Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (39), (March, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) ملحق العدد 39 مارس 2026
ردمد: 3014-6266

دراسة تراكم المعادن الثقيلة في سمك المرجان الأحمر المُتداول في أسواق طبرق وفق المعايير الدولية لسلامة الغذاء

وفاء مصطفى الحوتي [1] سامى مطرف ابراهيم[2] عبد الرازق امراجع عبدالرازق [3]
كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة – قسم الموارد البحرية جامعة طبرق

Study of Heavy Metal Accumulation in Red Coral Fish (*Pagellus erythrinus*) Traded in Tobruk Markets According to International Food Safety Standards

Wafaa Mustafa Ali Al-Houti[1] Sami Mutrif Ibrahim[2] Abdulrraziq Imrajaa Abdulrraziq [3]
[1,2,3] Department of Marine Resources, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Tobruk, Libya
***Corresponding author: wafa.mustafa@tu.edu.ly**

تاريخ الاستلام:2026/02/15 –تاريخ المراجعة:2026/03/12– تاريخ القبول: 2026/03/13– تاريخ للنشر 2026/04/26

ملخص البحث

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تراكيز بعض المعادن الثقيلة (الرصاص، الكادميوم، المنجنيز، النيكل، الزنك) في أنسجة عضلات سمكة المرجان الأحمر (Pagellus erythrinus) المتداولة في أسواق مدينة طبرق .تم جمع 20 عينة عشوائية وتحضيرها وهضمها كيميائياً وفقاً للطريقة القياسية .(AOAC 999.10) قِيست التراكيز باستخدام جهاز طيف الامتصاص الذري .(AAS) أظهرت نتائج التحليل الإحصائي (One-Sample t-test) أن متوسطات تركيز الرصاص (0.756 مجم/كجم)، والكادميوم (0.139 مجم/كجم)، والمنجنيز (4.678 مجم/كجم) قد تجاوزت الحدود العالمية المسموح بها وفقاً لمنظمتي .(FAO/WHO) في المقابل، كانت تراكيز الزنك (5.412 مجم/كجم) والنيكل (0.037 مجم/كجم) ضمن الحدود الآمنة .تشير هذه النتائج إلى وجود تلوث بيئي محتمل ناتج عن الأنشطة البشرية، مما قد يشكل خطراً صحياً على المستهلكين .وتوصي الدراسة بالحذر عند استهلاك هذه الأسماك بكميات كبيرة، وضرورة إجراء مراقبة بيئية دورية لتحديد مصادر التلوث .

الكلمات المفتاحية :المعادن الثقيلة، سمكة المرجان الأحمر، التراكم الحيوي، طبرق، سلامة الغذاء

Abstract

This study aims to evaluate the concentrations of heavy metals (Lead, Cadmium, Manganese, Nickel, Zinc) in the muscle tissues of red coral fish (Pagellus erythrinus) traded in the markets of Tobruk. Twenty random samples were collected, prepared, and chemically digested according to the standard method (AOAC 999.10). Concentrations were measured using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Statistical analysis (One-Sample t-test) revealed that the mean concentrations of Lead (0.756 mg/kg), Cadmium (0.139 mg/kg), and Manganese (4.678 mg/kg) significantly exceeded the permissible international limits set by FAO/WHO. In contrast, Zinc (5.412 mg/kg) and Nickel (0.037 mg/kg) were within safe limits. These findings indicate potential environmental pollution resulting from anthropogenic activities, which

may pose a health risk to consumers. The study recommends caution regarding the heavy consumption of these fish and emphasizes the necessity of continuous environmental monitoring to identify pollution sources.

Keywords: Heavy metals, Red coral fish, Bioaccumulation, Tobruk, Food safety.

المقدمة

تُعدّ الأسماك من أهم المصادر الغذائية التي يعتمد عليها الإنسان، لما توفره من بروتينات عالية القيمة وسهلة الامتصاص، إضافة إلى احتوائها على الأحماض الدهنية غير المشبعة والعناصر المعدنية والفيتامينات الضرورية للحفاظ على صحة الجسم. غير أن البيئات البحرية تُعد حسّاسة لأي تغيير قد يطرأ عليها نتيجة الأنشطة البشرية، الأمر الذي يجعل الكائنات البحرية، وفي مقدمتها الأسماك، عرضة لامتصاص الملوثات المختلفة، وعلى رأسها **المعادن الثقيلة**. وتعرَّف هذه العناصر بأنها معادن ذات كثافة عالية يفوق معظمها 5 غ/سم^3، وتشمل الرصاص والكادميوم والزئبق والزرنيخ والكروم (Ali & Khan, 2019).تمثل المعادن الثقيلة خطورة خاصة لكونها لا تتحلل في البيئة ولا تختفي مع مرور الوقت، بل تستمر في الانتقال بين الماء والرواسب والكائنات الحية، إلى أن تنتهي في أنسجة الأسماك عبر عمليتي التراكم الحيوي والتضخم الحيوي. وتشير التقارير الصادرة عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أنّ المناطق الساحلية القريبة من مصادر الملوثات الصناعية أو الزراعية أو النفطية تُظهر عادةً مستويات أعلى من هذه المعادن داخل أنسجة الأسماك مقارنة بالمناطق الأقل تعرضًا للتلوث (UNEP, 2020).

ويُعد تراكم المعادن الثقيلة في لحوم الأسماك من القضايا التي تثير قلقًا متزايدًا فيما يخص الصحة العامة، لما لهذه المعادن من تأثيرات سمية موثقة. فالكادميوم، على سبيل المثال، يرتبط باضطرابات الجهاز الكلوي والهضمي، بينما يُعرف الزئبق—وخاصة الميثيل زئبق—بتأثيراته العصبية الخطيرة، خصوصًا على الأجنة والأطفال (WHO, 2021). أما الرصاص، فيُعد من أبرز العناصر المؤثرة على الجهاز العصبي، وقد يؤدي التعرض المزمن له إلى انخفاض القدرات الإدراكية وحدوث حالات تسمم الدم (EFSA, 2022). ومن ثمّ فإن تناول أسماك تحتوي على تراكيز مرتفعة من هذه المعادن قد يشكّل خطرًا صحيًا واضحًا، ولا سيما في المجتمعات التي تعتمد على الأسماك كغذاء رئيسي.كما تسهم الخصائص البيولوجية والبيئية للأسماك في تحديد مستويات المعادن داخل أجسامها. فالأنواع القاعية غالبًا ما تُظهر تراكيز أعلى من المعادن الثقيلة مقارنة بالأسماك التي تعيش قرب السطح، نتيجة ارتباط هذه المعادن بالرواسب التي تشكل بيئة غذائية لهذه الأنواع (El-Moselhy et al., 2014). كذلك تختلف مستويات التراكم بين أعضاء الجسم المختلفة مثل الكبد والخياشيم والعضلات، وتتأثر بعوامل مثل عمر السمكة وحجمها ونوعها والظروف البيئية المحيطة. وبالنظر إلى هذه العوامل مجتمعة، تبرز الحاجة إلى تقييم مستويات المعادن الثقيلة في الأسماك، خاصة في المناطق الواقعة قرب مصادر محتملة للتلوث، مثل مصبات مياه الصرف ومحطات المعالجة والمناطق الصناعية الساحلية ومواقع الأنشطة النفطية. ويُعد هذا التقييم خطوة أساسية لضمان سلامة المستهلك، والتأكد من التزام الأسماك المتداولة في الأسواق بالحدود المسموح بها وفقًا للمعايير الدولية مثل تلك الصادرة عن WHO و FAO و EU Regulation 1881/2006.

وبناءً على ما سبق، تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تراكيز المعادن الثقيلة في بعض الأنواع السمكية المنتشرة بمنطقة الدراسة، وتقييم مدى خطورتها على الصحة العامة من خلال مقارنتها بالحدود القياسية العالمية، وذلك بما يساعد على تقديم توصيات علمية يمكن الاستفادة منها في دعم قرارات الجهات المعنية بالصحة والرقابة الغذائية.

مواد وطرق البحث:

1. جمع العينات:

تم الحصول على عينات سمكة المرجان الأحمر (*Pagellus erythrinus*) من الأسواق المحلية بمدينة طبرق، نظراً لأهميتها الاقتصادية وانتشارها الواسع بين المستهلكين. بلغ عدد العينات المستخدمة في الدراسة 20 عينة جُمعت عشوائياً لضمان تمثيل مناسب للأسماك المتداولة في السوق، ولتقدير مستويات تراكم المعادن الثقيلة بشكل دقيق.

2. نقل العينات وحفظها:

بعد جمع العينات وُضعت الأسماك داخل صناديق مبردة بالثلج (Ice Boxes) لضمان الحفاظ على جودة الأنسجة ومنع حدوث أي تغيرات فيزيولوجية قبل التحليل. ثم نُقلت العينات مباشرة إلى معمل كلية الموارد الطبيعية – قسم الموارد البحرية، بحيث لم تتجاوز مدة النقل ساعتين لضمان سلامة العينات وحفظ خصائصها.

3. القياسات المورفومترية:

في المختبر أُجريت القياسات المورفومترية الأساسية لكل عينة باستخدام أدوات قياس دقيقة، وشملت:

* الطول الكلي للسمكة (سم)

* الطول القياسي (سم)

وتهدف هذه البيانات إلى دراسة العلاقة المحتملة بين الخصائص الحيوية للعينات ومستويات تراكم المعادن الثقيلة في العضلات.

4. تحضير العينات للتحليل:

تم فصل أنسجة العضلات (Muscles) بعناية لأنها الجزء الأكثر استهلاكاً من قِبل الإنسان، وبالتالي تمثل الأساس في تقييم مخاطر المعادن الثقيلة. تضمنت مراحل التحضير ما يلي:

1. تقطيع العضلات إلى أجزاء صغيرة متجانسة.
2. تجفيف العينات في فرن حراري عند 105°C حتى الوصول إلى وزن ثابت.
3. طحن العينات المجففة باستخدام مطحنة معملية للحصول على مسحوق ناعم ومتجانس.
4. وزن كمية تتراوح بين 0.5–1 غرام من كل عينة لإجراء عملية الهضم الكيميائي.

5. عملية هضم العينات (الطريقة المرجعية)

تم إجراء عملية الهضم وفق الطريقة القياسية المعتمدة في:

AOAC (2005), Official Methods of Analysis – Method 999.10

وشملت خطوات الهضم ما يأتي:

إضافة حمض النتريك المركز (HNO_3 65%) إلى العينة.

إضافة حمض البيركلوريك ($HClO_4$) أو حمض الهيدروكلوريك (HCl) حسب المتبع في المختبر.

تسخين العينات تدريجياً على سخان كهربائي حتى الحصول على محلول صافٍ وخالٍ من الرواسب.
بعد اكتمال عملية الهضم، تمت تصفية المحلول وتخفيفه بالماء المقطر إلى الحجم المناسب لإجراء القياسات.

6. قياس تراكيز المعادن الثقيلة

تم تحديد تراكيز المعادن الثقيلة في أنسجة العضلات داخل مختبر الأمان باستخدام جهاز:
(Atomic Absorption Spectrophotometer AAS)

وقد شمل التحليل العناصر الآتية:

الرصاص (Pb)

الكادميوم (Cd)

المنجنيز (Mn)

النيكل (Ni)

الزنك (Zn)

وأُجري معايرة الجهاز باستخدام محاليل قياسية معتمدة لضمان دقة القياس. كما تم تحليل كل عينة مرتين (Duplicates) للحصول على متوسط موثوق.

7. التحليل الإحصائي

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS ، وشملت الإجراءات الإحصائية ما يلي:

الإحصاء الوصفي (المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري).

اعتُمِد مستوى دلالة إحصائية يساوي $0.05 \geq p$* لتحديد أهمية الفروق بين القيم.

الدراسات السابقة

تُعدّ دراسة المعادن الثقيلة في جسم الأسماك من الموضوعات البيئية المهمة؛ نظراً لقدرة هذه المعادن على التراكم الحيوي داخل أنسجة الأسماك وانتقالها عبر السلسلة الغذائية إلى الإنسان. وقد ركّزت العديد من الدراسات السابقة على تقييم مستويات المعادن الثقيلة مثل الرصاص (Pb)، والكادميوم (Cd)، والزئبق (Hg)، والزرنيخ (As) في أنواع مختلفة من الأسماك البحرية والعذبة، مع دراسة تأثيرها على صحة الأسماك والإنسان، أشارت دراسة Environmental Toxicology أجراها Tolkou وآخرون (2023) إلى أن المعادن الثقيلة تُعد من أخطر الملوثات البيئية في النظم المائية بسبب قدرتها على التراكم داخل أنسجة الأسماك لفترات طويلة. كما أوضحت الدراسة أن الزئبق والكادميوم والرصاص تُظهر تأثيرات سامة واضحة على النمو والتكاثر والوظائف الحيوية للأسماك، إضافة إلى مخاطرها الصحية على الإنسان عند استهلاك الأسماك الملوثة، وفي دراسة أخرى أجراها Schmitt و Brumbaugh (1990)، تم تحليل تراكيز المعادن الثقيلة في أسماك المياه العذبة بالولايات المتحدة خلال الفترة 1976–1984، وأظهرت النتائج انخفاضاً تدريجياً في تراكيز الرصاص والكادميوم نتيجة تطبيق القوانين البيئية، بينما استمرت بعض المعادن في التراكم داخل الأنسجة العضلية والكبدية للأسماك. كما أكدت الدراسة أهمية المراقبة البيئية المستمرة للأسماك بوصفها مؤشراً حيوياً للتلوث المائي. كما أوضحت دراسة المغربية التي أجراها Chahid وآخرون (2014) أن تراكيز الرصاص والكادميوم والزئبق في بعض الأسماك البحرية بالمحيط الأطلسي كانت ضمن الحدود المسموح بها أوروبياً، إلا أن اختلاف مستويات التراكم بين الأنواع السمكية

ارتبط بطبيعة التغذية والبيئة المائية وموقع العيش. واعتمدت الدراسة على تقنية الامتصاص الذري في تقدير تراكيز المعادن الثقيلة داخل العضلات السمكية، وفي منطقة البحر المتوسط، بيّنت دراسة Renieri وآخرين (2014) أن أسماك البحر المتوسط تُظهر مستويات متفاوتة من التراكم الحيوي للرصاص والكادميوم والزئبق، مع وجود ارتباط بين زيادة التلوث الصناعي وارتفاع تراكيز المعادن داخل الأنسجة السمكية. كما أشارت الدراسة إلى أن الاستهلاك المستمر للأسماك الملوثة قد يسبب مخاطر صحية مزمنة للإنسان، خصوصاً فيما يتعلق بالجهاز العصبي والكبد والكلى، وأظهرت دراسة Berg وآخرين (2000) أن موقع جمع العينات يؤثر بصورة كبيرة على تراكم المعادن الثقيلة داخل الأسماك، حيث سُجلت تراكيز أعلى للزئبق والكادميوم والرصاص في الأسماك المأخوذة من المضائق البحرية مقارنة بالمناطق الساحلية المفتوحة، مما يدل على تأثير الظروف البيئية المحلية في زيادة تراكم الملوثات المعدنية، كما تناولت دراسة Ciardullo وآخرين (2008) التراكم الحيوي للزرنيخ والكادميوم والرصاص والزئبق في أسماك التراوت، وأوضحت أن الكبد والكلى والخياشيم تُعد من أكثر الأعضاء قدرةً على تخزين المعادن الثقيلة مقارنة بالعضلات، مع زيادة التراكم بزيادة عمر السمكة وحجمها، وفي دراسة مصرية حديثة أجراها Abdelkhalek وآخرون (2021) على أسماك السردين والماكريل من ساحل البحر المتوسط، تبين وجود تراكيز متفاوتة من الزئبق والرصاص والكادميوم، مع بقاء معظم العينات ضمن الحدود المسموح بها صحياً، إلا أن بعض العينات أظهرت ارتفاعاً نسبياً بعد عمليات الطهي والشواء.

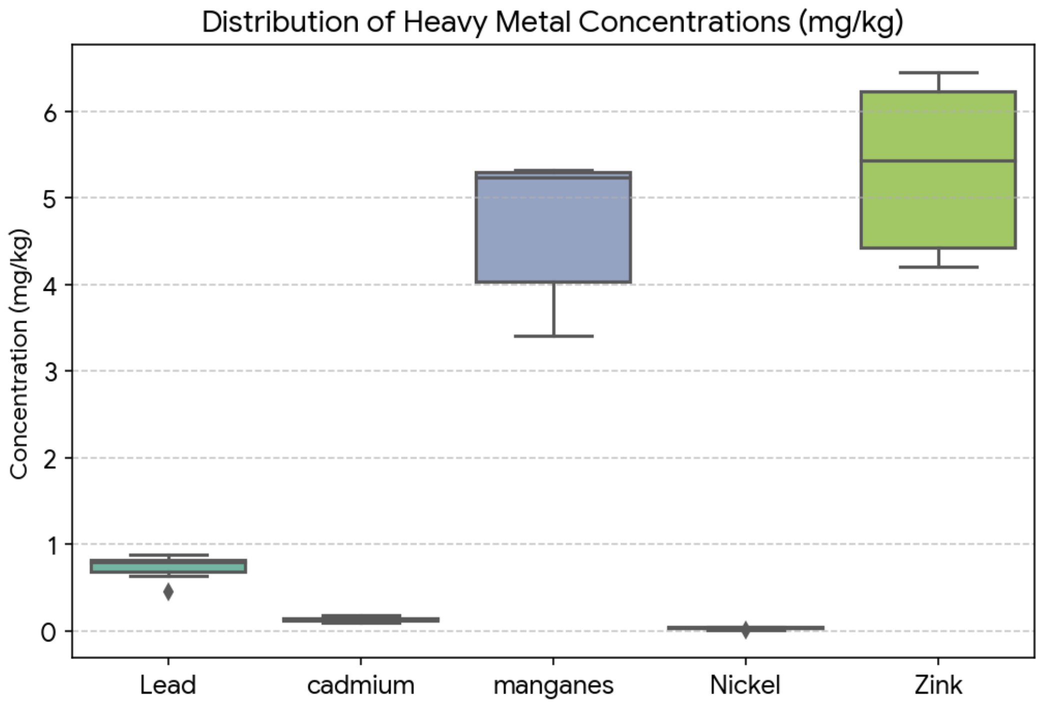
9- النتائج والتوصيات

تم إجراء التحليل الإحصائي لبيانات تركيز المعادن الثقيلة في أنسجة سمكة المرجان الأحمر .شمل التحليل 19 عينة، حيث تم قياس تركيزات) الرصاص، الكادميوم، المنجنيز ، النيكل، الزنك (بوحدة) مجم/كجم .(تم استخدام اختبار (One-Sample t-test) لمقارنة المتوسطات الحسابية للعينات مع الحدود القصوى المسموح بها عالمياً لضمان سلامة الاستهلاك الآدمي.

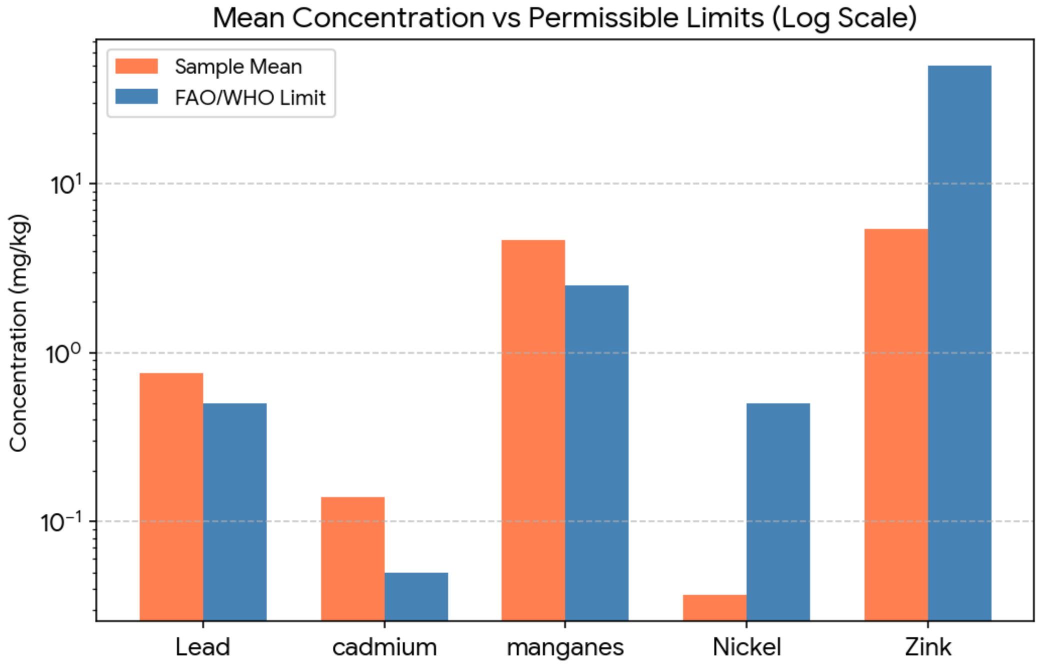
جدول يوضح النتائج الإحصائية ومقارنة الحدود القياسية

المعدن	المتوسط	الانحراف المعياري	أقل قيمة	أعلى قيمة	الحد المسموح	P-Value	النتيجة
Lead	0.756	0.106	0.456	0.881	0.5	3.76e-09	يتجاوز الحد) خطر(
cadmium	0.139	0.024	0.102	0.182	0.05	3.82e-12	يتجاوز الحد) خطر(
manganes	4.678	0.767	3.410	5.320	2.5	3.07e-10	يتجاوز الحد) خطر(
Nickel	0.037	0.014	0.010	0.054	0.5	4.87e-29	ضمن الحد)آمن(
Zink	5.412	0.843	4.210	6.450	50.0	1.07e-32	ضمن الحد)آمن(

(FAO/WHO):تم افتراض الحدود التالية بناءً على مراجع
الرصاص0.5=، الكادميوم0.05=، المنجنيز2.5=، النيكل0.5=، الزنك 50.0=مجم



الشكل 1 التوزيع التكراري لتركيز كل معدن في العينات المدروسة



الشكل 2 مقارنة بين متوسط التركيز في العينات والحد المسموح به مقياس لوغاريتمي

المناقشة العلمية

تشير النتائج الإحصائية إلى أن بعض المعادن الثقيلة تجاوزت الحدود العالمية الموصى بها للاستهلاك البشري، مما قد يمثل خطراً صحياً عند الاستهلاك المستمر لهذه الأسماك .ويُعزى تراكم المعادن الثقيلة في أنسجة الأسماك إلى قدرتها على امتصاص الملوثات من المياه والرواسب البحرية ومن السلسلة الغذائية .كما أن ارتفاع تراكيز

الرصاص والكادميوم يُعد مؤشراً على وجود تلوث ناتج عن الأنشطة البشرية مثل تصريف المخلفات الصناعية ومياه الصرف غير المعالجة.

وتتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات البيئية التي أكدت أن الأسماك البحرية تعتبر من أهم المؤشرات الحيوية لتقييم جودة البيئة البحرية ومستوى التلوث بالمعادن الثقيلة، خلصت الدراسة إلى وجود تفاوت في تراكيز المعادن الثقيلة داخل جسم سمكة المرجان الأحمر، مع تجاوز بعض العناصر الحدود العالمية المسموح بها، الأمر الذي يستدعي إجراء مراقبة دورية لجودة البيئة البحرية والأسماك المستهلكة لضمان السلامة الغذائية وحماية الصحة العامة.

التوصية :يُنصح بالحذر في استهلاك هذه الأسماك بكميات كبيرة نظراً لارتفاع مستويات الرصاص والكادميوم، ويُوصى بإجراء دراسات بيئية واسعة لتحديد مصادر التلوث في بيئة هذا النوع من الأسماك

قائمة المراجع :

1- Abdelkhalek, N. K. M., Ghazy, E. W., & Abdel-Daim, M. M. (2021). Residual contents and health risk assessment of mercury, lead and cadmium in sardine and mackerel from the Mediterranean Sea Coast, Egypt. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103749.
2- Ali, H., & Khan, E. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 103–120.
3- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed., Method 999.10). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
4- Berg, V., Ugland, K. I., Hareide, N. R., Groenningen, D., & Skaare, J. U. (2000). Mercury, cadmium, lead, and selenium in fish from a Norwegian fjord and off the coast. *Journal of Environmental Monitoring*, 2(4), 375–377.
5- Chahid, A., Hilali, M., Benlhachimi, A., & Bouzid, T. (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic Sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 147, 357–360.
6- Ciardullo, S., Aureli, F., Coni, E., Guandalini, E., Iosi, F., Raggi, A., ... & Cubadda, F. (2008). Bioaccumulation potential of dietary arsenic, cadmium, lead, mercury, and selenium in organs and tissues of rainbow trout. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(7), 2442–2451.
7- Codex Alimentarius Commission. Guidelines for food contaminants.
8- El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., El-Azem, H. A., & El-Metwally, M. E. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from the Red Sea and assessment of potential health risk. *Journal of Marine Systems*, 140, 109–121.
9- European Food Safety Authority (EFSA). (2022). Lead dietary exposure and health risk assessment. *EFSA Journal*, 20(5), 1–45.

10-FAO. Permissible limits for contaminants in fish and fish products.
11-Renieri, E. A., Alegakis, T., Kiriakakis, M., Vinceti, M., et al. (2014). Cd, Pb and Hg biomonitoring in fish of the Mediterranean region and risk estimations on fish consumption. *Toxics*, 2(3), 417–442.
12-Schmitt, C. J., & Brumbaugh, W. G. (1990). National contaminant biomonitoring program: concentrations of arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, and zinc in U.S. freshwater fish, 1976–1984. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19, 731–747.
13-Tolkou, A. K., Toubanaki, D. K., & Kyzas, G. Z. (2023). Detection of arsenic, chromium, cadmium, lead, and mercury in fish: effects on the sustainable and healthy development of aquatic life and human consumers. *Sustainability*, 15(23), 16242.
14-United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Global Pollution Outlook*. UNEP Publishing.
15-World Health Organization (WHO). (2021). *Methylmercury exposure and health effects*. WHO Press.
16-World Health Organization (WHO). Standards for heavy metals in seafood.