها به دلیل کارآمدی در کنترل و مدیریت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و به تبع آن افزایش تولید محصولات کشاورزی، نقش مهمی در کشاورزی مدرن و تأمین امنیت غذایی ایفا می‌کنند (Hedlund *et al.,* 2020). با این حال، استفاده گسترده و مکرر از این ترکیبات شیمیایی، آثار زیانباری بر سلامت محیط زیست و انسان برجای گذاشته است. این سموم از طریق مسیرهای مختلفی مانند رواناب‌های سطحی، فرسایش، جریان‌های جوی، فاضلاب‌ها و دفع نامناسب ظروف خالی، وارد اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه محیط‌های دریایی می‌شوند. به دلیل پایداری، تجمع زیستی و سمیت، این آلاینده‌ها تهدید جدی برای موجودات آبزی محسوب می‌شوند (AbuQamar *et al.,* 2024). آبامکتین، آفت‌کش نسبتاً جدیدی است که به‌دلیل اثر وسیع بر طیف گسترده‌ای از آفات در کشاورزی، آبزی‌پروری و دامپروری، نقش مهمی در کنترل آفات دارد (Bai *et al.,* 2016). این ترکیب با تداخل در عملکرد عصبی و تحریک آزاد سازی اسید-γ آمینو بوتیریک هدایت عصبی را مهار و موجب فلج و مرگ آفات می‌شود. به‌دلیل خاصیت چربی‌دوستی و تجزیه آهسته، آبامکتین قابلیت نفوذ به زیستگاه‌های آبی را داشته و می‌تواند گونه‌های غیرهدف از جمله آبزیان را تحت تأثیر قرار دهد (Bağdatli and Yön, 2025). تماس با این سم می‌تواند باعث بروز ناهنجاری‌های رشدی، تولید مثلی و رفتاری شده و به تبع آن بر تغذیه، فرار از شکارچیان و توانایی تولید مثل اثرگذار باشد (Santos *et al.,* 2023; Wu *et al.,* 2023; Bağdatli and Yön Ertuğ, 2025). مطالعات متعددی به بررسی اثرات سمی آبامکتین بر گروه‌های متنوعی از موجودات آبزی از جمله سخت‌پوستان (Novelli *et al.,* 2012; Guan *et al.,* 2024; Tianyu *et al.,* 2024) ، ماهیان (Sanches *et al.,* 2024; Shrestha *et al.,* 2025) ، نرمتنان (El-Gendy *et al.,* 2019) و جلبک‌ها (Fathi and Al-Fredan, 2007) پرداخته‌اند. نتایج این مطالعات نشان داد که این ترکیب سمی می‌تواند باعث کاهش نرخ بقاء، اختلال در رشد و رفتار، مهار متابولیسم انرژی و افزایش استرس اکسیداتیو شود. با این حال، بیشتر این مطالعات در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده و بدون در نظر گرفتن تأثیر عوامل محیطی نظیر شوری، دما، pH و نور انجام شده‌اند. این عوامل محیطی که در اکوسیستم‌های مختلف به طور قابل توجهی متغیر بوده و تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار دارند، می‌توانند شدت و ماهیت سمیت آفت‌کش‌ها را به طور موثری تغییر دهند (Hall *et al.,* 1995; Osterauer *et al.,* 2008; Hutton *et al.,* 2021). داده‌های تجربی مرتبط با تأثیر این عوامل محیطی بر سمیت آبامکتین به ویژه بر سخت پوستان دریایی که نقش اساسی در چرخه‌های زیستی و انتقال انرژی در اکوسیستم‌های آبی ایفا می‌کنند، همچنان محدود است (Toochaei, 2023). این مسئله فرآیند ارزیابی دقیق خطرات زیست محیطی ناشی از این ترکیب را با چالش‌های قابل توجهی مواجه کرده است. لذا در این مطالعه، با توجه به تاثیر عوامل محیطی مختلف، تلاش شده است تا درک جامع تری از سمیت آبامکتین بر گونه *Artemia franciscana* به عنوان یک گونه سخت پوست دریایی مهم و کلیدی ارائه گردد. آرتمیا یکی از سخت‌پوستان کوچک و کلیدی در اکوسیستم‌های آب شور می باشد که علاوه بر نقش حیاتی در انتقال انرژی و آلاینده‌ها در زنجیره غذایی از ارزش اقتصادی قابل توجهی نیز در آبزی‌پروری برخوردار هستند (Sorgeloos *et al.,* 2001). ویژگی‌هایی مانند چرخه زندگی کوتاه، تولید نسل بالا و سازگاری با شرایط محیطی متغیر، این جنس را به مدلی مناسب برای مطالعه سمیت آلاینده‌ها تبدیل کرده است (Kim *et al.,* 2025). با این وجود، اثرات سمی آبامکتین بر آرتمیا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته و بررسی آن می‌تواند شناخت بهتری از پیامدهای آلودگی این آفت‌کش در اکوسیستم‌های آب شور فراهم کند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که نفوذ آلاینده‌ها به محیط‌های آبی و تعامل آنها با عوامل محیطی می‌تواند سمیت آنها را تحت تأثیر قرار دهد و در برخی موارد تشدید کند (Bashir *et al.,* 2020; Khouni *et al.,* 2023). برای نمونه، شوری آب یکی از مهمترین عوامل محیطی است که می‌تواند جذب، توزیع و سمیت آفت‌کش‌ها را در بدن موجودات آبزی تغییر دهد و باعث افزایش سمیت آنها شود (DeLorenzo *et al.,* 2009; Hutton *et al.,* 2021). همچنین، دما تأثیر قابل توجهی بر فرایندهای متابولیک و سم‌زدایی آبزیان دارد و با تغییر نرخ متابولیسم حساسیت آنها را به آفت کش‌ها تغییر می‌دهد (Osterauer *et al.,* 2008; Seeland *et al.,* 2013). علاوه بر این، اسیدیته (pH) محیط آبی نیز با تغییر فرم شیمیایی آفت کش‌ها بر میزان انحلال پذیری و قابلیت جذب آنها مؤثر بوده و می‌تواند سمیت آنها را به شکل قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد (Tsui *et al.,* 2003; Soares *et al.,* 2020). شرایط نوری هم با تأثیر بر واکنش‌های فوتوشیمیایی می‌تواند موجب تخریب یا

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

فعال‌سازی آفت کش‌ها شده و در نهایت سمیت آنها را تغییر دهد (Fan *et al.*, 2023). این عوامل محیطی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی جهانی قرار داشته و به همین دلیل درک نحوه تأثیر متقابل آنها بر سمیت آلاینده‌ها از جمله آفت کش‌ها جهت ارزیابی خطرات زیست محیطی به ویژه در سال‌های اخیر اهمیت زیادی یافته است. بنابراین، در این مطالعه تأثیر متغیرهای مهم محیطی شامل شوری، دما، pH و شرایط نوری، همراه با اثرات دوره بازیابی و استرس شوری پس از ۲۴ ساعت مواجهه با آبامکتین بر *Artemia franciscana* مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش

پژوهش حاضر در آزمایشگاه تکثیر و پرورش آبزیان پژوهشکده تالاب بین المللی هامون پژوهشگاه زابل انجام شد. تخم گشایی سیست‌ها جهت بدست آوردن ناپلی آرتمیا برای استفاده در مراحل بعدی آزمایشات در ظروف مخروطی ۱/۵ لیتری حاوی آب دریا مصنوعی با شوری ۳۵ ppt صورت گرفت (Sorgeloos *et al.*, 2001). برای ساخت آب دریای مصنوعی ۳۵ گرم نمک دریا در یک لیتر آب مقطر حل شده و ۲۴ ساعت هوادهی گردید. همچنین اسیدیته (pH) آب دریای مصنوعی قبل از اضافه کردن سیست‌ها با استفاده از دستگاه pH متر به طور دقیق اندازه‌گیری و در محدوده ۸ تنظیم شد (Lavens and Sorgeloos, 1996; Van Stappen, 2002). در ادامه به هر ظرف یک لیتر آب دریا تهیه شده منتقل گردید و سپس ۰/۵ گرم سیست آرتمیا اضافه گردید. ناپلی‌های (I) آرتمیا بعد از ۲۴ ساعت تحت دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۳۷ میکرومول بر متر مربع و دوره نوری ۱۲ ساعت تاریکی/روشنایی و هوادهی مداوم از تخم خارج شدند. این ناپلی‌های تازه هچ شده بر اساس رفتار نورگرایی مثبت از سیست‌های هچ نشده جدا سازی شدند و در ظروف شیشه‌ای جدید نگهداری شدند.

اثرات سمیت آبامکتین بر ناپلی‌های آرتمیا تحت شرایط مختلف محیطی (توضیح داده شده در جدول ۱) در آزمایش‌های جداگانه و بر اساس روش‌های استاندارد مورد بررسی قرار گرفت (Dokht Lish *et al.*, 2019). برای این آزمایش‌ها غلظت‌های مختلف آبامکتین (شامل ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ µg/L) بر اساس محدوده به دست آمده در مطالعه Toochaei (2023) مورد بررسی قرار گرفت. هر آزمایش با انجام سه تکرار و تراکم ۱۰ عدد ناپلی برای هر تکرار انجام شد. مدت زمان قرارگیری ناپلی‌ها در معرض آفت کش برای همه تیمارهای اصلی ۲۴ ساعت بود. در طول این مدت، pH در محدوده ۸ و دما بسته به نوع تیمار (۲۵ یا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) به طور مداوم کنترل و حفظ شد. پس از پایان دوره ۲۴ ساعته، ناپلی‌های مرده (فاقد واکنش حرکتی در ۱۰ ثانیه) شمارش و درصد بقاء برای هر تیمار محاسبه گردید (Dokht Lish *et al.*, 2019).

در آزمایش بررسی اثر بازیابی، ناپلی‌هایی که به مدت ۲۴ ساعت در معرض آبامکتین قرار گرفته بودند، به آب دریای مصنوعی تمیز با شرایط ثابت (دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شوری ۳۵ ppt و pH در محدوده ۸) منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت دیگر در همان شرایط نگهداری شدند. سپس مجدداً درصد بقاء ثبت گردید تا سمیت تأخیری بررسی شود. در آزمایش استرس شوری نیز، بلافاصله پس از پایان ۲۴ ساعت مواجهه اولیه با سم، ناپلی‌ها به طور ناگهانی به محیط‌هایی با شوری‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ ppt منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در آن شرایط نگهداری شدند. در پایان این مرحله نیز درصد بقاء اندازه‌گیری گردید. تمام تیمارها تحت شرایط نوری متناسب با طراحی هر آزمایش (جدول ۱) نگهداری شدند. در پایان داده‌های به دست آمده جهت تحلیل آماری در بخش مربوطه مورد بررسی قرار گرفتند.

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene بررسی شد. پس از تأیید این پیش فرض‌ها، بسته به ماهیت و طراحی آزمایش‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) یا دوطرفه (Two-way ANOVA) استفاده شد. همچنین برای مقایسه‌های چندگانه از آزمون توکی استفاده شد و جهت بررسی اثر متغیر دما که شامل دو سطح متفاوت بود، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون t-test مستقل (Independent-Sample t-test) صورت گرفت. سطح معنی‌داری کمتر از ($p <$ ۰/۰۵) به عنوان معیار پذیرش نتایج آماری در نظر گرفته شد. کلیه تحلیل‌های آماری با نرم افزار SPSS و PAST انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

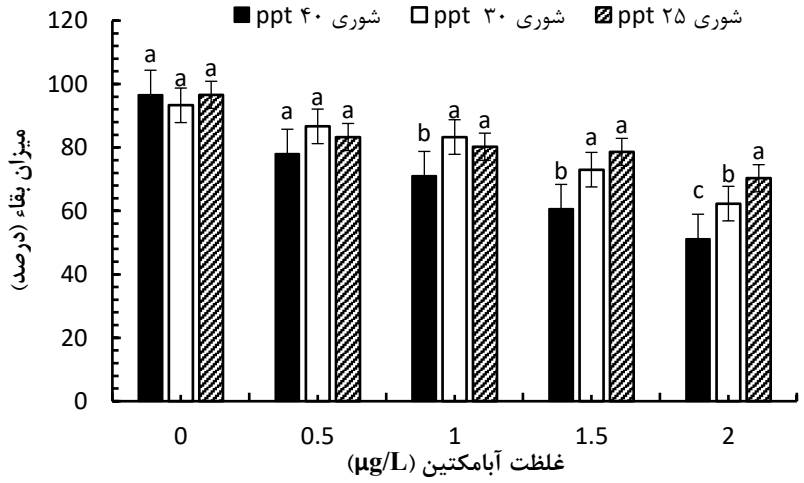
[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

جدول ۱. شرایط مختلف محیطی جهت ارزیابی سمیت آبامکتین با استفاده از ناپلی‌های *A. franciscana*

هدف از انجام آزمایش	مرحله زندگی	ظرف پرورش و حجم	شرایط نوری	دما	pH	شوری
تاثیر شوری بر سمیت آبامکتین	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی	۳۰	۸	۲۵، ۳۰ و ۳۵
تاثیر نور بر سمیت آبامکتین	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی -۲۴ ساعت روشنایی مداوم -۲۴ ساعت تاریکی مداوم -۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی	۳۰	۸	۳۵
تاثیر pH بر سمیت آبامکتین	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی	۳۰	۶/۵ ۸ و ۹/۵	۳۵
تاثیر دما بر سمیت آبامکتین	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی	۲۵ و ۳۰	۸	۳۵
تاثیر بازیابی بعد از ۲۴ ساعت مواجهه با سم	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی	۳۰	۸	۳۵
تاثیر استرس شوری بعد از ۲۴ ساعت مواجهه با سم	I	بشرهای شیشه‌ای ۱۰ میلی لیتری	۱۶ ساعت روشنایی/ ۸ ساعت تاریکی	۳۰	۸	۱۵، ۳۰ و ۶۰

نتایج

تأثیر شوری در غلظت‌های مختلف آبامکتین بر بقای ناپلیوس‌های آرتمیا در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است که میزان بقاء به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و غلظت آفت‌کش قرار گرفته است ($p <$ ۰/۰۵). اگر چه با افزایش غلظت آبامکتین از ۰ به ۲ µg/L، روند کاهش میزان بقاء در هر سه سطح شوری مشاهده شد، اما شدت این کاهش بسته به میزان شوری متفاوت بود. در شوری ۴۰ ppt، بقاء به صورت چشمگیری کاهش یافت به طوری که در غلظت ۲ µg/L تنها ۵۱/۲ درصد بقاء ثبت شد. در مقابل، در شوری ۲۵ ppt، آرتمیا مقاومت بالاتری نسبت به سمیت آبامکتین نشان داد و در همان غلظت، بقاء به ۷۰/۳ درصد رسید. نتایج آماری نیز تفاوت‌های معنی‌داری را در بیشتر غلظت‌ها بین سطوح مختلف شوری تأیید کرد. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نیز به طور معنی‌داری اثر مستقل شوری ($F =$ ۲۱/۷۹, $p <$ ۰/۰۰۱) و غلظت آبامکتین ($F =$ ۷۲/۳۹, $p <$ ۰/۰۰۱) را بر بقاء تایید کرد. همچنین اثر تعاملی بین شوری و غلظت آبامکتین معنی‌دار بود ($F =$ ۳/۳۵, $p =$ ۰/۰۰۷).



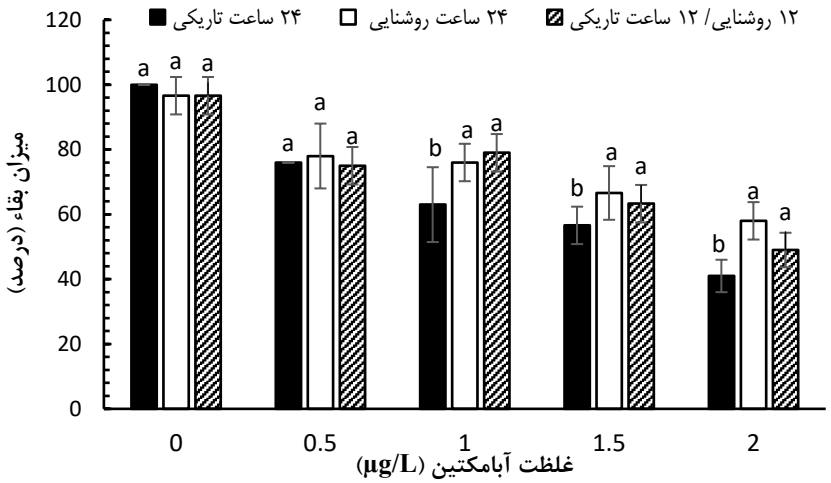
شکل ۱. اثر سطوح مختلف شوری بر شدت سمیت آبامکتین و بقاء *A. franciscana*

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

*حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در همان غلظت می باشند.

نتایج مربوط به بقای *A. franciscana* در مواجهه با آبامکتین تحت سه شرایط نوری مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که غلظت آفت‌کش و شرایط نوری اثر معنی‌داری بر میزان بقاء دارند (p <۰/۰۵). در حضور آبامکتین، الگوی بقاء تفاوت چشمگیری نشان می‌دهد. در تیمار تاریکی مطلق، بیشترین کاهش در درصد بقاء مشاهده شد به طوری که در غلظت ۲ µg/L بقاء به ۴۱ درصد کاهش یافت. در تیمار روشنایی مداوم، کاهش بقاء با شیب ملایم‌تری رخ داد و در همان غلظت، درصد بقاء ۶۰/۲ درصد ثبت شد. نتایج آنالیز واریانس دو طرفه به طور معنی‌داری اثر مستقل چرخه نوری (F=۴/۸۷, p <۰/۰۰۱)و غلظت آبامکتین (F=۵/۴۸, p <۰/۰۰۱) را بر درصد بقا تأیید کرد. همچنین اثر تعاملی بین چرخه نوری و غلظت آبامکتین نیز معنی‌دار بود(F=۱/۵۷, p <۰/۰۰۱) ، که نشان‌دهنده تأثیر متقابل این دو عامل بر بقای *A. franciscana* است.



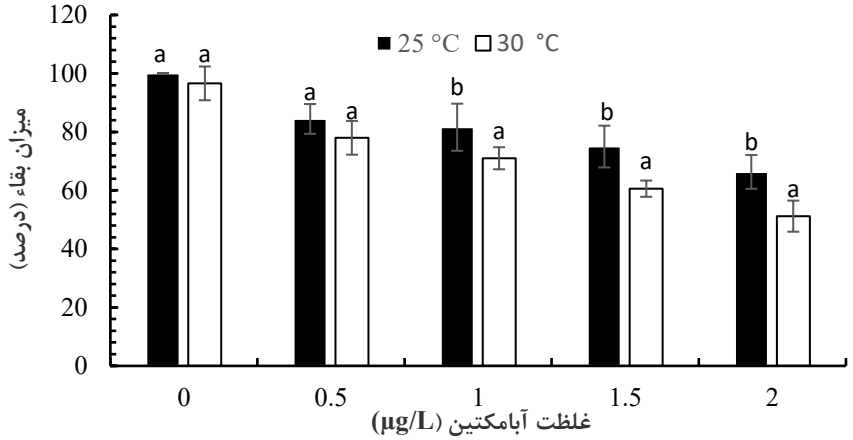
شکل ۲. اثر شرایط نوری مختلف بر شدت سمیت آبامکتین و بقاء *A. franciscana*

*حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در همان غلظت می باشند.

در تمامی غلظت‌های برسی‌شده (۰ تا ۲ µg/L)، درصد بقاء آرتمیا در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی کمتر از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۳). این اختلاف در تمامی سطوح غلظت مشاهده شد و در بیشتر موارد از نظر آماری معنی‌دار بود (p <۰/۰۵). بیشترین اختلاف بین دو دما در غلظت‌های بالاتر آبامکتین مشاهده گردید، به طوری که در غلظت ۲ µg/L، میزان درصد بقاء در دمای ۲۵ درجه حدود ۶۳/۳ درصد و در دمای ۳۰ درجه حدود ۵۲/۴ درصد بود. این روند نشان‌دهنده اثر منفی افزایش دما بر بقاء تحت سمیت آبامکتین است. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نیز تأیید کرد که اثر مستقل غلظت آبامکتین بر بقاء به طور معنی‌داری تأثیرگذار بود (F=۳/۲۷, p <۰/۰۰۱). همچنین، اثر دما به صورت معنی‌داری بر بقاء تأثیر داشت (F=۱/۱۱, p <۰/۰۰۱). علاوه بر این، اثر تعاملی بین دما و غلظت آبامکتین نیز معنی‌دار بود (F=۳/۷۱, p <۰/۰۰۱).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

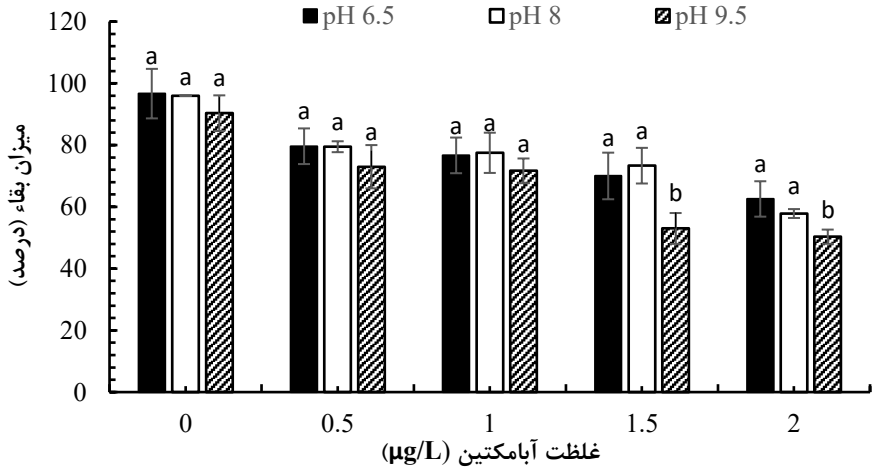
[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]



شکل ۳. اثر سطوح مختلف دمایی بر شدت سمیت آبامکتین و بقاء *A. franciscana*

*حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در همان غلظت می باشند.

نتایج حاصل از بررسی بقاء آرتمیا در شرایط pH متفاوت (۶/۵، ۸ و ۹/۵) در حضور آبامکتین در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، pH تأثیر معنی‌داری بر سمیت این آفت‌کش دارد. به‌طور کلی، با افزایش pH از ۶/۵ به ۹/۵، کاهش معنی‌داری در میزان بقاء آرتمیا مشاهده شد. در غلظت‌های بالاتر آبامکتین، اثر کاهشی بیشتری بر بقاء آرتمیا در pH ۹/۵ در مقایسه با pH ۶/۵ و ۸ ثبت گردید (p <۰/۰۵). همچنین نتایج نشان می‌دهد که در pH قلیایی‌تر، سمیت آبامکتین تشدید شده و آرتمیا حساسیت بیشتری به این ترکیب از خود نشان داده است. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که اثر غلظت آبامکتین بر بقاء آرتمیا به طور بسیار معنی‌داری تأثیرگذار بود (F=۱۵۲۵, p < ۰/۰۰۱). همچنین، اثر مستقل اسیدیته (pH) نیز به طور معنی‌داری بر بقاء تأثیر داشت (F=۱۷۳/۶, p < ۰/۰۰۱). علاوه بر این، اثر تعاملی بین غلظت آبامکتین و اسیدیته نیز معنی‌دار ثبت شد (F=۴/۳۵, p < ۰/۰۰۱).



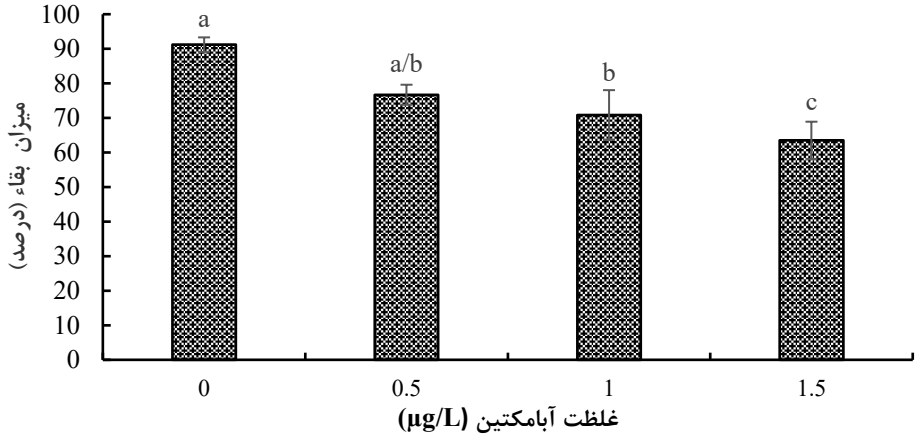
شکل ٤. اثر سطوح مختلف pH بر شدت سمیت آبامکتین و بقاء *A. franciscana*

*حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در همان غلظت می باشند.

نتایج مربوط به اثر دوره‌ی بازیابی پس از قرارگیری در معرض آبامکتین بر بقای ناپلیوس‌های *A. franciscana* در شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج، ناپلیوس‌ها پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف آبامکتین و سپس انتقال به آب تمیز، کاهش معنی‌داری در بقاء خود نشان دادند (p <۰/۰۵). در گروه شاهد (بدون حضور آبامکتین)، بقاء ناپلیوس‌ها در سطح

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]
[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

بالایی باقی ماند. با این حال، در گروه‌های تیمارشده با غلظت‌های مختلف آبامکتین، بقاء ناپلیوس‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش با افزایش غلظت آبامکتین تشدید شد. به عبارت دیگر، هر چه میزان آبامکتین افزایش یافت، میزان بقاء ناپلیوس‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرد. ادامه کاهش بقاء پس از گذراندن یک دوره‌ی ۲۴ ساعته‌ی بازیابی در آب تمیز نشان دهنده‌ی بروز سمیت تأخیری ناشی از آبامکتین است. همچنین، نتایج نشان داد که رشد ناپلیوس‌ها نیز تحت تأثیر باقی‌مانده‌ی سمیت آبامکتین در مرحله‌ی بازیابی قرار گرفت. این نتایج نشان می‌دهد که تماس اولیه با آبامکتین حتی پس از قرارگیری در محیط بدون سم همچنان اثرات نامطلوبی بر بقاء ناپلیوس‌ها دارد.



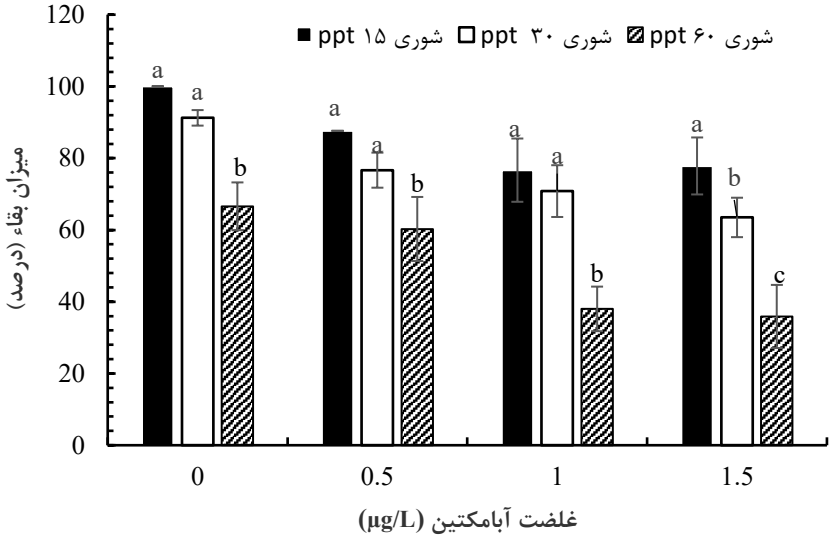
شکل ۵. تأثیر غلظت آبامکتین بر میزان بقاء *A. franciscana* پس از ۲۴ ساعت دوره بازیابی

*حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می باشند.

نتایج حاصل از بررسی تاثیر استرس شوری بر بقاء ناپلیوس‌های آرتمیا پس از ۲۴ ساعت تماس با آبامکتین در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در هر چهار غلظت آزمایش شده، استرس شوری ۶۰ ppt موجب کاهش معنی‌دار درصد بقاء در مقایسه با استرس شوری ۱۵ ppt گردید ($p <$ ۰/۰۵). به ویژه در غلظت‌های بالاتر آبامکتین، این کاهش بقاء چشمگیرتر بوده است. در تمامی غلظت‌ها، استرس شوری ۳۰ ppt نیز کاهش بقاء را نسبت به استرس شوری ۱۵ ppt نشان داد، اگرچه میزان این کاهش در مقایسه با استرس شوری ۶۰ ppt کمتر بود. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که غلظت آبامکتین تأثیر معنی‌داری بر درصد بقاء آرتمیا داشت ($F=$۵۷/۸۶, $p <$ ۰/۰۰۱). همچنین، اثر استرس شوری در مرحله دوم نیز بر بقاء معنی داری بود ($F=$۱۶۷/۵, $p <$ ۰/۰۰۱). با وجود اینکه اثر تعاملی بین غلظت آبامکتین و استرس شوری مشاهده شد، این تعامل از نظر آماری معنی‌دار نبود ($F=$۲/۱۷۵, $p <$ ۰/۰۸).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]



شکل ٦. بقاء ناپلیوس‌های *A. franciscana* پس از ٢٤ ساعت تماس با آبامکتین و سپس قرارگیری در محیط‌های با شوری مختلف در دوره‌ی بازیابی. *حروف روی ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در همان غلظت می باشند.

بحث

آبامکتین، یک آفت‌کش پرکاربرد در کشاورزی و آبزی پروری می‌باشد که با اثرات خطرناکی بر گونه‌های آبزی غیرهدف نظیر سخت پوستان همراه است (Guan *et al.,* 2024). در این مطالعه تاثیرات برخی عوامل محیطی از جمله شوری که خود به طور بالقوه متاثر از تغییر اقلیم جهانی می‌باشد بر میزان سمیت آبامکتین روی *A. franciscana* (ناپلی I) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج این مطالعه، مشاهده شد که سمیت آبامکتین روی آرتمیا به طور معنی‌داری با افزایش شوری افزایش یافته و باعث کاهش درصد بقا در آرتمیا شده است. این نتایج با مطالعات قبلی در مورد افزایش سمیت برخی آفت‌کش‌های دیگر روی سایر سخت پوستان (DeLorenzo *et al.,* 2009) و آبزیان دیگر (Hutton *et al.,* 2021) در شوری‌های بالاتر مطابقت دارد (Hall *et al.,* 1995). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که شوری یک عامل محیطی بسیار مهم است که می‌تواند سمیت آفت کش‌ها را از طریق تاثیر بر میزان در دسترس بودن زیستی آفت کش، پایداری و یا تخریب آنها تغییر دهد (Hutton *et al.,* 2021). بسته به نوع آفت کش نتایج متفاوتی در رابطه با میزان سمیت آنها تحت شوری‌های مختلف گزارش شده است (Hall *et al.,* 1995). نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش شوری به طور معنی‌داری موجب تشدید سمیت آبامکتین بر آرتمیا می‌شود. لذا می‌توان گفت که احتمالا شوری با افزایش غلظت یونی، باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آبامکتین (با توجه به شاخص ثابت چربی‌دوستی آن، log KOW) و در نتیجه کاهش انحلال‌پذیری این آفت‌کش چربی دوست در آب شده است (Saranjampour *et al.,* 2017). این تغییرات می‌توانند ورود آفت کش‌های چربی‌دوست را به بافت‌های چربی تسهیل کرده و باعث تجمع زیستی بیشتر در بدن موجود زنده شوند که سمیت آفت‌کش را تشدید می‌کند. در کنار این موارد، ویژگی‌های فیزیولوژیک موجودات آبزی نیز ممکن است تفاوت‌هایی را در سمیت مواد شیمیایی مختلف در طیفی از شوری‌ها ایجاد کند. شوری بالا می‌تواند فشار اسمزی بیشتری به آبزیان از جمله آرتمیا وارد کند که موجب صرف انرژی بیشتر در تعادل یونی و در نتیجه کاهش توانایی سلول‌ها برای مقابله با سمیت می‌شود (Kari, 2025). در مقابل، در شوری‌های متوسط، آرتمیا در محدوده‌ی تحمل بهینه‌ی خود قرار داشته و با توانایی بالاتری می‌تواند استرس‌های شیمیایی را تحمل کند. ترکیب شوری و آفت‌کش علاوه بر این اثرات، می‌تواند موجب اختلال در متابولیسم، تنظیم اسمزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی شود که اثرات مخربی بر بقای آبزیان بر جای می‌گذارد (Álvarez-Vergara *et al.,* 2022).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]
[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

بنابراین احتمالا علاوه بر تاثیر شوری بر سمیت آبامکتین می‌توان پاسخ فیزیولوژیک آرتمیا را در حاصل شدن نتایج مطالعه حاضر موثر دانست. به طور کلی این، در اکوسیستم‌های طبیعی که استرس شوری تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی رو به افزایش است، خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف آفت کش‌هایی مانند آبامکتین می‌تواند به‌طور هم‌افزا افزایش یابد و موجب کاهش بقاء و بر هم خوردن پایداری جمعیت‌های آرتمیا گردد. نور عامل محیطی دیگری هست که روی میزان سمیت آلاینده‌ها اثر می‌گذارد. این عامل محیطی نیز می‌تواند تحت تاثیر اقلیم جهانی قرار گیرد و شدت، توزیع و طول موج‌های تشکیل دهنده آن در مقیاس زمانی (روزانه و فصلی) و مکانی تغییر کند (Bais *et al.,* 2019). آفت کش‌ها در هنگام ورود به اکوسیستم‌های طبیعی در معرض نور قرار می‌گیرند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که نور از طریق واکنش‌های فتوشیمیایی عامل بی ثباتی اولیه را در بسیاری از آفت کش‌ها فراهم می‌کند که در برخی موارد منجر به تجزیه و تخریب آفت کش می‌شود (Meng *et al.,* 2022; Fan *et al.,* 2023). در این مطالعه نیز مشاهده شد که نور به عنوان یک فاکتور محیطی نقش موثری در کاهش سمیت آبامکتین بر ناپلیوس‌های آرتمیا دارد. در شرایط تاریکی کامل، کمترین میزان بقاء مشاهده شد که این موضوع احتمالاً به پایداری بالاتر آبامکتین در نبود نور و جلوگیری از تخریب فوتوشیمیایی آن مربوط باشد. برخی مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تابش نور می‌تواند بر سمیت آبامکتین در محیط‌های آبی تأثیر بگذارد و باعث تخریب آن شوند (Escalada *et al.,* 2008). از اینرو در شرایط نوری (نور کامل یا چرخه نوری متناوب) در این مطالعه، تخریب فوتوشیمیایی آبامکتین می‌تواند غلظت مؤثر آن را کاهش داده و به بهبود بقای آرتمیا منجر شود. از طرف دیگر نشان داده شده است که نور می‌تواند با تحریک مسیرهای سم‌زدایی سلولی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تحمل به استرس اکسیداتیو ناشی از آفت کش‌ها را در آبزیان افزایش دهد (Nie *et al.,* 2024). بنابراین، اثر ترکیبی نور بر کاهش پایداری آبامکتین و تحریک پاسخ‌های زیستی در آرتمیا احتمالا دلیل اصلی بقای بالاتر در شرایط نوری باشد. این یافته‌ها ضرورت توجه به شرایط نوری را در طراحی آزمون‌های سمیت و تفسیر نتایج مطالعات زیست محیطی آشکار می‌کند. افزایش دما به‌عنوان یکی از مهمترین آثار دیگر تغییر اقلیمی جهانی، می‌تواند اثرات قابل توجهی بر سمیت آفت کش‌ها بر گونه‌های آبزی داشته باشد و حساسیت آنها را در مراحل مختلف زندگی به‌طور چشمگیری افزایش دهد (Osterauer *et al.,* 2008). اثرات هم زمان گرما و آلاینده‌های شیمیایی از منظر بوم شناسی اهمیت بالایی دارند، زیرا مواجهه‌ی هم زمان با این دو عامل استرس‌زا می‌تواند منجر به اثرات تجمعی شود که از اثرات هر کدام از این عوامل به تنهایی شدیدتر باشد (Seeland *et al.,* 2013). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تاثیر افزایش دما بر سمیت آفت کش بسته به نوع ماده شیمیایی، نوع و مرحله زندگی گونه مورد مطالعه متفاوت است (Seeland *et al.,* 2013). با این حال، مطالعات بوم‌سم‌شناسی در زمینه‌ی ارزیابی خطرات ترکیبی این عوامل بر گونه‌های دریایی همچنان محدود است و این مسأله، خلأ مهمی در چارچوب‌های ارزیابی خطر زیست محیطی محسوب می‌شود. در مطالعه‌ی حاضر، نتایج نشان داد که دما اثر قابل توجهی بر سمیت آبامکتین روی آرتمیا دارد؛ به طوری که با افزایش دما از ۲۵ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد، درصد بقاء آرتمیا به‌طور معنی داری کاهش یافت. این امر احتمالاً به دلیل افزایش نرخ متابولیسم، کاهش اکسیژن محلول و افزایش نرخ تهویه در دماهای بالاتر است که می‌تواند جذب بیشتر آلاینده‌ها و حساسیت بالاتر به سمیت را به دنبال داشته باشد. بر اساس جستجوی ما، مطالعه دیگری تاکنون اثرات دما بر میزان سمیت آبامکتین را بر آبزیان دریایی از جمله آرتمیا ارزیابی نکرده است که این امر مقایسه یافته‌های مطالعه حاضر را با نتایج مشابه دشوار می سازد. با این حال نتایج مطالعه حاضر با مطالعات قبلی در خصوص اثرات هم افزایی دما و سمیت آفت کش ها روی سخت پوستان دیگر و سایر آبزیان مطابقت دارد (Osterauer *et al.,* 2008; Parlapiano *et al.,* 2021). همچنین عوامل فیزیولوژیک ناشی از افزایش دما مانند افزایش نفوذپذیری غشا، فعال سازی آنزیم‌های سم زدایی و پاسخ‌های اکسیداتیو ناشی از استرس حرارتی، می توانند در کاهش بقاء آرتمیا نقش داشته باشند. این تغییرات فیزیولوژیک منجر به افزایش در دسترس پذیری زیستی و سمیت آفت‌کش‌ها می‌شوند که در نهایت بقای این موجودات را کاهش می‌دهد (Zhang *et al.,* 2022). با توجه به روند فزاینده‌ی گرمایش جهانی، نادیده گرفتن نقش دما به عنوان یک عامل تاثیر گذار می‌تواند منجر به دست کم گرفتن خطرات واقعی شود. تغییرات اقلیمی و افزایش آلودگی‌ها می‌توانند pH منابع آبی را تغییر داده و به این ترتیب بر سمیت آفت‌کش‌ها در این محیط‌ها اثر بگذارند. نتایج این مطالعه نشان داد که سمیت آبامکتین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف pH قرار گرفت، به طوری که در pH قلیایی (۹/۵) مرگ و میر

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

آرتمیا به طور قابل توجهی بیشتر از pH اسیدی (۶/۵) و خنثی (۸) بود. این نتایج با مطالعات قبلی در خصوص اثر pH بر سمیت آفت‌کش‌ها در سخت پوستان همخوانی دارد (Howe *et al.,* 1994; Tsui *et al.,* 2003). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که pHمی‌تواند اثر تشدید کننده‌ای بر سمیت آفت‌کش‌ها داشته باشد که علت این امر ممکن است به پایداری بیشتر آفت‌کش‌ها در محیط قلیایی مرتبط باشد که در نتیجه آن غلظت موثر آفت‌کش در محیط آب بیشتر باقی می‌ماند. این موضوع منجر به افزایش دوز در دسترس برای ارگانیسم‌های آبزی می‌شود. افزایش سمیت آفت‌کش‌ها در محیط قلیایی در مطالعات دیگر نیز ثبت شده است (Soares *et al.,* 2020). علاوه بر این موارد، تغییرات pH محیط می‌تواند بر رفتار زیستی سموم تأثیرگذار باشد، از جمله با تغییر در بار یونی سم، نفوذپذیری غشاء سلولی را افزایش داده و منجر به جذب سریع‌تر آبامکتین و بروز استرس اکسیداتیو، اختلال در عملکرد آنزیم‌های دفاعی و در نهایت مرگ و میر بیشتر گردد. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که در سطوح بالاتر آبامکتین، این اثر تشدید شده است (به‌ویژه در pH ۹/۵). این امر می‌تواند به اثرات هم‌افزایی میان سمیت شیمیایی و استرس محیطی ناشی از pH نسبت داده شود. از منظر بوم شناسی، این نتایج حاکی از آن است که تغییرات pH در محیط‌های آبی می‌تواند نقش مهمی در تنظیم سمیت آفت‌کش‌ها و در نتیجه پراکنش و بقاء جمعیت‌های آرتمیا داشته باشد.

نتایج مطالعه حاضر همچنین نشان داد که مواجهه کوتاه مدت ناپلیوس‌های آرتمیا با آبامکتین، حتی پس از انتقال به آب تمیز (فاقد سم) و نگهداری به مدت ۲۴ ساعت، تأثیر معنی‌داری بر نرخ بقاء آنها دارد. این پدیده نشان‌دهنده سمیت تأخیری است که احتمالاً ناشی از تجمع سموم در بافت‌ها یا آسیب‌های برگشت ناپذیر به سیستم‌های حیاتی مانند سیستم عصبی می‌باشد و می‌تواند آثار بلند مدتی بر جمعیت‌های آرتمیا در زیستگاه‌های طبیعی داشته باشد. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان دادند که استرس شوری پس از تماس با سم نیز اثر مضاعفی بر کاهش بقاء دارد به‌ویژه در شرایط شوری بالا که فشار اسمزی بیشتری بر ارگانیسم وارد می‌کند. آسیب‌های ناشی از مواجهه با سم تشدید شده و احتمال بازیابی کاهش می‌یابد. جستجوهای ما نشان داد که مطالعات محدودی به بررسی فرآیند بازیابی سخت پوستان پس از مواجهه کوتاه مدت با آفت‌کش‌ها پرداخته‌اند (Reiber *et al.,* 2021). این خلأ پژوهشی، به ویژه در مطالعات آزمایشگاهی سخت پوستانی مانند آرتمیا و در زمینه بازیابی پس از مواجهه کوتاه مدت، اهمیت و ضرورت مطالعه حاضر را برجسته می‌کند. بر این اساس نتایج به دست آمده اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی خطر زیست محیطی دارند و نشان می‌دهد که مواجهه‌های کوتاه مدت با آفت‌کش‌ها به‌ویژه در ترکیب با تنش‌های محیطی مانند تغییر ناگهانی شوری می‌توانند اثرات پایداری بر جمعیت سخت پوستان داشته باشد که بازیابی کامل آن‌ها ممکن است به زمان طولانی‌تر یا حتی عدم بازیابی منجر شود. بنابراین، در طراحی مدل‌های ارزیابی خطر و برنامه‌های حفاظتی، باید نقش مواجهه‌های کوتاه مدت و فرآیند بازیابی ناقص به دقت مدنظر قرار گیرد تا حفظ تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم‌های آبی تضمین شود.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که سمیت آبامکتین بر ناپلیوس های *A. franciscana* به طور معناداری تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله دما، شوری، نور و pH قرار می گیرد. کاهش بقاء در سطوح شوری و دمای بالاتر، به‌ویژه در شرایط تنش محیطی، اهمیت تعاملات پیچیده میان آلاینده‌ها و عوامل استرس‌زای محیطی را آشکار می‌سازد. این تعاملات، با توجه به پیش بینی تغییرات اقلیمی، می‌تواند به تشدید اثرات منفی آفت‌کش‌ها بر موجودات آبزی منجر شود. همچنین، مشاهده اثرات تأخیری سمیت پس از حذف آفت‌کش، ضرورت ارزیابی‌های دقیق‌تر و چند بعدی خطر در شرایط واقعی و پویای زیست محیطی را نشان می‌دهد. به طور کلی، یافته‌های این پژوهش لزوم در نظر گرفتن هم‌زمان عوامل محیطی در ارزیابی خطرات زیست محیطی آفت‌کش‌ها را در اکوسیستم‌های آبی مورد تأکید قرار می‌دهد.

References

AbuQamar, S.F., El-Saadony, M.T., Alkafaas, S.S., Elsalahaty, M.I., Elkafas, S.S., Mathew, B.T., Aljasmi, A.N., et al., 2024. Ecological impacts and management strategies of pesticide pollution on

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

aquatic life and human beings. *Marine Pollution Bulletin*, 206, p.16613. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116613

Álvarez-Vergara, F., Sanchez-Hernandez, G.C. and Sabat, P., 2022. Biochemical and osmoregulatory responses of the African clawed frog experimentally exposed to salt and pesticide. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 258, p.109367. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109367

Bağdatli, S. and Yön Ertuğ, N.D., 2025. The effect of abamectin exposure on gametogenesis in zebrafish. *Scientific Reports*, 15(1), pp. 9038. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93638-6.

Bai, S.H. and Ogbourne, S., 2016. Eco-toxicological effects of the avermectin family with a focus on abamectin and ivermectin. *Chemosphere*, 154, pp. 204–214. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.113

Bais, A.F., Bernhard, G., McKenzie, R.L., Aucamp, P.J., Young, P.J., Ilyas, M., Jöckel, P. and Deushi, M., 2019. Ozone-climate interactions and effects on solar ultraviolet radiation. *Photochem Photobiol Sci*, 18, pp. 602–640. https://doi.org/10.1039/c8pp90059k

Bashir, I., Lone, F.A., Bhat, R.A., Mir, S.A., Dar, Z.A., and Dar, S.A., 2020. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. In K.R. Hakeem, R.A. Bhat, and H. Qadri (Eds.), Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation. pp. 1–26. Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_1

DeLorenzo, M.E., Wallace, S.C., Danese, L.E. and Baird, T.D., 2009. Temperature and salinity effects on the toxicity of common pesticides to the grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 44, pp.455–460. https://doi.org/10.1080/03601230902935121

Dokht Lish, R.A., Johari, S.A., Sarkheil, M. and Yu, I.J., 2019. On how environmental and experimental conditions affect the results of aquatic nanotoxicology on brine shrimp (*Artemia salina*): a case of silver nanoparticles toxicity. *Environmental Pollution*, 255, p. 113358. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113358

El-Gendy, K.S., Radwan, M.A., Gad, A.F., Khamis, A.E. and Eshra, E.H., 2019. Use of multiple endpoints to investigate the ecotoxicological effects of abamectin and thiamethoxam on *Theba pisana* snails. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, pp.242–249. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.027

Escalada, J.P., Gianotti, J., Pajares, A., Massad, W.A., Amat-Guerri, F. and García, N.A., 2008. Photodegradation of the acaricide abamectin: A kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, pp.7355–7359. https://doi.org/10.1021/jf8014848

Fan, L., Zhang, X. and Wang, H., 2023. Photo-induced toxicity of pesticides in aqueous environment: A review. *Journal of Cleaner Production*, 402, p.136726.

Fathi, A. A., and Al-Fredan, M.A., 2007. Effect of the insecticide abamectin on the metabolic activity of *Chlorella vulgaris* Beyerinck. *Egyptian Journal of Phycology*, 8(1), pp. 1–12. https://doi.org/10.21608/egyjs.2007.114539

Guan, T., Wang, L., Hu, M., Zhu, Q., Cai, L., et al., 2024. Effects of chronic abamectin stress on growth performance, digestive capacity, and defense systems in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquatic Toxicology*, 268, p. 106861. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106861

Hall, L.W. and Anderson, R.D., 1995. The influence of salinity on the toxicity of various classes of chemicals to aquatic biota. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(4), pp.281–346. https://doi.org/10.3109/10408449509021613.

Hedlund, J., Longo, S.B. and York, R., 2020. Agriculture, pesticide use, and economic development: a global examination (1990–2014). *Rural Sociology*, 85(1), pp.519–544. https://doi.org/10.1111/ruso.12303

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

Howe, G.E., Marking, L., Bills, T. and Boogaard, M., 1994. Effects of water temperature and pH on toxicity of terbufos, trichlorfon, 4-nitrophenol, and 2, 4-dinitrophenol to the amphipod *Gammarus pseudolimnaeus* and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13, pp.51–66. https://doi.org/10.1002/etc.5620130109

Hutton, S.J., Romain, S.S., Pedersen, E.I., Siddiqui, S., Chappell, P.E., White, J.W., Armbrust, K.L. and Brander, S.M., 2021. Salinity alters toxicity of commonly used pesticides in a model euryhaline fish species (*Menidia beryllina*). *Toxics*, 9(5), p.114. https://doi.org/10.3390/toxics9050114

Kari, Z.A., 2025. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: A review. *Comparative Immunology Reports*, 9, 200230. https://doi.org/10.1016/j.cirep.2025.200230

Khouni, M., Hammecker, C., Grunberger, O. and Chaabane, H., 2023. Effect of salinity on the fate of pesticides in irrigated systems: A first overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, pp.90471–90488. https://doi.org/10.1007/s11356-023-28860-8

Kim, L. Kim, H., Kim, T.H. and An, Y.J., 2025. Size- and shape-dependent effects of polyethylene terephthalate microplastics on the benthic crustacean *Artemia franciscana*. *Marine Pollution Bulletin*, 211, p.117391. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117391

Lavens, P. and Sorgeloos, P., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper, No. 361. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Meng, X., Guo, Y., Wang, Y., Fan, S., Wang, K. and Han, W., 2022. A systematic review of photolysis and hydrolysis degradation modes, degradation mechanisms, and identification methods of pesticides. *Journal of Chemistry*, 2022, 9552466. pp.1-16. https://doi.org/10.1155/2022/9552466

Nie, X., Huang, C., Wei, J., Wang, Y., Hong, K., et al., 2024. Effects of photoperiod on survival, growth, physiological, and biochemical indices of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juveniles. *Animals*, 14, p. 411. https://doi.org/10.3390/ani14030411

Novelli, A., Vieira, B.H., Cordeiro, D., Cappelini, L.T.D., Vieira, E.M. and Espíndola, E.L.G., 2012. Lethal effects of abamectin on the aquatic organisms *Daphnia similis*, *Chironomus xanthus* and *Danio rerio*. *Chemosphere*, 86(1), pp. 36-40. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.047

Osterauer, R. and Köhler, H., 2008. Temperature-dependent effects of the pesticides thiacloprid and diazinon on the embryonic development of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 86(4), pp. 485-494. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.12.013

Parlapiano, I., Biandolino, F., Grattagliano, A., Ruscito, A., Libralato, G. and Prato, E., 2021. Effects of commercial formulations of glyphosate on marine crustaceans and implications for risk assessment under temperature changes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, p.112068. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112068

Reiber, L., Knillmann, S., Kaske, O., Atencio, L.C., et al., 2021. Long-term effects of a catastrophic insecticide spill on stream invertebrates. *Science of the Total Environment*, 768, p.144456. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144456

Sanches, A.L.M., Pinto, T.J.S., Daam, M.A., Teresa, F.B., Vieira, B.H., Reghini, M.V., Almeida, E.A. and Espíndola, E.L.G., 2024. Isolated and mixed effects of pure and formulated abamectin and difenoconazole on biochemical biomarkers of the gills of *Danio rerio*. *Aquatic Toxicology*, 273, p.106978. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106978

Santos, K.P.E.D., Silva, I.F., Mano-Sousa, B.J., Duarte-Almeida, J.M., De Castro. W.V., et al., 2023. Abamectin promotes behavior changes and liver injury in zebrafish. *Chemosphere*, 311, p. 136941. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136941

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]

Saranjampour, P., Vebrosky, E.N. and Armbrust, K.L., 2017. Salinity impacts on water solubility and n-octanol/water partition coefficients of selected pesticides and oil constituents. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(9), pp.2274–2280. https://doi.org/10.1002/etc.3784

Seeland, A., Albrand, J., Oehlmann, J. and Müller, R., 2013. Life stage-specific effects of the fungicide pyrimethanil and temperature on the snail *Physella acuta* (Draparnaud, 1805) disclose the pitfalls for the aquatic risk assessment under global climate change. *Environmental Pollution*, 174, pp.1–9. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.020

Shrestha, A., Liu, H., He, K., Tahir, R., Yan, H., Guo, L., Hu, G., Liu, Q., Yang, S., and Zhao, L., 2025. Reproductive toxicity and neurotoxicity induced by abamectin and its therapeutic amelioration by curcumin in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*, 608, p.742644. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742644

Soares, M.P., Machado, A.L., Hayd, L., Soares, A. and Domingues, I., 2020. Effects of pH and nitrites on the toxicity of a cypermethrin-based pesticide to zebrafish embryos. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 76, p.103351. https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103351

Sorgeloos, P., Dhert, P. and Candreva, P., 2001. Use of the brine shrimp, Artemia spp., in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 200(1–2), pp.147–159. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00698-6

Tianyu, G., QianQian, Z., Jingyuan, Z., Long, W., Guoliang, C., Peng, X., Jianbin, F., Hui, W. and Jiale, L., 2024. Effect of abamectin on osmoregulation in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Environmental Science and Pollution Research*, 31, pp.44717–44729. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34056-5

Toochaei, S.P., 202۳. Effect of salinity and pH changes on the toxicity of abamectin in *Artemia franciscana* using response surface methodology. *Current Applied Sciences*, 1(1), pp.65–78. https://doi.org/10.22034/cas.2022.144986

Tsui, T.K. and Chu, L.M., 2003. Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations: comparison between different organisms and the effects of environmental factors. *Chemosphere*, 52(7), pp.1189–1197. https://doi.org/10.1016/S0045-6535 (03)00306-0

Van Stappen, G., Merchie, G., Dhont, J., Lavens, P., Baert, P. *et al.* (1996) '*Artemia'*, In: Lavens, P. and Sorgeloos, P. (eds.) Manual on the production and use of live food for aquaculture. Ghent, Belgium: Aquaculture and Artemia Reference Center, University of Ghent; Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Fisheries Technical Paper No. 361.

Wu X, Ma, Y., Li, X., He, N., Zhang, T., Liu, F., Feng, H. and Dong, J., 2023. Molecular mechanism of kidney damage caused by abamectin in carp: Oxidative stress, inflammation, mitochondrial damage, and apoptosis. *Toxicology*, 494, p.153599. https://doi.org/10.1016/j.tox.2023.153599

Zhang, H., Chen, Y., Wang, J., Wang, Y., Wang, L and Duan, Z., 2022. Effects of temperature on the toxicity of waterborne nanoparticles under global warming: facts and mechanisms. *Marine Environmental Research*, 181, p.105757. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105757

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOI: 10.61882/JAquaEco.15.2.42]