Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (5) (Nov, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 5 نوفمبر 2026
عدد خاص بالمؤتمر العلمي الرابع للعلوم والتقنية
28-29 نوفمبر 2026 مصراتة – ليبيا
إدارة المعاهد العليا – وزارة التعليم التقني

تقييم مستويات البروم (Bromine) في عضلات وكبد سمكة الشلبة (Sarpa salpa) كمؤشر على التلوث البحري والمخاطر الصحية البشرية في الشاطئ الليبي الغربي

فطيمة محمود راشد

كلية العلوم والموارد الطبيعية، جامعة الجفارة – قسم علم الحيوان

Assessment of Bromine Levels in the Muscles and Liver of Cow Bream (Sarpa salpa) as an Indicator of Marine Pollution and Human Health Risks along the Western Libyan Coast

Fatima Mahmoud Rashid

: fateemah.rashed2025@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2026/7/30 تاريخ المراجعة 2026/ 8/20 تاريخ القبول:2026/8/28- تاريخ النشر: 2026/ 11/28

الملخص

يُعد تلوث البيئة البحرية بالعناصر الكيميائية من أهم المشكلات البيئية التي تؤثر في الكائنات البحرية وصحة الإنسان، إذ يمكن لبعض العناصر أن تتراكم في أنسجة الأسماك وتنتقل عبر السلسلة الغذائية. يهدف هذا البحث إلى تقييم مستويات البروم في عضلات وكبد سمكة الشلبة كمؤشر حيوي على التلوث البحري وإمكانية انتقاله إلى الإنسان على طول الشاطئ الليبي الغربي.تم جمع عشر عينات من سمكة الشلبة من عدة مناطق على امتداد الساحل الغربي الليبي، حيث تراوحت أطوال الأسماك بين (22–27 سم)، بينما تراوحت أوزانها بين (175–402 غم). تم قياس تركيز البروم في عينات العضلات والكبد باستخدام جهاز مطياف الكتلة بالبلازما المقترنة حثيًا ، وذلك لتحديد مستويات تراكمه وتقييم مدى خطورة انتقاله عبر السلسلة الغذائية البحرية.أظهرت النتائج أن تراكيز البروم في عينات الدراسة كانت منخفضة، إذ لم تتجاوز (0.07 ملغم/كغم) في العضلات والكبد. وتشير هذه النتائج إلى انخفاض مستوى التلوث بالبروم في مناطق الدراسة، وأن تراكيزه لم تتجاوز الحدود المسموح بها وفق المعايير المعتمدة من قبل منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة. كما تؤكد النتائج أن سمكة الشلبة يمكن استخدامها كمؤشر حيوي مناسب لمراقبة مستويات التلوث بالبروم في البيئة البحرية، وأن استهلاكها ضمن مناطق الدراسة لا يمثل خطرًا صحيًا واضحًا مرتبطًا بهذا العنصر.

الكلمات المفتاحية:

البروم، سمكة الشلبة (Sarpa salpa)، التلوث البحري، المؤشرات الحيوية، السلسلة الغذائية، ICP–MS، الساحل الليبي الغربي.

Abstract

Marine pollution by chemical elements is considered one of the most important environmental problems affecting marine organisms and human health, as some elements can accumulate in fish tissues and transfer through the food chain. This study aims to evaluate bromine levels in the muscles and liver of the salema fish (Sarpa salpa) as a biological indicator of marine pollution and to assess the possibility of its transfer to humans along the western Libyan coast.Ten samples of salema fish (Sarpa salpa) were collected from several locations along the western Libyan coast. The fish lengths ranged from (22–27 cm), while their weights ranged from (175–402 g). Bromine concentrations in muscle and liver samples were determined using an inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP–MS) instrument to assess its accumulation levels and evaluate the potential for its transfer through the marine food chain.The results showed that bromine concentrations in the studied samples were low, not exceeding (0.07 mg/kg) in both muscles and liver. These findings indicate low levels of bromine contamination in the studied areas, and that the recorded concentrations did not exceed the permissible limits

according to the standards established by the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO). The results also confirm that salema fish (Sarpa salpa) can be used as a suitable biological indicator for monitoring bromine pollution levels in the marine environment, and that its consumption in the studied areas does not represent a clear health risk associated with this element.

:Keywords

Bromine, Salema fish (Sarpa salpa), Marine pollution, Biological indicators, Food chain, ICP-MS, Western Libyan coast.

المقدمة:

تُعد العناصر الهالوجينية، وعلى رأسها عنصر البروم(Br)، من المكونات الطبيعية المهمة في الأنظمة البيئية البحرية، حيث يتواجد البروم بشكل أساسي في مياه البحر على هيئة أيون البروميد، ويُعد من أكثر الهالوجينات وفرة بعد الكلور (Sander, R. et al. 2003) , ويشارك هذا العنصر في العديد من العمليات البيوجيوكيميائية، بما في ذلك التفاعلات الكيميائية بين المحيط والغلاف الجوي، حيث يمكن أن يتحول إلى مركبات عضوية وغير عضوية تلعب دورًا في التوازن البيئ .(Carpenter, L.J. 2003) وقد أظهرت الدراسات أن المحيطات تُعد المصدر الأكبر للمركبات العضوية المبرومة، والتي تنتج بشكل طبيعي بواسطة الكائنات البحرية مثل الطحالب والبكتيريا Gribble,G.W. (2000). وتتميز هذه المركبات بخصائص كيميائية وبيولوجية مهمة، حيث تدخل في عمليات الدفاع الكيميائي للكائنات البحرية، كما تساهم في تكوين مركبات متطايرة تؤثر في كيمياء الغلاف الجوي (Butler,A.&CARTER-Franklin 2004) . .تلعب الطحالب البحرية دورًا محوريًا في دورة البروم، نظرًا لقدرتها على امتصاص هذا العنصر من مياه البحر وتخزينه أو تحويله إلى مركبات عضوية مثل البروموفينولات. (Liu,Y.et al . 2011). ورغم أهمية البروم في البيئة البحرية، إلا أن معظم الدراسات البيئية ركزت على العناصر الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق، نظرًا لسمّيتها العالية وتأثيرها المباشر على صحة الإنسان.(WHO.2009)، وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط، أظهرت العديد من الدراسات وجود تلوث بعناصر مختلفة في الأسماك، خاصة في المناطق القريبة من الأنشطة الحضرية والصناعية. (Storelli,M.M.2005)، ومع ذلك لا تزال الدراسات المتعلقة بالبروم محدودة خاصة في الأسماك العاشبة.

وقد بيّنت الدراسات أن الطحالب البنية والخضراء تُظهر كفاءة متفاوتة في تراكم الهالوجينات، وأن هذه العملية ترتبط بعوامل بيئية مثل درجة الحرارة، والملوحة، وتركيز المغذيات. (Küpper,F.C.et al . 2018) ورغم أهمية البروم في البيئة البحرية، إلا أن معظم الدراسات البيئية ركزت على العناصر الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق، نظرًا لسمّيتها العالية وتأثيرها المباشر على صحة الإنسان.(WHO.2009)، وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط، أظهرت العديد من الدراسات وجود تلوث بعناصر مختلفة في الأسماك، خاصة في المناطق القريبة من الأنشطة الحضرية والصناعية. (Storelli,M.M.2005)، ومع ذلك لا تزال الدراسات المتعلقة بالبروم محدودة خاصة في الأسماك العاشبة.

على المستوى المحلي فقد ركزت الدراسات الليبية على تقييم تراكيز العناصر الثقيلة في الأسماك والبيئة البحرية، دون التطرق إلى عنصر البروم بشكل كافٍ. (Libyan marine studies (various، وقد أظهرت هذه الدراسات وجود تباين في مستويات التلوث على طول الساحل الليبي، خاصة في المناطق القريبة من المدن الكبرى مثل طرابلس. (Environmental studies, Libyan coast) ويعكس هذا التباين تأثير الأنشطة البشرية، مثل تصريف مياه الصرف الصحي، والنشاط الصناعي وحركة الملاحة البحرية.

يمتد الساحل الغربي من رأس جدير (الحدود التونسية) غرباً إلى مصراته- زليتن شرقاً، يتميز البحر المتوسط بتاريخ جيولوجي كبير وقديم، فأغلب الكائنات البحرية تعيش في البحر المتوسط تعتبر أطلسية المنشأ ويُشار اليوم إلى هذه الكائنات بالأنواع المتوسطية الأهلية. إن التنوع الحيوي الكبير نسبياً صفة مميزة للبحر المتوسط ويتجلى ذلك في أن مساحته لا تقل على 1% من مساحة محيطات العالم ويوجد فيه 8565 نوعاً من مجمل الأنواع البحرية ما يساوي 6.5% من مجمل الأنواع البحرية الموجودة في العالم، (منصة طبيعة ليبيا- 2015) . يعتبر الساحل الغربي من أغنى المناطق بمصائد الاسماك القاعية والسطحية، حيث تشير الدارسات إلى أن المنطقة بين صبراتة وزوارة هي الأكثر تنوعاً في الأنواع العشبية (مجلة البحوث البحرية - مركز بحوث الأحياء البحرية بتاجوراء) تتعرض المنطقة لضغوط ناتجة عن التصريف الصناعي مثل (مجمع ملّيتة ومصفاة الزاوية)، مما أدى لتراكم المعادن الثقيلة في كبد الأسماك القاعية (دراسة تراكم بعض المعادن الثقيلة في الأنسجة العضلية والكبد لبعض الأسماك البحرية في الساحل الغربي - جامعة الزاوية)، ويضم الساحل أهم الموانئ التجارية (طرابلس، الخمس، مصراتة) أكبر تجمع سكاني مما يجعله المحرك الاقتصادي الأول للبلاد (كتاب جغرافية ليبيا (د. الهادي مصطفى بولقمة)

تعتبر سمكة Sarpa salpa من الأسماك البحرية المنتشرة على طول البحر الأبيض المتوسط، خاصة على السواحل الليبية، حيث تعيش في المناطق الساحلية وبين الأعشاب البحرية(Fischer et al.1987)، كما تعد سمكة Sarpa salpa من الأسماك التي يستهلكها الإنسان، لذلك يهتم الباحثون بدراسة مكوناتها الكيميائية وتأثيرها على الصحة

(storelli&Marcotrigiano ,2001)، ومن بين العناصر التي يتم دراستها في الأسماك البحرية عنصر البروم، حيث يعد هذا العنصر من مكونات البيئة البحرية ويمكن أن يتراكم في أنسجة الأسماك وخاصة الكبد (Rainbow,2002).

2- أهداف البحث (Research Objectives):-

أ. يهدف البحث إلى تقدير عنصر البروم في أكباد وأنسجة سمكة Sarpa salpa التي يتم صيدها من مناطق مختلفة على الساحل الليبي.

ب. مقارنة تراكيز البروم التي يتم قياسها بين المواقع الجغرافية، وذلك لتحديد أثر البيئة المحلية على تراكم هده العنصر.

ج. تقدير القيمة الغذائية لسمكة Sarpa salpa في ضوء النتائج الكيميائية، ومحاولة ربطها بأهميتها في الأمن الغذائي المحلي.

د. استغلال هذا البحث لتقديم توصيات علمية قد تستفيد منها الجهات في مراقبة جودة الأسماك المحلية وتقديم الدعم للدراسات المستقبلية في مجال البيئة البحرية.

3- فرضيات البحث (Research Hypotheses):-

تعتمد هذه الدراسة على مجموعة من الفرضيات العلمية التي يمكن اختبارها إحصائياً، وهي:

أ. توجد تراكيز قابلة للقياس من عنصر البروم في أكباد وأنسجة أسماك Sarpa salpa على الساحل الغربي الليبي.ب. تختلف تراكيز البروم باختلاف الموقع الجغرافي(طرابلس- زوارة).ج. يمتلك البروم قابلية للتراكم الحيوي داخل الأنسجة العضلية للأسماك.د. توجد علاقة بين تراكيز البروم والعوامل البيئية المحيطة(مثل التلوث أو نوع المياه).هـ. قد تتجاوز بعض التراكيز الحدود أو القيم المرجعية العالمية.

4- مشكلة البحث (Research Problem):-

رغم الانتشار الواسع لسمكة Sarpa salpa على طول الساحل الليبي, كونها إحدى الأنواع الاقتصادية التي تلقى رواجاً كبيراً في الاستهلاك المحلي، إلا أن الدراسات التي أطلعنا عليها والتي تناولت تقدير تراكيز الهالوجينات (البروم) في انسجتها و أكبادها، مازالت قليلة في البيئة البحرية الليبية.تكمن مشكلة البحث في نقص البيانات الدقيقة حول تركيز هذا العنصر في سمكة Sarpa salpa ، مما يعيق التقييم البيئي والغذائي الصحيح لهذا النوع، ويقف عائقاً أمام إمكانية الاستفادة الجيدة منه في برنامج التغذية والصناعات الغذائية.

5- أهمية البحث (Significance of the Study):-

تتمثل أهمية هذا البحث في عدة جوانب علمية, بيئية,صحية وتطبيقية.

أ. أهمية علمية: يساهم في سد النقص في البيانات المتعلقة بعناصر الهالوجينات في البيئة البحرية الليبية خاصة عنصر البروم الذي لم يُدرس بشكل كاف.

ب. أهمية بيئية: يساعد في فهم سلوك البروم وانتشاره في النظم البحرية، وتقييم تأثيره على الكائنات الحية.

ج. أهمية صحية: نظراً لاستهلاك الأسماك كمصدر غذائي، فإن تقييم تراكيز البروم في أنواع مثل Sarpa salpa يُعد مهماً لتحديد مدى سلامتها للاستهلاك البشري.

د. أهمية التطبيقية: يمكن أن تدعم نتائج البحث الجهات المختصة في وضع سياسات لمراقبة التلوث البحري.

6- تساؤلات البحث (research questions):-

أ- ماهي تراكير البروم في كبد وأنسجة سمكة Sarpa salpa في المنطقة المختارة؟

ب- هل تتأثر هذه التراكيز باختلاف نقاط الجمع على طول الساحل الغربي؟

ج- هل تعتبر هذه التراكيز ضمن النطاق الآمن للاستهلاك أو كمؤشر للتلوث؟

7- منهجية البحث (Research Methodology):- تم اعتماد منهج وصفي تحليلي حيث قمنا بتجميع عينات من سمكة Sarpa Salpa من عدة مناطق على طول الساحل الغربي الليبي لتقدير تراكيز عنصر البروم لهدف دراسة الاختلافات بينهم.

أ- التحضير المخبري: استخلاص الأكباد، والانسجة العضلية, عملية التجفيف، ثم الهضم الحمضي acid (digestion) لتحويل العينات الصلبة إلى السائلة.

ب- التحليل الآلي: باستخدام جهاز مطياف الكتلة بالبلازما المقترنة حثياً (icp-ms) لتقديرتركيز البرومين.

ج- التحليل الإحصائي: استخدام برنامج spss أوexcel لمعالجة النتائج ومقارنة العناصر. كيف يستخدم التحليل هذا

ح- منطقة الدراسة:- تتضمن منطقة الدراسة الساحل الغربي لليبيا والذي يمتد من زوارة غرباً إلى طرابلس شرقاً بلدية جنزور، الزاوية، صبراتة كما يبلغ طول ساحل منطقة الدراسة 120 إلى 125كم (مجلة دراسات الانسان والمجتمع المعهد العالي العلوم والتقنية، طرابلس 5- مارس- 2024) .البحر الليبي هو الجزء الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط يمتد قبالة شمال أفريقيا وتحديداً بين ليبيا وجزيرة كريت يعد امتداداً تاريخياً وجغرافياً ويتميز بشواطئ متنوعة وثروات سمكية(جمعية علم الأحياء البحرية في ليبيا 2015).تمتلك ليبيا أطول ساحل على البحر المتوسط في أفريقيا حيث يبلغ طوله 1.770 كيلومتر مربع وعلى امتداد هذا الساحل تنتشر السهول الساحلية وهي مناطق منخفضة ومسطحة تتكون نتيجة لترسبات بحرية ونهرية عبر الزمن ومن أهم هده السهول (سهل جفارة- سهل الخمس- سهل مصراتة- سهل بنغازي سهل سرت- السهول الشرقية). (سفارة دولة ليبيا-كندا -معلومات عن ليبيا-embassy of Libya)

مناخ مناطق الدراسة:-يسود الساحل الغربي لليبيا من طرابلس إلى زوارة مناخ البحر الأبيض المتوسط المعتدل والذي يتميز بشتاء لطيف إلى بارد مع أمطار متفرقة وصيف حار ورطب نسبياً معظم العام, تتراوح درجات الحرارة السطحية للبحر في فترات الطقس المعتدل بين 16-18 درجه مئوية (المركز الوطني للإرصاد الجوية، 2022).

3- موقع البحث (Research Site):-

تقع منطقة الدراسة على الساحل الغربي الليبي الممتد من طرابلس إلى زوارة، وهو جزء من الساحل الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط، ويتميز هذا الشريط الساحلي بتنوع بيئي ملحوظ، حيث يضم مناطق حضرية كثيفة، وأخرى شبه طبيعية، مما يجعله موقعاً مناسباً لدراسة تأثير الأنشطة البشرية على البيئة البحرية.تُعد طرابلس من أكبر المدن الساحلية في ليبيا، وتشهد نشاطًا بشرياً مكثفاً يشمل الصناعة والموانئ، والتصريفات الحضرية، مما قد يؤدي إلى إدخال ملوثات مختلفة إلى البيئة البحرية(17)، وفي المقابل، تتميز زوارة بطبيعة ساحلية أقل كثافة من حيث النشاط الصناعي، رغم تأثرها ببعض الأنشطة المحلية مثل الصيد البحري.ويمتاز الساحل بين هاتين المدينتين بوجود مناطق ضحلة وغنية بالطحالب والأعشاب البحرية، والتي تُعد بيئة مثالية لعيش وتغذية سمك الشلبه(18) (Sarpa salpa) كما أن التيارات البحرية في هذه المنطقة تلعب دوراً في توزيع العناصر الكيميائية والملوثات، مما يؤثر على تراكيزها في الكائنات البحرية(19).وتُعد هذه المنطقة ذات أهمية بيئية واقتصادية كبيرة، حيث تعتمد عليها المجتمعات المحلية في الصيد وتوفير الغذاء، لذلك فإن دراسة تراكيز العناصر مثل البروم في الأسماك المحلية تُساهم في تقييم جودة البيئة البحرية، ومدى سلامة المنتجات البحرية للاستهلاك البشري.

4- حدود البحث: تم تحديد بعض مناطق الساحل الغربي في ليبيا(طرابلس- جنزور- الزاوية_ صبراتة- زوارة) حيث تم تجميع عينات أنسجة وأكباد سمكة الشلبه من هذه المناطق فقط والمدة الزمنية لإنجاز هذا البحث هو فصلين (خريف- ربيع).

المواد الكيميائية والمحاليل

كل المواد الكيميائية والمحاليل قيد الدراسة كانت من صنف درجة نقاوة تحليلية Analytical grade reagents، وتم استعمالهم خلال هذه الدراسة بدون أي معالجات إضافية..

طريقة العمل:-

تم جمع عينات من أسماك *Sarpa salpa* من عدة مواقع على الساحل الغربي الليبي الممتد من (طرابلس_ زوارة)، تم اختيار الأسماك بأحجام متقاربة لتقليل تأثير اختلاف العمر والحجم على التراكم الحيوي للعناصر الكيميائية، نُقلت العينات إلى المختبر داخل حاويات مبردة لإجراءالتحاليل الكيميائية. في المعمل، تم غسل العينات جيداً باستخدام ماء منزوع الأيونات لإزالة الشوائب السطحية، ثم فصل الأنسجة العضلية الصالحة للأكل وكذالك الكبد، وتقطيعها إلى أجزاء صغيرة.

الهضم الحمضي(Acid Digestion)

تم استخدام طريقة الهضم الحمضي الرطب لتحضير العينات قبل قياس تراكيز عنصر البروم، وذلك وفق الطرق القياسية المعتمدة في التحاليل البيئية البحرية.(United Nations Environment Programme, **2016**)

خطوات الهضم الحمضي :-

تم وزن حوالي من 2-3 غرام من العينة الجافة داخل أوعية هضم زجاجية نظيفة, أضيفت كمية 10 مل من حمض النيتريك المركز تُركت العينات لمدة 12 ساعة لمرحلة الهضم الأولي بعد ذلك تم تسخين العينات على سخان حراري

تدريجياً عند درجة حرارة 80–90°م حتى ظهور محلول شفاف.أضيفت كمية قليلة منHydrogen peroxide لإكمال عملية الأكسدة والتخلص من المواد العضوية.استمر التسخين حتى الحصول على محلول صافٍ عديم اللون تقريباً.بعد التبريد رُشحت نواتج الهضم باستخدام ورق ترشيح خالٍ من الرمادلإزالة أي جزيئات غير ذائبة متبقية . نُقلت العينات إلى دوارق حجمية وأكمل الحجم إلى 50 مل باستخدام الماء المقطر منزوع الأيونات لضمان تباث الحجم. (U.S.EPA,1996)

التحليل الكيميائي:-

تم تقدير تراكيز عنصر البروم باستخدام جهاز مطياف الكتلة بالبلازما المقترنة حثياً ICP-MS وذلك لارتفاع دقته وحساسيته في قياس العناصر النزرة داخل العينات البيولوجية والبيئية..(Houk, R.S 2019) كما موضح بالشكل رقم (1)



مبدأ عمل الجهاز:-يعتمد الجهاز على تأيين العناصر داخل بلازما عالية الحرارة تصل الي 10000 درجة مئوية ثم قياس الكتلة الذرية للأيونات الناتجة، مما يسمح بتحديد تراكيز العناصر بدقة عالية جدا.

مواصفات الجهاز

ICPMS2-B7.2

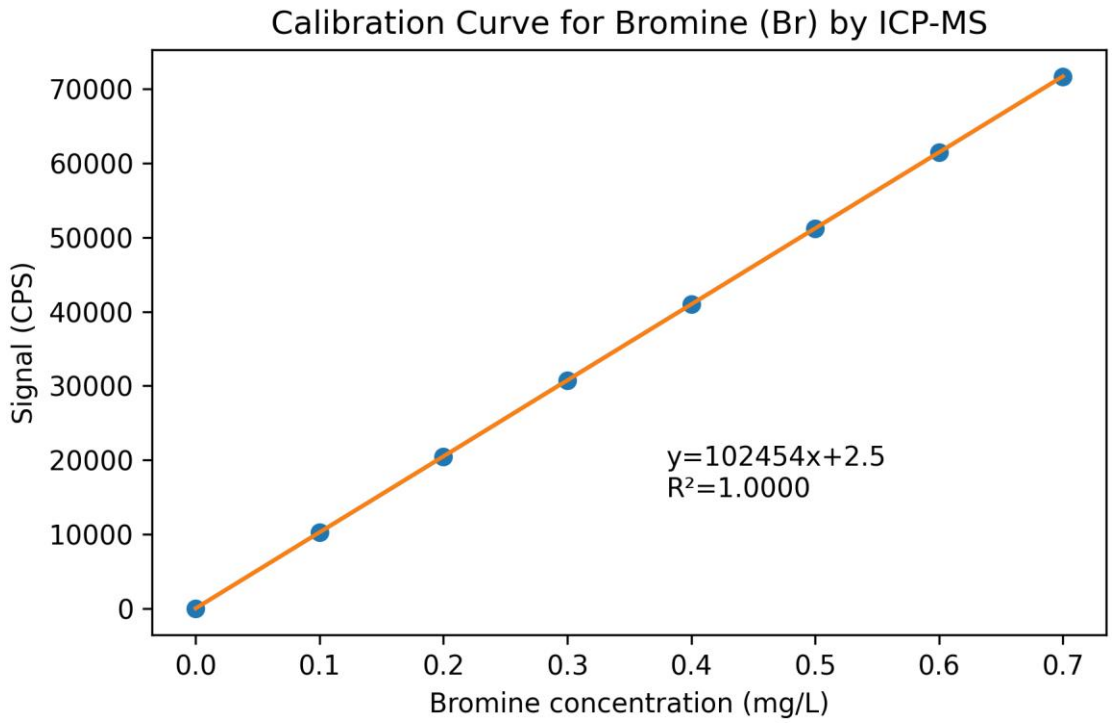
Equipment	Icp-ms
Equipment-Code	Icp-ms2-b7.2
Location	B7.2
Model	A7500
Serial No	JP51201556
Type of Calibration	Internal

النتائج والمناقشة :-

الجدول رقم1) يوضح التراكيز المحضرة مسبقا لغرض رسم المنحي العياري لعنصر البروم

Signal (CPS)	Concentration (mg/L)
0	0
10250	0.1
20480	0.2
30760	0.3
40980	0.4
51230	0.5
61470	0.6
71720	0.7

ووالشكل رقم (2) يوضح المنحي العياري لعنصر البروم



شكل (2) يوضح المنحي العياري للبروم

والجدول التالي يوضح النتائج المتحصلة عليها

ر.م	رمز العينة	نوعها	تركيز العنصر(mg/kg)	ملاحظات
1	L--1	لحم	0.07≥	
2	L-2	لحم	0.07≥	

3	L-3	لحم	≥0.07	
4	L-4	لحم	≥0.07	
5	L-5	لحم	≥0.07	
6	T-1	كبد	≥0.07	
7	T-2	كبد	≥0.07	
8	T-3	كبد	≥0.07	
9	T-4	كبد	≥0.07	
10	T-5	كبد	≥0.07	
11	BLANK	خالية	0.0	

مناقشة النتائج

أظهرت نتائج تحليل عينات عضلات وكبد سمكة الشلبة (*Sarpa salpa*) باستخدام جهاز مطياف الكتلة بالبلازما المقترنة حثيًا (ICP–MS) أن تراكيز عنصر البروم كانت منخفضة في جميع العينات المدروسة، حيث لم تتجاوز القيمة المسجلة (≥0.07 mg/kg) في كل من عينات العضلات والكبد. وتشير هذه النتائج إلى أن مستويات البروم في الأسماك التي تم جمعها من مناطق الدراسة على طول الشاطئ الليبي الغربي كانت ضمن الحدود المنخفضة، مما يعكس انخفاض احتمالية تعرض هذه الأسماك لمصادر تلوث مرتفعة بهذا العنصر خلال فترة جمع العينات.

يُعد تراكم العناصر الكيميائية في الأحياء البحرية من المؤشرات المهمة المستخدمة في تقييم حالة التلوث في البيئات الساحلية، إذ تعمل الأسماك ككائنات حيوية قادرة على تجميع العناصر الموجودة في الماء والرواسب والكائنات الغذائية التي تتغذى عليها. وبالرغم من أن البروم يوجد طبيعيًا في البيئة البحرية نتيجة وجوده في مياه البحر والصخور والرواسب، إلا أن زيادة تركيزه قد ترتبط بالأنشطة البشرية المختلفة مثل التصريفات الصناعية، ومياه الصرف، وبعض المركبات الكيميائية المحتوية على البروم، مما يجعل قياس مستوياته في الأحياء البحرية أداة مهمة لتقييم التأثيرات البيئية.

إن انخفاض تراكيز البروم المسجلة في عينات (*Sarpa salpa*) قد يعود إلى عدة عوامل، من أهمها طبيعة البيئة البحرية في مناطق الدراسة، وانخفاض مصادر التلوث المباشر بالبروم، إضافة إلى الخصائص الحيوية للنوع المدروس. وتُعد سمكة الشلبة من الأسماك المنتشرة في المناطق الساحلية وتتغذى غالبًا على الطحالب والمواد النباتية البحرية، مما يجعلها معرضة لانتقال العناصر الكيميائية الموجودة في المستويات الأولى من السلسلة الغذائية. ومع ذلك، فإن النتائج الحالية تشير إلى عدم وجود تراكم ملحوظ للبروم في أنسجتها خلال فترة الدراسة.

كما لوحظ عدم وجود اختلاف واضح بين تراكيز البروم في عينات العضلات والكبد، حيث سجل كلا النسيجين قيمًا منخفضة لا تتجاوز) 0.07 .(mg/kg ويُعد الكبد من الأعضاء الحيوية التي تلعب دورًا رئيسيًا في عمليات الأيض وإزالة السموم، ولذلك فإن بعض العناصر الثقيلة والعناصر النزرة قد تتراكم فيه بدرجة أكبر مقارنة بالعضلات. إلا أن انخفاض مستوى البروم في الكبد ضمن هذه الدراسة يشير إلى محدودية تعرض الأسماك لهذا العنصر وعدم وجود تراكم حيوي مرتفع له.

تُعتبر العضلات الجزء الأكثر استهلاكًا من الأسماك من قبل الإنسان، لذلك فإن تقييم تركيز العناصر الكيميائية فيها يعد ذا أهمية كبيرة من الناحية الصحية. وتشير النتائج المتحصل عليها إلى أن تركيز البروم في عضلات سمكة الشلبة منخفض، مما يقلل من احتمالية انتقال كميات مرتفعة منه إلى الإنسان عن طريق استهلاك هذه الأسماك. كما أن القيم المسجلة لم تتجاوز الحدود المقبولة وفق المعايير الغذائية والبيئية المعتمدة من قبل المنظمات الدولية مثل منظمة الصحة العالمية (WHO) ومنظمة الأغذية والزراعة.(FAO)

وتتفق هذه النتائج مع أهمية استخدام الأسماك كمؤشرات حيوية (Bioindicators) لتقييم جودة البيئة البحرية، حيث إن وجود تراكيز منخفضة من العناصر الكيميائية في أنسجة الأسماك يعكس غالبًا انخفاض مستوى التلوث في الوسط المائي المحيط بها. كما أن استخدام سمكة الشلبة (*Sarpa salpa*) في هذه الدراسة أثبت ملاءمتها ككائن مراقبة حيوي لدراسة تراكم العناصر في البيئة الساحلية الليبية، نظرًا لانتشارها وتغذيتها واتصالها المباشر بمكونات النظام البيئي البحري.

ومن خلال النتائج الحالية يمكن الاستنتاج أن مناطق الساحل الغربي الليبي التي جُمعت منها العينات لا تعاني من تلوث مرتفع بعنصر البروم، وأن المستويات المنخفضة المسجلة تشير إلى حالة بيئية مستقرة نسبيًا فيما يتعلق بهذا العنصر. ومع ذلك، فإن المتابعة الدورية لتركيز البروم والعناصر الأخرى في الكائنات البحرية تبقى ضرورية، خصوصًا مع زيادة الأنشطة الساحلية والصناعية، وذلك لضمان سلامة النظام البيئي البحري وحماية صحة المستهلكين.

وبناءً على ذلك، تؤكد هذه الدراسة أن قياس تركيز البروم في أنسجة سمكة الشلبة يمثل وسيلة فعالة لتقييم مستوى التلوث البحري، وأن النتائج الحالية تعطي مؤشرًا إيجابيًا حول سلامة الأسماك المدروسة من ناحية تراكم هذا العنصر، مع ضرورة إجراء دراسات مستقبلية تشمل عددًا أكبر من العينات ومناطق جغرافية مختلفة لتعزيز دقة التقييم البيئي.

المراجـع

المراجع العربية

1- **أبو العلا، محمد عبد الفتاح. (2010). جغرافيا البحار والمحيطات. القاهرة: دار الفكر العربي.**

2- **أبو الخير، أسماء المهدي. (2022). كفاءة التوزيع المكاني للموانئ والمراسي لسياحة التجوال البحري بالساحل الغربي الليبي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة دراسات الإنسان والمجتمع، قسم السياحة والضيافة، المعهد العالي للعلوم والتقنية والشموخ، طرابلس، ليبيا.**

3- **أبولقمة، الهادي مصطفى. (1995). جغرافية ليبيا. طرابلس: دار الجماهيرية للنشر، جامعة قاريونس، مركز البحوث.**

4- **ابن الفقيه الهمذاني، أحمد بن محمد. (1996). كتاب البلدان. تحقيق يوسف الهادي. بيروت: عالم الكتب.**

5- **البروم: خصائص العنصر واستخداماته. (2024). Stanford Advanced Materials.**

6- دراسة تراكم بعض المعادن الثقيلة في الأنسجة العضلية والكبد لبعض الأسماك البحرية في الساحل الغربي الليبي. (2025). جامعة الزاوية، كلية التربية، قسم الكيمياء. African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS).

7- الذوادي، مصطفى خليفة، وزايد، عمار عياد. (2024). الآثار الاقتصادية لتلوث البيئة البحرية. مجلة دراسات الإنسان والمجتمع، الجمعية الليبية للبحوث والدراسات العلمية، العدد 23.

8- الرزاقي، سامية وآخرون. (2023). السلوك الغذائي للأسماك غير الأصلية Siganus luridus وSiganus rivulatus والأسماك الأصلية Sarpa salpa في الشاطئ الغربي لليبيا. المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة، المجلد الخامس، العدد الثاني.

9- الزرقة، علي عمران وآخرون. (2019). دراسة تحليلية لمدى تلوث مياه شاطئ البحر بالمواد العضوية الناتجة عن مياه الصرف الصحي بمدينة سرت. مجلة العلوم البحثية والتطبيقية، جامعة سبها، المجلد 18، العدد 2.

10-القصودي، محمد عمر، وداو، أحمد. (2010). السبخات الملحية في الجزء الغربي من ليبيا. في: النظم البيئية للسبخات: أفريقيا وجنوب أوروبا. Springer Science + Business Media.

11-طايع، فرج عبدالعزيز. (2015). البحر الأبيض المتوسط: دراسة جغرافية وحضارية. دار المعرفة، جمعية علم الأحياء البحرية في ليبيا.

12-شركة مصفاة دمشق للبتروكيماويات. (2020). حقائق ومعلومات عن عنصر البروم.

13-المركز الوطني للأرصاد الجوية. (2022). تقارير مناخية.

14-مصلحة المساحة الليبية. (2018). الأطلس الوطني لدولة ليبيا. طرابلس: مصلحة المساحة الليبية.

15-نظمة الصحة العالمية (WHO). (2009). البروميد في مياه الشرب: وثيقة خلفية لتطوير إرشادات جودة مياه الشرب.

16-منصور، فتحية أبوراوي. (2018). تنمية الثروة السمكية في الساحل الشمالي الغربي الليبي بين مصراتة ورأس إجدير: دراسة في الجغرافيا الاقتصادية. رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس، القاهرة.

17- منصة طبيعة ليبيا – الحياة البحرية. (2015). دليل الأسماك والحياة البحرية في ليبيا.

المراجع الأجنبية

1. Ahmed, S., & Hassan, M. (2021). Bioaccumulation of marine pollutants in North African coastal fish. African Journal of Marine Science.

2. ATSDR. (2004). Toxicological Profile for Bromine. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

3. Butler, A., & Carter-Franklin, J. N. (2004). The role of halogenating enzymes in marine organisms.

4. Carpenter, L. J. (2003). Marine halogen cycle.

5. Chen, X., & Jiang, X. (2023). Bioaccumulation of emerging contaminants in aquatic biota: PFAS as a case study. In: Kumar, M., Mohapatra, S., & Weber, K. (Eds.), Emerging Aquatic Contaminants: One Health Framework for Risk Assessment and Remediation in the Post COVID-19 Anthropocene. Elsevier, pp. 343–365.

6. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2025). Risks to human and animal health from the presence of bromide in food and feed. EFSA Journal, 23(1), 9121.

7. Fischer, W., et al. (1987). FAO Species Identification Sheets for Fishery Purposes: Mediterranean and Black Sea.

8. Froese, R., & Pauly, D. (FishBase). Database of marine fish species.

9. Houk, R. S. (2019). Mass spectrometry of inductively coupled plasma. Analytical Chemistry Journal.

10. Küpper, F. C., et al. (2013). Iodine and bromine metabolism in marine algae.

11. Küpper, F. C., et al. (2018). Halogen accumulation and metabolism in marine organisms.

12. Libyan Marine Studies. Various studies on Libyan coastal environment.

13. Liu, Y., et al. (2011). Bromophenols in marine algae and their bioactivities.

14. Maria Maddalena Storelli, G. O. Marcotrigiano. (2001). Heavy metals (Hg, Pb, Cd and Cr) in edible snails. Italian Journal of Food Science.

15. Miller, A. J., et al. (2024). Halogen uptake in algae.

16. Neidleman, S. L. (1984). Halogenated compounds in nature.

17. Phillips, D. J. H., & Rainbow, P. S. (1993). Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants. London: Chapman & Hall.

18. Phillips, D. J. H. (2018). Quantitative aquatic biological indicators. Applied Science Publishers, London.

19. Prado, P., et al. (2007). Feeding ecology and feeding habits of Sarpa salpa.

20. Rainbow, P. S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates.

21. Rodríguez, M., et al. (2020). Bromine concentration in marine organisms from Spanish coasts. Environmental Monitoring Journal.

22. Sander, R., et al. (2003). Atmospheric Chemistry and Physics.

23. Smith, J., Brown, P., & Taylor, R. (2018). Halogen accumulation in Mediterranean fish species. Marine Environmental Research.

24. Storelli, M. M., Giacominelli-Stuffler, R., Storelli, A., & Marcotrigiano, G. O. (2005). Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. Marine Pollution Bulletin, 50(9), 1004–1007.

25. UNEP. (2016). Determination of Trace Metals in Marine Organisms. United Nations Environment Programme.