جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبح ث العلمي

جامعة ميسان كلية العلوم

قسم علوم الحياة

تأثير التلوث ع الهائمات الحيوانية

بحث تقدمت به

معصومة حسن جبار

مريم حسن عبد الكريم

وهو جزء من متطلبات التخرج

للحصول على شهادة البكالوريوس

تحت أشراف

أ.م.د أحمد سعيد محمد

٢٠٢٤_٢٠٢٥

بسم الله الرحمن الرحيم

(وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْماً)

صدق الله العلي العظيم

سورة طه: من الآية114

إ هـ د ا ء

إلى نفسي...

إلى تلك الروح التي اجتهدت، وثابرت، وتحملت الصعاب خطوةً بخطوة...

أُهدي هذا العمل تقديراً لجهودي، واعترافاً بما قدمته من وقت وطاقة وإصرار، فالحمد لله الذي أعانني وأوصلني.

إلى أخواتي العزيزات...

أنتم السند والدعم الحقيقي، كنتم دومًا بجانبي في صمتكم وكلماتكم، في دعواتكم وابتسامتكم، فلكم من القلب كل الامتنان والحب.

وإلى صديقاتي الرائعات...

رفيقات الرحلة والعلم، بنات كروب"C" ،

يا من كنتم النور في درب الدراسة، والمساندات في كل موقف، والمشجعات في كل خطوة،

أهديكن هذا الإنجاز عربون وفاء وذكرى طيبة لن تُنسى.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

توصية الأستاذ المشرف

أشهد أن إعداد هذه الدراسة الموسومة ("تأثير التلوث ع الهائمات الحيوانية") تمت تحت إشرافي في قسم علوم الحياة، كلية العلوم، جامعة ميسان، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الحياة.

التوقيع:

الاسم: أ.م.د أحمد سعيد محمد

توصية رئيس القسم

أشير إلى التوصية المقدمة من قبل الأستاذ المشرف، حيال هذا البحث، إلى لجنة المناقشة لدراسته وبيان الرأي فيه.

التوقيع:

الاسم: صالح حسن جازع

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

المحتويات

المحتوى	رقم الصفحة
المقدمة	١
أهمية الدراسة	٣
أهداف البحث	٣
استعراض المراجع	٤
الهائمات الحيوانية ودورها في الشبكة الغذائية المائية	٣
التلوث الكيميائية	٤
المعادن الثقيلة	٤
النترات والفوسفات	٥
المبيدات الحشرية	٥
النفط	٦
الملوحة	٧
التلوث الجسمي والفيزيائي	٨
البلاستيك الدقيق	٨
التلوث الحراري الناتج عن محطات الطاقة	٨
الاستنتاجات	١٠
التوصيات	١٠
المراجع	١١

الخلاصة

تناول هذا البحث تأثير التلوث البيئي على الهائمات الحيوانية باعتبارها حلقة مركزية في السلاسل الغذائية المائية، حيث تُعد من أهم الكائنات التي تربط بين المستويات الغذائية الدنيا والعليا في النظم البيئية المائية. سلطت الدراسة الضوء على أبرز أنواع الملوثات التي باتت تُهدد توازن هذه النظم، وخصوصًا تلك التي تتعرض لها المسطحات المائية نتيجة الأنشطة البشرية المتزايدة.

فيما يتعلق بالملوثات الكيميائية، أُشير إلى التأثيرات السامة للمعادن الثقيلة، لاسيما الزئبق العضوي، الذي أظهر قدرة عالية على التراكم الحيوي وإحداث شلل عصبي واضطراب في العمليات الحيوية لدى الهائمات. أما المبيدات الحشرية، فقد بيّنت الدراسات أنها لا تؤثر فقط على الكائنات المائية مباشرة، بل تمتد آثارها إلى الأجيال اللاحقة من خلال التراكم الحيوي والتغيرات اللاجينية. كما أن المغذيات مثل النترات والفوسفات تؤدي إلى ظاهرة الإثراء الغذائي، وما يتبعها من اختناق للأحياء المائية وتغير في التركيبة المجتمعية نتيجة للسموم الطحلبية الناتجة عن بعض أنواع السيانوبكتيريا. ولم تغفل الدراسة التلوث النفطي، خاصة الهيدروكربونات العطرية، التي أثبتت قدرتها على إحداث تغيرات مميتة في العمليات الخلوية للهائمات الحيوانية، وتراجع التنوع الأحيائي بعد الحوادث النفطية.

أما الملوثات الجسيمية والفيزيائية، فقد ناقش البحث تأثير الجسيمات البلاستيكية الدقيقة التي تُبتلع من قبل الهائمات وتؤدي إلى اضطرابات غذائية ونمائية خطيرة. كما أُشير إلى التلوث الحراري الناتج عن الأنشطة الصناعية، والذي يُخل بالوظائف الحيوية للكائنات الدقيقة.

أظهرت نتائج البحث أن تأثير الملوثات لا يقتصر على الهائمات نفسها، بل يمتد إلى السلسلة الغذائية بأكملها، مما يُهدد التوازن البيئي والاقتصادي للمجتمعات التي تعتمد على هذه الموارد. من هنا، تبرز أهمية تطبيق سياسات رصد ومراقبة فعّالة، إلى جانب تطوير خطط لإدارة النفايات وتقليل التصريفات الكيميائية، من أجل حماية النظم البيئية المائية واستدامة مواردها.

١-المقدمة

تُعد الهائمات الحيوانية عنصرًا جوهريًا في السلسلة الغذائية المائية، فعلى الرغم من صغر حجمها، فإنها تؤدي دورًا بيئيًا محوريًا يتمثل في الربط بين المنتجات الأولية مثل الهائمات النباتية(Phytoplankton) ، والمستهلكات الأعلى كالكائنات البحرية الكبيرة والأسماك (Azam ***et al.***, 1983). ويتنوع تركيبها بين القشريات الدقيقة، واليرقات، والرخويات المجهرية، والهلاميات، حيث تنتشر في مختلف النظم المائية من البحيرات العذبة إلى الأنهار، والبحار، والمحيطات. وبفضل وفرتها ووظيفتها الحيوية، تُعد الهائمات الحيوانية مؤشرات بيولوجية فعالة لرصد صحة الأنظمة البيئية المائية، لا سيما فيما يتعلق بتغير نوعية المياه، والتلوث، ودرجات الحرارة (Tornero & Hanke, 2016).

شهدت العقود الأخيرة تصاعدًا ملحوظًا في مصادر التلوث البيئي، نتيجة تسارع النشاطات الصناعية والزراعية والتوسع الحضري،وقد أسهم ذلك في إدخال كميات ضخمة من الملوثات الكيميائية والعضوية إلى المسطحات المائية، إلى جانب تسربات النفط، والمعادن الثقيلة، ومخلفات الصرف الصحي، بالإضافة إلى التغيرات المناخية وظهور ملوثات ناشئة كالجسيمات البلاستيكية الدقيقة (*Vörösmarty **et al***., 2010). وقد أثّر هذا التدهور البيئي بشكل مباشر وغير مباشر على تنوع وكثافة مجتمعات الهائمات الحيوانية، بل وعلى قدرتها على أداء وظائفها البيئية الحيوية، مثل استهلاك الهائمات النباتية ونقل الطاقة إلى المستويات الغذائية الأعلى (Kiørboe, 1993).

يُعد التلوث الكيميائي من أكثر العوامل خطورة، حيث يؤدي إلى تراكم مواد سامة داخل أجسام الهائمات الحيوانية، لا سيما المعادن الثقيلة كالزئبق، والرصاص، والكادميوم، التي تدخل إلى النظم المائية نتيجة التصريفات الصناعية، وتمتاز هذه العناصر بعدم قابليتها للتحلل البيولوجي وقدرتها العالية على التراكم في الأنسجة، مما يؤدي إلى انتقالها عبر السلسلة الغذائية .(Barata ***et al***., 2005) وتشير الدراسات إلى أن هذه المواد تؤثر سلبًا على الأيض الخلوي للهائمات، مسببةً تشوهات خلوية، واضطرابات في النمو والتكاثر، إلى جانب انخفاض في معدلات البقاء (Wang, 2001). كما أن بعض الأنواع الحساسة، مثل Daphnia وCopepod، قد تتعرض لخطر الانقراض المحلي حتى عند مستويات منخفضة من هذه الملوثات (Tornero & Hanke, 2016).

كما ان ظاهرة الإثراء الغذائي أو التخثث، والتي تُعرف بازدياد تركيز المغذيات في المياه، مثل الفوسفات والنترات يؤدي هذا إلى ازدهار مفرط في نمو بعض انواع الطحالب ، التي تُستهلك من قبل بعض أنواع الهائمات الحيوانية ورغم أن هذه الوفرة الغذائية تبدو في ظاهرها مفيدة، فإنها سرعان ما تؤدي إلى مشاكل بيئية خطيرة(Smith ***et al.,*** 2006).إذ يؤدي تحلل الكتل الطحلبية الزائدة إلى استهلاك كميات كبيرة من الأوكسجين الذائب في الماء، مما يخلق ظروفًا لا هوائية في المسطح المائي ، ويهدد استقرار النظام البيئي بأكمله (Diaz & Rosenberg, 2008). كما أن بعض أنواع الطحالب المنتجة في ظل هذه الظروف قد تكون سامة، وتؤثر مباشرة على الهائمات الحيوانية عند تغذيتها، مما يؤدي إلى انخفاض في التنوع الحيوي، وسيطرة أنواع محدودة تستطيع التكيف مع البيئة المتدهورة (Paerl & Huisman, 2008).

ومن بين التهديدات البيئية الاخرى ، التلوث بالبلاستيك الدقيق أو Microplastic، وهو من الملوثات الناشئة الأكثر خطورة وتأثيرًا على جميع الكائنات. تشير الأبحاث إلى أن هذه الجسيمات البلاستيكية الصغيرة تدخل النظام البيئي المائي من خلال تحلل المنتجات البلاستيكية الكبيرة، أو من مستحضرات التجميل والمنظفات الصناعية، وتنتشر في مختلف طبقات المياه. وقد ثبت أن الهائمات الحيوانية تبتلع هذه الجسيمات البلاستيكية الدقيقة دون تمييز بينها وبين الغذاء الطبيعي، مما يؤدي إلى انسداد الجهاز الهضمي، وضعف في الامتصاص الغذائي، وتراجع في النشاط الحركي، وتغير في السلوك، واضطرابات في النمو والتكاثر (Setälä ***et al.,*** 2014). والأسوأ من ذلك، أن هذه الجسيمات يمكن أن تنقل الملوثات الكيميائية الأخرى التي تلتصق بها إلى داخل أجسام الكائنات، مما يضاعف من مستوى السمية، ويؤدي إلى انتقال الملوثات عبر السلسلة الغذائية إلى الكائنات الأعلى، بما في ذلك الأسماك والثدييات البحرية وحتى الإنسان (Cole ***et al.,*** 2013).

تشير الأدلة العلمية المتراكمة إلى أن التأثيرات التي تتعرض لها الهائمات ليست فردية أو آنية فقط، بل قد تمتد إلى الأجيال التالية عبر التأثيرات الوراثية. فالتعرض طويل الأمد للملوثات يمكن أن يؤدي إلى تغيرات في التعبير الجيني، وظهور طفرات موروثة تؤثر على أداء الكائنات في المستقبل (Jeong ***et al.,*** 2008).كما أن التداخلات التراكمية بين الملوثات المختلفة، مثل المعادن الثقيلة و مخلفات المبيدات والملوثات البلاستيكية، تؤدي إلى تفاقم الأثر البيئي، حيث تعمل هذه المواد بطريقة تآزرية تزيد من خطورتها، أن هذه التفاعلات بين الملوثات المختلفة يمكن أن تسبب تأثيرات غير متوقعة، وتؤدي إلى انهيار سريع في البنية المجتمعية الهائمات الحيوانية ، مع فقدان الأنواع الحساسة وبقاء الأنواع القادرة على التكيف فقط، (Markman ***et al.,*** 2008).

أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من الدور الحيوي الذي تؤديه الهائمات الحيوانية في النظم البيئية المائية، إذ تُعد عنصرًا أساسيًا في نقل الطاقة من المستويات الغذائية الدنيا (كالمنتجات الأولية) إلى المستويات الأعلى في السلسلة الغذائية، فضلاً عن كونها مؤشرات بيولوجية دقيقة تعكس صحة وجودة المياه. وتكمن أهمية هذه الدراسة في الكشف عن التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للملوثات الكيميائية والفيزيائية على الهائمات الحيوانية، وتحديد مدى تأثر كثافتها وتنوعها ووظائفها الحيوية. كما تساهم الدراسة في تعزيز الفهم العلمي لديناميكيات هذه الكائنات تحت ضغط التلوث، مما يدعم جهود المراقبة البيئية والحفاظ على توازن الأنظمة البيئية المائية.

أهداف البحث

١-دراسة التأثيرات المختلفة لأنواع التلوث (المختلفة) على الهائمات الحيوانية.

٢- اقتراح حلول للحد من تأثير التلوث على هذه الكائنات الحيوية.

٢- استعراض المراجع

٢.١ الهائمات الحيوانية ودورها في الشبكة الغذائية المائيه

تلعب الهائمات الحيانية دورًا حاسمًا في الشبكات الغذائية المائية، إذ إنها تُمثل حلقة الوصل الاساسية بين العوالق النباتية (المنتجات الأولية التي تعتمد على البناء الضوئي) والمستهلكات الأعلى مثل الأسماك والعوالق المفترسة (Richardson, 2008).من خلال هذا الدور، تُسهم الهائمات الحيوانية في تحويل الطاقة الى مستويات غذائية أعلى، مما يجعلها مكونًا لا غنى عنه في تدفق الطاقة داخل النظام البيئي .(Turner, 2002) كما أن قدرتها على التحكم في كثافة العوالق النباتية تقي من ظاهرة الازدهار الطحلبي، خاصة في البيئات الغنية بالمغذيات .(Calbet & Landry, 2004) وعند موت الهائمات الحيوانية أو إفرازها للفضلات، تُنتج كميات كبيرة من الجسيمات العضوية التي تغوص إلى الأعماق، وبالتالي تلعب دورًا في نقل الكربون إلى قاع المحيط ضمن ما يعرف بـ "مضخة الكربون البيولوجية (Turner, 2002; Steinberg & Landry, 2017) " .(Boyd ***et al***., 2019; Steinberg & Landry,2017)وهذا يؤدي إلى انعكاسات مباشرة على مخزون الثروة السمكية وصحة النظام الإيكولوجي المائي بأكمله، حيث تعتمد هذه العمليات على التفاعلات بين الكائنات الحية والجسيمات العضوية الغارقة(FAO, 2022) .

٢,٢ التلوث اليميائي

٢,٢,١ المعادن الثقيله

يُعد الزئبق، لا سيما في شكله العضوي (ميثيل الزئبق)، من أكثر المعادن الثقيلة سمّية، إذ يمتلك قدرة عالية على اختراق الأنسجة العصبية للهائمات الحيوانية، مما يؤدي إلى تثبيط نشاط الإنزيمات المسؤولة عن نقل الإيعازات العصبية، وبالتالي التسبب في شلل تدريجي للوظائف الحركية (Tsui & Wang, 2019). كما أن التعرض للزئبق يؤدي إلى انخفاض معدل استهلاك الغذاء لدى الهائمات إلى نحو ثلث المعدل الطبيعي(Chen & Folt, 2005) .

ولا تقتصر التأثيرات التراكمية للزئبق على الأفراد فحسب، بل تمتد لتسبب اختفاءً جماعيًا للهائمات، الأمر الذي يخلّ بالتوازن في السلاسل الغذائية المائية. وقد أظهرت تجارب مخبرية وحقلية أن التعرض لتركيزات منخفضة من الزئبق يضعف من قدرة الهائمات الحيوانية على أداء وظائفها الحيوية، حيث كشفت دراسة لـ (Tsui & Wang, 2006) . أن تعرض نوع ***Daphnia magna***للزئبق أسفر عن انخفاض بنسبة في معدل التغذية، وانخفاض في إنتاج البيض، نتيجة اضطرابات في عمليات التمثيل الغذائي للطاقة.

كما يؤدي التلوث بالزئبق إلى تغيّرات ملحوظة في التركيب النوعي لمجتمع الهائمات الحيوانية، حيث لوحظ تراجع حاد في أعداد الأنواع الحساسة مثل ***Keratella cochlearis*** و***Trichocerca sp***.، بينما قد تبقى الأنواع الأكثر مقاومة مثل

Brachionus calyciflorus، ولكن بنشاط تناسلي منخفض. هذه التغيرات تفضي إلى اختلال في التوازن البيئي وتدهور جودة المياه (Morel ***et al***., 1998).

٢.٢.٢ النترات والفوسفات

تُعد مركبات النترات والفوسفات من أكثر المغذيات التي تُسبب تلوثًا واسع الانتشار في المسطحات المائية، نتيجة الاستخدام المكثف للأسمدة الزراعية والمبيدات، مما يؤدي إلى تراكمها في المياه السطحية والجوفية (Carpenter et al., 1998). يُفضي هذا التراكم إلى حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي(Eutrophication) ، التي تُحفز النمو المفرط للطحالب والعوالق النباتية، مثل ال(***Cyanobacteria***) (Carmichael, 2001).

في المراحل الأولى من الإثراء الغذائي، قد تُوفر الطحالب المتزايدة مصدرًا غذائيًا للهائمات الحيوانية، إلا أن التحلل التدريجي لهذه الكتلة يؤدي إلى استهلاك كميات كبيرة من الأوكسجين الذائب في الماء، مما يُسبب حالات من نقص الأوكسجين (Hypoxia)، ويؤدي بالتالي إلى اختناق الكائنات الهوائية وتدهور جودة **المياه**(Diaz & Rosenberg, 2008) **.**

كما أن طحالب ال(***Cyanobacteria***)مثل ***Microcystis aeruginosa*** تُنتج سمومًا تُعرف بال(Microcystin) ، والتي تتراكم في أنسجة الهائمات الحيوانية مثلDaphnia spp ، وتُسبب تأثيرات سامة تُضعف النمو والتكاثر والبقاء (Rohrlack ***et al.,*** 2001**).** وقد أظهرت دراسات أن التعرض لتركيزات منخفضة من هذه السموم يُقلل من معدلات التغذية والتكاثر في الهائمات، مما يؤدي إلى تغييرات في التركيب المجتمعي للنظام البيئي المائي(Gobler ***et al.,*** 2016) .

تُفضي هذه التغيرات إلى اختلال التوازن البيئي، وتراجع في التنوع الحيوي (Smith ***et al.,*** 1999)، مع ازدياد هيمنة الأنواع المقاومة للسموم، مثل بعض سلالات الهائمات التي تمتلك القدرة على تفكيك ال Microcystinوالتكيف مع وجوده (Gobler ***et al.,*** 2016).

٢.٢.٣ المبيدات الحشرية

يُعد تلوث المياه بالمبيدات الحشرية أحد أخطر أشكال التلوث الكيميائي، نظرًا لتأثيره العميق والمزمن على التوازن البيئي في الأنظمة المائية. تصل هذه المركبات إلى الأنهار والبحيرات عن طريق الجريان السطحي بعد تساقط الأمطار أو الري المكثف، بالإضافة إلى تسربها من التربة .(Schulz, 2004) كما أن التخلص غير المنظم من المخلفات الزراعية يفاقم من تراكيز المبيدات، لا سيما في المناطق الساحلية، مما يؤدي إلى انخفاض تنوع مجتمعات الهائمات الحيوانية (Morrissey ***et al.,*** 2015).

تمتاز بعض المبيدات بثباتها الكيميائي، حيث لا تذوب فقط في الماء بل تترسب أيضًا في الرواسب القاعية، وتبقى نشطة لفترات طويلة .(Nowell ***et al***., 2016) وتُشير دراسات إلى أن هذه المركبات قد تعود إلى عمود الماء نتيجة الاضطرابات الفيزيائية أو الأنشطة البشرية مثل العواصف أو التجريف(Battaglin ***et al.,*** 2014) ، مما يُطيل من مدة التأثير البيئي ويجعل الضرر مزمنًا(Rex ***et al***., 2024).

كما أظهرت التجارب المخبرية أن التعرض المزمن لمبيدات مثل Carbaryl يُحدث تغيّرات في التركيب المجتمعي للهائمات، حيث تطغى الأنواع المقاومة على الأنواع الحساسة، ما يؤدي إلى انخفاض التنوع الأحيائي في هذه المجتمعات (Hanazato, 2001).ولا تقتصر هذه التأثيرات على الجيل المعرض مباشرة، بل قد تمتد إلى الأجيال اللاحقة بسبب التراكم الحيوي والتأثيرات اللاجينية المحتملة(Pestana ***et al.,*** 2009) .

وتشير أبحاث أخرى إلى أن المبيدات من نوع النيونيكوتينويدات، مثل Imidacloprid، تُسبب اضطرابات في سلوكيات التغذية والتكاثر لدى الكائنات المائية، مما يُضعف الشبكات الغذائية ويُخل بتوازنها (Morrissey ***et al.,*** 2015).إضافة إلى ذلك، فإن التعرض المشترك لمبيدات متعددة قد يُحدث تأثيرات تآزرية تزيد من السمية بالمقارنة مع تأثير كل مبيد على حدة (Relyea & Hoverman, 2006).

٢.٢.٤ النفط

تُعد الملوثات النفطية من أخطر أشكال التلوث البحري، وغالبًا ما تنجم عن التسربات العرضية من السفن أو أثناء عمليات نقل وتفريغ النفط. تؤدي هذه الحوادث إلى إطلاق مركبات هيدروكربونية سامة في البيئة المائية، تُحدث آثارًا مباشرة على الكائنات البحرية، وخصوصًا الهائمات الحيوانية التي تلعب دورًا محوريًا في الشبكات الغذائية المائية (Almeda, Hyatt, & Buskey, 2014).

تخترق هذه المركبات الطبقات العليا من عمود الماء، ما يزيد من احتمالية تعرض الكائنات التي تمارس الهجرة العمودية اليومية، مثل الهائمات، لمخاطر التلوث (Joydas ***et al.,*** 2015). ومن بين هذه المركبات، تُعد الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs) من أكثرها سمية، إذ تؤثر سلبًا على العمليات الخلوية وتُثبط إنتاج الطاقة داخل الميتوكوندريا، مما يؤدي إلى خلل وظيفي وانتهاءً بالموت الخلوي أو توقف النشاط الأيضي (Incardona ***et al.,*** 2014; Hansen ***et al***., 2019).

كما أن التسربات النفطية تؤدي إلى تراجع حاد في التنوع البيولوجي للهائمات الحيوانية، حيث تختفي الأنواع الحساسة بسرعة، مما يسمح بسيطرة الأنواع المقاومة وحدوث خلل في التوازن المجتمعي الطبيعي(González ***et al.,*** 2009) .

حتى بعد إزالة النفط من سطح الماء، تبقى الرواسب القاعية ملوثة، وتشكل مصدرًا مستمرًا للتعرض المزمن، خصوصًا للأنواع القاعية أو تلك التي تتغذى على الكائنات الدقيقة القاعية، مما يعيق تعافي النظام البيئي لفترات طويلة (Peterson ***et al.,*** 2003; Zeng ***et al.,*** 2015).

٢.٢.٥ الملوحة

تُعد الملوحة من العوامل البيئية المحورية التي تؤثر على الهائمات الحيوانية، حيث تلعب دورًا حاسمًا في تنظيم توزيعها، وتنوعها الحيوي، ووظائفها الفسيولوجية(Gyllström & Hansson, 2004). عادةً ما تتأثر المياه بارتفاع مستويات الملوحة فوق المعدلات الطبيعية نتيجة لتلوث المياه بسبب الأنشطة البشرية مثل الصرف الزراعي، والأنشطة الصناعية، وتحلية المياه. في بعض الحالات، يؤدي الإفراط في الصرف الزراعي إلى زيادة مستويات الملوحة في المسطحات المائية العذبة، مما يشكل تهديدًا كبيرًا للهائمات الحيوانية (Ahmed ***et al.,*** 2018).

تعتمد هذه الكائنات على آليات دقيقة للحفاظ على توازن الماء والأيونات داخل أجسامها، وهي آليات تتأثر بشكل كبير بتغير ملوحة الوسط المائي (Beyrend-Dur ***et al.,*** 2013) .فعند ارتفاع الملوحة، يزداد الضغط الاسموزي الخارجي، مما يؤدي إلى فقدان الماء من الخلايا، بينما عند انخفاضها، تمتص الخلايا كميات زائدة من الماء، مما قد يؤدي إلى تضخمها أو انفجارها . (Aladin & Potts, 1995)هذا الخلل في التوازن الاسموزي يجبر الهائمات على إنفاق طاقة إضافية لتنظيم بيئتها الداخلية، وهو ما يُضعف من كفاءتها في النمو والتكاثر(Lee ***et al.,*** 2011) .

أظهرت دراسات تجريبية أن بعض الأنواع مثل ***Daphnia magna*** تُظهر حساسية واضحة تجاه التغيرات المفاجئة في الملوحة، حيث يُسجل انخفاض ملحوظ في معدلات النمو والإنجاب عند تجاوز حدود الملوحة المثالية لها .(Goss & Bunting, 1976)كما أن استمرار الكائن في بيئة مرتفعة الملوحة لفترة طويلة قد يؤدي إلى اختلالات أيضية وتراجع في الأداء الفسيولوجي (Sarma ***et al***., 2005).من ناحية أخرى، تلعب الملوحة دورًا انتقائيًا في بنية المجتمع الحيوي، إذ تتيح للأنواع المقاومة التكيف والبقاء، بينما تنسحب الأنواع الحساسة من المشهد البيئي، مما يؤدي إلى تراجع في التنوع الحيوي وخلل في التوازن الطبيعي للسلسلة الغذائية (Brucet ***et al.,*** 2012).

٢.٣ التلوث الجسيمي والفيزيائي

٢.٣.١ البلاستيك الدقيق

يُعد البلاستيك الدقيق (Microplastics) من أخطر أشكال التلوث الجسيمي في البيئات المائية، إذ يتراوح حجمه بين ١ ميكرومتر و٥ ميليمترات، مما يجعله قابلاً للابتلاع من قبل الكائنات الدقيقة، ومنها الهائمات الحيوانية .(Cole ***et al***., 2013) غالبًا ما تنتج هذه الجزيئات البلاستيكية من تفكك المنتجات البلاستيكية الأكبر حجمًا(Rochman ***et al***., 2015) .

عند ابتلاع الهائمات الحيوانية للبلاستيك الدقيق، فإنها تتعرض لعدة تأثيرات سلبية، حيث يشغل البلاستيك حيزًا في القناة الهضمية دون أن يوفّر أي قيمة غذائية، ويُقلل من استهلاك الغذاء الحقيقي، وبالتالي يتراجع معدل النمو والتكاثر (Wright ***et al***., 2013). ثانيًا، قد تُسبب الجزيئات البلاستيكية إصابات ميكانيكية في الأنسجة الداخلية، بما في ذلك الانسدادات وتلف الخلايا.(Jabeen ***et al.,*** 2017)

إضافة إلى ذلك، فإن البلاستيك الدقيق لا يكون خاملاً فقط، بل قد يعمل كناقل لمواد كيميائية سامة مثل المبيدات والمعادن الثقيلة التي تلتصق على سطحه، مما يزيد من التعرض السمي عند انتقال هذه المواد إلى أنسجة الكائنات التي تبتلعه (Brennecke ***et al***., 2016). كما أظهرت الدراسات أن هذه الجزيئات قد تُحدث استجابات مناعية والتهابية في الهائمات الحيوانية، مما يؤثر سلبًا على كفاءتها الحيوية ويُضعف قدرتها على مقاومة الضغوط البيئية (Jeong ***et al***., 2016).

٢.٣.٢ التلوث الحراري الناتج عن محطات الطاقة

يُعد التلوث الحراري الناتج عن محطات الطاقة أحد أكثر أشكال التلوث البيئي المائي تأثيرًا على الكائنات الدقيقة، وعلى رأسها الهائمات الحيوانية، تستخدم محطات توليد الكهرباء – خاصة العاملة بالوقود الأحفوري أو الطاقة النووية – كميات ضخمة من المياه لتبريد التوربينات والمعدات، وتُعاد هذه المياه إلى مصادرها الطبيعية بدرجات حرارة مرتفعة نسبيًا، مما يرفع درجة حرارة النظام المائي المجاور بشكل مفاجئ وغير طبيعي(Raptis ***et al***., 2016). هذا الارتفاع في درجة الحرارة له آثار فسيولوجية وسلوكية ضارة على الهائمات الحيوانية(Salem & Barakat, 2021) .

إذ تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى اختلال دورة الحياة الطبيعية للكائنات، مثل تقصير فترة التطور من البيضة إلى الفرد البالغ، وزيادة التناسل العشوائي، ما يُسهم في الضغط على الموارد الغذائية في النظام البيئي(Pörtner & Peck ,2010)

بالاضافة الى ذلك يؤدي ارتفاع درجات حرارة المياه إلى انخفاض مستويات الأكسجين الذائب في الماء، أذ أن ذوبانية الغازات تقل مع ارتفاع الحرارة (Weiss, 1970) ،وهو امر بالغ الأهمية للهائمات التي تعتمد على الاكسجين في تنفسها .كما تؤثر

الحرارة العالية على تركيب الأغشية الخلوية والأنظمة الإنزيمية داخل أجسام الهائمات، ما يجعلها أكثر عرضة للضغط البيئي والموت (Somero ,2012).

ومن الآثار غير المباشرة للتلوث الحراري أنه يُحدث خللاً في التوازن بين الهائمات النباتية والحيوانية، إذ يسبب النمو السريع للهائمات النباتية بسبب الحرارة الزائدة (O'Connor ***et al***., 2009)، مما يؤدي إلى الإثراء الغذائي، ثم انحسار الأكسجين بسبب تحلل الكتلة الحيوية للطحالب (Daufresne ***et al***., 2009)، وتزداد بذلك معدلات النفوق الجماعي للهائمات الحيوانية ((Richardson, 2008، وتفقد النظم البيئية تنوعها الحيوي وتوازنها الوظيفي .(Visser ***et al***., 2016) كما أن هذا الخلل يمتد إلى المستويات الغذائية الأعلى، مثل يرقات الأسماك، التي تعتمد على الهائمات الحيوانية في تغذيتها، ما يؤدي إلى تراجع أعداد الأسماك وتأثر مخزونات الثروة السمكية المحلية (Lessard & Hayes, 2003).

٣ الاستنتاجات

تشير نتائج الدراسات الحديثة إلى أن التلوث البيئي بمختلف أنواعه يؤثر بشكل كبير على الهائمات الحيوانية، والتي تعد من الكائنات الأساسية في السلسلة الغذائية في الأنظمة المائية. فقد تبين أن التنوع الحيوي للهائمات يتناقص بشكل ملحوظ في البيئات الملوثة، حيث تختفي الأنواع الحساسة وتبقى فقط الأنواع القادرة على تحمل الظروف البيئية القاسية، مما يؤدي إلى فقدان التوازن البيئي ويجعل النظام أكثر عرضة للانهيار. كما أن التغير في تركيب مجتمعات الهائمات الحيوانية يعكس نوعية وشدة التلوث الحاصل

٣.١ التوصيات

في ضوء ما تم استعراضه من معلومات وتحليلات نظرية حول تأثير التلوث على الهائمات الحيوانية، يمكن تقديم عدد من التوصيات التي تساهم في حماية هذه الكائنات والحفاظ على التوازن البيئي في الأنظمة المائية.

أولاً ، يجب الحد من تصريف الملوثات الصناعية والزراعية مباشرة في المسطحات المائية، من خلال تعزيز تطبيق القوانين البيئية وتشديد الرقابة على المنشآت التي تتعامل مع المواد الكيميائية الخطرة.

ثانياً، يُنصح بتفعيل برامج التوعية البيئية للمجتمعات المحلية، لزيادة فهم الأفراد لأهمية الكائنات المجهرية مثل الهائمات ودورها في الحفاظ على البيئة المائية.

ثالثاً، ينبغي تشجيع الأبحاث العلمية المتخصصة في دراسة التأثيرات طويلة الأمد للتلوث على هذه الكائنات، بما في ذلك البحوث الجزيئية والوراثية، لفهم آليات التأقلم أو الانقراض.

وأخيرًا، من المهم تعزيز التعاون بين الهيئات البيئية والجامعات ومراكز البحث لتطوير استراتيجيات وطنية شاملة لحماية الحياة المائية، بما في ذلك دعم مشاريع إعادة التأهيل البيئي في المناطق الملوثة.

المراجع

1. Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Gray, J. S., Meyer-Reil, L. A., & Thingstad, F. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. Marine Ecology Progress Series, 10, 257–263
2. Tornero, V., & Hanke, G. (2016). Chemical contaminants entering the marine environment from sea-based sources: A review. Marine Pollution Bulletin, 112(1-2), 17–38.
3. Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... & Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. nature, 467(7315), 555-561.
4. Kiørboe, T. (1993). Turbulence, phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food webs. Advances in Marine Biology, 29, 1–72.
5. Barata, C., Baird, D. J., & Soares, A. M. V. M. (2005). The relative importance of stoichiometry and toxicokinetics for Daphnia magna exposed to copper and zinc. Environmental Toxicology and Chemistry, 24(3), 582–590.
6. Wang, W.-X. (2001). Comparison of metal uptake and accumulation in marine bivalves. Environmental Pollution, 111(2), 293–302.
7. Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2006). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and oceanography, 51(1part2), 351-355.
8. Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. science, 321(5891), 926-929.
9. Paerl, H. W., & Huisman, J. (2008). Blooms like it hot. Science, 320(5872), 57–58.
10. Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environmental Pollution, 185, 77–83.
11. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2013). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin, 62(12), 2588–2597.
12. Jeong, T. Y., Kim, S. D., Cho, J., & Kim, I. S. (2008). Effects of pharmaceuticals on aquatic ecosystems. Ecotoxicology and Environmental Safety, 71(2), 196–205.

13. Markman, S., Leitner, S., Catchpole, C., Barnsley, S., Müller, C. T., Pascoe, D., & Buchanan, K. L. (2008). Pollutants increase song complexity and the volume of the brain nucleus HVC in a songbird. PLOS ONE, 3(2), e1674.
14. Richardson, A. J. (2008). In hot water: zooplankton and climate change. ICES Journal of Marine Science, 65(3), 279-295.
15. Turner, J. T. (2002). Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms. Aquatic Microbial Ecology, 27(1), 57–102.
16. Calbet, A., & Landry, M. R. (2004). Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. Limnology and Oceanography, 49(1), 51–57.
17. Steinberg, D. K., & Landry, M. R. (2017). Zooplankton and the ocean carbon cycle. Annual Review of Marine Science, 9, 413–444.
18. Chen, C. Y., & Folt, C. L. (2005). High plankton densities reduce mercury biomagnification. Environmental Science & Technology, 39(1), 115-121.
19. Boyd, P. W., Claustre, H., Levy, M., Siegel, D. A., & Weber, T. (2019). Multi-faceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. Nature, 568(7752), 327-335.
20. Steinberg, D. K., & Landry, M. R. (2017). Zooplankton and the ocean carbon cycle. Annual review of marine science, 9(1), 413-444.
21. Fisheries, F. A. O. (2007). The state of world fisheries and aquaculture. 2006.
22. Tsui, M. T., & Wang, W. X. (2006). Acute toxicity of mercury to Daphnia magna under different conditions. Environmental science & technology, 40(12), 4025-4030.
23. Chen, C. Y., & Folt, C. L. (2005). High plankton densities reduce mercury biomagnification. Environmental Science & Technology, 39(1), 115-121.
24. Tsui, M. T., & Wang, W. X. (2005). Influences of maternal exposure on the tolerance and physiological performance of Daphnia magna under mercury stress. Environmental toxicology and chemistry, 24(5), 1228-1234.
25. Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L., & Amyot, M. (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. Annual Review of Ecology and Systematics, 29, 543-566.
26. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecological applications, 8(3), 559-568.

27. Carmichael, W. W. (2001). Health effects of toxin-producing cyanobacteria:"The CyanoHABs". Human and ecological risk assessment: An International Journal, 7(5), 1393-1407.
28. Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. science, 321(5891), 926-929.
29. Rohrlack, T., Dittmann, E., Börner, T., & Christoffersen, K. (2001). Effects of cell-bound microcystins on survival and feeding of Daphnia spp. Applied and environmental microbiology, 67(8), 3523-3529.
30. Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental pollution, 100(1-3), 179-196
31. Gobler, C. J., Burkholder, J. M., Davis, T. W., Harke, M. J., Johengen, T., Stow, C. A., & Van de Waal, D. B. (2016). The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms. Harmful algae, 54, 87-97.
32. Schulz, R. (2004). Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint- source insecticide pollution: A review. Journal of environmental quality, 33(2), 419-448.
33. Morrissey, C. A., Mineau, P., Devries, J. H., Sanchez-Bayo, F., Liess, M., Cavallaro, M. C., & Liber, K. (2015). Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review. Environment international, 74, 291-303.
34. Nowell, L. H., Moran, P. W., Schmidt, T. S., Norman, J. E., Nakagaki, N., Shoda, M. E., ... & Hladik, M. L. (2018). Complex mixtures of dissolved pesticides show potential aquatic toxicity in a synoptic study of Midwestern US streams. Science of the Total Environment, 613, 1469-1488.
35. Battaglin, W. A., Meyer, M. T., Kuivila, K. M., & Dietze, J. E. (2014). Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in US soils, surface water, groundwater, and precipitation. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(2), 275-290.
36. Rex, K. R., Vinod, P. G., Praveen, K. S., & Chakraborty, P. (2024). Sediment–water exchange and risk assessment of pesticidal persistent organic pollutants in

Bharathappuzha and Periyar Riverine region along the Arabian Sea. Environmental Geochemistry and Health, 46(4), 144.

37. Hanazato, T. (2001). Pesticide effects on freshwater zooplankton: an ecological perspective. Environmental pollution, 112(1), 1-10.
38. Pestana, J. L. T., Alexander, A. C., Culp, J. M., Baird, D. J., Cessna, A. J., & Soares, A. M. V. M. (2009). Structural and functional responses of benthic invertebrates to imidacloprid in outdoor stream mesocosms. Environmental Pollution, 157(8-9), 2328-2334.
39. Relyea, R., & Hoverman, J. (2006). Assessing the ecology in ecotoxicology: a review and synthesis in freshwater systems. Ecology Letters, 9(10), 1157-1171.
40. Almeda, R., Hyatt, C., & Buskey, E. J. (2014). Toxicity of dispersant Corexit 9500A and crude oil to marine microzooplankton. Ecotoxicology and environmental safety, 106, 76-85.
41. Rabaoui, L., Lin, Y. J., Qurban, M. A., Maneja, R. H., Franco, J., Joydas, T. V., ... & Roa-Ureta, R. H. (2015). Patchwork of oil and gas facilities in Saudi waters of the Arabian Gulf has the potential to enhance local fisheries production. ICES Journal of Marine Science, 72(8), 2398-2408.
42. Sørensen, L., Hansen, B. H., Farkas, J., Donald, C. E., Robson, W. J., Tonkin, A., ... & Rowland, S. J. (2019). Accumulation and toxicity of monoaromatic petroleum hydrocarbons in early life stages of cod and haddock. Environmental pollution, 251, 212-220.
43. Gonzalez, A. (2018). Effects of oil spills on zooplankton communities: insights from laboratory microcosms.
44. Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E., & Irons, D. B. (2003). Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. Science, 302(5653), 2082-2086.
45. Gyllström, M., & Hansson, L. A. (2004). Dormancy in freshwater zooplankton: induction, termination and the importance of benthic-pelagic coupling. Aquatic Sciences, 66, 274-295.
46. Ahmed, M., et al. (2018). Salinity effects on aquatic ecosystems: A global review. Environmental Monitoring and Assessment, 190(7), 397.

47. Beyrend-Dur, D., Souissi, S., & Hwang, J. S. (2013). Population dynamics of calanoid copepods in the subtropical mesohaline Danshuei Estuary (Taiwan) and typhoon effects. Ecological research, 28, 771-780.
48. Aladin, N. V., & Potts, W. T. W. (1995). Osmoregulatory capacity of the Cladocera. Journal of Comparative Physiology B, 164, 671-683.
49. Lee, C. E., et al. (2011). Metabolic costs of osmoregulation in zooplankton. Journal of Experimental Biology, 214(Pt 4), 628–635.
50. Goss, L. B., & Bunting, D. L. (1976). Daphnia magna responses to salinity stress. Limnology and Oceanography, 21(1), 14–20.
51. Brucet, S., Boix, D., Nathansen, L. W., Quintana, X. D., Jensen, E., Balayla, D., ... & Jeppesen, E. (2012). Effects of temperature, salinity and fish in structuring the macroinvertebrate community in shallow lakes: implications for effects of climate change. PloS one, 7(2), e30877.
52. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. Environmental science & technology, 47(12), 6646-6655.
53. Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... & Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. Nature, 494(7436), 169-171.
54. Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. Environmental pollution, 178, 483-492.
55. Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. Environmental pollution, 221, 141-149.
56. Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 178, 189-195.
57. Jeong, C. B., Won, E. J., Kang, H. M., Lee, M. C., Hwang, D. S., Hwang, U. K., ... & Lee, J. S. (2016). Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction, and p-JNK and p-p38 activation in the monogonont rotifer (Brachionus koreanus). Environmental science & technology, 50(16), 8849-8857.

58. Raptis, C. E., van Vliet, M. T., & Pfister, S. (2016). Global thermal pollution of rivers from thermoelectric power plants. Environmental Research Letters, 11(10), 104011.
59. Salem, H. A., & Barakat, R. M. (2021). Effects of thermal pollution from power plants on freshwater ecosystems. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 25(3), 155–168.
60. Pörtner, H. O., & Peck, M. A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause- and- effect understanding. Journal of fish biology, 77(8), 1745-1779.
61. Weiss, R. F. (1970, August). The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. In Deep sea research and oceanographic abstracts (Vol. 17, No. 4, pp. 721-735). Elsevier.
62. Somero, G. N. (2012). The physiology of global change: linking patterns to mechanisms. Annual Review of Marine Science, 4(1), 39-61.
63. O'Connor, M. I., Piehler, M. F., Leech, D. M., Anton, A., & Bruno, J. F. (2009). Warming and resource availability shift food web structure and metabolism. PLoS biology, 7(8), e1000178.
64. Daufresne, M., Lengfellner, K., & Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(31), 12788-12793.
65. Richardson, A. J. (2008). In hot water: zooplankton and climate change. ICES Journal of Marine Science, 65(3), 279-295.
66. Visser, P. M., Verspagen, J. M., Sandrini, G., Stal, L. J., Matthijs, H. C., Davis, T. W., ... & Huisman, J. (2016). How rising CO2 and global warming may stimulate harmful cyanobacterial blooms. Harmful algae, 54, 145-159.
67. Lessard, J. L., & Hayes, D. B. (2003). Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. River research and applications, 19(7), 721-732.