LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/80mrq174

التأثيرات البيولوجية والهستوباثولوجية والسمية الجينية لبعض المبيدات على سمك السلمون المرقط *Oncorhynchus mykiss*

مبروكة إدريس راف الله سعد[1]

ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 3 Dec., 2025

Pages (A 54 - 63)

Article history:
Revised form 30 Septmber 2025
Accepted 07 Novmber 2025

Authors affiliation
1. University of Kastamonu, Kastamonu, Turkey
kokaadres85@gmail.com

Keywords:
Trout, Pesticides, Biochemical effect, Histopathology, DNA damage

© 2025
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

الملخص

تؤثر المبيدات المستخدمة في الحقول الزراعية على الكائنات غير المستهدفة في البيئة حيث انها تقتل الكائنات البحرية أو يكون لها تأثيرات سلبية على الأعضاء الحيوية لتلك الكائنات بعد دخولها البيئة المائية. لذلك كان الغرض من هذه الدراسة هو التحقيق في التأثيرات الكيميائية الحيوية والنسيجية المرضية وتأثيرات سمية الجينية في سمك السلمون المرقط (*Oncorhynchus mykiss*)، وقد تم ذلك عن طريق تعريض السمك لتركيزات أقل من قاتلة من مواد بيريبروكسيفين وإيمازاموكس وهيميكسازول لمدة 96 ساعة. وقد تم التحقيق في المعايير الكيميائية الحيوية من عينات البلازما، والتقييم النسيجي المرضي من الخياشيم والكبد والكلى والطحال، وتلف الحمض النووي من خلايا الدم في المدة 48 و96 ساعة. أظهرت النتائج اختلافات كبيرة في مستويات الكوليسترول والفوسفاتيز القلوية والدهون الثلاثية والبروتين الكلي للأسماك المعرضة لتركيزات أعلى من بيريبروكسيفين مقارنة بمجموعة الشاهد ($P < 0.05$). اما فيما يتعلق بالتأثيرات النسيجية المرضية للتركيزات دون القاتلة من المبيدات الحشرية، فقد تبين أن التأثيرات الضارة على اسماك السلمون زادت اعتمادًا على الوقت وزيادة التركيز. وقد تم الكشف عن التنكس النووي والنخر في الخلايا البرنشيمية بمستوى مفرط في الطحال. كما تم الكشف عن كسر خيوط الحمض النووي في خلايا الدم للأسماك اعتمادًا على التركيز والوقت. وكان تلف الحمض النووي أعلى في الأسماك المعرضة لتركيزات عالية من بيربروكسيفين، تليها إيمازاموكس والهايمكسازول. وقد لوحظ أن التأثيرات الكيميائية الحيوية والهستوباثولوجية والسمية الجينية للمبيدات الحشرية زادت اعتمادًا على التركيز والوقت. لذلك، أثناء استخدام هذه الأنواع من المبيدات يجب أن نكون أكثر حرصًا على حماية البيئة المائية.

The biological, histopathological and genotoxic effects of some pesticides on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*

Mabrouka Idris Rafallah Saad[1]

It is known that pesticides used in agricultural fields affect non-target organisms in the environment as they kill marine organisms or have negative effects on the vital organs of these organisms after entering the aquatic environment. Therefore, the aim of this study was to investigate the biochemical, histopathological, and genotoxic effects in trout (*Oncorhynchus mykiss*), and this was done by exposing the fish to sublethal concentrations of pyriproxyfen, imazamox, and hemixazole for 96 hours. Biochemical parameters of plasma samples, histopathological evaluation of gills, liver, kidneys, and spleen, and DNA damage of blood cells were investigated at 48 and 96 hours. The results showed that the levels of cholesterol, alkaline phosphatase, triglycerides, and total protein of fish exposed to higher concentrations of pyriproxyfen showed significant differences compared to the control group ($P < 0.05$). Regarding the histopathological effects of sublethal concentrations of pesticides, it was determined that the harmful effects on salmon increased depending on time and increasing concentration. Nuclear degeneration and necrosis in parenchymal cells were detected at an excessive level in the spleen. DNA strand breaks were also detected in the blood cells of fish depending on concentration and

time. DNA damage was highest in fish exposed to high concentrations of pyriproxyfen, followed by imazamox and finally hemexazole. In conclusion, it was observed that the biochemical, histopathological, and genotoxic effects of pesticides increased depending on concentration and time. Therefore, during the use of these pesticides, we should be more careful to protect the aquatic environments.

المقدمة

تستوجب الزيادة المتسارعة في التعداد السكاني العالمي ضرورة تأمين الاحتياجات الغذائية الأساسية. وتُفضي الإخفاقات الحالية في توفير المنتجات الزراعية إلى ظهور تحديات جسيمة تتعلق بالاستدامة الغذائية. وتشير التقديرات إلى وقوع خسائر في المحاصيل الزراعية قد تصل نسبتها إلى 65٪ نتيجةً لانتشار الآفات والأمراض المختلفة. لذلك، يعمد المنتجون إلى تطبيق أساليب متباينة بهدف تعظيم الغلة في الأراضي الزراعية وتمديد فترة صلاحية المواد الغذائية. وتبرز بين هذه الأساليب طريقة المكافحة الكيميائية، التي تُنفّذ ضمن إطار المكافحة الزراعية؛ إذ تُسهم هذه الطريقة في رفع إنتاجية المحصول، ويتمثل جوهرها في استخدام المبيدات. تتصدر مبيدات الأعشاب المرتبة الأولى عالمياً في سوق المبيدات الكيميائية، تليها مبيدات الحشرات والفطريات، والمبيدات الأخرى المختصة بمكافحة الآفات المختلفة (KEKİLLIOĞLU A., 2020).

تُمثّل قضية التلوث المائي إحدى أكبر المخاوف البيئية على الصعيد العالمي. فقد أسفرت مجموعة واسعة من الممارسات البشرية عن نشأة وإطلاق طيف كبير من الملوثات في النظم البيئية المائية، مما أدّى إلى تدهور خطير في جودة المياه (Albano *et al.*, 2021; M. T. Islam *et al.*, 2022). ويتوقع أن تُسفر هذه الظاهرة عن تأثيرات سلبية شديدة على البيئة المائية والكائنات الحية التي تعيش فيها. وتنتج العديد من الملوثات، التي تنشأ من المصادر البشرية، في نهاية المطاف نحو الأنظمة المائية وتؤثر بشكل خاص في الكائنات المائية، كالأسماك (R.A. Bhat, 2017; Rohani, 2023).

تُشير الدراسات إلى أن معظم النظم البيئية المائية القريبة من المناطق الزراعية تتعرض للتلوث بأنواع وتركيزات متباينة من المبيدات الحشرية، مما قد يؤثر في سلامة الكائنات المائية (Beyer *et al.*, 2014). وتُستخدم التركيبات التجارية للمبيدات الحشرية على نطاق واسع في عمليات معالجة المحاصيل (Aparicio *et al.*, 2013). ويُمكن أن يؤدي التفاعل بين الجزيئات المكونة لهذه المبيدات إلى تغيرات في سميتها الإجمالية كدالة للتأثيرات التآزرية أو العدائية (Weeks Santos *et al.*, 2021). وعلى الرغم من الفوائد المرجوة من استعمال هذه المركبات، تظل غالبية المبيدات الحشرية متبقية في التربة لفترة زمنية، مما يُسبب التلوث ويُهدد بتدمير التوازن البيئي (Nur G., 2021).

تُعدّ التغيرات الجوهرية التي تطرأ على علم الأمراض النسيجي (الهيستوباثولوجيا) وعلم الدم والمعايير الكيميائية الحيوية، بالإضافة إلى الملف المناعي للأسماك، بمثابة مؤشرات حيوية بالغة الأهمية في دراسات السمية، وخصوصاً تلك المتعلقة بسمية المبيدات الحشرية (Vali *et al.*, 2022). تُمثّل مؤشرات الكيمياء الحيوية الدموية أداة واعدة لتقييم تأثيرات الملوثات المختلفة واستكشاف الحالة الصحية للأسماك (Shahjahan *et al.*, 2022). وفضلاً عن ذلك، تُوظف التغييرات التي تحدث في بنية خلايا الدم المختلفة على نطاق واسع بوصفها مؤشراً حاسماً لدراسات السمية الجينية للمركبات السامة المتباينة (Shahjahan *et al.*, 2019). وتُستخدم العديد من المعلمات الدموية بشكل مكثف في هذا السياق، من ضمنها العدد الكلي لكريات الدم الحمراء (TEC)، ومستوى الهيموجلوبين (Hb)، وحجم الخلايا المكدسة (PCV)، ومعدل ترسيب كريات الدم الحمراء (ESR)، والعدد الكلي لكريات الدم البيضاء (TLC) (Singh & Srivastava, 2010). وفي هذا الإطار، يُمكن الاستفادة من معايير الدم والكيمياء الحيوية بفعالية لتحديد التأثيرات السامة للمبيدات الحشرية في الأسماك. وإلى جانب ذلك، يُمكن للتحليل النسيجي المرضي أن يعمل كمؤشر تقييم مهم للتلوث البيئي المتنوع (Ahmed *et al.*, 2013). وتُعدّ الخياشيم من أهم الأنسجة التي تُمكنها أن تعكس التلوث المائي نتيجة لتعرضها المباشر للمياه الملوثة. وبالإضافة إلى ذلك، تسببت أنواع مختلفة من الملوثات في إحداث أضرار جسيمة بأنسجة الأسماك الحيوية الأخرى، كالكبد والكلى؛ ولذلك، تُعتبر التغيرات النسيجية المرضية التي تظهر في هذه الأنسجة مقبولة على نطاق واسع في تقييم سمية السموم المختلفة (Barhoumi *et al.*, 2012; Rohani, 2023).

يُستخدم مركب البيريروكسيفين (Pyriproxyfen – PPF) [4-فينوكسي فينيل -(RS)-2-(2-بيريديلوكسي) بروبيل إيثر؛ CAS RN: 95737-68-1] كمكوّن نشط في المنتجات الحيوية المعدة لمكافحة الحشرات في كل من القطاع الزراعي والطب البيطري (Devillers, 2020; Moura & Souza-Santos, 2020). ويُعزى انخفاض سمية PPF للثدييات واعتباره آمناً للبشر إلى آلية عمله الانتقائية والمحددة (Tominaga *et al.*, 2025). ومع ذلك، أظهر البحث الذي أجراه الباحث Devillers, (2020) بعد تجميع بيانات السمية البيئية من دراسات مخبرية وميدانية شملت الطحالب والنباتات واللافقاريات والفقاريات المائية، أن سمية PPF تتسم بالتباين الكامل، حتى عند تحليل الأنواع التي تنتمي إلى المجموعة التصنيفية ذاتها. وإضافةً إلى ذلك، كشفت الدراسة أن كمية PPF المستهلكة في القطاع الزراعي تتجاوز بكثير الكميات المستخدمة للتحكم في نواقل البعوض. علاوة على ذلك، تُعتبر هذه المادة مستقرة وثابتة في التربة. ونتيجة لذلك، أثار الاستخدام المتزايد لمركب PPF مخاوف جدية بشأن التلوث الذي قد يَلحق بالكائنات الحية غير المستهدفة (Devillers, 2020; Moura & Souza-Santos, 2020).

يُعدّ الإيمازاموكس (Imazamox – IM)، وهو مبيد إيميدازولينون كيرالي، من المركبات واسعة الاستخدام في القطاع الزراعي. يعمل هذا المبيد على منع تخليق الأحماض الأمينية متفرعة السلسلة من خلال تثبيط إنزيم أسيتولاكتات سينثيتاز (Acetolactate Synthase) . وتختلف أنواع المبيدات الكيرالية في نشاطها البيولوجي وسميتها وسلوكها البيئي (Asad *et al.*, 2017). ويتصاعد الاهتمام حالياً بالتأثيرات الانتقائية لهذه المبيدات الكيرالية. ويُلاحظ أن الامتصاص الضعيف لمركب IM في التربة يُكسبه قابلية عالية للحركة (Mobility). ونظراً لهذه الحركة، يُمكن نقل IM إلى البيئة المائية عبر آليتي الجريان السطحي والترشيح، مما يُشكّل مخاطر جسيمة على النظم البيئية المائية (R. Li *et al.*, 2022; Sikorski *et al.*, 2019). وفي سياق آخر، يُصنّف الهايمكسازول (Hymexazol) كمبيد فطريات واسع الطيف، يتميز بفعاليته في مكافحة الأمراض النباتية التي تُسببها الفطريات، ولذلك اكتسب انتشاراً واسعاً في الزراعة. ونظراً لكونه مبيداً فطرياً جهازياً، يُظهر الهايمكسازول سمية منخفضة تجاه الطيور، لكنه يُسجل سمية على الأسماك في البيئات البحرية، مثل الكارب والسلمون المرقط (Fan *et al.*, 2018). وبناءً عليه، يتمثل الهدف من الدراسة الحالية في التحقق من التأثيرات الكيميائية الحيوية والنسيجية المرضية وتأثيرات السمية الجينية لمركبي الإيمازاموكس والهايمكسازول في سمك السلمون المرقط (*Oncorhynchus mykiss*) تحديداً.

أدّت الملوثات المختلفة، التي تشمل المبيدات الحشرية (Poorbagher *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2021) والمواد البلاستيكية الدقيقة (J. Hasan *et al.*, 2022, 2023)، إلى إثارة مجموعة من المشكلات الصحية في الأسماك. وتُعدّ المبيدات الحشرية من بين هذه الملوثات الأكثر تأثيراً وفعالية في البيئات المائية (El Megid *et al.*, 2020; Shahjahan *et al.*, 2021). وقد أوضحت دراسات عديدة التأثيرات السلبية للمبيدات الحشرية على المنظومة البيئية المائية (Hedayati & Tarkhani, 2014). وتضم هذه التأثيرات الموثقة تثبيط النمو وتقييد نمو اليرقات والأجنة (M. Hasan *et al.*, 2022)، وتعديل المؤشرات الكيميائية الحيوية للدم، وتغيير البنية الخلوية والنووية لكريات الدم الحمراء، إضافة إلى اضطراب وظيفة الأعضاء الرئيسية، مثل الخياشيم والكبد والكلى والغدد التناسلية لدى أصناف الأسماك المختلفة (Md. M. Hasan *et al.*, 2022; Uddin *et al.*, 2022). وتتباين شدة سمية المبيدات الحشرية في الأسماك اختلافاً كبيراً وفقاً لأنواعها وأشكالها. ويؤثر تسمم

المبيدات الحشرية في الكائنات المائية بشكل مباشر من خلال التسبب في نفوق جماعي أو تدمير مصادرها الغذائية المتاحة. وقد ترتبط آثارها غير المباشرة بتداعياتها السلبية على معدل بقاء الأسماك ونموها. وأفادت أبحاث كثيرة بأن المبيدات الحشرية المنتمية إلى مجموعتي الكلور العضوي (مثل الألدرين) والفوسفور العضوي (مثل الملاثيون) تسببت في موت الأسماك المعرضة لتلك المواد الكيميائية (Rohani, 2023).

درس الباحث ألتينوك (Altinok I., 2012) تعريض سمك السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*؛ 116.88 ± 21.69 جم)، لتركيزات دون قاتلة (25 ميكروجرام/لتر) من مركب الكاربوسلفان لمدة ستين يوماً. ويهدف البحث إلى اختبار ما إذا كان التعرض المطول لهذا المبيد يؤثر في نشاط إنزيمات الأسيتيل كولين إستيراز (AChE) وحمض δ-أمينوليفولينيك ديهيدراتاز (ALA-D) والباراوكسوناز (PON) في خلايا الدم الحمراء، وهل يحفز تأثيرات سامة للجينات و/أو مسببة للطفرات.أدّى هذا التعرض إلى تثبيط نشاط إنزيمي الأسيتيل كولين إستيراز وحمض δ-أمينوليفولينيك ديهيدراتاز (ALA-D) في سمك السلمون المرقط قوس قزح، عند مقارنتها بمجموعة التحكم (الضابطة). ولم يتأثر نشاط إنزيم الباراوكسوناز (PON) بمركب الكاربوسلفان.ومن المثير للاهتمام، وُجد أن الكاربوسلفان يتسبب في تلف الحمض النووي (DNA) في خلايا الدم الحمراء (باستخدام اختبار المذنب)، وثبت أنه مُحدِث للطفرات كما كشف اختبار إيمز (Ames). وتشير هذه النتائج إلى أن مستويات إنزيمي AChE وALA-D في دم سمك السلمون المرقط يمكن أن تُستخدم كمؤشر حيوي حساس لتقييم المسطحات المائية الملوثة بالكاربوسلفان.

أجرى الباحث Mostakim G. M.، (2015) دراسة بهدف تقييم السمية المزمنة لمبيد كوينالفوس (QP) على معايير الدم وبعض الأعضاء الداخلية لدى سمكة البارب الفضية (Barbonymus gonionotus). تضمنت الدراسة تعريض الأسماك لتركيزين غير قاتلين 0.47 جزء في المليون و0.94 جزء في المليون، من مبيد الكوينالفوس لفترة 28 يوماً.سُجّل انخفاض في جميع معايير الدم المقيسة (كريات الدم الحمراء، الهيماتوكريت، الهيموجلوبين) ومستوى سكر الدم، باستثناء خلايا الدم البيضاء، مع ارتفاع تركيز المادة السامة. وأصبح هذا الانخفاض ملحوظاً إحصائياً ($p < 0.05$) عند التركيز الأعلى مقارنةً بمجموعة التحكم. وتغيرت المؤشرات الدموية المشتقة، مثل متوسط حجم الكريات الدموية ومتوسط هيموجلوبين الكرية ومتوسط تركيز هيموجلوبين الكرية، بشكل متماثل مقارنة بالمجموعة الضابطة.لوحظت تغيرات في البنية النسيجية لكل من الكبد والكلى بعد التعرض لـ QP. وشملت هذه التغيرات في كبد المجموعات المعالجة تضخم الخلايا الكبدية، ونخراً يتراوح بين الخفيف والشديد، وتمزقاً في الوريد المركزي، وظهور فجوات. كما سُجّل في الكلى تدهور شديد في الأنابيب الكلوية والأنسجة المكونة للدم، وتدهور في كريات الدم الكلوية، وظهور فجوات، ونخر في الأنسجة الكلوية للمجموعات المعرّضة للمبيد. وفي الختام، استنتج الباحث أن التعرض المزمن لـ QP بتركيزات دون قاتلة أدّى إلى إحداث تغيرات دموية ونسيجية مرضية في سمكة البارب الفضية، مما يوفّر أداة بسيطة لتقييم التغيرات الناجمة عن السمية.

رصد الباحث Al-Emran، (2022) مؤشرات حيوية مختلفة في دم أسماك البلطي النيلي (Oreochromis niloticus)، شملت المؤشرات الكيميائية الحيوية، والتشوهات النووية للكريات الحمراء (ENA)، والتشوهات الخلوية للكريات الحمراء (ECA). وأُجري الرصد بعد تعريض الأسماك لتركيزات متفاوتة دون قاتلة (0%، 5%، 10%، 20%، و40% من LC50 لمدة 96 ساعة) من مبيد البروفينوفوس على فترات زمنية مختلفة (7، 14، 21، و28 يومًا). وأظهرت النتائج ارتفاعاً ملحوظاً في مستويات الجلوكوز وخلايا الدم البيضاء (WBC)، في حين انخفض الهيموجلوبين وخلايا الدم الحمراء (RBC) وحجم الخلايا المعبأة (PCV) بشكل كبير بطريقة تعتمد على التركيز والوقت. وزادت التشوهات النووية الشاذة (ENA) المشتقة من مورفولوجيا خلايا الدم الحمراء، مثل التنكس النووي، والتكوين النوى الدقيق، والتطور الثنائي، والتبرعم النووي، وتضخم النواة، بشكل ملحوظ مع مرور الوقت في المجموعات المعرضة للبروفينوفوس مقارنةً بمجموعة التحكم. أما بالنسبة للتشوهات الخلوية الأخرى لخلايا الدم الحمراء (ECA)، بما في ذلك الشكل المستطيل والتوءم والمغزلي، فقد ظهر فرق كبير فقط في بداية التجربة (اليوم السابع). وتخلص هذه الدراسة إلى أن وجود مبيد البروفينوفوس، الذي يُستخدم على نطاق واسع، في الأنظمة المائية يترك تأثيراً ضاراً على أسماك البلطي النيلي.

وقد وضح الباحث Majumder R.، (2019) انه غالبًا ما يتم اكتشاف بقايا المبيدات الحشرية بتركيزات ضئيلة إلى متوسطة في الحبوب الغذائية وفي المياه السطحية لمختلف النظم البيئية للمياه العذبة. لذلك في هذه الدراسة، تم تحديد LC50 لمدة 96 ساعة من الكلوربيريفوس (94٪ مادة فعالة) والصيغة التجارية (20٪ EC) من الكلوربيريفوس لأسماك المياه العذبة Oreochromis niloticus عند 90.0 و42.0 ميكروغرام / لتر بناءً على تركيز الكلوربيريفوس الفعلي في الماء لمدة ساعتين. أدى التعرض لمدة 96 ساعة لتركيزات دون قاتلة (0 و12.0 و25.0 ميكروجرام/لتر) من التركيبة التجارية (20% EC) من الكلوربيريفوس إلى خفض مستوى الجليكوجين الكبدي وأنشطة الفوسفاتيز القلوية وأستيل كولينستريز والكاتالاز في الكبد ورفع مستوى الجلوكوز في البلازما وأنشطة الفوسفاتيز الحمضي الكبدي وأسبارتات أمينوترانسفيراز وألانين أمينوترانسفيراز في O. niloticus. وقد تسبب التعرض لمدة 28 يومًا لهذه التركيزات دون القاتلة في فقر الدم لدى الأسماك، بينما أدى التعرض لمدة 90 يومًا إلى تقليل نمو الأسماك وتركيز البروتين الخام والدهون الخام في المجموعة التجريبية مقارنةً بالمجموعة الضابطة. وقد استنتج الباحثين من هذه الدراسة أن التركيبة التجارية للكلوربيريفوس (20% EC) شديدة السمية لـ O. niloticus. قد يؤدي التعرض لتركيزات غير قاتلة من المبيدات الحشرية إلى إحداث الإجهاد التأكسدي وفقر الدم مما يؤدي إلى انخفاض نمو الأسماك.

إعادة صياغة أكاديمية لدراسة تأثير الفوسفات العضوي على سمك السلور اللاذعتمثّل الهدف من هذه الدراسة، التي أجراها الباحث Akter R.، (2020)، في تقييم تأثيرات مبيد فوسفات عضوي شائع الاستخدام على سمك السلور اللاذع في المياه العذبة (Heteropneustes fossilis). ويصور هذا التقييم التهديدات المحتملة التي قد تُحدثها هذه المجموعة من الفوسفات العضوية لأنواع أخرى في البيئة البرية.ولدراسة المخاطر المحتملة لمبيد فوسفات عضوي SC 50 على سمك السلور اللاذع، عُرّضت صغار الأسماك لاختبارات السمية الحادة. وحُددت التغييرات في المعايير الدموية، والشكل النسيجي للأعضاء، وأنشطة إنزيم أستيل كولينستريز في الدماغ (AChE)، عن طريق معالجة الأسماك بالجرعة الموصى بها زراعياً والأقل منها (0.015 و0.0075 جزء في المليون، على التوالي). وبناءً على ذلك، حُددت قيمة التركيز المميت الوسطي لمدة 96 ساعة LC50 لـ Envoy 50 SC للأسماك عند 0.151 (0.014–0.198) جزء في المليون. التأثيرات النسيجية والدمويةغيّر المبيد الحشري بشكل حاد الهياكل النسيجية الطبيعية للخياشيم والكبد والكلى. وشملت التغييرات الرئيسية فقدان صفائح الخياشيم، وتضخم الخياشيم، وفرط التنسج، وتضخم النواة، وظهور فجوات، وتوسع الكبيبات، وزيادة قطر الأنابيب الكلوية، والنزيف، والنخر، والالتصاق. وفي خلايا الدم، تمثلت التغييرات الملحوظة في كريات الدم الحمراء النووية الطرفية في تضخم الخلايا الليمفاوية، وموت الخلايا، واندماج الخلايا، والخلايا ثنائية النواة، والخلايا الشبحية، وهياكل غير طبيعية للخلايا.وتشير الانخفاضات الكبيرة ($P < 0.05$) في عدد خلايا الدم الحمراء وأنشطة إنزيم AChE في دماغ الأسماك، التي حدثت نتيجة للتعرض للمبيدات الحشرية، إلى أسباب السلوك المفاجئ وزيادة استهلاك الأكسجين ووفيات الأسماك عند التركيز الأعلى لمبيد الفوسفات العضوي.الاستنتاج والتوصيةخلص الباحثون إلى أن وجود المبيدات الحشرية، حتى عند تركيزات منخفضة، يُسبب تأثيرات ضارة في المراحل المبكرة من حياة البيئة السمكية، مما يشير إلى تأثير أوسع نطاقاً على الحياة البرية الأكثر حساسية، وخاصة انخفاض معدلات البقاء على قيد الحياة في بيئتها الأصلية. لذلك، يجب اتخاذ تدابير لتقليل مخاطر تلوث البيئة المائية بمثل هذه المواد الكيميائية السامة.

تمثّل الهدف من هذه الدراسة، التي أجراها الباحثون Santos S. W.، (2021) في تحليل تأثير ثلاث تركيزات من خليط مبيدات حشرية على المراحل الأولى من نمو سمك السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*). ويتكون هذا الخليط من ثلاث مبيدات شائعة الاستخدام في الزراعة، وهي: الجليفوسات (GLY)، والكلوربيريفوس (CPF)، وكبريتات النحاس (Cu). تضمنت المنهجية تعريض أجنة الطور الأولي (Embryos) لمدة ثلاثة أسابيع لثلاثة تركيزات من خليط المبيدات. وخضع تقييم التأثيرات المميتة وشبه المميتة لعدد من النقاط

النهائية الظاهرية والجزيئية، بما في ذلك البقاء على قيد الحياة، وتأخر وفقس البيض، والقياسات الحيوية، ونشاط السباحة، وتلف الحمض النووي (باستخدام اختبار المذنب)، وأكسدة الدهون (TBARS)، ومحتوى الكربونيل البروتيني، والتعبير الجيني. وخضع عشرة جينات مستهدفة، تشارك في دفاعات مضادات الأكسدة، وإصلاح الحمض النووي، واستقلاب الميتوكوندريا، وموت الخلايا المبرمج، للتحليل باستخدام تقنية RT-qPCR في الوقت الحقيقي.لم يُلاحظ أي زيادة كبيرة في معدلات الوفيات، أو نصف الفقس، أو عيوب النمو، أو محتوى البروتين الكربونيلي، بغض النظر عن تركيز خليط المبيدات. وعلى النقيض من ذلك، سُجّل تلف الحمض النووي وارتفاع نشاط السباحة بشكل ملحوظ إحصائياً عند أعلى تركيز لخليط المبيدات. كما نُظّم النسخ الجيني بشكل تصاعدي للجينات المشاركة في إزالة السموم (gst و1mt)، وإصلاح الحمض النووي (1ogg)، واستقلاب الميتوكوندريا (1cox و12S)، والنظام الكوليني (ache).

هدف الباحثين (Akar F., 2024) إلى تقييم التأثيرات الجينومية السامة للثياميثوكسام (TMX)، وهو مبيد نيونيكوتينويد يستخدم على نطاق واسع في الأنشطة الزراعية، على سمك السلمون المرقط قوس قزح، وهو مؤشر حيوي في الدراسات السمية في النظم البيئية المائية، عن طريق تقنية اختبار النواة الدقيقة (MN). في الدراسة، تم تشكيل 4 مجموعات تضم 10 أسماك في كل منها مع تكرارين. لم يتم تطبيق أي مادة في مجموعة التحكم. تم تطبيق جرعات الثياميثوكسام 25 و75 ملغ / لتر. كعنصر تحكم إيجابي، تم تطبيق 10 ملغ / لتر من البنزين. وفي وحدة التطبيق تم عد 5000 خلية دم حمراء لكل سمكة من عينات الدم المأخوذة من الوريد الذنبي بعد التخدير وتم تحديد معدل تواتر النوى الدقيقة في 1000 خلية في المتوسط. وتم أخذ أنسجة الكبد بعد خلع عنق الرحم وتقييمها للتحليل النسيجي المرضي. ونتيجة لتحليل معدل التواتر النوى الدقيق، كان متوسط معدل تواتر كريات الدم الحمراء الدقيقة 0.3٪ في المجموعة الضابطة، و0.78٪ في مجموعة الثياميثوكسام 25 مجم / لتر، و1.72٪ في مجموعة الثياميثوكسام 75 مجم / لتر و5.88٪ في المجموعة الضابطة الإيجابية المعالجة بـ 10 مجم / لتر من البنزين بعد التعرض لمدة 36 ساعة. وفي نهاية اليوم السادس، كان معدل تكرار MN 0.32% في المجموعة الضابطة، و0.92% في المجموعة التي تناولت 25 ملغ/لتر من TMX، و2.6% في المجموعة التي تناولت 75 ملغ/لتر من TMX، و7.06% في المجموعة التي تناولت البنزين. وفي الفحوصات النسيجية للأنسجة، لوحظ أن أنسجة الكبد في المجموعة الضابطة لها بنية نسيجية طبيعية، بينما لوحظ تنكس طفيف في المجموعة التي تناولت 25 ملغ/لتر من الثياميثوكسام. وفي المجموعة التي تناولت 75 ملغ/لتر من الثياميثوكسام، لوحظ تنكس ومناطق نخر وتدهن في الخلايا الكبدية في أقسام الكبد. وفي المجموعة الضابطة الإيجابية، لوحظ تسلل الخلايا وتنكس القناة الصفراوية بالإضافة إلى تنكس الخلايا الكبدية والنخر والتدهن. ونتيجة للبيانات التي تم الحصول عليها من الدراسة، فقد تبين أن زيادة الجرعة في إعطاء الثياميثوكسام أدت إلى زيادة في تواتر كريات الدم الحمراء ذات النوى الدقيقة مقارنة بمجموعة التحكم. بالإضافة إلى ذلك، فقد تبين أن هناك زيادة في تواتر وشدة الضرر التي شوهدت في أنسجة الكبد مع زيادة جرعة الثياميثوكسام. كما لوحظ أن الثياميثوكسام سام للجينات والخلايا في الكائنات المائية أيضًا (Akar F., 2024).

وعلي حد بحثنا لم يقم أي الادبيات بتقييم التأثيرات البيولوجية والهستوباثولوجية والسمية الجينية لمبيدات الهيمكسازول، والبيريبروكسيفين، والإيمازاموكس على سمك السلمون المرقط من قبل.

المواد والطرق:

في تجارب السمية، تم استخدام مبيد الحشرات بيريبروكسيفين (2-[1-ميثيل-2-(4-فينوكسيفينوكسي) إيثوكسي]بيريدين؛ منصة EC10؛ 100 جم/لتر)، ومبيد الأعشاب إيمازاموكس (2-(4-إيزوبروبيل-4-ميثيل-5-أوكسو-2-إيميدازولين-2-يل)-5-ميثوكسيميثيلنيكوتينيك أسيد؛ راموكس ألترا؛ 40 جم/لتر)، ومبيد الفطريات هيميكسازول (3-هيدروكسي-5-ميثيل أيزوكسازول؛ تاجيانت 30 لتر؛ 360 جم/لتر). مبيدات شركة صفا للتجميل ش.م. تم توريدها من قونية، تركيا. وقد استخدام سمك السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*). في التجارب، تم توفير 210 من سمك السلمون المرقط قوس قزح (90.50 ± 9.44 جم؛ 20.34 ± 0.95 سم) من منشأة الإنتاج التابعة لمركز إنتاج وتطبيق أبحاث الأسماك الداخلية والبحرية بجامعة كاستامونو في سد جيرميشتيبي. قبل البدء بإجراء اختبارات السمية، تم الاحتفاظ بها في أحواض مائية سعة 100 لتر في وحدة السموم المائية بكلية الثروة السمكية لمدة أسبوعين للتكيف مع ظروف المختبر. خلال مرحلة التكيف، تم تغيير 15-20٪ من الماء في نظام الدائرة المغلقة كل يوم. خلال مرحلة تكيف الأسماك مع الظروف المعملية، تم إطعامها علف التراوت بنسبة 3-5٪ من وزن الجسم. تم تغذية الأسماك حتى يومين قبل بدء التجارب ولم يتم إطعامها أثناء التجارب. تم إجراء التجربة في وحدة السموم المائية بكلية الثروة السمكية بجامعة كاستامونو. بلغت سعة أحواض السمك المستخدمة في الدراسة 100 لتر، وتم استخدام 21 حوض سمك، كل حوض يحتوي على 80 لتر من الماء خلال المرحلة التجريبية. يتم تهوية كل حوض سمك على حدة بواسطة منفاخ لتزويد مياه الحوض بالأكسجين. استخدام مياه الصنبور المهواة في الاختبارات السمية. من أجل تحديد خصائص المياه المستخدمة في التجارب، تم قياس درجة حرارة الماء، ودرجة الحموضة، والأكسجين المذاب، والمواد الصلبة الذائبة، والتوصيل الكهربائي والملوحة باستخدام جهاز قياس جودة المياه المتعدد الطراز HQ40D من ماركة Hach Lange. كانت معايير جودة المياه التي تم قياسها في أحواض السمك طوال التجربة هي درجة حرارة الماء 15.3 ± 0.3 درجة مئوية، ودرجة الحموضة 7.95 ± 0.28، والأكسجين المذاب 7.02 ± 1.06 ملغ / لتر، والمواد الصلبة الذائبة 253.6 ± 45 ملغ / لتر، والتوصيل الكهربائي 437.4 ± 70.8 µS / سم والملوحة 0.25 ± 0.05٪.

بعد فترة التكيف، قبل إدخال الأسماك إلى التجربة، تم إجراء فحص خارجي للطفيليات على أجسامها للتأكد من عدم وجود أي طفيليات (AFS-FHS، 2003). ثم تم نقل الأسماك في أحواض مائية بحجم 100 لتر تحتوي على 80 لتر من الماء الساكن. تمت إضافة تركيزات غير قاتلة من المبيدات الحشرية إلى مياه الاختبار الخاصة بالأسماك، بحيث 150 و300 ميكروجرام/لتر لبيريبروكسيفين؛ و50 و100 مجم/لتر لإيمازاموكس؛ و150 و300 مجم/لتر لهيمكسازول. تم وضع 10 أسماك في كل حوض مائي. تم إجراء 3 تكرارات لكل مبيد حشري ومجموعة تجريبية. في نفس الوقت، تم إنشاء مجموعة تحكم لتحديد التأثيرات المحتملة التي قد تنشأ عن جودة المياه أو عوامل أخرى. خلال فترة التجربة تم استبدال 50% من مياه الاختبار بمياه عذبة وتم تعديل التركيز بإضافة مبيدات حشرية بحيث لا يتغير التركيز وتم تهوية المياه في أحواض السمك وتزويدها بالأكسجين لمدة 96 ساعة.

لإجراء التحليلات الكيميائية الحيوية، تم جمع عينات الدم في أنابيب تحتوي على الهيبارين بمقدار 1 مل باستخدام حقنة من الوريد السفلي تحت تأثير التخدير MS-222 (تريكايين ميثان سلفونات، 200 ملغ/لتر) بعد 48 و96 ساعة من التعرض لمبيدات إيمازاموكس وهيميكسازول وبيريبروكسيفين. تم أخذ عينات الدم للتحليلات الكيميائية الحيوية بسرعة 5000 xg.

تم الحصول على البلازما بعد الطرد المركزي لمدة 10 دقائق وتخزينها عند درجة حرارة -70 درجة مئوية حتى التحليل. وبعد ذلك، تم قياس المعايير الكيميائية الحيوية مثل ألانين أمينوترانسفيراز (ALT)، والكوليسترول، والكرياتينين، والفوسفاتيز القلوية (ALP)، والدهون الثلاثية (TRIG)، والبروتين الكلي (TPRO)، والجلوكوز والألبومين باستخدام مجموعات التشخيص من ماركة Abbott (USA) على جهاز تحليل مناعي مصلي (Abbott Architect® c16000 System USA).

تم استخدام 30 سمكة تراوت قوس قزح لتقييم التأثيرات النسيجية المرضية المحتملة التي قد تحدث في أنسجة الكبد والكلى الخلفية والخياشيم والطحال للأسماك المعرضة لتركيزات غير مميتة من مبيدات إيمازاموكس وبيريبروكسيفين وهايمكسازول وتلك غير المعرضة (المجموعة الضابطة). ولتحقيق هذه الغاية، تم تثبيت أنسجة الأسماك المعرضة للمبيدات الحشرية لمدة 48 و96 ساعة في محلول الفورمالين المنظم بنسبة 10% لمدة 48 ساعة ثم غسلها بالكحول بنسبة 70%. وبعد ذلك تم حفظ الأنسجة في كحول 70% لمدة 24 ساعة، وفي 80% و96% كحول لمدة ساعة لكل منهما، وفي الكحول المطلق لمدة ساعتين، ثم تم تمريرها عبر سلسلة بنزوات الميثيل

والبنزول وحجبها في البارابلاست. تم أخذ ثلاثة أقسام بسمك 5 ميكرومتر من كل كتلة بارافين بفاصل 50 ميكرومتر باستخدام ميكروتوم (Leica RM 2155، ألمانيا). لإجراء التقييم النسيجي المرضي، تم صبغ العينات باستخدام الهيماتوكسيلين-إيوزين (H&E). تم تقييم العينات تحت المجهر الضوئي (BX51، أوليمبوس، طوكيو، اليابان) وتم التقاط الصور من المناطق المرغوبة باستخدام كاميرا رقمية مدمجة في المجهر (DP74، أوليمبوس، طوكيو، اليابان). تم تقييم النتائج النسيجية المرضية في جميع العينات من حيث شدة وتوزيع السموم في الأنسجة (لا يوجد: −، خفيف: +، متوسط: ++، شديد: +++).

في نهاية الساعة 96، تم أخذ عينات دم بحجم 0.5 مل من سمك السلمون المرقط المعرض لتركيزات غير مميتة من المبيدات الحشرية لمدة 96 ساعة. تم إجراء اختبار اختبار المذنب عن طريق تعديل تقنية سينغ وآخرون. (1988). تم تجانس 10 ميكرولتر من الدم مع PBS وتم تحضير تعليق الخلايا (100 خلية / مل). تمت إضافة 10 ميكرولتر من تعليق الخلايا إلى 75 ميكرولتر من 0.5٪ LMP. تم خلط نقطة الانصهار (نقطة الانصهار المنخفضة) مع الآجار (تم استخدام الآجار LMP بعد الانتظار عند 37 درجة مئوية). بعد ذلك، تم طلاء أسطح الشرائح الأرضية أولاً بـ 1% أجاروز NMP (درجة حرارة الانصهار العادية)، ثم تم تغطيتها بغطاء زجاجي وحفظها في الثلاجة (+4 درجة مئوية) لمدة 20 دقيقة حتى تتصلب. ثم تم إنشاء الطبقة الثانية باستخدام 75 ميكرولتر من خليط تعليق الخلايا المحضر وLMP وتغطيتها بغطاء زجاجي. بعد هذه العملية، تم السماح للأجار بالتجميد لمدة ساعة واحدة. في الطبقة الثالثة، تم تغطية العينات بـ 75 ميكرولتر فقط من أجاروز 0.5٪ LMP وتم تغطيتها مرة أخرى بغطاء زجاجي وانتظرت حتى يتصلب الأجار. تم حفظ الشرائح المحضرة في الظلام لمدة ساعة على الأقل في محلول التحلل (2.5 مولار كلوريد الصوديوم، 100 ملي مولار Na_2EDTA، 10 ملي مولار تريس، درجة حموضة 10، 10% ديميثيل سلفوكسيد و1% تريتون X-100) المحضر مسبقًا والمحفوظ في درجة حرارة +4 درجة مئوية. تم وضع الشرائح جنبًا إلى جنب في حجرة التحليل الكهربائي وتركها حتى تصل إلى درجة الحرارة المتوازنة لمدة 30 دقيقة عند +4 درجة مئوية. تم تشغيل العينات المحضرة بالرحلان الكهربائي لمدة 30 دقيقة (24 فولت، 300 ملي أمبير) عند +4 درجة مئوية. بعد عملية التشغيل، تم حفظ الشرائح في محلول محايد لمدة 10 دقائق وتم صبغها ببروميد الإيثيديوم بتركيز 0.5 ملغ / مل. تم استخدام بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) للتحكم الإيجابي. وبعد ذلك، تم عرض شرائح بونان تحت المجهر الفلوري باستخدام المرشحات وتم تقييم الصور باستخدام برنامج Comet Assay (OpenComet v1.3.1) وبرنامج ImageJ.

يتم التعبير عن كافة البيانات على أنها الانحراف المعياري المتوسط. تم فحص مدى تطابق البيانات مع التوزيع الطبيعي باستخدام اختبار Shapiro-Wilk وتم فحص تجانس التباينات باستخدام اختبار Levene. في اختبار Comet Assay، تم إجراء تحليل التباين أحادي الاتجاه (ANOVA) لمقارنة بيانات المجموعات المعرضة للمبيدات مقارنة بمجموعة التحكم. عندما تم الكشف عن فروق ذات دلالة إحصائية، تم تطبيق اختبار TUKEY لتحديد هذه الاختلافات. تم تقييم تحليلات اختبار المذنب باستخدام برنامج اختبار المذنب (OpenComet v1.3.1) وبرنامج ImageJ. تم إجراء كافة التحليلات الإحصائية باستخدام برنامج الحزمة SigmaPlot 12.3 وتم ضبط مستوى الدلالة عند 5%.

النتائج والمناقشة:

1. المعايير الكيميائية الحيوية

تم توضيح التغيرات في المعايير الكيميائية الحيوية لدم سمك السلمون المرقط المعرض لتركيزات مختلفة دون القاتلة من بيريروكسيفين، وهيميكسازول، وإيمازاموكس في الجدول 1، والجدول 2، والجدول 3، على التوالي. في الأسماك المعرضة لتركيز 300 ميكروجرام/لتر من بيريروكسيفين، وجد أن مستويات الكوليسترول والبروتين الكلي في عينات الدم المأخوذة بعد 48 ساعة تختلف عن المجموعة الضابطة وتركيز 150 ميكروجرام/لتر (ص<0.05). بعد 96 ساعة، وجد أن نفس المعايير مختلفة عن المجموعة الضابطة عند كل من التركيزين (ص<0.05).

جدول رقم (1) تأثير تركيزات مختلفة من البيريروكسيفين غير القاتلة على المعايير الكيميائية الحيوية في سمك السلمون المرقط (المتوسط ± الانحراف المعياري).

المعلمات الحيوية	48 ساعة			96 ساعة		
	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر
ALT (U/L)	±17.50 2.12	±20.83 0.76	±25.33 4.51	±15.50 y0.71	±26.33 x2.08	±16.67 y3.06
الكوليسترول (mg/dL)	4.±168 b24	±142.3 b4.936	2+226 a0.42	±193.5 x0.71	2.±157 y65	±96.67 y36.5
الكرياتين (mg/dL)	0±0.33 01.	0±0.31 07.	0±0.25 01.	0±0.36 03.	0±0.30 09.	0+0.23 03.
ALP (U/L)	1.4±31 1	±41.33 12.86	12.±62 53	3±43.5 x54.	±43.00 x9.17	±19.67 y8.33
الدهون الثلاثية (mg/dL)	1±169 6.97	2±106 6.15	±238.3 91.27	±219.5 x20.51	±108.3 y16.2	±104.0 y6.08
Top. Prot. (g/dL.)	0.±2.7 b28	0±2.60 b26.	0±3.40 a3.	0±3.35 x07.	0±3.03 x23.	0±2.17 y35.
الجلوكوز (mg/dL)	2±54.5 12.	±48.33 6.43	±51.33 3.51	5.6±65 6	±60.33 7.57	±60.33 9.07
الألبومين (g/dL)	0±0.95 07.	0±0.97 12.	0±1.30 2.	0±1.15 21.	0±1.17 35.	0±0.53 15.

تمثل التعبيرات الأسيّة الصغيرة الفرق بين المجموعات في نفس يوم أخذ العينات ($P < 0.05$).

وُجد أن مستويات الدهون الثلاثية والجلوكوز في عينات الدم المأخوذة بعد 48 ساعة من الأسماك المعرضة لتركيزات غير مميتة من هيميكسازولين 150 و300 مجم/لتر كانت مختلفة مقارنة بمجموعة التحكم (ص<0.05)، وبعد 96 ساعة وجد أن قيمة الجلوكوز تختلف عن المجموعة الضابطة عند تركيز 300 ملغم/لتر (ص<0.05).

جدول 2 تأثير تركيزات مختلفة دون القاتلة من الهيمكسازولين على المعايير الكيميائية الحيوية في سمك السلمون المرقط (الانحراف المعياري المتوسط).

المعلمات الحيوية	48 ساعة			96 ساعة		
	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر
ALT (U/L)	17,50± 2,12	16,33± 5,69	17,33± 3,79	15,5±0 ,7ly	18,67± 4,04y	56,67± 3,21x
الكوليسترول (mg/dL)	168±4, 24	165,7± 51,93	202±4 1,58	193,5± 0,71x	173±1 48,75xz	95,67± 7,02yz
الكرياتين (mg/dL)	0,33±0 ,01	0,28±0 ,07	0,27±0 ,04	0,36±0 ,03x	0,29±1 0,03xz	0,25±0 ,02yz
ALP (U/L)	31±1,4 1	32,67± 5,69	40,67± 9,24	43,5±4 3,54	47±15. 39	47,33± 3,79
الدهون الثلاثية (mg/dL)	169±1 6,97b	103±1 4.80c	470±1 7,44a	219,5± 20,51	172,67 ±84,39	84,33± 12,10
Top. Prot. (g/dL.)	2,7±0, 28	2,97±0 ,32	3,03±0 ,29	3,35±0 ,07	2.73±0 ,74	1.97±0 .15
الجلوكوز (mg/dL)	54,5±2 ,12c	71,00± 7,94b	90,33± 1,53a	65±5.6 6y	65,00± 7,81y	104,33 ±2,52x
الألبومين (g/dL)	0.95±0 ,07	0.97±0 ,15	1,20±0 .17	1.15±0 .21	0,73±0 ,49	0,57±0 ,12

تمثل التعبيرات الأسية الصغيرة الفرق بين المجموعات في نفس يوم أخذ العينات ($P<0.05$).

وُجد أن مستويات الكوليسترول، والفوسفاتيز القلوية، والدهون الثلاثية، والبروتين الكلي والجلوكوز

في عينات الدم المأخوذة بعد 48 ساعة من الأسماك المعرضة لتركيز دون القاتل من إيمازاموكس 100 ملغ / لتر كانت مختلفة مقارنة بمجموعة التحكم (ص <0.05). وفي الساعة 96، وجد أن مستويات الكوليستيرول والكرياتينين وALP والدهون الثلاثية تختلف عن المجموعة الضابطة عند تركيز 100 ملغم / لتر (P <0.05).

جدول 3 تأثير تركيزات مختلفة من الإيمازاموكس دون القاتلة على المعايير الكيميائية الحيوية في سمك السلمون المرقط (متوسط الانحراف المعياري).

المعلمات الحيوية	48 ساعة			96 ساعة		
	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر	المجموعة الضابطة	150 ميكروجرام/لتر	300 ميكروجرام/لتر
ALT (U/L)	17,50± 2,126b	54,33± 8,14a	20±1,00b	15,50± 0,717y	36,67± 5,77a	14,33± 3,217y
الكوليسترول mg/dL) (	168±4,24a	129,3± 17,1a	68,67± 12.22b	193,5± 0,71x	137,67 ±8,96y	65±12,53z
الكرياتين mg/dL) (	0,33±0,01	0,39±0,10	0,37±0,04	0,36±0,03x	0,22±0,02y	0,21±0,02y
ALP (U/L)	31±1,41b	58±3,61a	53,67± 3,21a	43,5±3,54x	42±1,73x	21,33± 42,08y
الدهون الثلاثية mg/dL) (	169±1 6,97a	114±8, 726b	55,67± 8,96c	219,5± 20,51x	162+5, 29y	79,67± 5,51z
Top. Prot. (g/dL.)	2,7±0, 28a	2,93±0,25a	1,93±0,15b	3,35±0,07	2,88±0,03	2,57±0,72
الجلوكوز mg/dL) (	54,5±2,12a	40±6,246b	39,67± 4,16b	65±5,66	46,33± 8,96	52,33± 10,02
الألبومين (g/dL)	0,95±0,07	0,80±0,30	0,50±0,10	1.15±0.21	1,00±0,00	0,63±0,32

تمثل التعبيرات الأسية الصغيرة الفرق بين المجموعات في نفس يوم أخذ العينات (P<0.05).

2. نتائج الفحص النسيجي

عند فحص أنسجة الخياشيم والكبد والكلى والطحال المأخوذة من المجموعات الضابطة من سمك السلمون المرقط قوس قزح التي لم تتعرض لأي مبيد حشري من الناحية النسيجية، تم تحديد أن مناطق اللب الأبيض والأحمر في أنسجة الطحال، وبقع الكبد والستروما، وأنابيب الكلى، والخلايا الظهارية في الجسم الكلوي والهياكل الصفائحية الأولية والثانوية للخياشيم أظهرت بنية خلوية طبيعية. ملخص الاضرار في أنسجة الخياشيم، والكبد، والكلى، والطحال للأسماك المعرضة للمبيدات الحشرية في الجدول 4.

جدول 4 النتائج النسيجية المرضية في أنسجة الخياشيم والكبد والكلى والطحال لدى سمك السلمون المرقط المعرض للمبيدات الحشرية.

العضو	التلف	هيميكسازول				إيمازاموكس				بيربيروكسيفين			
		48 ساعة		96 ساعة		48 ساعة		96 ساعة		48 ساعة		96 ساعة	
		D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y
الخياشيم	فصل الخلايا الظهارية	+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	++
	فرط تنسج الخلايا الظهارية	+	++	+++	+++	+	++	+++	+++	+	++	+++	+++
	تضخم الخلايا الظهارية	+	++	+++	+++	+	++	++	++	+	++	++	++
	نخر الخلايا الظهارية	+	++	+++	++	+	++	+++	++	+	++	+++	+++
	احتقان الدم	+	++	+++	++	+	++	+++	++	+	++	+++	+++
	الاندماج	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+

	الصفائح												
الكبد	التنكس الغجوي في الخلايا الكبدية	+	++	++	+	++	++	++	+	++	++	++	++
	التنكس النووي في الخلايا الكبدية	+	+	+	+	+++	++	+	+	++	++	++	+++
	نخر الخلايا الكبدية	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	++	+	++
	احتقان الدم	++	++	+++	+	+++	++	+	+	+++	+	+	++
	الوذمة	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	+	+	++
الكلى	انحلال فجوي في الأنابيب	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	+	+	++
	نخر الأنابيب	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	+	+	++
	التنكس الكبيبي	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++
	نزيف بيني	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	++
	زيادة عدد الخلايا الصبغية	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	++
الطحال	التنكس النووي في الخلايا البرنشيمية	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	+	+	+++
	نخر الخلايا البرنشيمية	+	+	++	+	+++	++	+	+	++	+	+	+++
	توسع الفراغات اللبيّة البيضاء	-	-	+	-	++	+	-	-	++	+	-	+++

بالنسبة لروكسيفين D: 150 ميكروجرام/لتر، Y: 300 ميكروجرام/لتر؛ بالنسبة إلى إيمازاموكس د: 50 ملغ/ل، ي: 100 بالنسبة إلى هيميكسازول د: 150 ملغ/ل، ي: 300 ملغ/ل، -: لا يوجد، +: خفيف، 0 ملغ/ل؛ لا شيء، +: خفيف، ++: متوسط، +++: شديد.

تلف الحمض النووي (تحليل المذنب)

تم الكشف عن أضرار كبيرة في الحمض النووي لسمك السلمون قوس قزح المعرض لتركيزات غير قاتلة من المبيدات الحشرية مقارنة بمجموعة التحكم، اعتمادًا على نوع المبيد وتركيز التعرض (الجدول 4.5). بالإضافة إلى ذلك، لم يتم الكشف عن أي فرق بين الضرر الذي يلحق بذيل الحمض النووي (%) الناتج عن تطبيق H2O2 على المجموعة الضابطة الإيجابية وتركيز 300 ميكروجرام/لتر من بيربيروكسيفين (P>0.05؛ الجدول 5).

وعند فحص قيم كثافة الرأس وجد فرق معنوي في التركيزات العالية من الهيمكسازول والايمازاموكس مقارنة بمجموعة التحكم (P<0.05)، بينما لم يوجد فرق في كلا تركيزي البيربيروكسيفين (P>0.05). وعند فحص قيم الرأس للـ DNA (%) تم رصد أعلى قيمة في المجموعة الضابطة بنسبة 95.47±2.69%، تليها تراكيز منخفضة من الايمازاموكس والهايمكسازول بقيم 94%. وبينما لم يتم الكشف عن أي فرق كبير بين التركيزات المنخفضة لهذين المبيدين مقارنة بمجموعة التحكم (P>0.05)، وجد أن الفرق بين التركيزات العالية كان كبيرا (P<0.05). ووجد فرق معنوي بين قيم الرأس للـ DNA (%) في كلا تركيزي البيربيروكسيفين مقارنة بمجموعة التحكم (P<0.05). وعند فحص قيم الذيل للـ DNA (%)، بينما لم تختلف التركيزات المنخفضة من الهيمكسازول والايمازاموكس مقارنة بمجموعة التحكم (P>0.05)، وجد أن التركيزات العالية من هذين المبيدين مختلفة مقارنة بمجموعة التحكم (P<0.05). مرة أخرى،

وجد أن قيم الذيل للـ DNA (%) مختلفة في كلا تركيزي البيريبروكسيفين مقارنة بمجموعة التحكم ($P<0.05$). وبالإضافة إلى كل ذلك، لم يتم العثور على فرق بين قيم الرأس للـ DNA (%) (4.87±2.60) وقيم الذيل للـ DNA (%) (87.97±10.36) المحسوبة في المجموعة الضابطة الإيجابية (H2O2) وقيم الرأس للـ DNA (%) (12.78±4.47) والذيل للـ DNA (%) (87.22±4.47) في الأسماك المعرضة لتركيزات عالية من البيريبروكسيفين ($P>0.05$؛ الجدول 5، الشكل 1). ومن بين جميع المبيدات الحشرية، تم تحديد المبيد الأكثر سمية للجينات في تركيزات مختارة على أنه بيريكسفين.

جدول 5 عدد المذنبات في خلايا الدم (الانحراف المعياري المتوسط) لسمك السلمون المرقط المعرض لتركيزات مختلفة من المبيدات الحشرية

	قيم تلف الحمض النووي			
	كثافة الرأس	الحمض النووي للرأس (%)	كثافة قائمة الانتظار	الحمض النووي للذيل(%)
المجموعة الضابطة	146,14±18,93ac	2,6±95,47a9	14,63±2,19ef	4,53±2,69c
التحكم الإيجابي (H2O2)	4,7±45,57d6	4,87±2,60c	59,10+3,00ab	87,97±10,36a
بيريبروكسي فين 150 (µg/L)	156,42+20,25a	43,36±20,77b	50,06±12,85ac	56,64±20,77b
بيريبروكسي فين 300 (µg/L)	128,22±9,99ab	12,78±4,47c	70,83±26,91a	87,22±4,47a
هيميكسازول (150 µg/L)	130,77±12,00ac	94,32±3,77a	17,28±3,38de	5,68±3,77c
هيميكسازول (300 µg/L)	43,96±12,04d	60,76±9,35b	21,03±6,73df	39,2449,35b
إيمازاموكس (50 µg/L)	115,16±25,15bc	94,22±2,67a	35,04±5,55cd	6,29±2,17c
إيمازاموكس (100 µg/L)	79,56±15,13d	57,68±7,98b	47,30±4,32bc	44,32±10,59b

تشير الأحرف الصغيرة إلى الاختلافات داخل نفس العمود $P<0.05$

بالنسبة لمبيد البيريبروكسيفين، تتفق نتائجنا مع نتائج (X. Li *et al.*, 2022) حيث لوحظت قوة أكبر للتشوهات النووية بما في ذلك الانحرافات النووية لكريات الدم الحمراء والنواة الدقيقة والنواة الطرفية والنواة الممتدة والمتورمة والانقباض النووي في سمكة البارب الفضية (Barbonymus gonionotus) (S. M. Islam *et al.*, 2019) المعالجة بتركيزات مختلفة من المادة السامة. في السابق، تغيرت كريات الدم الحمراء المتورمة التي تم تحديدها على أنها "كريات كروية" في حجم وشكل الخلايا مثل الخلايا الطويلة والخلايا ذات الأطراف المدببة والعديد من الكريات الدموية وكريات الدم الحمراء التي تظهر انكماشًا من جانب واحد و بإسقاطات صغيرة والغشاء الدهني الممزق وزيادة بيروكسيد الدهون مما أدى إلى تغيير أشكال خلايا الدم الحمراء في Ctenopharyngodon idellus (Abdel-Tawwab & Hamed, 2018; Akram R., 2022) المعرضة للمادة السامة. علاوة على ذلك، حدث خلل في Channa punctatus في خلايا الدم الحمراء (الخلايا الشائكة مع بثور سيتوبلازمية وغشاء خلوي معطل بشدة) بسبب انخفاض أدينوسين ثلاثي الفوسفات في ظل ظروف نقص الأكسجين عند تركيزات أعلى من المادة السامة. لوحظ أن PPF وحده كان له آثار جانبية على صحة الأسماك (Ghaffar, 2020).

تسببت جميع المبيدات التي تم اختبارها في حدوث سمية خلوية وسمية جينية لمختلف اعضاء الاسماك قيد التجربة. مثل العديد من الملوثات البيئية الأخرى، يعد الماء أحد المسارات الرئيسية للمبيدات الحشرية للوصول إلى أجزاء مختلفة من البيئة من مناطق تطبيقها. تظهر المبيدات الحشرية أكبر تأثير بيئي لها عندما تلوث النظم البيئية المائية. اليوم، أدى الاستخدام غير القابل للإصلاح لاحتياطيات المياه بشكل خاص إلى تكثيف الدراسات على النظم البيئية المائية. أظهرت العديد من الدراسات أنه يمكن استخدام الأسماك بشكل فعال لاختبار التأثيرات الجينية السامة للمبيدات الحشرية في البيئات المائية في بيئة المختبر (Albaseer, 2019; Yang *et al.*, 2021).

وفي النهاية، في عالم اليوم، من الضروري استخدام المبيدات الحشرية بطريقة واعية ومنضبطة للغاية وفقًا لمعايير احترازية من أجل حماية الصحة والبيئة.

توضيح

يقرّ الباحثون بأنهم لم يتلقّوا أي تمويل مالي لإجراء هذا البحث أو إعداد مخطوطته.

يعلن الباحثون أنه لا توجد أي تضارب مصالح ماليّة أو شخصية أو مؤسساتية قد تؤثر في إجراء هذا البحث أو نتائجه.

قبل البدء بالدراسة، تم الحصول على إذن من لجنة الأخلاقيات المحلية للتجارب على الحيوانات في جامعة كاستامونو.

الخلاصة

أظهرت النتائج اختلافات كبيرة في مستويات الكوليسترول والفوسفاتيز القلوية والدهون الثلاثية والبروتين الكلي للأسماك المعرضة لتركيزات أعلى من بيريبروكسيفين مقارنة بمجموعة الشاهد ($P<0.05$). اما فيما يتعلق بالتأثيرات النسيجية المرضية للتركيزات دون القاتلة من المبيدات الحشرية، فقد تبين أن التأثيرات الضارة على اسماك السلمون زادت اعتمادًا على الوقت وزيادة التركيز. وقد تم الكشف عن التنكس النووي والنخر في الخلايا البرنشيمية بمستوى مفرط في الطحال. كما تم الكشف عن كسر خيوط الحمض النووي في خلايا الدم للأسماك اعتمادًا على التركيز والوقت. وكان تلف الحمض النووي أعلى في الأسماك المعرضة لتركيزات عالية من بيربروكسيفين، تليها إيمازاموكس والهايمكسازول. وقد لوحظ أن التأثيرات الكيميائية الحيوية والهستوباثولوجية والسمية الجينية للمبيدات الحشرية زادت اعتمادًا على التركيز والوقت. لذلك، أثناء استخدام هذه الأنواع من المبيدات يجب أن نكون أكثر حرصًا على حماية البيئة المائية.

المراجع:

Abdel-Tawwab, M., & Hamed, H. S. (2018). Effect of bisphenol A toxicity on growth performance, biochemical variables, and oxidative stress biomarkers of Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L.). Journal of Applied Ichthyology, 34(5), 1117–1125. https://doi.org/10.1111/jai.13763

Ahmed, Md. K., Habibullah-Al-Mamun, Md., Parvin, E., Akter, M. S., & Khan, M. S. (2013). Arsenic induced toxicity and histopathological changes in gill and liver tissue of freshwater fish, tilapia (Oreochromis mossambicus). Experimental and Toxicologic Pathology, 65(6), 903–909. https://doi.org/10.1016/j.etp.2013.01.003

Akar F., N. G. ,. (2024). Determining Genotoxic Effect of Thiamethoxam in Rainbow Trout (*Oncorhynchus* Mykiss) by Micronucleus Test. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT), 13(04).

Akram R., G. A. , H. R. , *et al*. (2022). Hematological, serum biochemistry, histopathological and mutagenic impacts of triclosan on fish (bighead carp). Agrobiological Records., 07, 18–28.

Akter, R., Pervin, M. A., Jahan, H., Rakhi, S. F., Reza, A. H. M. M., & Hossain, Z. (2020). Toxic effects of an organophosphate pesticide, envoy 50 SC on the histopathological, hematological, and brain acetylcholinesterase activities in stinging catfish

Senosi, Y., Moustafa, M. M. A., & Dawood, M. A. O. (2020). Impact of pyrethroids and organochlorine pesticides residue on IGF-1 and CYP1A genes expression and muscle protein patterns of cultured Mugil capito. Ecotoxicology and Environmental Safety, 188, 109876. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109876

Fan, Y., Miao, W., Lai, K., Huang, W., Song, R., & Li, Q. X. (2018). Developmental toxicity and inhibition of the fungicide hymexazol to melanin biosynthesis in zebrafish embryos. Pesticide Biochemistry and Physiology, 147, 139–144. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.10.007

Ghaffar, A. (2020). Dose and Time-Related Pathological and Genotoxic Studies on Thiamethoxam in Fresh Water Fish (Labeo rohita) in Pakistan. Pakistan Veterinary Journal, 40(02), 151–156. https://doi.org/10.29261/pakvetj/2020.002

Hasan, J., Dristy, E. Y., Anjumanara, Mondal, P., Hoque, M. S., Sumon, K. A., Hossain, M. A. R., & Shahjahan, M. (2023). Dried fish more prone to microplastics contamination over fresh fish – Higher potential of trophic transfer to human body. Ecotoxicology and Environmental Safety, 250, 114510. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114510

Hasan, J., Islam, S. M. M., Alam, M. S., Johnson, D., Belton, B., Hossain, M. A. R., & Shahjahan, M. (2022). Presence of microplastics in two common dried marine fish species from Bangladesh. Marine Pollution Bulletin, 176, 113430. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113430

Hasan, M., Sumon, K. A., Siddiquee, M. A. M., Bhandari, R. K., Prodhan, M. D. H., & Rashid, H. (2022). Thiamethoxam affects the developmental stages of banded gourami (Trichogaster fasciata). Toxicology Reports, 9, 1233–1239. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.05.017

Hasan, Md. M., Uddin, Md. H., Islam, Md. J., Biswas, S., Sumon, K. A., Prodhan, M. D. H., & Rashid, H. (2022). Histopathological Alterations in Liver and Kidney Tissues of Banded Gourami (Trichogaster fasciata) Exposed to Thiamethoxam. Aquaculture Studies, 23(01). https://doi.org/10.4194/AQUAST939

Hedayati, A., & Tarkhani, R. (2014). Hematological and gill histopathological changes in iridescent shark, Pangasius hypophthalmus (Sauvage, 1878) exposed to sublethal diazinon and deltamethrin concentrations. Fish Physiology and Biochemistry, 40(3), 715–720. https://doi.org/10.1007/s10695-013-9878-3

Islam, M. T., Mostakim, G. M., Azom, M. G., Rahman, U. O., Khan, M. M., Quader Khan, M. G., & Islam, M. S. (2022). Effect of an amalgamated antibiotic and its connection to cyto-genotoxicity and histo-architectural malformations in stinging catfish. Emerging Contaminants, 8, 381–390. (Heteropneustes fossilis). The Journal of Basic and Applied Zoology, 81(1), 47. https://doi.org/10.1186/s41936-020-00184-w

Albano, M., Panarello, G., Di Paola, D., D'Angelo, G., Granata, A., Savoca, S., & Capillo, G. (2021). The mauve stinger Pelagia noctiluca (Cnidaria, Scyphozoa) plastics contamination, the Strait of Messina case. International Journal of Environmental Studies, 78(6), 977–982. https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1893489

Albaseer, S. S. (2019). Factors controlling the fate of pyrethroids residues during post-harvest processing of raw agricultural crops: An overview. Food Chemistry, 295, 58–63. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.109

Al-Emran, M., Hasan, N. A., Khan, M. P., Islam, S. M. M., Bashar, A., Zulfahmi, I., Shahjahan, M., & Sumon, K. A. (2022). Alterations in hematological parameters and the structure of peripheral erythrocytes in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) exposed to profenofos. Environmental Science and Pollution Research, 29(19), 29049–29061. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17972-8

Altinok, I., Capkin, E., & Boran, H. (2012). Mutagenic, genotoxic and enzyme inhibitory effects of carbosulfan in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Pesticide Biochemistry and Physiology, 102(1), 61–67. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.10.011

Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., Marino, D., Primost, J., Carriquiriborde, P., & Costa, J. L. (2013). Environmental fate of glyphosate and *aminomethylphosphonic* acid in surface waters and soil of agricultural basins. Chemosphere, 93(9), 1866–1873. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.041

Asad, M. A. U., Lavoie, M., Song, H., Jin, Y., Fu, Z., & Qian, H. (2017). Interaction of chiral herbicides with soil microorganisms, algae and vascular plants. Science of The Total Environment, 580, 1287–1299. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.092

Barhoumi, S., Messaoudi, I., Gagné, F., & Kerkeni, A. (2012). Spatial and seasonal variability of some biomarkers in Salaria basilisca (Pisces: Blennidae): Implication for biomonitoring in Tunisian coasts. Ecological Indicators, 14(1), 222–228. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.025

Beyer, J., Petersen, K., Song, Y., Ruus, A., Grung, M., Bakke, T., & Tollefsen, K. E. (2014). Environmental risk assessment of combined effects in aquatic ecotoxicology: A discussion paper. Marine Environmental Research, 96, 81–91. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.10.008

Devillers, J. (2020). Fate and ecotoxicological effects of pyriproxyfen in aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research, 27(14), 16052–16068. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08345-8

El Megid, Afaf. A., Abd Al Fatah, M. E., El Asely, A., El

Rohani, M. F. (2023). Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects – A review. Emerging Contaminants, 9(3), 100234. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100234

Santana, M. S., Sandrini-Neto, L., Di Domenico, M., & Prodocimo, M. M. (2021). Pesticide effects on fish cholinesterase variability and mean activity: A meta-analytic review. Science of The Total Environment, 757, 143829. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143829

Shahjahan, M., Islam, M. J., Hossain, M. T., Mishu, M. A., Hasan, J., & Brown, C. (2022). Blood biomarkers as diagnostic tools: An overview of climate-driven stress responses in fish. Science of The Total Environment, 843, 156910. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156910

Shahjahan, M., Islam, S. M., Bablee, A. L., Siddik, M. A. B., & Fotedar, R. (2021). Sumithion usage in aquaculture: benefit or forfeit? Reviews in Aquaculture, 13(4), 2092–2111. https://doi.org/10.1111/raq.12560

Shahjahan, Md., Rahman, M. S., Islam, S. M. M., Uddin, Md. H., & Al-Emran, Md. (2019). Increase in water temperature increases acute toxicity of sumithion causing nuclear and cellular abnormalities in peripheral erythrocytes of zebrafish Danio rerio. Environmental Science and Pollution Research, 26(36), 36903–36912. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06886-1

Sikorski, Ł., Baciak, M., Bęś, A., & Adomas, B. (2019). The effects of glyphosate-based herbicide formulations on Lemna minor, a non-target species. Aquatic Toxicology, 209, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.01.021

Singh, N. N., & Srivastava, A. K. (2010). Haematological parameters as bioindicators of insecticide exposure in teleosts. Ecotoxicology, 19(5), 838–854. https://doi.org/10.1007/s10646-010-0465-4

Tominaga, F. K., Brito, R. S., Oliveira do Nascimento, J., Giannocco, G., Monteiro de Barros Maciel, R., Kummrow, F., & Pereira, B. F. (2025). Pyriproxyfen toxicity to fish and crustaceans: a literature review. Environmental Research, 121295. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121295

Uddin, Md. H., Ali, Md. H., Sumon, K. A., Shahjahan, Md., & Rashid, H. (2022). Effects of Pyrethroid Pesticide Cypermethrin on the Gonad and Hemato-biochemical Parameters of Female Gangetic Mystus (Mystus cavasius). Aquaculture Studies, 22(3). https://doi.org/10.4194/AQUAST819

Vali, S., Majidiyan, N., Azadikhah, D., Varcheh, M., Tresnakova, N., & Faggio, C. (2022). Effects of Diazinon on the Survival, Blood Parameters, Gills, and Liver of Grass Carp (Ctenopharyngodon idella Valenciennes, 1844; Teleostei: Cyprinidae). Water, 14(9), 1357. https://doi.org/10.3390/w14091357

Weeks Santos, S., Cachot, J., Cormier, B., Mazzella, N., https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.09.001

Islam, S. M., Khan, M. M., Moniruzzaman, M., Mostakim, G. M., & Rahman, M. K. (2019). Recuperation patterns in fish with reference to recovery of erythrocytes in Barbonymus gonionotus disordered by an organophosphate. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(11), 7535–7544. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02425-0

KEKİLLİOĞLU A., B. Z. (2020). PESTICIDES AND THE INVESTIGATION OF THEIR EFFECTS ON BEES. Ejons International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 4(13), 26–44.

Li, R., Luo, C., Qiu, J., Li, Y., Zhang, H., & Tan, H. (2022). Metabolomic and transcriptomic investigation of the mechanism involved in enantioselective toxicity of imazamox in Lemna minor. Journal of Hazardous Materials, 425, 127818. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127818

Li, X., Naseem, S., Hussain, R., Ghaffar, A., Li, K., & Khan, A. (2022). Evaluation of DNA Damage, Biomarkers of Oxidative Stress, and Status of Antioxidant Enzymes in Freshwater Fish (Labeo rohita) Exposed to Pyriproxyfen. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2022, 1–13. https://doi.org/10.1155/2022/5859266

Majumder, R., & Kaviraj, A. (2019). Acute and sublethal effects of organophosphate insecticide chlorpyrifos on freshwater fish Oreochromis niloticus. Drug and Chemical Toxicology, 42(5), 487–495. https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1425425

Mohammod Mostakim, G., Zahangir, Md. M., Monir Mishu, M., Rahman, Md. K., & Islam, M. S. (2015). Alteration of Blood Parameters and Histoarchitecture of Liver and Kidney of Silver Barb after Chronic Exposure to Quinalphos. Journal of Toxicology, 2015, 1–8. https://doi.org/10.1155/2015/415984

Moura, J. A. S., & Souza-Santos, L. P. (2020). Environmental risk assessment (ERA) of pyriproxyfen in non-target aquatic organisms. Aquatic Toxicology, 222, 105448. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105448

Nur G., D. H. A. , K. E. (2021). Preservation of vitamin-E against nephrotoxic effect induced by subacute Dichlorvos application. Fresenius Environmental Bulletin, 30(07), 8651–8659.

Poorbagher, H., Ghaffari Farsani, H., & Farahmand, H. (2018). A method to quantify genotoxicity of malathion in rainbow trout using the weighted averaging. Toxicology Mechanisms and Methods, 28(8), 607–614. https://doi.org/10.1080/15376516.2018.1480079

R.A. Bhat, M. A. M. M. A. D. N. M. J. I. A. B. G. H. D. (2017). Current status of nutrient load in dal lake of Kashmir Himalaya. J. Pharmacogn. Phytochem., 06, 165–169.

Gourves, P.-Y., Clérandeau, C., Morin, B., & Gonzalez, P. (2021). Environmentally Relevant Mixture of Pesticides Affect Mobility and DNA Integrity of Early Life Stages of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Toxics, 9(8), 174. https://doi.org/10.3390/toxics9080174

Yang, G., Lv, L., Di, S., Li, X., Weng, H., Wang, X., & Wang, Y. (2021). Combined toxic impacts of thiamethoxam and four pesticides on the rare minnow (Gobiocypris rarus). Environmental Science and Pollution Research, 28(5), 5407–5416. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10883-0