دولة ليبيا

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الزاوية

إدارة الدراسات العليا والتدريب

كلية العلوم ـ قسم الأحياء – شعبة علم الحيوان

تقييم تركيز المعادن الثقيلة في أسماك الكوالي من الساحل الليبي (الزاوية) وتقييم الخطر على صحة الإنسان

Evaluation of Heavy Metals Concentration in *Scomber japonicus* from the Libyan Coastal (Al-Zawia) and Estimation of the Risk to Human Health

بحث مقدم لنيل درجة الإجازة العالية (الماجستير) في علم الحيوان

مقدم من الطالبة:

نرمين خيري الطاهر الشيخ

إشراف

د .عبد العالي خليفة علي الطويل د .عبد الكريم محمد البشير

خريف 2025

الأية القرأنية

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{وَهُوَ الَّذِي سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُوا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُونَهَا}

سورة النحل :الآية (14)

الإهداء

قالى تعالى: ﴿وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ عَظِيمًا﴾

ما سلكت البدايات إلا بتيسيره، وما بلغت النهايات إلا بتوفيقه، وما حققت الغايات إلا بفضله، فالحمد لله قولاً وعملاً، والحمد لله على التمام والإنجاز.

إلى والديَّ العزيزين، مصدر القوة والدعم.

إلى زوجي العزيز، الذي كان سندي وعوني في كل خطو، إلى ابني الغالي الذي منح أيامي معنى وبهجة.

وإلى عائلتي وأصدقائي الذين شاركوني الجهد والدعاء.

أهدي هذا العمل لكل من كان سببا في أن أصل إلى ما أنا عليه اليوم،

الحمد لله أولاً وآخراً على ما كنت وما أصبحت عليه.

الباحثة

الشكر والتقدير

قال تعالي {ومن يشكر فإنما يشكر لنفسه} (سورة لقمان:12)

وقال رسول الكريم صلى الله عليه وسلم: "من لم يشكر الناس، لم يشكر الله عز وجل" أحمد الله تعالى حمدا كثيرا طيبا مباركا ملئ السماوات والأرض على ما أكرمني به من إتمام هذه الرسالة.

أتقدم بجزيل الشكر إلى المشرف الأول الدكتور **عبد العالي خليفة علي الطويل**، والمشرف الثاني الدكتور **عبد الكريم محمد البشير**، على دعمهم المستمر وإشرافهم المثمر.

أتقدم بالشكر إلى مركز وادي ماسين لتغديات البيئية على حسن تعاونهم معنا، وما قدموه من جهود وخدمات مميزة خلال سير العمل.

كما يسعدني ويشرفني أن أتقدم بخالص الشكر والعرفان، إلى إدارة الدراسات العليا وأعضاء هيئة التدريس بكلية العلوم، إلى الأساتذة الأفاضل الذين قاموا بتحكيم هذه الرسالة، مهما تقدمنا وفتحت أمامنا طريق النجاح ما كانت كلمات الشكر التي أسطرها لتعطي ذي حق حقه ولا تفي لصاحب الفضل بفضله إنما هي غيض من فيض وقليل من كثير، فمهما عبرنا لهم، فالكلمات قليلة بحقهم.

الباحثة

قائمة المحتويات

ت	لموضـــــــوع	الصفحة
1	الآية القرآنية	ا
2	الإهداء	ب
3	الشكر والتقدير	ج
4	قائمة المحتويات	د
5	قائمة الجداول	و
6	قائمة الأشكال	ز
7	الملخص	ح
8	Abstract	ط
9	لاختصارات	ك
	1. الفصل الأول: المقدمة Introduction	
1.1	المقدمة Introduction	2
2.1	مشكلة الدراسة Problem of the study	3
3.1	أهمية الدراسة Importance of the study	4
4.1	أهداف الدراسة Aims of the study	4
	2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة Literature review	
1.2	الدراسات ت العلمية السابقة	6
	3. الفصل الثالث: المواد والطرق Methodology	
1.3	مواقع الدراسة study location	16
2.3	جمع العينات Sampling	16
3.3	تحضير العينات Samples preparation	16

4.3	الكواشفReagents	16
5.3	هضم العينات Samples digestion	17
6.3	تحليل العينات Samples analysis	17
7.3	مطياف الكتلة للبلازما المقترنة حثيًا (ICP-MS)	17
8.3	التحقق وحساب دقة النتائج	18
9.3	ضبط الجودة وضمانها	18
10.3	تقدير الخطر من تناول الاسماك على الإنسان	18
11.3	التحليل الاحصائي	19
	4. الفصل الرابع: النتائج Results	
1.4	النتائج	21
2.4	تحليل كل النتائج	37
3.4	مقارنة بين الانسجة	38
4.4	مقارنة تركيز العناصر الثقيلة في الاسماك بين المناطق	38
	5. الفصل الخامس: المناقشة Discussion	
1.5	مناقشة النتائج	40
	6. الفصل السادس: الاستنتاجات والتوصيات **Conclusion and Recommendations**	
1.6	الاستنتاجات Conclusions	44
2.6	التوصيات Recommendations	45
-	المراجع References	46

قائـــــمة الجـــــداول

ت	الجدول	الصفحة
1.3	يحدد اعدادات التشغيلية لجهاز ICP -MS (Elan 900 Perkin Elmer, USA)	18
2.3	يبين تقدير الخطر الصحي صادر عن وكالة حماية البيئة الامريكية	19
1.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في كبد سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في منطقة ديلة	22
2.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في الخياشيم سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في منطقة ديلة	24
3.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في العضلات سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في منطقة ديلة	27
4.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في كبد سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في مصفاة الزاوية	29
5.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في الخياشيم سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في مصفاة الزاوية	32
6.4	يبين تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في العضلات سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر في مصفاة الزاوية	35

قائمة الأشكـــــال

ت	الشكل	الصفحة
1.4	يبين تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	22
2.4	يبين تركيز الزنك في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	23
3.4	يبين تركيز الكادميوم في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	23
4.4	يبين تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	25
5.4	يبين تركيز الزنك في الخياشيم سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	25
6.4	يبين تركيز الكادميوم في الخياشيم سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	25
7.4	بين تركيز الرصاص في الخياشيم سمك الكوالي لا شهر الدراسة في منطقة ديلة	27
8.4	يبين تركيز الزنك في الخياشيم سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	27
9.4	يبين تركيز الكادميوم في العضلات سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	28
10.4	يبين تركيز الرصاص في العضلات سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	30
11.4	يبين تركيز الزنك في العضلات سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	30
12.4	يبين تركيز الكادميوم في العضلات سمك الكوالي لأشهر الدراسة في منطقة ديلة	31
13.4	يبين تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	33
14.4	يبين تركيز الزنك في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	33
15.4	يبين تركيز الكادميوم في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	34
16.4	يبين تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لأشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	36
17.4	يبين تركيز الزنك في الخياشيم سمك الكوالي لأشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	36
18.4	يبين تركيز الكادميوم في الخياشيم سمك الكوالي لأشهر الدراسة في مصفاة الزاوية	37

الملخــص Abstract

في هذه الدراسة تم تقييم تركيز المعادن الثقيلة (الرصاص، الكادميوم، الزنك) في عينات من أسماك الكوالي (*Sardinella aurita*) التي تم جمعها من مدينة الزاوية بالساحل الغربي لليبيا، وتحديد مدى خطورتها على صحة الإنسان عند استهلاكها .تم جمع العينات خلال الفترة من يونيو إلى ديسمبر 2024 ، حيث تم تجفيف في فرن تم هضمها بجهاز المايكروويف تم تحليل الأنسجة (الكبد، الخياشيم، العضلات) باستخدام تقنيا التحليل الطيفي (ICP-MS) لتحديد تركيز المعادن.

أظهرت نتائج التحليل في منطقة ديلة أن أعلى تراكيز للعناصر الثقيلة سُجلت في الكبد خلال شهر يونيو، حيث بلغت قيم الزنك حوالي 1.9 ملغم/كغم، والكادميوم 0.7، والرصاص 0.3 ملغم/كغم، أما في الخياشيم سُجلت أعلى التراكيز في شهر أغسطس، حيث بلغ الرصاص 0.39، الزنك 2.3، والكادميوم 0.11 ملغم/كغم، كانت العضلات الأقل تراكمًا للعناصر الثقيلة، حيث بلغت القيم القصوى في أغسطس، الرصاص 0.12، الزنك 0.45، والكادميوم 0.07 ملغم/كغم.

عند الانتقال إلى منطقة الزاوية الصناعية، نلاحظ ارتفاعًا واضحًا في تراكيز العناصر الثقيلة، حيث سجل الكبد أعلى القيم في شهر يونيو بتركيز بلغ 0.8 للرصاص، و2.2 للزنك، و1.4 للكادميوم، هذا الارتفاع يعكس التأثير المباشر للنشاط الصناعي والنفطي في المنطقة، أظهرت نتائج الخياشيم في منطقة الزاوية ارتفاعًا ملحوظًا في تراكيز المعادن الثقيلة خلال شهر أغسطس، حيث بلغت القيم 0.45 ملغم/كغم للرصاص، و2.9 للزنك، و0.25 للكادميوم، يُلاحظ هنا أن هذه التراكيز أعلى بوضوح من مثيلاتها في منطقة ديلة، أظهرت نتائج العضلات أن التراكيز كانت أقل من الأعضاء الأخرى، حيث بلغت القيم القصوى في أغسطس 0.13 للرصاص، و0.48 للزنك، و0.09 للكادميوم.

أظهرت النتائج أن متوسط تركيزات المعادن كانت ضمن الحدود المسموح بها دوليًا في معظم العينات، باستثناء بعض العينات التي سجلت ارتفاعًا طفيفًا في تركيز الرصاص .تم تقييم الخطر الصحي من خلال حساب معامل الخطرTarget Hazard Quotient (THQ) ومؤشر الخطر الكلي Hazard Index (HI)، وأظهرت النتائج أن استهلاك هذه الأسماك لا يشكل خطرًا صحيًا كبيرًا على المستهلكين، إلا أن استمرار المراقبة ضروري لضمان السلامة الغذائية.

Abstract

In this study, the concentrations of heavy metals (lead, cadmium, and zinc) were evaluated in samples of Sardinella aurita collected from Al-Zawiya on the western coast of Libya, in order to assess their potential health risks to consumers. Samples were collected from June to December 2024. After drying the samples in an oven, the tissues (liver, gills, and muscles) were digested using a microwave digestion system, and the concentrations of heavy metals were determined using Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (ICP-MS).

The analytical results for the Dila area showed that the highest concentrations of heavy metals were recorded in the liver during June, where zinc reached approximately 1.9 mg/kg, cadmium 0.7 mg/kg, and lead 0.3 mg/kg. In the gills, the highest levels were recorded in August: lead 0.39 mg/kg, zinc 2.3 mg/kg, and cadmium 0.11 mg/kg. Muscles showed the lowest accumulation of heavy metals, with peak values in August: lead 0.12 mg/kg, zinc 0.45 mg/kg, and cadmium 0.07 mg/kg.

In the industrial area of Al-Zawiya, a noticeable increase in heavy metal concentrations was observed. The liver recorded the highest values in June: lead 0.8 mg/kg, zinc 2.2 mg/kg, and cadmium 1.4 mg/kg, reflecting the direct influence of industrial and petroleum activities in the region. The gills also showed elevated metal levels in August, reaching 0.45 mg/kg for lead, 2.9 mg/kg for zinc, and 0.25 mg/kg for cadmium—significantly higher than those recorded in Dila. Muscle tissues remained the least affected, with maximum values in August: lead 0.13 mg/kg, zinc 0.48 mg/kg, and cadmium 0.09 mg/kg.

Overall, the results indicated that the mean concentrations of heavy metals were within internationally permissible limits for most samples, except for slight

elevations in lead levels in some cases. Health risk assessment was conducted using the Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI), and the findings suggested that consumption of these fish does not pose a significant health risk to consumers. However, continuous monitoring is recommended to ensure food safety.

قائمة الاختصارات Abbreviations

الاختصار	المعنى
Cd	Cadmium
Pb	Lead
Zn	Zinc
DW	Deionized water
WHO	World Health Organization
FAO	Food and Agriculture Organization
THQ	Target Hazard Quotient
HI	Hazard Index
Hg	Hydrargyrum
As	Arsenic
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
THQ	Target Hazard Quotient

:

الفصل الأول

المقدمة Introduction

1 المقدمـــة Introduction

تُعد البيئة البحرية من أهم الأنظمة البيئية التي تدعم التنوع الحيوي، وتساهم بشكل كبير في تأمين الغذاء للإنسان، ومع ذلك تعرضت هذه البيئة خلال العقود الماضية إلى تدهور ملحوظ نتيجة للأنشطة البشرية المتزايد، مثل: التصريف الصناعي، والزراعي، والمخلفات البلدية، ما أدى إلى زيادة تراكم الملوثات في الوسط البحري، وعلى رأسها المعادن الثقيلة. (Phillips & Rainbow, 1994)

تُعرف المعادن الثقيلة بأنها عناصر كيميائية ذات كثافة عالية، وسُمية بيولوجية مؤثرة حتى بتراكيز منخفضة، وتعد من أخطر ملوثات البيئة البحرية نظراً لقابليتها للتراكم الحيوي، والانتقال عبر السلسلة الغذائية (Tchounwou *et al*., 2012) . وعند استهلاك الإنسان لكائنات بحرية ملوثة بهذه المعادن قد يتعرض لمخاطر صحية متعددة تشمل التأثيرات العصبية، الكلوية، وأمراض القلب، إضافة إلى التأثيرات المسرطنة لبعض الأنواع ، مثل: الزنك ، والرصاص ، والكادميوم (Jaishankar *et al*., 2014).

تُعد الأسماك من أهم المصادر الغذائية البروتينية للبشر، ولكن حساسيتها للتلوث بالمعادن الثقيلة تجعلها مؤشراً بيولوجياً ممتازاً لرصد الحالة البيئية للمسطحات المائية (Burger & Gochfeld, 2005) وقد أظهرت دراسات عديدة أن تركيز المعادن الثقيلة في أنسجة الأسماك يعتمد على عدة عوامل، منها: نوع السمكة، موقعها الجغرافي، ومستوى التلوث البيئي المحيط (Storelli *et al.,* 2005). وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط، وخاصة على طول السواحل الليبية تتزايد المخاوف بشأن تلوث الأحياء البحرية نتيجة للأنشطة الصناعية الساحلية، ما يهدد جودة الأسماك، وصحة المستهلكين المحليين (El-Barasi *et al.,* 2014) ، وعلى الرغم من بعض الدراسات المحدودة التي تناولت مستويات المعادن الثقيلة في الأسماك الليبية فإن هناك نقصًا واضحًا في البيانات المتعلقة ببعض الأنواع التجارية الهامة ، مثل: أسماك الكوالي (*Scomber japonicus*) ، خاصة في منطقة الزاوية التي تشهد تزايدًا في الأنشطة البشرية والصناعية ، وتُعتبر المعادن الثقيلة في البيئة البحرية من أبرز الملوثات التي يصعب التخلص منها نظرًا لخواصها الفيزيائية والكيميائية التي تمنحها القدرة على الثبات لفترات طويلة، ما يؤدي إلى تراكمها داخل الكائنات البحرية، وانتقالها عبر السلاسل الغذائية . (Rainbow, 2002) وقد أظهرت الأبحاث أن بعض أنواع الأسماك خاصة الأنواع القاعية والمفترسة تمتلك تركيزات مرتفعة من هذه المعادن بسبب ظاهرة التراكم الأحيائي (Bodin *et al.,* 2013). وتؤدي عدة عوامل دوراً محورياً في تحديد معدلات تراكم المعادن الثقيلة داخل الأحياء البحرية، منها: درجة تلوث المياه، طبيعة الرواسب البحرية، نوع الغذاء الذي تستهلكه الكائنات، بالإضافة إلى

خصائصها الفسيولوجية كالعمر، الجنس، والقدرة على التمثيل الغذائي (Usero *et al.,* 2005) ، وفي هذا السياق حظيت أسماك الكوالي (*Scomber japonicus*) باهتمام علمي خاص باعتبارها من الأنواع الاقتصادية المهمة، نظراً لقيمتها الغذائية العالية واستهلاكها الواسع من قبل السكان. وتشير العديد من الدراسات إلى أن التلوث بالمعادن الثقيلة في المناطق الساحلية لا يقتصر تأثيره على الكائنات البحرية فقط، بل يمتد ليشكل تهديدًا حقيقيًا على صحة الإنسان عبر استهلاك الأسماك، والمنتجات البحرية الملوثة (Storelli & Marcotrigiano, 2003) ومن أبرز المعادن ذات القلق الصحي: الرصاص (Pb) ، الكادميوم (Cd) ، الزئبق (Hg) ، والزرنيخ (As) ؛ إذ أدرجتها منظمة الصحة العالمية [WHO] ضمن قائمة المواد السامة عالية الخطورة (World Health Organization 2011).

وفي ظل غياب رقابة بيئية شاملة في بعض المناطق الساحلية الليبية تزداد الحاجة لإجراء دراسات علمية دقيقة لرصد مستويات هذه الملوثات، وتقييم المخاطر الصحية المرتبطة بها، وتُعد هذه الدراسة واحدة من المحاولات المهمة لسد الفجوة المعرفية المتعلقة بجودة الأسماك الليبية، ومدى سلامتها للاستهلاك البشري، ومن ثم فإن نتائج هذه الدراسة ستسهم بشكل مباشر في دعم السياسات الصحية والبيئية من خلال توفير بيانات علمية موثوقة يمكن الاستناد عليها في تطوير برامج الرقابة على الأغذية البحرية، وتعزيز الوعي العام بمخاطر التلوث البيئي.

2.1 مشكلة الدراسة Problem of the study

تُعدّ البيئة البحرية في منطقة الزاوية، وخاصة في محيط مصفاة الزاوية ومنطقة ديلة، معرضة بشكل متزايد للتلوث بسبب الأنشطة الصناعية، والنفطية، والصرف الصحي، ويُعدّ تراكم المعادن الثقيلة، مثل: الرصاص (Pb)، والكادميوم (Cd)، والزنك (Zn) في الأسماك من أخطر مظاهر هذا التلوث، نظرًا لقدرتها على التراكم الحيوي، وانتقالها عبر السلسلة الغذائية إلى الإنسان.

ورغم الأهمية الاقتصادية والغذائية لسمك الكوالي (*Scomber japonicus*) في ليبيا فإن البيانات المحلية حول مستويات هذه المعادن في أنسجته محدودة جدًا، خاصة في المناطق الصناعية، مثل: مصفاة الزاوية. هذا النقص في المعلومات يُعيق تقييم المخاطر الصحية المحتملة الناتجة عن استهلاك هذه الأسماك من قبل السكان المحليين، وبذلك تبرز الحاجة الملحة لإجراء دراسات علمية دقيقة لرصد هذه الملوثات، وتحديد مدى خطورتها على الصحة العامة.

3.1 أهمية الدراسة Importance of the study

توفّر الدراسة قياسات حديثة لتركيز المعادن الثقيلة في أسماك الكوالي في منطقتين مختلفتين بيئيًا (مصفاة الزاوية، ومنطقة ديلة)، ما يساعد على تحديد درجة التلوث في البيئة البحرية من خلال تحليل محتوى المعادن في عضلات السمك، وتقدير معامل الخطر (THQ)، ومؤشر الخطر الكلي (HI)، وبذلك تساعد الدراسة في تحديد مدى خطورة استهلاك الأسماك الملوثة على صحة الإنسان.

تسد الدراسة فجوة معرفية واضحة في مجال مراقبة التلوث البحري في الساحل الليبي، وهي بذلك تُعد من أوائل الدراسات التي تركز على منطقة الزاوية.

توفر النتائج قاعدة بيانات علمية يمكن الاعتماد عليها في وضع إستراتيجيات للرقابة البيئية والغذائية في المناطق الساحلية، خاصة القريبة من مصادر التلوث الصناعي.

4.1 أهداف الدراسة Aims of the study

1 تقييم ومقارنة تركيز العناصر الثقيلة في خياشيم وكبد وعضلات.

2 مقارنة تركيز العناصر في أشهر ومواقع مختلفة من منطقة الدراسة.

3 تقييم الخطر الصحي الناتج عن استهلاك هذه الأسماك على الانسان.

الفصل الثاني

الدراسات السابقة Literature review

2 الدراســـات الســـابقة Literature review

أجرى كل من Storelliو Marcotrigiano سنة 2005 دراسة بعنوان "بقايا المعادن الثقيلة في أنسجة السلاحف البحرية" (Heavy metal residues in tissues of marine turtles)، وذلك في إطار تقييم التراكم الحيوي للمعادن السامة في أنواع متعددة من السلاحف البحرية، مثل سلحفاة لوجرهيد (*Caretta caretta*) ، والسلحفاة الخضراء (*Chelonia mydas*)، وسلحفاة جلدية الظهر (*Dermochelys coriacea*)، شملت الدراسة تحليل أنسجة من سلاحف تم جمعها من عدة مواقع، منها: البحر الأدرياتيكي، شواطئ قبرص، اليابان، فرنسا، المملكة المتحدة، وهاواي، وقد ركزت التحاليل على أنسجة العضلات، الكبد، والكلى، وقد أظهرت النتائج أن أعلى تركيز للزئبق وُجد في الكبد، بينما كان أعلى تركيز للكادميوم في الكلى، وأما الرصاص فقد وُجد بكميات أكبر في العظام والدرع الخارجي (Carapace)، كما أشارت الدراسة إلى أن الزئبق في العضلات كان في الغالب على شكل ميثيل الزئبق (Methylmercury)، في حين كان في الكبد بشكل غير عضوي، وبالنسبة للعناصر الأساسية فقد تبين أن الكبد يحتوي على أعلى نسب من النحاس، والحديد، في حين تركز الزنك في الأنسجة الدهنية، والعظام. كما أظهرت الدراسة اختلافًا واضحًا في تراكيز المعادن الثقيلة بين أنواع السلاحف المدروسة، وارتبطت هذه الفروقات بنوعية الغذاء، حيث إن السلاحف ذات النظام الغذائي اللحمي، مثل: سلحفاة لوجرهيد أظهرت مستويات أعلى من المعادن الثقيلة مقارنة بالأنواع الأخرى، وشملت الدراسة كذلك تحليل مكونات البيض، حيث وُجد أن معظم المعادن تتركز في صفار البيض، وأن قدرة الأم على التخلص من المعادن السامة مثل الزئبق والكادميوم عبر البيض كانت محدودة، وأغيراً أوصت الدراسة بضرورة الاستمرار في رصد تراكيز المعادن الثقيلة في السلاحف البحرية نظرًا لكونها كمؤشرات حيوية لحالة التلوث في البيئات البحرية.(Storelli & Marcotrigiano, 2005)

أجريت دراسة بواسطة (Hendricks ,2018) بعنوان "تجمع الطفيليات في سمك الإسقمري الياباني (*Scomber japonicus*) قبالة سواحل جنوب إفريقيا"، قُدمت كجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في العلوم من جامعة كيب تاون بجنوب إفريقيا، هدفت هذه الدراسة إلى توصيف مجتمع الطفيليات الذي يصيب أسماك الإسقمري الياباني (المعروف محليًا باسم "تشب ماكرل")، وتحليل العوامل البيولوجية المرتبطة بالعائل مثل (الحجم، الجنس، والموقع) التي تؤثر في

مؤشرات العدوى الطفيلية، شملت الدراسة تحليل (152) عينة من *Scomber japonicus* ، تراوحت أطوالها بين (99 - 514) مم، وقد تم جمعها من مناطق مختلفة على طول الساحل الجنوب إفريقي بين عامي (2016 -2017)، تم رصد ما مجموعه (16) نوعًا من الطفيليات، تم تحديد (9) منها إلى مستوى النوع، و(6) إلى مستوى الجنس، بالإضافة إلى نوع غير معروف من الأكياس الطفيلية، وقد ضمت مجموعة الطفيليات ما يلي: الديدان الأسطوانية (الأسكاريدية): (Anisakis simplex و*Contracaecum sp*)، الديدان المفلطحة (التريميات): (6) أنواع منها (*Opechona bacillaris*, *Lecithocladium sp*) الديدان أحادية المنشأ (Monogenea): منها (*Pseudokuhnia minor*)، الديدان الشوكية الرأس (Acanthocephala): نوع واحد (*Rhadinorhynchus pristis*)، المثقوبات الشريطية (Cestoda): نوع واحد (*Tentacullariacoryphaenae*)، الطفيليات الدقيقة (Myxozoa) مثل: (*Kudoa thyrsites*)، القشريات الطفيلية (Copepoda): نوع واحد (*Clavellisa scombri*)، كيس طفيلية غير محددة، أظهرت الدراسة أن العامل الأكثر تأثيرًا على شدة وانتشار العدوى الطفيلية كان حجم السمكة، حيث إن الأسماك الأكبر سنًا كانت أكثر عرضة للإصابة نتيجة لفترات تعرض أطول، وعادات غذائية مختلفة مقارنة بالأفراد الأصغر سنًا، كما لوحظ وجود تباين مكاني واضح في الإصابة بأنواع معينة من الطفيليات، مثل: (*Anisakis simplex* و *Rhadinorhynchus pristis*)، وأظهرت التحاليل تفضيلًا واضحًا لبعض الطفيليات للأقواس الخيشومية الخارجية، أبرزت الدراسة أهمية استخدام الطفيليات كمؤشرات حيوية لدراسة البنية السكانية، والتنوع البيئي، ودعت إلى مزيد من الدراسات حول دور الطفيليات في النظام البيئي البحري بجنوب إفريقيا.
(Hendricks, 2018)

أجريت دراسة بواسطة (Yemmen *et.al.,* 2022)، بعنوان "المخاطر المحتملة المرتبطة باستهلاك أسماك عائلة الإسقمريات: مخاطر العدوى والسمّية"، نُشرت في (Journal of Applied Microbiology)، هدفت الدراسة إلى تقييم مدى تعرض المستهلكين لمخاطر الطفيليات والسموم البيولوجية والكيميائية عند استهلاك أسماك تنتمي إلى فصيلة Scombridae، والتي تشمل أنواعًا مثل سمك الماكريل، التونة، والبونيتو. تمت مراجعة الأدبيات المتعلقة بوجود الطفيليات (مثل Anisakis spp)، والسموم الناتجة عن البكتيريا (مثل Histamine الناتج عن التحلل البكتيري للأحماض الأمينية)، بالإضافة إلى تراكم المعادن الثقيلة مثل الزئبق، والزنك،

والكادميوم في عضلات وكبد الأسماك. وأشارت الدراسة إلى أن استهلاك لحوم هذه الأسماك قد يؤدي إلى الإصابة بأمراض، مثل: الأنيساكياسيس (*Anisakiasis*)، والتسمم الهيستاميني (*Histamine Poisoning*)، خاصة في حال عدم اتباع ممارسات الحفظ، والتبريد، والتجهيز السليمة. أكدت الدراسة على أن خطورة العدوى أو التسمم تعتمد على عدة عوامل، مثل: طريقة إعداد السمك (نيء أو مطبوخ)، ومدة الحفظ، ودرجة الحرارة، ومستوى التلوث البيئي الذي تتعرض له الأسماك، كما أوصت باستخدام الأساليب الحديثة في الكشف المبكر عن الطفيليات، والسموم الكيميائية من أجل ضمان سلامة المستهلك. تُعد هذه الدراسة ذات أهمية بالغة لكونها تسلط الضوء على الأخطار الصحية المرتبطة باستهلاك أسماك شائعة الانتشار والتداول عالميًا، كما أنها توصي بوضع لوائح رقابية أكثر صرامة على تداول المنتجات السمكية، خاصة في الدول النامية. (Yemmen *et.al*., 2022)

أظهرت دراسة اجريت بواسطة (Gherbali *et al*., 2019) أن الأسماك القريبة من مصبات الأنهار والمناطق الصناعية في مدينة مصراتة تحتوي على تراكيز أعلى من المعادن الثقيلة مقارنة بتلك الأسماك التي تعيش في مناطق مفتوحة من البحر، وكانت النتائج كالآتى: الكبد كان الأعلى تراكمًا للمعادن (Zn: 0.3 - 117 µg/g ،Cd: 0.01 - 1.9 µg/g ،- Pb: 0.1 - 5.6 µg/g)، والعضلات كانت الأقل تراكماً، من ثم الأقل خطورة. (Gherbali *et al*. 2019)

أجرى كل من Bae وLim سنة 2013 دراسة بعنوان "دراسة مقارنة لتركيز الزئبق والرصاص والخصائص الكيميائية في سمك الكوالي الياباني والكوري (*Scomber japonicus*) في بحر الصين الشرقي"، نُشرت في مجلة African Journal of Agricultural Research.هدفت الدراسة إلى تحليل تركيز المعادن الثقيلة (الزئبق والرصاص)، وبعض الخصائص الكيميائية الأخرى في أسماك الكوالي التي تم اصطيادها من منطقتين مختلفتين: قبالة ساحل ناغازاكي في اليابان، وقبالة جزيرة جيجو في كوريا الجنوبية.تم استخدام خمس عينات من كل نوع (الماكريل الياباني والماكريل الكوري)، وتم قياس تراكيز الزئبق، والرصاص باستخدام أجهزة متخصصة. أظهرت النتائج أن تركيز الزئبق في الماكريل الياباني بلغ 0.08 ± 0.01 ملغم/كغم، بينما كان في الماكريل الكوري 0.05 ± 0.01 ملغم/كغم، وهو فرق ذو دلالة إحصائية ($p<0.05$) أما تركيز

الرصاص فقد بلغ 0.02 ± 0.01 ملغم/كغم في الأسماك اليابانية و0.01 ±، و0.00 ملغم/كغم في الأسماك الكورية، أي: من بدون فروق إحصائية كبيرة. وأوصت الدراسة بمواصلة الرصد البيئي للأسماك في مناطق الصيد المختلفة نظرًا لأهمية هذه الأنواع من الأسماك في السلسلة الغذائية البشرية. (Lim& Bae,2013)

أجريت دراسة بواسطة (Philip and Rainbow, 2002) بعنوان "تتبع تركيزات المعادن في اللافقاريات المائية: نُشرت في مجلة Environmental Pollution. هدفت الدراسة إلى تحليل أنماط تراكم المعادن (الزنك والنحاس والكادميوم) في أنسجة اللافقاريات المائية، مع التركيز على القشريات كمثال تطبيقي، ومحاولة تفسير التباين الكبير في تركيزات هذه المعادن بين الأنواع المختلفة من اللافقاريات. أوضحت الدراسة أن كل اللافقاريات المائية تميل إلى امتصاص المعادن من الوسط المائي، أو من الغذاء، وبينت الدراسة أن بعض الأنواع مثل *Palaemon elegans* (أحد القشريات العشرية الأرجل) تنظم تركيز الزنك داخل أجسامها من خلال موازنة الامتصاص، والإخراج، بينما أنواع أخرى مثل البرنقيل (Barnacles) لا تقوم بالإخراج، بل تخزن المعادن في شكل حبيبات معدنية معزولة، كما ناقشت الدراسة أهمية استخدام اللافقاريات كمؤشرات حيوية لرصد التغيرات الجغرافية والزمنية في مستويات التلوث بالمعادن في النظم البيئية المائية.(2002 (Philip and Rainbow,

أجرى Usero et al سنة (2005) دراسة بعنوان "المعادن الثقيلة في الأسماك (*Solea vulgaris, Anguilla anguilla* و*Liza aurata*) من مروج الملح على الساحل الجنوبي الأطلسي لإسبانيا"، نُشرت في مجلة (Environment International). هدفت الدراسة إلى تحليل تراكيز عشرة معادن ثقيلة في أنسجة العضلات والكبد لثلاثة أنواع من الأسماك التي تعيش في أربعة خزانات مياه بحرية تستخدم في الاستزراع المائي الواسع على الساحل الجنوبي الأطلسي لإسبانيا، وتحديد ما إذا كانت صالحة للاستهلاك البشري، الأنواع التي تم تحليلها شملت:سمك موسى (*Solea vulgaris*) و الأنقليس الأوروبي (*Anguilla anguilla*) و البوري الرمادي (*Liza aurata*)، تم جمع عينات من أربعة خزانات: خزانان في منطقة نهر أوديل (*Bacuta* و*Liebre*) الملوثة، وخزانان في خليج قادس (San Juan وSan Carlos) الأقل تلوثًا، وتم تحليل

تراكيز معادن مثل: الزئبق، الكادميوم، النحاس، الحديد، الزنك، المنغنيز، النيكل، الرصاص، الكروم والزرنيخ. أظهرت النتائج أن تراكيز المعادن في الكبد كانت أعلى بكثير منها في العضلات، وبلغت عوامل الإثراء للكبد مقارنة بالعضلة أكثر من 100 للحديد، والنحاس، وحوالي 5 للزنك، النيكل، الكادميوم، والرصاص. وكانت أعلى التراكيز مسجلة في خزان Liebre الذي تبيّن أنه الأكثر تلوثًا، وفيما يتعلق بالسلامة الغذائية كانت تراكيز المعادن في العضلات لجميع الأنواع أقل من الحدود القانونية الإسبانية للاستهلاك البشري، بينما تجاوز النحاس هذه الحدود في الكبد في كل الأنواع في خزانات أوديل. وبناءً عليه أوصت الدراسة بمراقبة استخدام الكبد في التغذية نظراً لاحتمال تراكُم المعادن الثقيلة فيه. وخلصت الدراسة إلى أن نوع السمك يؤثر على نمط تراكم المعادن، حيث إن البوري الرمادي كان الأعلى في تراكم المعادن في الكبد، في حين أن الأنقليس أظهر أعلى تراكم في العضلات، وأكدت أن سمك موسى هو الأفضل استخدامًا كمؤشر حيوي لتقييم التلوث بالمعادن في النظم البيئية البحرية. (Usero *et al.,* 2005)

تم اجراء دراسة بواسطة (Taweel *et al*., 2011) بعنوان:"تركيزات المعادن الثقيلة في أعضاء مختلفة من سمك البلطي (*Oreochromis niloticus*) من مناطق مختارة من بانجي، سيلانجور، ماليزيا"، نُشرت في مجلة African Journal of Biotechnology هدفت الدراسة إلى تقييم تراكيز ستة عناصر معدنية ثقيلة الرصاصPb ، الكادميومCd ، الكرومCr ، النحاسCu ، النيكل Ni، الزنك Zn في أعضاء مختلفة (الكبد، الخياشيم، والعضلات) من أسماك البلطي التي جُمعت من خمسة مواقع في منطقة بانجي: بركة A وB، نهر لانجات، بحيرة شامباكا، وبحيرة الهندسة وقد تم جمع ثلاث عينات من الأسماك من كل موقع، وقُدرت تراكيز المعادن باستخدام جهاز مطياف الكتلة البلازمي (ICP-MS) ، وأظهرت النتائج أن أعلى تركيزات للمعادن الثقيلة كانت في الكبد، تليها الخياشيم، ثم العضلات، وكانت القيم الأعلى بشكل عام من المواقع الطبيعية (الأنهار، والبحيرات) مقارنةً ببرك الاستزراع، على سبيل المثال بلغ أعلى تركيز للرصاص Pb في الكبد 4.80 ± 0.84 ميكروغرام/غرام (وزن جاف) في نهر لانجات، وبلغ الكادميوم Cd في الكبد 0.70 ± 0.17 ميكروغرام/غرام في بحيرة الهندسة، كما بلغ الزنك Zn في العضلات 45 ± 08 ميكروغرام/غرام في نفسه الموقع على الرغم من أن تراكيز المعادن الثقيلة في الكبد والخياشيم كانت مرتفعة نسبيًا، فإن تركيزها في العضلات – وهي الجزء القابل للأكل – كانت ضمن الحدود المسموح بها

للاستهلاك البشري بحسب المعايير الدولية(الاتحاد الأوروبي FAO/WHO)، وخلصت الدراسة إلى أن موقع جمع العينات يؤثر بشكل كبير على تراكم المعادن، وأن البيئة الطبيعية أكثر عرضة للتلوث بالمعادن الثقيلة مقارنةً ببرك الاستزراع، كما أوصت الدراسة بأهمية مراقبة تراكيز المعادن في البيئة المائية وأسماكها لضمان سلامة المستهلك.(Taweel *et al*., 2011)

أجريت دراسة بواسطة(Shreadah , 2018) بعنوان:"التراكم الحيوي والتغيرات الموسمية للمعادن الثقيلة في عضلات نوعين من الأسماك التجارية من بحيرة قارون، مصر"، نُشرت في مجلة Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries، هدفت الدراسة إلى تقييم مستويات التلوث بالمعادن الثقيلة في عضلات نوعين من الأسماك التجارية من بحيرة قارون، وهما: البوري الرمادي (*Mugil cephalus*)، والبلطي (*Tilapia zillii*)، وتم جمع العينات خلال أربعة فصول على مدار عام 2017، وتم تحليل تركيزات ستة معادن ثقيلة: الرصاص (Pb)، الكادميوم (Cd)، الزنك (Zn)، النحاس (Cu)، الحديد (Fe)، والمنغنيز (Mn) باستخدام تقنيات مطيافية الامتصاص الذري، وأظهرت النتائج أن أعلى تراكيز المعادن الثقيلة سجلت في فصل الصيف، وتراوحت التراكيز على النحو التالي: الرصاص: 0.45–1.12 ملغم/كغم ، والكادميوم: 0.03–0.09 ملغم/كغم، والحديد: حتى 19.4 ملغم/كغم، والزنك: حتى 7.6 ملغم/كغم، وقد وُجد أن سمك البوري (*Mugil cephalus*) يحتوي على تراكيز أعلى من المعادن الثقيلة مقارنةً بالبلطي، ما يعكس اختلافات في أنماط التغذية والبيئة المائية، كما لوحظت فروق موسمية معنوية في التراكم، إذ كانت معظم المعادن أكثر تركيزًا في الصيف بسبب انخفاض معدل تجديد مياه البحيرة، وزيادة التبخر، ما يرفع تركيز الملوثات، وقد أشارت نتائج تقييم المخاطر الصحية (THQ و CR) إلى أن تركيزات المعادن لم تتجاوز الحدود المسموح بها وفق معايير منظمة الصحة العالمية (WHO)، وهيئة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA)، وبذلك فإن استهلاك هذه الأسماك لا يمثل خطرًا كبيرًا على صحة الإنسان، وأوصت الدراسة بأهمية استمرار الرصد البيئي للبحيرة خاصةً في المواسم الحارة، وضبط النشاط البشري والصناعي في محيطها.(Shreadah , 2018)

أجرى كل من Aktanو Tekin-Özan سنة 2012 دراسة بعنوان "مستويات بعض المعادن الثقيلة في المياه وأنسجة سمك الكوالي (*Scomber japonicus*) بالمقارنة مع الخصائص

الفيزيائية والكيميائية، الفصول، وحجم الأسماك"، نُشرت في Journal of Animal and Plant Sciences، هدفت الدراسة إلى تقييم تركيز عشرة معادن ثقيلة، (هي: الزرنيخ، الباريوم، الكوبالت، الكادميوم، الكروم، النحاس، الحديد، المنغنيز، النيكل، والزنك) في عينات مياه البحر، وفي أنسجة سمك الكوالي (العضلات، الكبد، الخياشيم) من خليج أنطاليا، تركيا خلال أربعة فصول، تم جمع 60 عينة سمكية (15 لكل فصل) بين أكتوبر 2009 ويوليو 2010 من ثلاث محطات في الخليج، وقياس الخصائص الفيزيائية للمياه، مثل: درجة الحرارة، الأكسجين المذاب، الملوحة، والأس الهيدروجيني، أظهرت التحاليل فروقًا معنوية في تراكيز المعادن حسب الفصل والموقع، حيث كانت التراكيز الأعلى للعديد من المعادن خلال فصلي الربيع والشتاء، وأظهرت النتائج أن أعلى تركيز للزرنيخ (As) سُجّل في العضلات في الشتاء بمتوسط 30.39 ملغم/كغم، وهو يتجاوز الحد التركي المسموح به للاستهلاك البشر أما الزنك (Zn) فقد بلغ في الكبد خلال الشتاء 98.15 ملغم/كغم، كما بلغ الحديد (Fe) في الكبد في الشتاء 4021 ملغم/كغم، وهي مستويات مرتفعة جدًا، كما أظهرت الدراسة أن الكبد والخياشيم كانتا الأكثر تراكمًا للمعادن مقارنة بالعضلات، أشارت التحاليل الإحصائية إلى وجود علاقة ارتباط معنوية بين تركيز المعادن وبعض المتغيرات، مثل: درجة الحرارة، والملوحة، وحجم السمكة (الطول والوزن)، لوحظت علاقات سالبة بين حجم السمكة، وتركيز المعادن في بعض الأنسجة.خلصت الدراسة إلى أن خليج أنطاليا يشهد تلوثًا موسميًا واضحًا بالمعادن الثقيلة نتيجة النشاط البشري والصناعي، وأن السمك الكبير يميل إلى تراكم كميات أقل من المعادن مقارنةً بالأسماك الأصغر، وأوصت الدراسة بمواصلة الرصد البيئي وتقييم المخاطر الصحية لاستهلاك هذه الأسماك، خاصةً عند تجاوز التراكيز الحدود الآمنة حسب المعايير التركية والأوروبية.(Aktan, Tekin-Özan, 2012)

أجريت دراسة بواسطة (Omayma *et al.,* 2015) بعنوان: "تقييم تراكم المعادن الثقيلة في بعض الأنواع المائية التي جُمعت من منطقة مصافي السويس حتى العين السخنة"، نُشرت في International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research، هدفت الدراسة إلى قياس تراكيز عدد من المعادن الثقيلة مثل: (الألمنيوم، الزنك، الرصاص، النحاس، الحديد، المنغنيز، الكادميوم، الكالسيوم، المغنيسيوم، والسترونشيوم...) في أنسجة الكبد، والخياشيم، والعضلات لعشرة أنواع من الأسماك القاعية والسطحية في منطقة خليج السويس، وقد

تم جمع العينات من 10 محطات مختلفة تمتد من مصافي السويس إلى العين السخنة، وتم تحليل العينات باستخدام تقنية ICAP (Inductively Coupled Argon Plasma)، وأظهرت النتائج أن العضلات كانت الأقل تراكمًا للمعادن، في حين كانت الكبد والخياشيم الأكثر تراكمًا، تبعًا لنوع المعدن، وتم تسجيل أعلى تراكم للزنك، والرصاص، والحديد، والموليبدينوم في الكبد، بينما تركز الألمنيوم، والنحاس، والكالسيوم في الخياشيم، ومن بين النتائج البارزة، أن تركيز الكادميوم والرصاص في عضلات نوعين من الأسماك (*Sauridaundo squamis*، و *Rhabdosargus haffara*) تجاوز الحدود المسموح بها للاستهلاك البشري وفقًا لمعايير الاتحاد الأوروبي، ومع ذلك فإن المدخول اليومي التقديري من المعادن الثقيلة (EDI) الناتج عن استهلاك الأسماك لم يتجاوز الحدود الآمنة المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية، ومنظمة الأغذية والزراعة، وخلصت الدراسة إلى أن الأسماك المأخوذة من خليج السويس عمومًا آمنة للاستهلاك البشري، ولكن أوصت بضرورة الرصد البيئي المستمر نظرًا للتأثيرات الصناعية والأنشطة البحرية في المنطقة، كما أكدت على أن نمط تراكم المعادن يختلف بين الأنواع السمكية، ويعتمد على السلوك الغذائي، والبيئة المحلية.(Omayma *et al*., 2015)

أجرى (Taweel *et al*., 2013) دراسة بعنوان "تقييم مستويات النجاس والرصاص والزرنيخ في أسماك البلطي من بحيرة شامباكا (بانجي، ماليزيا) وتقدير معدل الاستهلاك البشري اليومي والأسبوعي"، نشرت في مجلة Biologia، هدفت الدراسة إلى تحديد تراكيز ثلاثة معادن ثقيلة (النحاس، الرصاص، الزرنيخ) في الكبد، والخياشيم، والعضلات لأسماك البلطي (Oreochromis niloticus) من بحيرة شامباكا خلال فترة امتدت من إبريل 2009 إلى فبراير 2010، وتقييم السلامة الصحية لاستهلاك هذه الأسماك. تم جمع 18 عينة من الأسماك على مدار ست فترات زمنية، وأجري تحليل المعادن باستخدام (ICP-MS). أظهرت النتائج أن الكبد كان الأعلى في تراكم المعادن، تليه الخياشيم، ثم العضلات، وكانت تراكيز النحاس في الكبد: 491.30 ميكروغرام/غرام، وفي العضلات: 1.82 ميكروغرام/غرام)، وتراكيز الرصاص في الكبد: 2.71 ميكروغرام/غرام، وفي العضلات: 0.48 ميكروغرام/غرام)، وكانت تراكيز الزرنيخ في الكبد: 6.26 ميكروغرام/غرام، وفي العضلات: 1.79 ميكروغرام/غرام)، كما تم حساب المدخول اليومي (EDI) والأسبوعي (EWI) من تناول هذه الأسماك استناداً إلى معدل استهلاك الفرد الماليزي البالغ

160 غراماً من الأسماك يومياً، وأظهرت نتائج نسبة الاستهلاك الأسبوعي إلى الحدود القصوى المسموح بها (PTWI) أن جميع المعادن الثلاثة كانت ضمن الحدود الآمنة باستثناء الزرنيخ الذي أظهر مستوى مخاطرة معتدلاً قيمته: (HQ= 1.5)، في حين كانت مستويات النحاس والرصاص أقل من الحدود (HQ< 1)، وخلصت الدراسة إلى أن استهلاك أسماك البلطي من بحيرة شامباكا امن بشكل عام، ولكن يجب مراقبة تراكيز الزرنيخ على وجه الخصوص، وأوصت بالمراقبة البيئية المنتظمة خاصة في المناطق المتأثرة بالنشاط الحضري والصناعي.(Taweel *et al*., 2013)

أجرى Taweel سنة 2015 أطروحة دكتوراه بعنوان: تركيز المعادن الثقيلة في أسماك البلطي (*Oreochromis niloticus*) من مواقع مختارة في سيلانجور (ماليزيا) وتقدير المخاطر الصحية"، قدمت إلى جامعة – UKM ماليزيا، هدفت الدراسة إلى تحديد مستويات بعض المعادن الثقيلة النحاسCu ، الكادميومCd ، الرصاصPb ، الزنكZn ، الكرومCr ، النيكل Ni في أنسجة البلطي (الكبد، الخياشيم، العضلات) التي جُمعت من عدة مواقع في ولاية سيلانجور، مع مقارنة بعينات من بحيرة عين كعام – ليبي، أظهرت النتائج أن تراكم المعادن كان الأعلى في الكبد، يليه الخياشيم ثم العضلات، في حين كانت تركيزات المعادن في عينات ليبيا أقل نسبيًا مقارنة بالمواقع الماليزية، كما أوضحت أن الأسماك التي جُمعت من المواقع الطبيعية (مثل: نهر لانغات وبحيرة شامباكا) سجلت تراكيز أعلى من تلك التي تم جمعها من برك الاستزراع من الناحية الصحية، تبين أن تراكيز المعادن في العضلات – الجزء القابل للاستهلاك – كانت تحت الحدود المسموح بها وفق معايير منظمة الصحة العالمية (WHO) ومنظمة الأغذية والزراعة(FAO) ، مما يشير إلى أن استهلاك هذه الأسماك لا يمثل خطورة صحية مباشرة (HQ < 1) بالإضافة إلى ذلك أُجريت تجارب سمية حادة (LC50) على إصبعيات البلطي باستخدام معادنCu ، Cd، Pb، Zn وأظهرت اختلافات في مستويات التحمل. خلصت الدراسة إلى أن الموقع الجغرافي يلعب دورًا مهمًا في تراكم المعادن الثقيلة في الأسماك، وأوصت بضرورة الاستمرار في برامج الرصد البيئي لضمان سلامة الاستهلاك البشري. (Taweel ,2015)

الفصل الثالث

المواد والطرق Materials and Methods

3 المواد والطرق Materials and Methods

دراسة ميدانية في منطقة الزاوية، بالساحل الغربي ليبيا، وتتميز منطقة الدراسة ببيئة ساحلية متنوعة، مايوفر بيئة مناسبة لتنوع الأحياء البحرية، تمثل هذه المنطقة نمودجاً مهماً لدراسة التنوع البيئي للمعادن الثقيلة في الكائنات البحرية.

1.3 مواقع الدراسة Study location

تم اختيار موقعين لجمع عينات الأسماك في مدينة الزاوية على الساحل الغربي لليبيا، تضمنت هذه المواقع:

1.منطقة مصفاة الزاوية: وهي منطقة صناعية ساحلية قد تتعرض لمصادر تلوث ناتجة عن النشاط الصناعي.

2. منطقة ديلة: وهي منطقة ساحلية طبيعية بعيدة عن النشاط الصناعي وتعتبر منطقة مرجعية.

2.3 جمع العينات Sampling

تم جمع ثلاث عينات من أسماك الكوالي (Sphyraena sphyraena) من كل موقع خلال أربعة أشهر هي: يونيو، أغسطس، أكتوبر، وديسمبر من عام 2024، ووُضعت العينات في أكياس بولي إيثيلين نظيفة وحفظت في الثلج، ونُقلت مباشرة إلى المختبر حيث تم تجميدها عند -20 °C حتى موعد التحليل.

3.3 تحضير العينات Samples preperation

بعد إذابة التجميد تم تشريح الأسماك للحصول على الكبد، الخياشيم، والعضلات. ثم جُففت العينات في فرن عند 80 °C لمدة يومين حتى ثبات الوزن، وطُحنت إلى مسحوق ناعم باستخدام هاون خزفي ومدقة.

4.3 الكواشف Reagents

تم استخدام أحماض عالية النقاوة من نوع HNO_3 (حمض النيتريك)، وH_2O_2 (فوق أكسيد الهيدروجين)، لتحضير العينات، كما تم استخدام الماء منزوع الأيونات في جميع عمليات التخفيف.

5.3 هضم العينات Samples digestion

تم فصل الأنسجة (الكبد، الخياشيم، والعضلات) باستخدام أدوات معقمة، جرى وزن حوالي 0.5 غرام من كل عينة في أوعية خاصة بالهضم الميكروويفي، ثم أضيف إليها 5 مل من حمض النيتريك المركز و2 مل من فوق أكسيد الهيدروجين، تمت عملية الهضم باستخدام جهاز الميكروويف (Milestone Model Start D, Italy عند درجة حرارة C°150 لمدة 20 دقيقة بعد الهضم، ثم تركت لتبرد لمدة 35 دقيقة، وتخفيفها إلى 50 مل بالماء منزوع الأيونات.

6.3 تحليل العينات Samples analysis

بعد التبريد تم تخفيف العينات إلى 50 مل للعضلات والخياشيم، و25 مل للكبد باستخدام ماء منزوع الأيونات، ثم تم ترشيحها باستخدام ورق ترشيح Whatman بفتحات 0.45 ميكرون، وتم تحديد تركيز المعادن الثقيلة (Pb، Cd، Zn) باستخدام مطياف الكتلة البلازمي المقترن حثيًا (ICP-MS)، موديل ELAN 9000 Perkin Elmer).

7.3 مطياف الكتلة للبلازما المقترنة حثيًا(ICP-MS)

تم تحليل تركيز المعادن الثقيلة باستخدام جهاز ICP-MS (Elan 9000 Perkin Elmer, USA) وفقًا للإعدادات التشغيلية المثلى (الجدول 1.3) .(Taweel ,2015)

جدول (1.3) يحدد اعدادات التشغيلية لجهاز ICP-MS (Elan 9000 Perkin Elmer, USA)

Characteristics	Instruments Condition
RF Generator	40 MHz
RF Power	1000 W
Spray Chamber	Ryton Scott
Nebulizer	Cross-flow
Plasma gas flow	15.0 L/min
Auxiliary gas flow	1.0 L/min
Nebulizer gas flow	0.60 L/min
Sampler & Skimmer cone	Nickel

8.3 التحقق وحساب دقة النتائج

تم استخدام المواد القياسية المرجعية (CRM) للتحقق من دقة النتائج، حيث تمت مقارنة القيم المقاسة بالقيم المعتمدة لضمان موثوقية التحليل.

9.3 ضبط الجودة وضمانها

تم اتباع إجراءات ضبط الجودة والتي تضمنت استخدام عينات فارغة، عينات مكررة، ومعايير داخلية، كانت نسبة الاسترداد للمعادن الثقيلة ضمن النطاق المقبول (90–110%) ، تم إجراء هذه التحاليل في مختبر خاص (وادي ماسين لتقنيات البيئية)، في مدينة طرابلس.

10.3 تقدير الخطر من تناول الاسماك على الإنسان

تُعد الأسماك من المصادر الغذائية المهمة في النظام الغذائي الليبي، ولا سيما في المناطق الساحلية إلا أن تراكم العناصر الثقيلة السامة في أنسجة الأسماك يمثل مصدر قلق حقيقي للصحة العامة؛ إذ يُعتبر الغذاء، وخاصة الأسماك، من المسارات الرئيسة لتعرّض الإنسان لتلك المعادن، ومن هذا المنطلق فإن تقييم المخاطر الصحية المرتبطة باستهلاك الأسماك الملوثة، مثل: سمك الكوالي (المُستهدف في هذه الدراسة) يُعد أمرًا بالغ الأهمية.

إلى جانب قيمتها الغذائية، توفر الأسماك فوائد صحية للسكان المحليين، وقد تم في هذه الدراسة تقييم الخطر الصحي الناجم عن استهلاك أسماك الكوالي من خلال تحليل تراكيز المعادن الثقيلة في عضلاتها (حسب الوزن الرطب)، ومقارنتها بمتوسط معدلات استهلاك الأسماك في ليبيا.

وفقًا لتقديرات منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2023) فإن متوسط استهلاك الأسماك لدى البالغين في ليبيا يُقدّر بـ 20 غرامًا يوميًا لكل شخص، وقد استُخدمت هذه القيمة أساساً لحساب جرعة التعرض اليومية للمعادن الثقيلة من خلال استهلاك أسماك الكوالي، وتجدر الإشارة إلى أن هذه القيمة أقل بكثير من متوسط الاستهلاك اليومي في بعض الدول الأخرى، مثل: ماليزيا (160 غرامًا/يوم)، مما قد يؤدي إلى اختلاف في مستوى التعرض الصحي بين الدول.

ولغرض تقدير الخطر الصحي تم الاعتماد على الجرعات المرجعية الفموية (Oral Reference Doses - RfD) الصادرة عن وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA, 2005a) كما هو موضح في الجدول (2.3).

جدول (2.3) يبين تقدير الخطر الصحي صادر عن وكالة حماية البيئة الامريكية

العنصر	Al	Co	As	Fe	Cd	Cu	Cr	Mn	Ni	Pb	Zn
RfD	0.04	0.02	0.0003	0.7	0.0005	0.04	0.003	0.14	0.02	0.002	0.3

وقد تم استخدام معامل الخطورة (Hazard Quotient - HQ) لتقدير المخاطر الصحية، وذلك وفقًا للمعادلة المُعتمدة من وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA, 2007b)، والتي تم استخدامها في العديد من الدراسات السابقة (مثل: Chen et al., 2024؛ Zhang et al., 2018):

$$(HQ) = (EF \times ED \times FIR \times C) / (RfD \times WAB \times TA \times 10^3)$$

حيث أن:

EF تكرار التعرض، ويُقدّر بـ 365 يومًا/سنة في حالة الاستهلاك

ED مدة التعرض، وتُفترض بـ 70 سنة (متوسط عمر الإنسان

FIR معدل استهلاك الأسماك في ليبيا، ويُقدّر بـ 20 غرامًا/يوم/فرد

C تركيز المعدن في عضلات سمك الكوالي (ميكروغرام/غرام، حسب نتائج التحليل)

RfD الجرعة المرجعية الفموية لكل عنصر

WAB متوسط وزن الجسم، وقد تم اعتماد القيمة المرجعية 64 كغ كما في الدراسات المماثلة

TA زمن التعرض الكلي = 365 يوم × 70 سنة = 25,550 يومًا.

11.3 التحليل الإحصائي:

تم اجراء التحليل الاحصائي باستعمال البرنامج الاحصائي SPSS الإصدار 27 لقياس المتوسطات الحسابية بين المواقع والشهور.

الفصل الرابع

النتائج Results

4. النـتـائـج Results

تم في هذه الدراسة تحليل تركيزات ثلاثة معادن ثقيلة (الرصاصPb ، الزنكZn ، والكادميوم Cd) في أنسجة سمك الكوالي (*Scomber japonicus*) من منطقتين ساحليتين (ديلة ومصفاة الزاوية) (خلال أربعة أشهر مختلفة (يونيو، أغسطس، أكتوبر، ديسمبر) ، وتمت الدراسة على ثلاثة أنواع من الأنسجة الحيوية :الكبد، الخياشيم، والعضلات.

أولآ: تحليل عينات منطقة ديلة:

1.1.4 الكبد Liver : أظهرت نتائج التحليل في منطقة ديلة أن تركيز المعادن في الكبد أسماك الكوالي خلال الأشهر المختلفة من عام 2024 منخفض انخفاضآ ملحوضآ مع مرور الوقت.

الرصاص (Pb):

حيث سجل تركيزالرصاص في شهر يونيو 0.3 ملغم/كغم، بينما سجلت أعلى تركيزللرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5ملغم/كغم) في شهر أغسطس، حيث بلغ تركيز 0.7 ملغم/كغم.

أما في شهري أكتوبر وديسمبر فلم يتم الكشف عن وجود الرصاص في العينات، وكانت نتيجة التركيز 0 ملغم/كغم.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 1.9 ملغم/كغم، بينما سُجل أعلى تركيزللزنك في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 2.1 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 1.5 ملغم/كغم، واستمر بالإنخفاض في ديسمبر، إلى 1.0 ملغم/كغم، والنتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

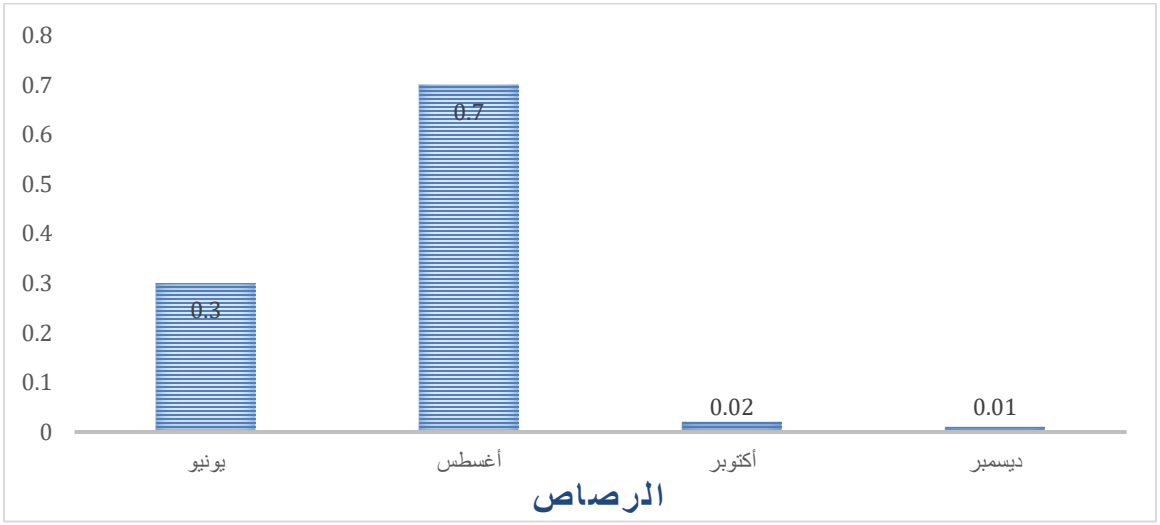
الكادميوم (Cd):

سجلت تركيزالكادميوم في شهر يونيو 0.7 ملغم/كغم بينما سجلت أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5 ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 1.2 ملغم/كغم.

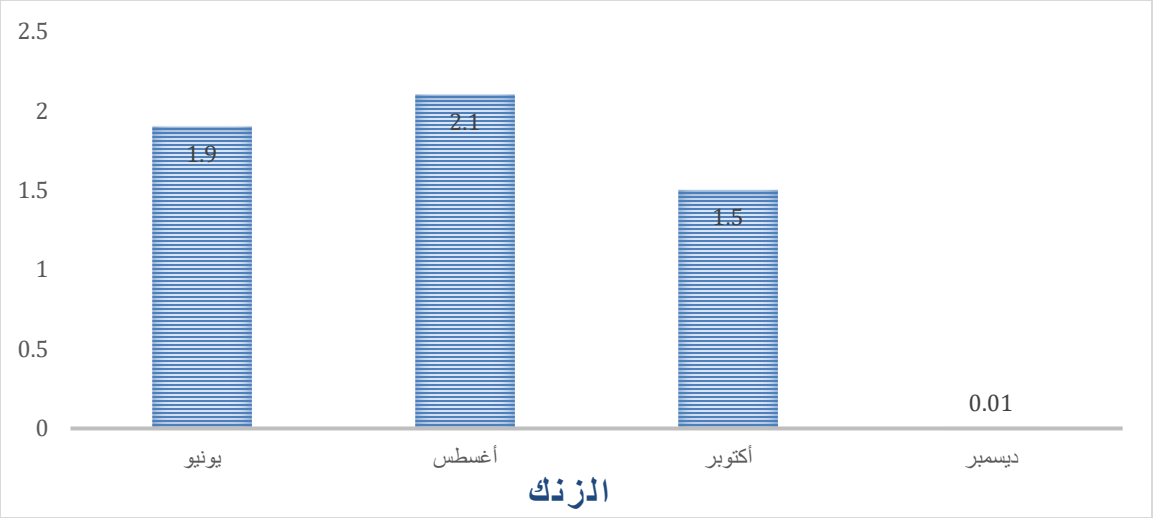
أما في شهرأكتوبر انخفض التركيز إلى 0.5 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.2 ملغم/كغم، وبهذا تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الكادميوم خلال النصف الثاني من العام.

جدول (1.4) يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في كبد سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة ديلة

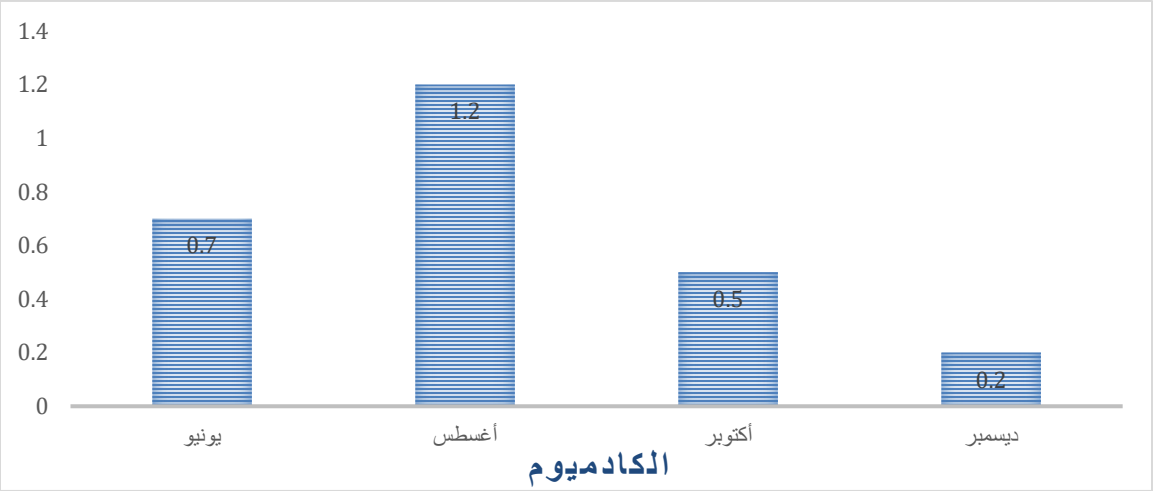
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.3 ملغم/كغم	1.9 ملغم/كغم	0.7 ملغم/كغم
أغسطس	0.7 ملغم/كغم	2.1 ملغم/كغم	1.2 ملغم/كغم
أكتوبر	0.02 ملغم/كغم	1.5 ملغم/كغم	0.5 ملغم/كغم
ديسمبر	0.01 ملغم/كغم	1.0 ملغم/كغم	0.2 ملغم/كغم



شكل 1.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 2.4 يبين نسبة تركيز الزنك في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 3.4 يبين نسبة تركيز الكادميوم في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة

2.1.4 الخياشيم Gills : أظهرت نتائج التحليل في منطقة ديلة أن تركيز المعادن في خايشيم أسماك الكوالي خلال الأشهر المختلفة من عام 2024 منخفض انخفاضاً ملحوضاً مع مرور الوقت.

الرصاص (Pb):

سجل تركيز الرصاص في شهر يونيو 0.35ملغم/كغم، بينما سُجل أعلى تركيز للرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.3ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.39 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.29 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.20 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الرصاص خلال النصف الثاني من العام.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 1.8 ملغم/كغم، بينما سُجل أعلى تركيز للزنك في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 2.3 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 1.3 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.9ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

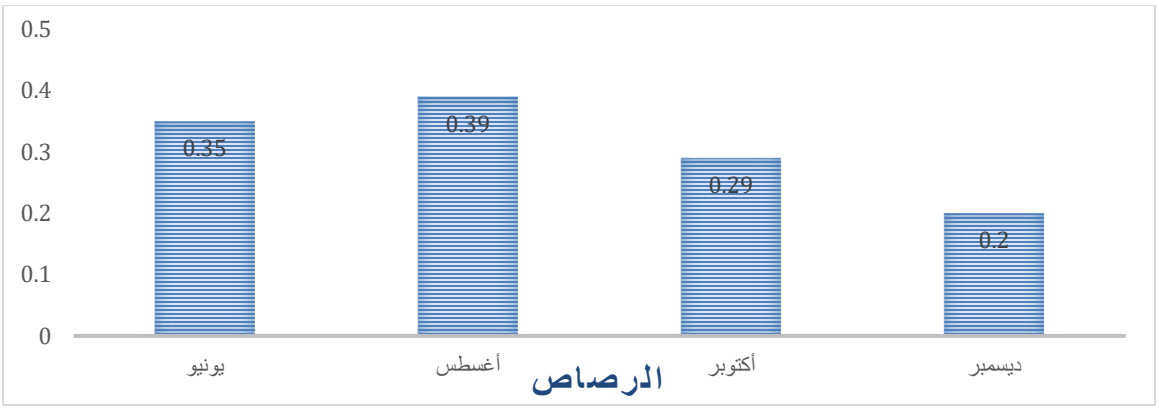
الكادميوم (Cd):

سجل تركيز الكادميوم في شهر يونيو 0.9 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ التركيز 0.11 ملغم/كغم.

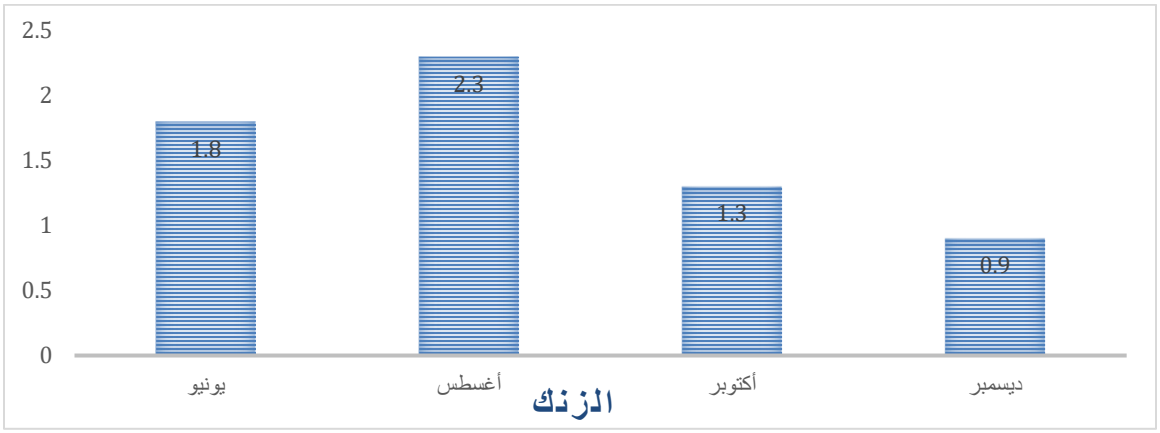
أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.6 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.1 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج الى وجود تراجع تدريجي في مستويات الكادميوم خلال النصف الثاني من العام.

جدول 2.4 يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في خياشيم سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة ديلة

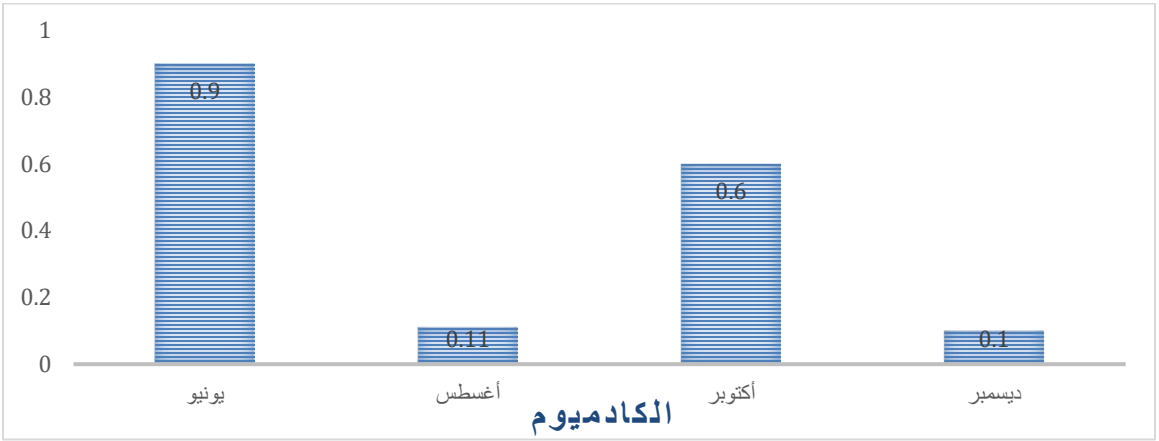
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.35 ملغم/كغم	1.8 ملغم/كغم	0.9 ملغم/كغم
أغسطس	0.39 ملغم/كغم	2.3 ملغم/كغم	0.11 ملغم/كغم
أكتوبر	0.29 ملغم/كغم	1.3 ملغم/كغم	0.6 ملغم/كغم
ديسمبر	0.20 ملغم/كغم	0.9 ملغم/كغم	0.1 ملغم/كغم



شكل 4.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في خياشيم سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 5.4 يبين نسبة تركيز الزنك في خياشيم سمك الكوالي لا+شهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 6.4 يبين نسبة تركيز الكادميوم في خياشيم سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة

3.1.4 العضلات Muscles : أظهرت نتائج التحليل في منطقة ديلة أن تركيز المعادن في عضلات أسماك الكوالي خلال الأشهر المختلفة من عام 2024 منخفض انخفاضاً ملحوضاً مع مرور الوقت.

الرصاص (Pb):

سجل تركيز الرصاص في شهر يونيو 0.09 ملغم/كغم، بينما سُجل أعلى تركيز للرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.3ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.12 ملغم/كغم.

أما في شهري أكتوبر وديسمبر فلم يتم الكشف عن وجود الرصاص في العينات، وكانت تركيز 0 ملغم/كغم.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 0.39 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للرصاص في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.45 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.34 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.25 ملغم/كغم، ما يشير إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

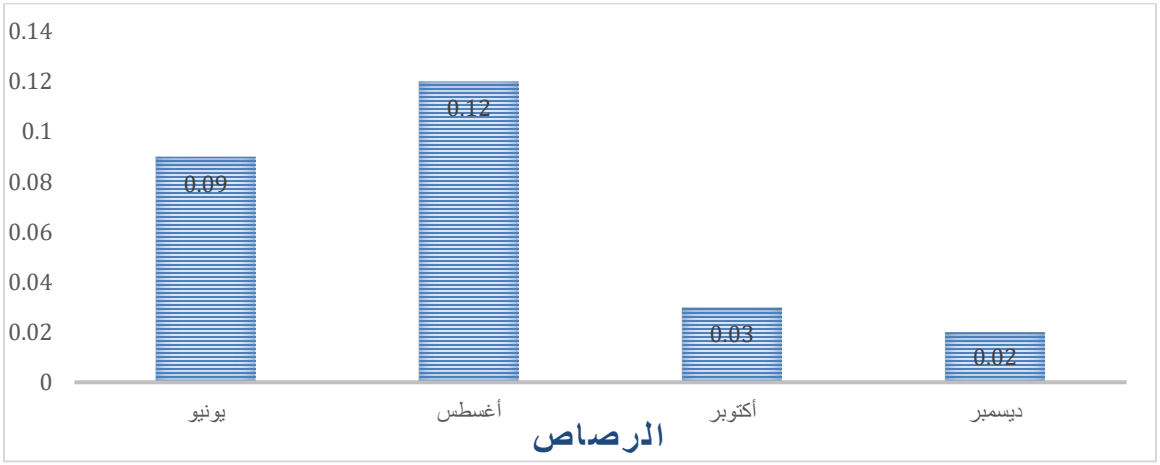
الكادميوم (Cd):

سجل تركيزالكادميوم في شهر يونيو 0.02 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.05ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.07 ملغم/كغم.

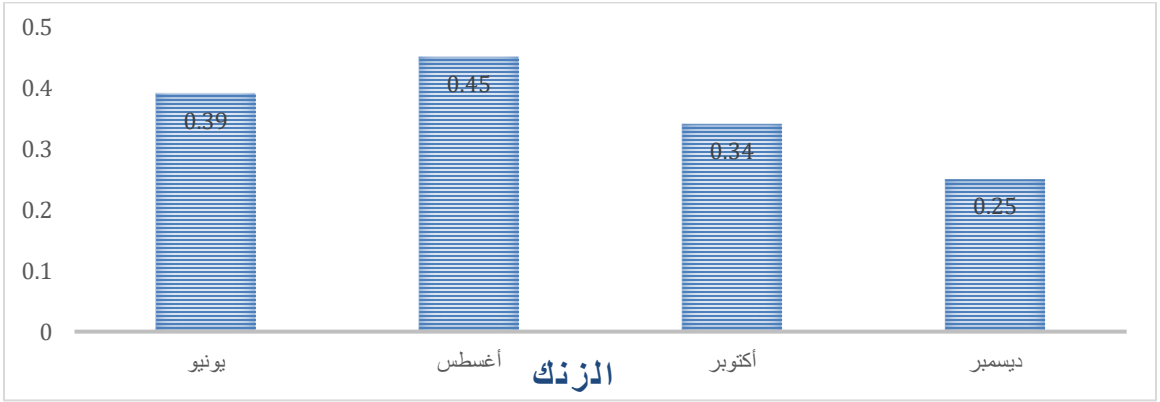
أما في شهري أكتوبر وديسمبر فلم يتم الكشف عن وجود الكادميوم في العينات، فكان تركيزه 0 ملغم/كغم.

جدول 3.4 يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في عضلات سمك الكوالي لشهريونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة ديلة

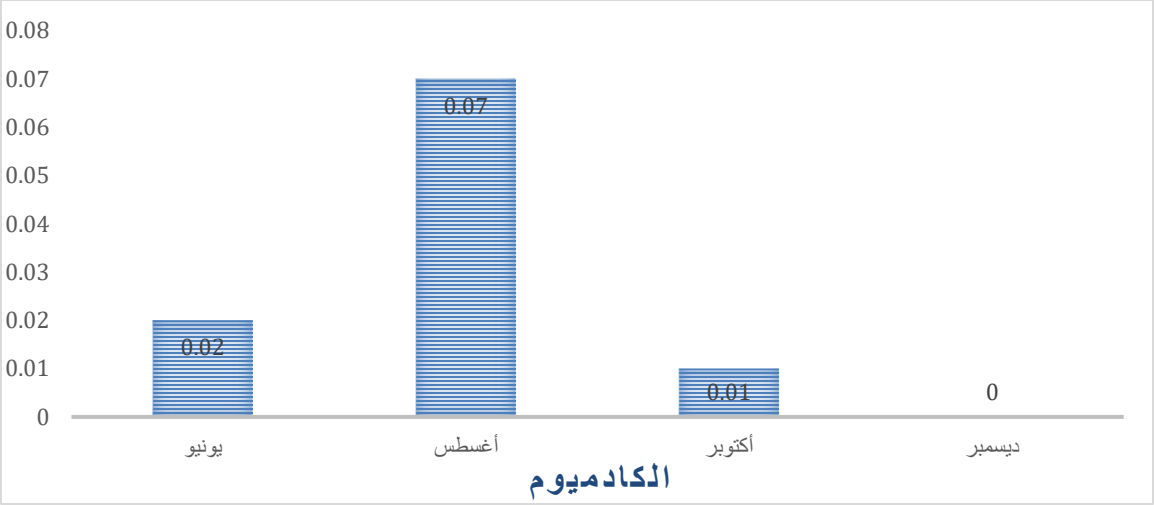
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.09 ملغم/كغم	0.39 ملغم/كغم	0.02 ملغم/كغم
أغسطس	0.12 ملغم/كغم	0.45 ملغم/كغم	0.07 ملغم/كغم
أكتوبر	0.03 ملغم/كغم	0.34 ملغم/كغم	0.01 ملغم/كغم
ديسمبر	0.02 ملغم/كغم	0.25 ملغم/كغم	0.00 ملغم/كغم



شكل 7.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 8.4 يبين نسبة تركيز الزنك في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة



شكل 9.4 يبين نسبة تركيز الكاديوم في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمنطقة ديلة

ثانيآ تحليل عينات منطقة مصفاة الزاوية:

1.2.4 الكبد Liver : أظهرت نتائج التحليل في منطقة مصفاة الزاوية أن تركيز المعادن في كبد أسماك الكوالي خلال الأشهر المختلفة من عام 2024 قد سجل انخفاضآ ملحوظآ مع مرور الوقت.

الرصاص (Pb):

سجل تركيز الرصاص في شهر يونيو 0.8ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.13 ملغم/كغم.

أما شهرأكتوبر إنخفض التركيز إلى 0.3 ملغم/كغم، ليستمر بالإنخفاض في ديسمبر ويصل إلى 0.1 ملغم/كغم، مما تشير النتائج الى وجود تراجع تدرجي في مستويات الرصاص خلال النصف الثانى من العام.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 2.2 ملغم/كغم، بينما سجلت أعلى تركيز للزنك في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 2.9 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 1.9 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 1.3 ملغم/كغم، وبذلك يشير إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

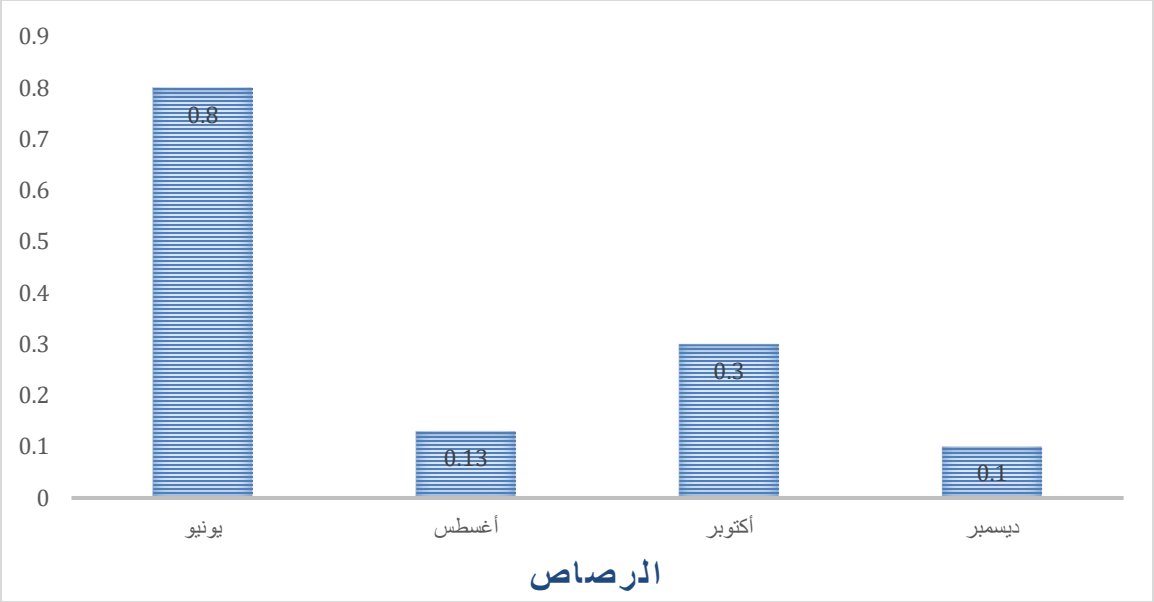
الكادميوم (Cd):

سجل تركيز الكادميوم في شهر يونيو 1.4 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5ملغم/كغم) في شهر أغسطس، حيث بلغ تركيز 1.9 ملغم/كغم.

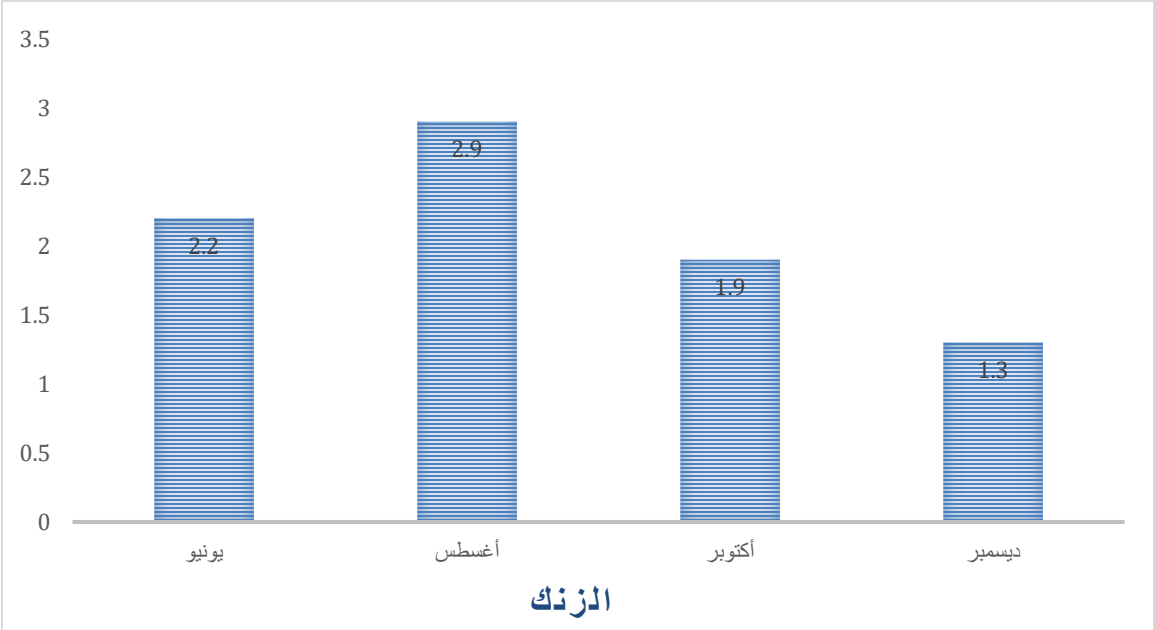
أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 1.0 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.6 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الكادميوم خلال النصف الثاني من العام.

جدول 4.4 يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في كبد سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة مصفاة الزاوية

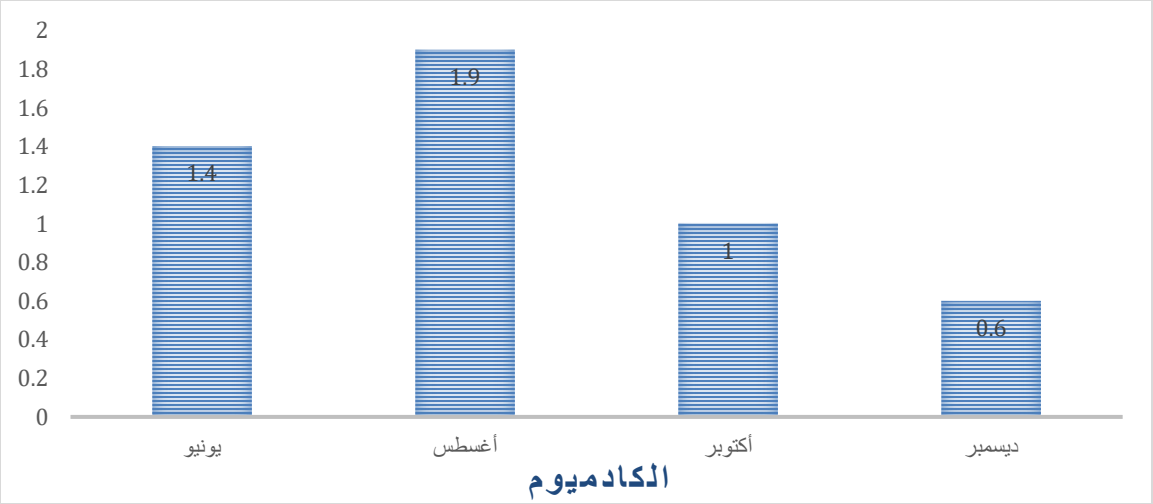
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.8 ملغم/كغم	2.2 ملغم/كغم	1.4 ملغم/كغم
أغسطس	0.13 ملغم/كغم	2.9 ملغم/كغم	1.9 ملغم/كغم
أكتوبر	0.3 ملغم/كغم	1.9 ملغم/كغم	1.0 ملغم/كغم
ديسمبر	0.1 ملغم/كغم	1.3 ملغم/كغم	0.6 ملغم /كغم



شكل 10.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل 11.4 يبين نسبة تركيز الزنك في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل12.4 يبين نسبة تركيز الكادميوم في كبد سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية

2.2.4 الخياشيم Gills : تم أظهرت نتائج التحليل في منطقة مصفاة الزاوية أن تركيز المعادن في خياشيم أسماك الكوالي خلال أشهر الدراسية المختلفة من عام 2024 قد سجل انخفاضآ ملحوظآ مع مرور الوقت.

الرصاص (Pb):

سجل تركيز الرصاص في شهر يونيو 0.39ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.3ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.45 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.32 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.27 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج الى وجود تراجع تدريجي في مستويات الرصاص خلال النصف الثاني من العام.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 2.3 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للزنك في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 2.9 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 1.8 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 1.3 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

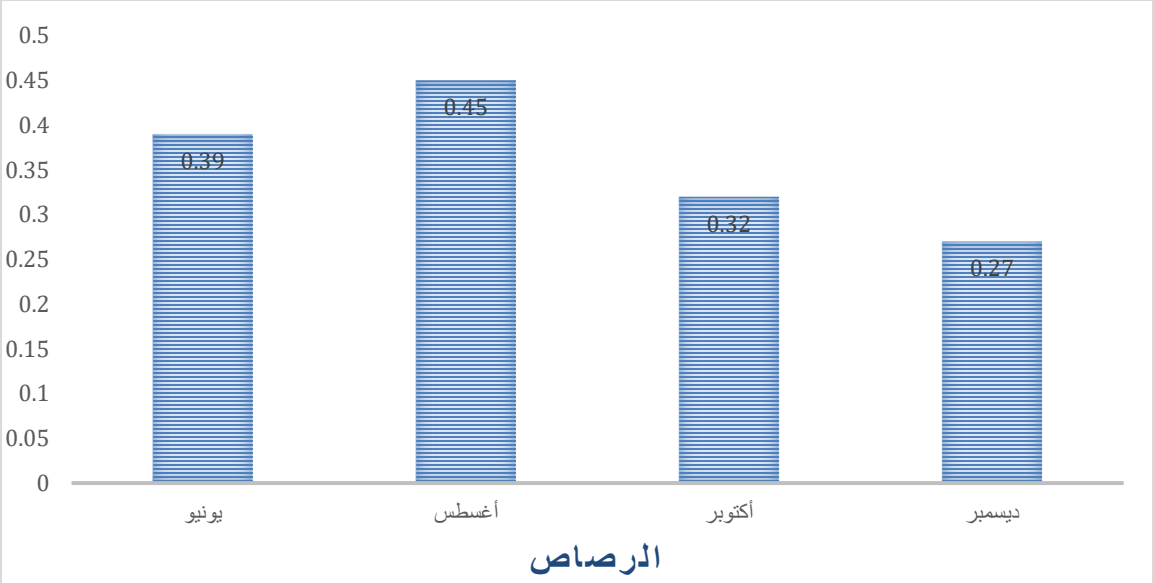
الكادميوم (Cd):

سجل تركيز الكادميوم في شهر يونيو 0.12 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.5ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.25 ملغم/كغم.

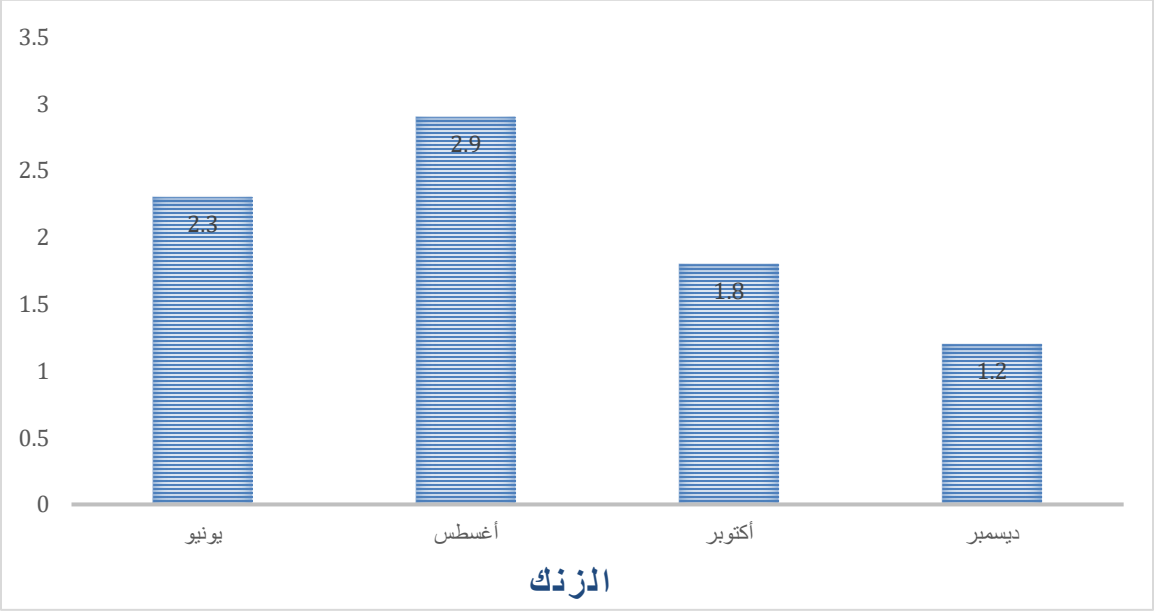
أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.10 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.6 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الكادميوم خلال النصف الثاني من العام.

جدول 5.4 يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في خياشيم سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة مصفاة الزاوية

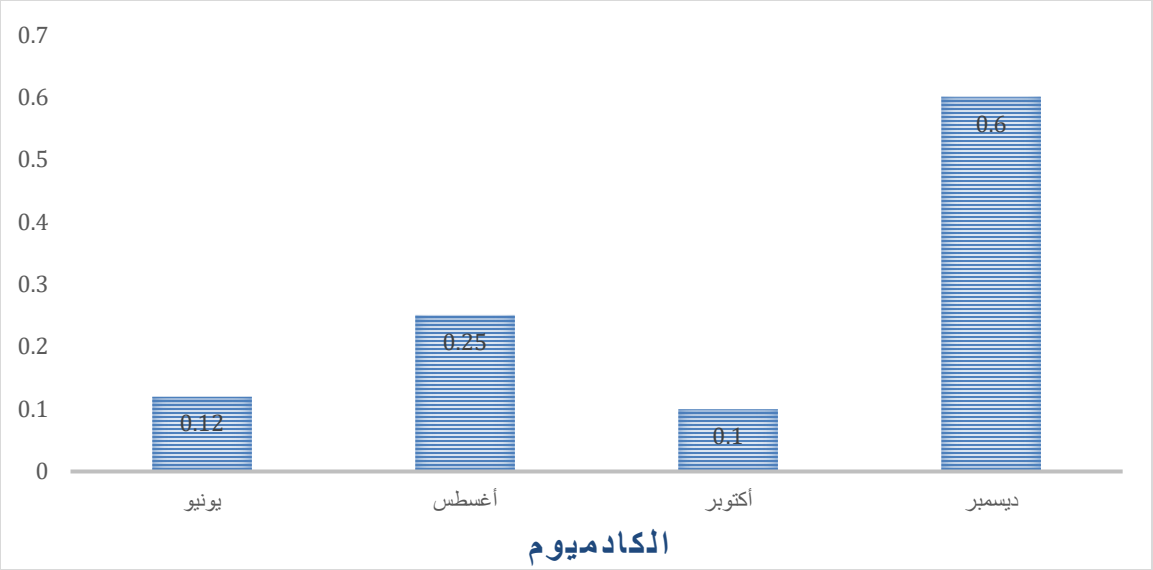
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.39 ملغم/كغم	2.3 ملغم/كغم	0.12 ملغم/كغم
أغسطس	0.45 ملغم/كغم	2.9 ملغم/كغم	0.25 ملغم/كغم
أكتوبر	0.32 ملغم/كغم	1.8 ملغم/كغم	0.10 ملغم/كغم
ديسمبر	0.27 ملغم/كغم	1.2 ملغم/كغم	0.6 ملغم/كغم



شكل 13.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في خياشيم سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل 14.4 يبين نسبة تركيز الزنك في خياشيم سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل 15.4 يبين نسبة تركيز الكادميوم في خياشيم سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية

3.2.4 العضلات Muscles: أظهرت نتائج التحليل في منطقة مصفاة الزاوية أن تركيز المعادن في عضلات أسماك الكوالي خلال أشهر الدراسية المختلفة من عام 2024 قد سجلت انخفاضاً ملحوظاً مع مرور الوقت، وذلك على النحو التالي:

الرصاص (Pb):

سجل تركيز الرصاص في شهر يونيو 0.11 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للرصاص مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.3ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.20 ملغم/كغم.

أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.7 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.2 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الرصاص خلال النصف الثاني من العام.

الزنك (Zn):

سجل تركيز الزنك في شهر يونيو 0.42 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للرصاص في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.50 ملغم/كغم.

أما في شهر أكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.38 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.30 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الزنك خلال النصف الثاني من العام.

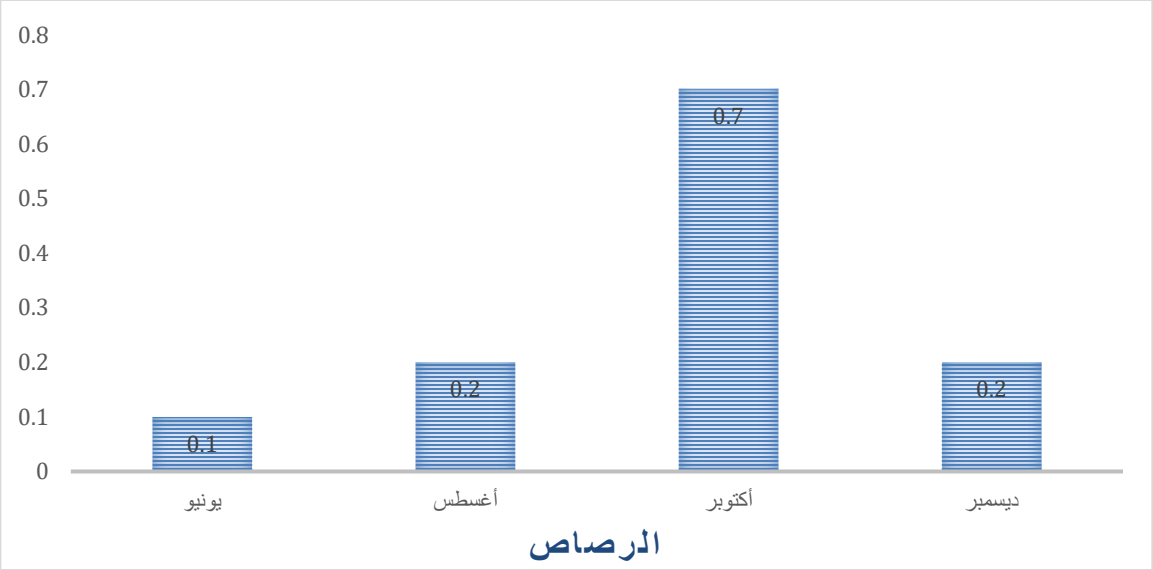
الكادميوم (Cd):

سجل تركيز الكادميوم في شهر يونيو 0.07 ملغم/كغم، بينما سجل أعلى تركيز للكادميوم مقارنة بالحدود القصوى المسموح بها حسب المعايير الدولية (0.05ملغم/كغم) في شهر أغسطس حيث بلغ تركيز 0.015 ملغم/كغم.

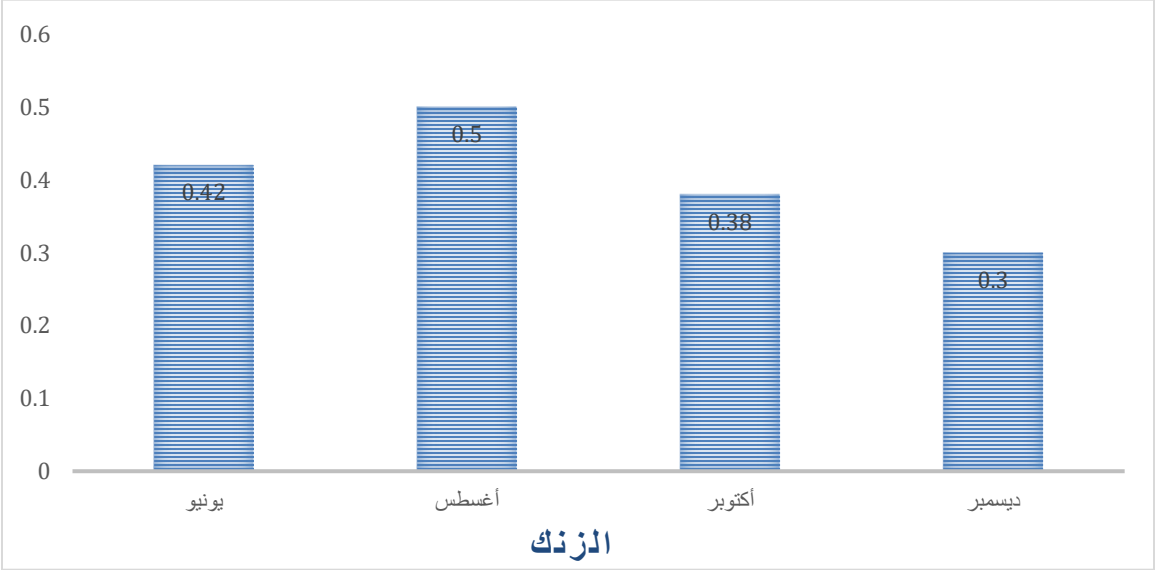
أما في شهرأكتوبر فقد انخفض التركيز إلى 0.05 ملغم/كغم، ليستمر بالانخفاض في ديسمبر، ويصل إلى 0.01 ملغم/كغم، وبذلك تشير النتائج إلى وجود تراجع تدريجي في مستويات الكادميوم خلال النصف الثاني من العام.

جدول 6.4 يبين نسبة تركيز الرصاص والزنك والكادميوم في عضلات سمك الكوالي لشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر وديسمبر بمنطقة مصفاة الزاوية

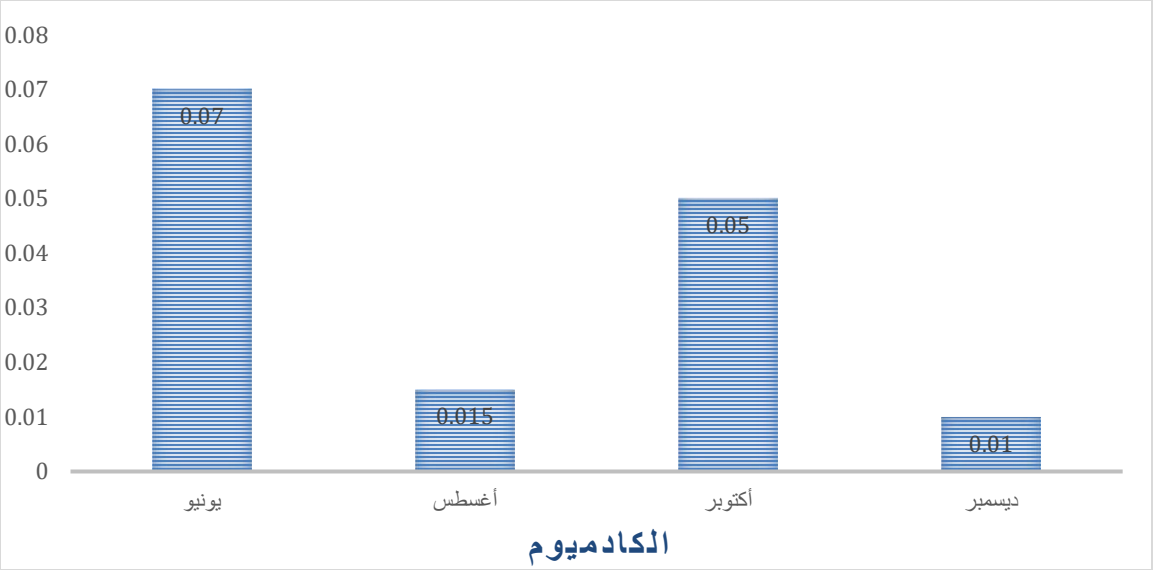
أشهر السنة	الرصاص	الزنك	الكادميوم
يونيو	0.1 ملغم/كغم	0.42 ملغم/كغم	0.07 ملغم/كغم
أغسطس	0.20 ملغم/كغم	0.50 ملغم/كغم	0.015 ملغم/كغم
أكتوبر	0.7ملغم/كغم	0.38 ملغم/كغم	0.05ملغم/كغم
ديسمبر	0.2ملغم/كغم	0.30 ملغم/كغم	0.01ملغم/كغم



شكل 16.4 يبين نسبة تركيز الرصاص في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل 17.4 يبين نسبة تركيز الزنك في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية



شكل 18.4يبين نسبة تركيز الكادميوم في عضلات سمك الكوالي لاشهر الدراسة بمصفاة الزاوية

2.4 تحليل كل النتائج

أولآ: تركيز الرصاص (Pb)

- لوحظ أن أعلى تركيز للرصاص كان في كبد الأسماك مقارنة بالخياشيم، والعضلات.

-منطقة مصفاة الزاوية سجلت قيمًا أعلى للرصاص مقارنة بمنطقة ديلة خلال جميع أشهر الدراسة.

-تراوحت تركيزات الرصاص في الكبد من قيم منخفضة نسبيًا في يونيو إلى ارتفاع ملحوظ في أكتوبر.

-العضلات احتوت على أقل تركيز للرصاص، مما يدل على انخفاض المخاطر الصحية عند الاستهلاك.

ثانياً :تركيز الزنك (Zn)

-الزنك كان العنصر الأكثر تركيزاً مقارنة بالرصاص، والكادميوم.

-سجلت منطقة مصفاة الزاوية أحيانًا تركيزات أعلى من الزنك مقارنة بمنطقة ديلة خصوصًا في عينات الخياشيم.

-أعلى تراكيز للزنك سجلت في الكبد، والخياشيم، وأقلها في العضلات.

-تذبذب تركيز الزنك عبر أشهرالدراسة مع تسجيل أعلى قيمة في أكتوبر.

ثالثاً: تركيز الكادميوم (Cd)

-الكادميوم أظهر نمطًا متذبذبًا خلال أشهر الدراسة.

-الخياشيم سجلت تراكيز أعلى للكادميوم مقارنة بالكبد، والعضلات.

-منطقة مصفاة الزاوية سجلت مستويات أعلى من الكادميوم، خاصة في أغسطس، وأكتوبر.

-العضلات أظهرت أقل تراكيز للكادميوم مما يدل على مستوى أمان نسبي للاستهلاك.

3.4 مقارنة بين الأنسجة

-الكبد أظهر أعلى تراكيز للمعادن الثقيلة.

-الخياشيم أظهرت تركيزًا مرتفعًا للعناصر القابلة للذوبان.

-العضلات سجلت أدنى تراكيز لجميع المعادن.

4.4 مقارنة تركيز العناصر الثقيلة في الاسماك بين المناطق

-منطقة مصفاة الزاوية أكثر تلوثًا بالمعادن الثقيلة مقارنة بمنطقة ديله بسبب ارتفاع تدريجي في تراكم المعادن خاصة في شهر أغسطس.

الفصل الخامس

المناقشة Discussion

5. المناقشةDiscussion

أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود تراكيز متفاوتة من المعادن الثقيلة (الرصاص، الكادميوم، الزنك) في أنسجة سمك الكوالي (*Scomber japonicus*) التي جُمعت من منطقتين ديلة، ومصفاة الزاوية. وقد سُجل أعلى التراكيز في الكبد، ثم خياشيم، بينما كانت عضلات الأقل تركيزاً، ويتفق هذا النمط مع ما ذكرته دراسات سابقة بأن الكبد يعد المخزن الرئيس للسموم في الأسماك، في حين أن خياشيم تمثل نقطة اتصال مباشر مع الوسط المائي، بينما عضلات عادةً الأقل تلوثًا (Usero *et al*., 2005, Taweel *et al*., 2011).

أظهرت دراسة (Omayma *et al*., 2015) في خليج السويس مستويات أعلى بكثير من المعادن الثقيلة مقارنةً بنتائج هذه الدراسة، حيث سجل تركيزات الرصاص 5.6µg/g ، وفي الزنك 117 µg/g، وفي الكادميوم 1.3 µg/g في الكبد، بينما في هذه الدراسة لم تتجاوز القيم 0.8، 2.9، 1.9 µg/gعلى التوالي.

كذلك سجل دراسة (Aktan & Tekin-Ozan, 2012) في خليج أنطاليا (تركيا) تراكيز مرتفعة للغاية، مثل: الزرنيخ في اعضلات (30.39 ملغم/كغم)، والزنك في كبد (98.15 ملغم/كغم) هذه القيم تفوق بكثير نتائج الزاوية.

أما دراسة (Shreadah, 2018) في بحيرة قارون بمصر فقد بينت تراكيز للرصاص بلغت 1.12 ملغم/كغم، وهي أعلى من بعض القيم في هذه الدراسة، في حين جاءت تراكيز الكادميوم والزنك قريبة أو أقل من النتائج الحالية.

سجل دراسة (Chen et al, 2020) في بحر الصين الجنوبي تراكيز منخفضة جدًا مقارنة بدراستنا، حيث كان تركيز الرصاص أقل من 0.1، µg/g وفي الزنك بين 0.2–0.35 µg/g فقط، بينما تجاوزت نتائج هذه الدراسة تلك القيم بكثير الرصاص حتى 0.8µg/g ، الزنك حتى 2.9µg/g .

بينت دراسة(Taweel,2015) التي قارنت بين أسماك البلطي في ماليزيا، وبين عينات من بحيرة عين كعام في ليبيا، وقد أظهرت أن تراكم المعادن كان الأعلى في الكبد، ثم خياشيم ، ثم العضلات، وهو ما يتوافق تمامًا مع نتائج هذه الدراسة على سمك الكوالي، كما بيّنت أن مستويات المعادن في عين كعام كانت أقل نسبيًا من المواقع الماليزية، وهو ما يعكس فروقًا جغرافية واضحة، وبالمقارنة

مع نتائج مصفاة الزاوية،وديلة، فإن تراكيز الرصاص، والكادميوم المسجلة في هذه الدراسة جاءت أعلى من تلك التي سجل في عين كعام، لكنها تبقى أقل من مستويات ماليزيا، ومن ناحية تقييم المخاطر الصحية، فقد أظهرت الدراسة أن القيم المسجلة في العضلات لا تشكل خطورة على المستهلك (HQ < 1)، وهذا يتفق جزئيًا مع نتائجنا حيث إن عضلات سجلتتراكيز أقل نسبيًا، لكنها تجاوزت أحيانًا الحدود المسموح بها، خاصة في عينات مصفاة الزاوية.

في دراسة (Bae & Lim, 2013) ببحر الصين الشرقي، بلغ تركيز الرصاص في سمك الكوالي الياباني والكوري 0.01–0.02 ملغم/كغم فقط، وهي أقل من النتائج المسجلة في منطقة الزاوية.

كما أوضحت دراسة (Usero *et al*., 2005) في جنوب إسبانيا أن تراكيز المعادن في العضلات لم تتجاوز الحدود المسموح بها للاستهلاك البشري، بينما تجاوزت بعض عينات هذه الدراسة الحدود المقررة للرصاص، والكادميوم.

بينت دراسة (Gherbali *et al*.,2019) في مدينة مصراتة أن الأسماك القريبة من المصبات الصناعية احتوت على تراكيز مرتفعة جدًا (µg/g5.6 Pb ، µg/g117Zn ، µg/g 1.9Cd) هذه النتائج تتقارب مع بعض تراكيز الكادميوم في هذه الدراسة، مما يعزز فرضية أن الأنشطة الصناعية هي المصدر الرئيس للتلوث.

أما دراسة (El-Barasi *et al*., 2014) على الساحل الليبي فقد سجلت تراكيز أقل من نتائج الزاوية، مما يشير إلى أن المنطقة الحالية أكثر عرضة للتلوث نتيجة قربها من مصفاة النفط.

1 .الموقع الجغرافي: قرب الأسماك من مصفاة الزاوية ساهم في تسجيل تراكيز أعلى مقارنة بالمناطق الأقل تلوثًا.

2 .العوامل الموسمية: سجلت هذه الدراسة أعلى التراكيز في أغسطس وأكتوبر، وهو ما يتفق مع دراسات مثل.(Shreadah, 2018)

3 .الأنسجة المدروسة: جميع الدراسات تقريبًا تتفق أن الكبد هو الأعلى تراكمًا، وهو ما ظهر بوضوح في نتائجنا.

تُظهر هذه المقارنات أن نتائج الدراسة الحالية تحتل موقعًا متوسطًا بين مستويات مرتفعة جدًا كما في خليج السويس (Omayma *et al*., 2015) ومصراتة (Gherbali *et al*., 2019)، وهذا يعكس واقع التلوث الصناعي المتوسط في الساحل الليبي، خصوصًا في منطقة الزاوية، وتؤكد النتائج أن أسماك الكوالي تمثل مؤشراً بيولوجياً فعالاً لرصد تراكم المعادن الثقيلة في البيئة البحرية، وتدعو إلى استمرار برامج الرصد البيئي ووضع سياسات رقابية أكثر صرامة لحماية الصحة العامة.

الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

Conclusion and Recommendations

1.6. الاستنتاجات Conclusions

توضح الاستنتاجات التالية أهم ماتوصلت إلية هذه الدراسة من تراكيز المعادن الثقيلة في اسماك الكوالي وتوضيح الأثر البيئي والصحي:

1. أن الكبد هو النسيج الأكثر تراكمًا للمعادن الثقيلة (الرصاص، الكادميوم، الزنك) مما يدل على دوره الحيوي كمخزن للسموم في الأسماك.
2. سجلت العضلات أدنى تراكيز للمعادن الثقيلة، مما يشير إلى أن استهلاكها يعتبر أكثر أمانًا مقارنة ببقية الأنسجة، على الرغم من الحاجة إلى مراقبة مستمرة للمستويات.
3. منطقة مصفاة الزاوية أظهرت مستويات أعلى من التلوث مقارنة بمنطقة ديلة، مما يعكس تأثير الأنشطة الصناعية القريبة.
4. تفاوتت التراكيز حسب الأشهر: فقد سُجلت أعلى القيم في شهري أغسطس، وأكتوبر، مما يشير إلى دور العوامل الموسمية والبيئية في تراكم المعادن.
5. تشير إلى أن تعد سمكة الكوالي مؤشرًا حيويًا فعالًا لرصد التلوث بالمعادن الثقيلة في البيئة البحرية.
6. بعض التراكيز المسجلة تجاوزت الحدود المسموح بها وفقًا للمعايير الدولية، مما يشير إلى وجود مخاطر محتملة على الصحة العامة.

2.6 التوصيات Recommendations

استنادا الي النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، وتأتي التوصيات التالية بهدف توجيه نحو تحسين مستوى الرقابة البيئية ودعم الخطوات البحثية والعلمية لضمان استدامة الموارد البحرية:

1. إجراء دراسات موسعة تشمل أنواعًا مختلفة من الأسماك والمناطق الساحلية في ليبيا لرصد شامل لتلوث البيئة البحرية.
2. تطبيق برامج رصد بيئي دورية تشمل تحليل المعادن الثقيلة في الكائنات البحرية، والمياه، والرواسب.
3. رفع مستوى الوعي المجتمعي حول مخاطر استهلاك الأسماك الملوثة، خاصة للفئات الحساسة كالأطفال، والحوامل.
4. فرض رقابة بيئية صارمة على مصادر التلوث الصناعي، خصوصًا المصانع القريبة من السواحل.
5. اعتماد سمكة الكوالي كمؤشر بيولوجي لرصد تلوث المعادن الثقيلة ضمن السياسات البيئية الوطنية.
6. مقارنة نتائج التحاليل البيئية بمعايير المنظمات الدولية وهي منطمة الصحة العالمية (WHO)ومنطمة الاغدية والزراعة (FAO) لضمان سلامة الغذاء البحري للمستهلك.

References المراجع

1. Aktan, Y., & Tekin-Özan, S. (2012). Seasonal variations in the levels of heavy metals in water and tissues of Scomber japonicus from Antalya Bay, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64(7), 1513–1518.

2. Bodin, N., Abarnou, A., Le Guellec, A.M., Loizeau, V., Philippon, X., & Bustamante, P. (2013). Trace elements in pelagic fish from the North-East Atlantic Ocean. Chemosphere, 93(1), 142-149.

3. Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403-412.

4. Chen, H., Zhang, Z., & Liu, Y. (2024). Seasonal variation of heavy metals in coastal fish and associated health risk in Eastern Mediterranean. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2), 78-89.
5. Chen, W., Xu, L., & He, M. (2020). Assessment of heavy metals in marine fish and human health risk in the South China Sea. Science of The Total Environment, 716, 137047.
6. El-Barasi, Y., Ali, A., & El Gomati, O. (2014). Heavy metals in selected fish species from Libyan coast. Libyan Journal of Marine Sciences, 3(1), 23-32.
7. Hendricks, J. P. (2018). Parasite assemblages of scomber japonicus from south African waters (Master, s thesis). University of Cape Town.
8. Gherbali, A., et al. (2019). Heavy metal concentrations in fish near river estuaries compared to offshore species from Misurata, Libya.
9. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary Toxicology, 7(2), 60–72.
10. Lim, H., & Bae, G. (2013). Comparative analysis of mercury and lead in japanses and Korean scomber japonicus. African Journal of Agricultaral Research.

11. Omayma, A. E. M., Gharib, S. M., El-Gendy, N. S., & El-Ashtoukhy, E.-S. Z. (2015). Assessment of heavy metals levels in some economically important fish species from the Gulf of Suez, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 19(4), 91–105. https://doi.org/10.21608/ejabf.2015.1919.
12. Phillips, D.J.H., & Rainbow, P.S. (1994). Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants. Elsevier.
13. Rainbow, P. S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? Environmental Pollution, 120(3), 497–507.
14. Storelli, M.M., & Marcotrigiano, G.O. (2003). Heavy metal residues in tissues of marine turtles. Marine Pollution Bulletin, 46(4), 397-400.
15. Storelli, M. M., Storelli, A., D'Addabbo, R., Marano, C., Bruno, R., & Marcotrigiano, G. O. (2005). Trace elements in loggerhead turtles (Caretta caretta) from the eastern Mediterranean Sea. Chemosphere, 58(4), 535–542.
16. Shreadah, M. A., (2018). Seasonal bioaccumulation of heavy metals in muscles of two commercial fishes from Lake Qaran. Egtptian Journal of Aquatic Biology Fisheries.
17. Taweel, A. K. A. (2015). Heavy metals concentration in tilapia (Oreochromis niloticus) from selected sites in Selangor and health risks estimation (Doctoral dissertation, Universiti Kebangsaan Malaysia).
18. Taweel, A., Shuhaimi-Othman, M., & Ahmad, A. K. (2011). Heavy metals concentration in different organs of tilapia fish (Oreochromis niloticus) from selected areas of Bangi, Selangor, Malaysia. *African Journal of Biotechnology*, 10*(55), 11562–11566.
19. Taweel, A., Shuhaimi-Othman, M., & Ahmad, A. K. (2013). Evaluation of copper, lead and arsenic level in tilapia fish in Cempaka Lake (Bangi, Malaysia) and human daily/weekly intake. *Biologia*, 68*(5), 983–991.

20. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. EXS, 101, 133–164.
21. Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J., & Gracia, I. (2005). Heavy metals in fish from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. Environment International, 31(4), 445-450.
22. World Health Organization (WHO). (2011). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series.
23. Yemmen, C., et al. (2022). Potential health risks associated with cohsuming Scombridae fish contaminate with parasites and chemical hazards. Journal of Applied Microbiology.
24. Zhang, L., Wang, J., & Chen, X. (2018). Heavy metal contamination in seafood species from coastal areas of China. Marine Pollution Bulletin, 129(2), 899-907.