هيئة البيئة
ENVIRONMENT AUTHORITY

الدليل الإسترشادي لجمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة وفق إتفاقية ستوكهولم للملوثات العضوية الثابتة

الإصدار الأول
أكتوبر 2026م
دائرة إدارة المواد الكيميائية والنفايات

جهة الإجراء	الإصدار:	تاريخ الاعتماد	إعتماد	موقع حفظ المستند	عدد الصفحات
دائرة إدارة المواد الكيميائية والنفايات	**الأول**	**/ /2026م**	**مدير عام الالتزام البيئي**	**الموقع الداخلي بالهيئة** https://portal.ea.gov.om/	37

الفهرس:

الموضوع	الصفحة
تعريف المصطلحات	3
الهدف من الدليل	3
المقدمة	3
الفصل الأول: اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى الهواء الصفحات (7-18)	
الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة فى الهواء	4
أنواع الملوثات العضوية الثابتة التى يتم رصدها فى الهواء	4
استراتيجيات أخذ عينات الهواء لرصد الملوثات العضوية الثابتة	9
طريقة أخذ عينات الهواء السلبية	9
طريقة أخذ عينات الهواء النشطة	11
إجراءات استخلاص العينات	13
تنظيف العينات	14
أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة	14
الفصل الثانى: اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى المياه	
الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة فى المياه	16
أنواع الملوثات العضوية الثابتة التى يتم رصدها فى المياه	16
استراتيجيات أخذ عينات المياه لرصد الملوثات العضوية الثابتة	18
طرق أخذ عينات المياه	18
حاويات أخذ العينات والمواد والمعدات الميدانية	19
إجراءات أخذ وجمع وحفظ واستخلاص العينات	20
تنظيف العينة	22
أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة	23
الفصل الثالث : اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى التربة والرسوبيات الصفحات	
الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة فى التربة والرسوبيات	25
أنواع الملوثات العضوية الثابتة التى يتم رصدها فى التربة والرسوبيات	25
استراتيجيات أخذ عينات التربة والرسوبيات لرصد الملوثات العضوية الثابتة	26
طرق جمع عينات التربة والرسوبيات	27
اختيار مواقع أخذ العينات الميدانية وجمعها وحفظها ونقلها	27
إجراءات تحضير العينات واستخلاصها	28
تنظيف العينة	30
أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة	30
المراجع	33
الملحق (1) قائمة الملوثات العضوية الثابتة (POPs)	37

تعريف المصطلحات :

- **الملوثات العضوية الثابتة (POPs):** الملوثات العضوية الثابتة هي مواد كيميائية عضوية، أي أنها تتكون من الكربون، تتميز هذه الملوثات بمزيج فريد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية، بحيث أنها بمجرد إطلاقها في البيئة، فإنها:
  - تبقى سليمة لفترات طويلة للغاية (سنوات عديدة)،
  - تنتشر على نطاق واسع في البيئة نتيجةً لعمليات طبيعية تشمل التربة والماء، والهواء،
  - تتراكم في الكائنات الحية، بما في ذلك الإنسان، وتوجد بتراكيز أعلى في المستويات العليا من السلسلة الغذائية،
  - وتُعد سامة للإنسان والحياة البرية على حد سواء.
  -

الهدف من الدليل:

يهدف هذا الدليل إلى توحيد الإجراءات:

- توضيح قوائم الملوثات العضوية الثابتة (POPs) في الأوساط البيئية.
- اختيار مواقع أخذ العينات.
- جمع عينات الهواء والمياه والتربة.
- حفظ ونقل العينات، تحضير العينات، استخلاص وتركيز العينات والتحليل الكيميائي باستخدام تقنيات مناسبة.

المقدمة :

تُعدّ الملوثات العضوية الثابتة (Persistent Organic Pollutants - POPs) من الملوثات الكيميائية التي تمثل تحديًا بيئيًا وصحيًا عالميًا، نظرًا لما تتميز به من مقاومة للتحلل في البيئة، وقدرة على الانتقال لمسافات طويلة عبر الهواء والماء، والتراكم في الأنسجة الحية، والازدياد في تركيزاتها عبر السلسلة الغذائية. وقد أسهم الاستخدام الواسع لهذه الملوثات وإطلاقها في البيئة نتيجة الأنشطة البشرية على مدى عقود في انتشارها في مختلف الأوساط البيئية، بما في ذلك المناطق النائية التي لم تشهد استخدامها أو إنتاجها، الأمر الذي يجعل آثارها تتجاوز الحدود الجغرافية للدول ومصادر انبعاثها.

وتكمن خطورة هذه الملوثات في قدرتها على البقاء في البيئة لفترات طويلة، والانتقال بين مكوناتها المختلفة، والتراكم الحيوي في الكائنات الحية، والتضخم الحيوي لتركيزاتها عبر المستويات الغذائية. ونتيجة لذلك، يمكن أن تتعرض الكائنات الحية، بما فيها الإنسان، لهذه الملوثات بصورة مستمرة من خلال الهواء والماء والغذاء، مما قد يؤدي إلى آثار صحية وبيئية تمتد لفترات زمنية طويلة، وقد تنتقل بعض آثارها إلى الأجيال اللاحقة. وتشمل الآثار الصحية المرتبطة بالتعرض لبعض هذه الملوثات الإصابة بأنواع معينة من السرطان، واضطرابات الجهاز العصبي والمناعي والتناسلي، والتأثير في وظائف الغدد الصماء، إضافة إلى اضطرابات النمو والتطور.

وفي ضوء هذه الخصائص والمخاطر، تبرز أهمية الرصد البيئي بوصفه أداة أساسية لتحديد مستويات الملوثات العضوية الثابتة في الأوساط البيئية المختلفة، وتقييم مدى انتشارها وتوزيعها المكاني والزماني، ورصد التغيرات في تركيزاتها، وفهم أنماط انتقالها ومصادرها المحتملة. ويتطلب تحقيق هذه الأهداف تطبيق منهجيات علمية موحدة في اختيار مواقع الرصد، وجمع العينات وحفظها ونقلها، وإعدادها وتحليلها باستخدام تقنيات مخبرية مناسبة، بما يضمن موثوقية النتائج وقابليتها للمقارنة بين المواقع والفترات الزمنية المختلفة.

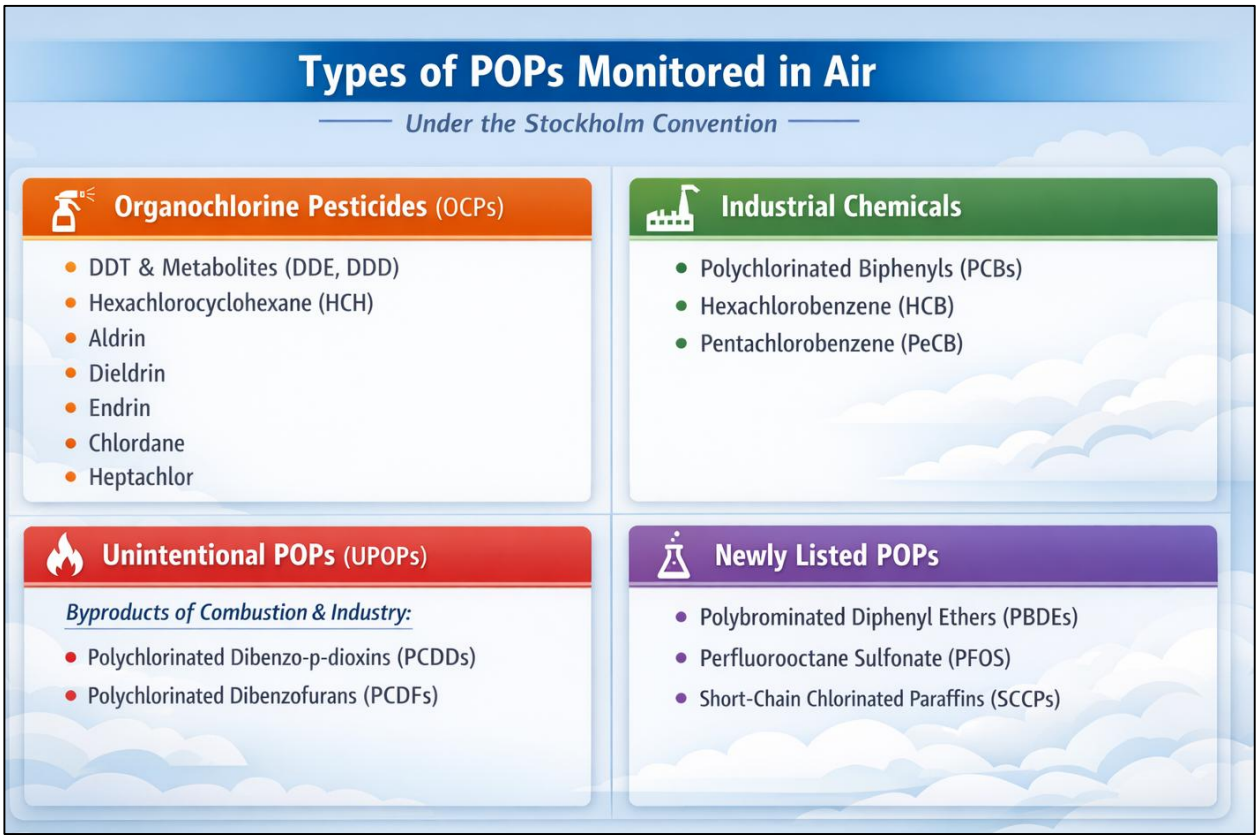
وانطلاقًا من ذلك، يأتي إعداد هذا الدليل لتوحيد الإجراءات الفنية والمنهجيات المعتمدة لرصد الملوثات العضوية الثابتة في الأوساط البيئية المختلفة (كما هو موضح في الملحق 1 من هذا التقرير)، بما يشمل الهواء والمياه والتربة، وتعزيز جودة البيانات الناتجة عن عمليات الرصد ودقتها واتساقها. كما يدعم الدليل جهود سلطنة عُمان في الوفاء بالتزاماتها بموجب اتفاقية ستوكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة، من خلال توفير بيانات علمية موثوقة وقابلة للمقارنة تُسهم في تقييم مستويات هذه الملوثات واتجاهاتها، ومتابعة انتقالها على المستويين الإقليمي والعالمي، وتقييم فعالية التدابير المتخذة للحد من مخاطرها وحماية البيئة وصحة الإنسان.

الفصل الأول: اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى الهواء

1. الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة في الهواء:

- تحديد التركيزات الأساسية للملوثات العضوية الثابتة في الهواء المحيط
- تقييم الاتجاهات المكانية والزمانية
- تقييم انتقالها عبر الغلاف الجوي لمسافات طويلة
- دعم خطط التنفيذ الوطنية بموجب اتفاقية ستوكهولم

2. أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في الهواء:



الصورة رقم(1) توضح أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في الهواء

بموجب اتفاقية ستوكهولم، تشمل مجموعات الملوثات العضوية الثابتة الرئيسية التي يتم رصدها في الهواء الموضحة في الصورة (1) ما يلي:

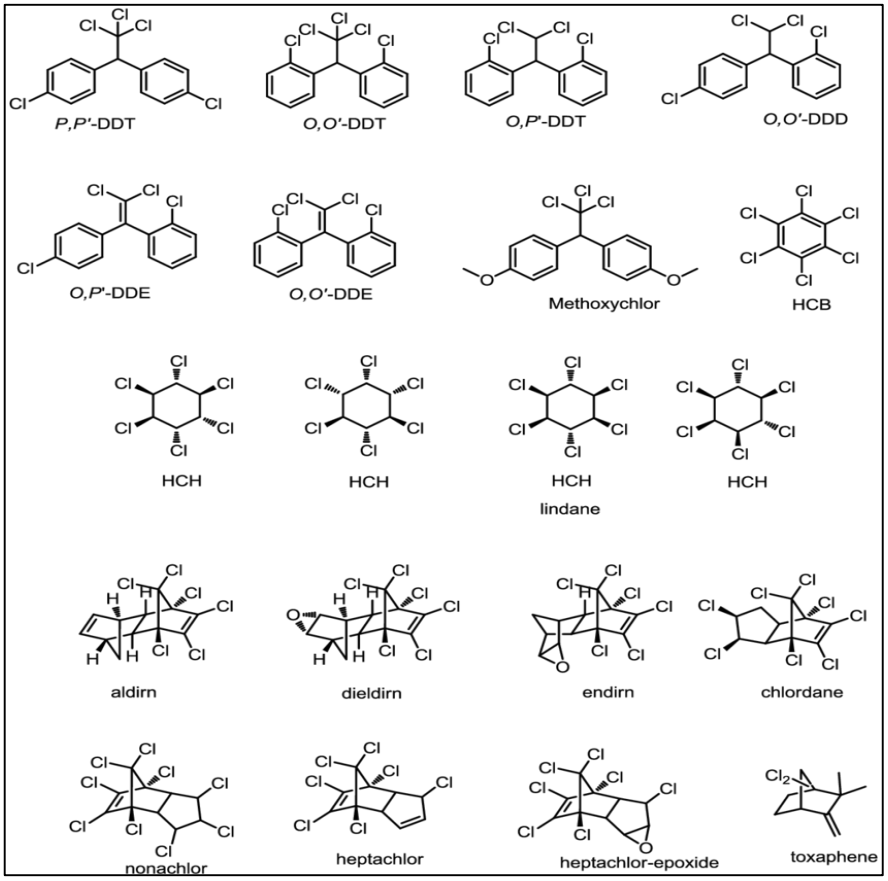
1.2 مبيدات الآفات العضوية الكلورية (OCPs):

هي مجموعة من المبيدات الكيميائية المحتوية على الكلور، اســتُخدمت على نطاق واســع في مكافحة الآفات الزراعية والحشــرات الناقلة للأمراض. وتتميز العديد منها بمقاومتها للتحلل الكيميائي والبيولوجي، وقدرتها على البقاء في التربة والرواســب لفترات طويلة، والتراكم في الأنسجة الدهنية للكائنات الحية، والانتقال عبر السلسلة الغذائية.

أسباب إدراجها ضمن اتفاقية ستوكهولم:

- الثبات البيئي :مقاومتها للتحلل وبقاؤها في البيئة لفترات طويلة .
- التراكم والتضــخم الحيوي :تراكمها في الكائنات الحية وازدياد تركيزاتها عبر المســتويات الغذائية .
- الانتقال بعيد المدى :إمكانية انتقالها عبر الهواء والماء إلى مناطق بعيدة عن مصــادر استخدامها .
- الآثار السمية :ارتباط العديد منها بآثار ضارة في الجهازين العصبي والتناسلي، واضطرابات الغدد -الصماء، وتأثيرات صحية وبيئية أخرى .

وبناءً على هذه الخصــائص، أُدرجت مجموعة من هذه المبيدات في المرفق ألف من الاتفاقية بهدف التخلص من إنتاجها واســتخدامها، مع مراعاة الإعفاءات المحددة في الاتفاقية، بينما أُدرج مبيد DDT في المرفق باء، الذي يخضع لنظام التقييد وفقًا للأحكام الواردة فيه.



الصورة رقم(2) توضح بنية مركبات الكلور العضوية

أمثلة:

- DDT and its metabolites (DDE, DDD)
- Hexachlorocyclohexane (HCH)

- Aldrin
- Dieldrin
- Endrin
- Chlordane
- Heptachlor

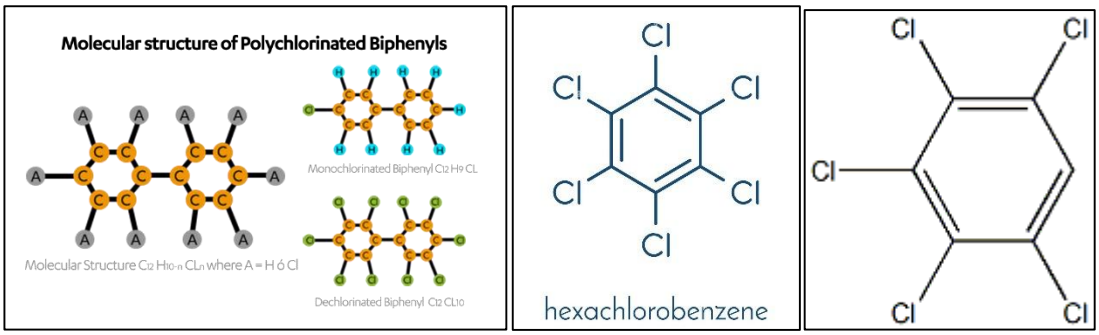
2.2 المواد الكيميائية الصناعية:

تشمل هذه الفئة مواد كيميائية صُنّعت أو استُخدمت لأغراض صناعية وتجارية متعددة، مثل تصنيع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، والمنتجات البلاستيكية والمطاطية، والمنسوجات، والدهانات، ومواد العزل، ومثبطات اللهب. وقد استُخدمت بعض هذه المواد على نطاق واسع نظرًا لخصائصها التقنية، مثل مقاومة الحرارة أو الماء أو الزيوت، أو تحسين خصائص المنتجات الصناعية.

أسباب إدراجها ضمن اتفاقية ستوكهولم:

- ثباتها في البيئة ومقاومتها للتحلل .
- قدرتها على الانتقال لمسافات طويلة عبر الأوساط البيئية .
- قابليتها للتراكم في الكائنات الحية، أو امتلاكها خصائص أخرى تحقق معايير الاتفاقية .
- سميتها المحتملة للإنسان والكائنات الحية، بما في ذلك التأثيرات المزمنة والاضطرابات الهرمونية والتناسلية لبعض المواد .
- استمرار وجودها في المنتجات والمعدات والمخلفات بعد انتهاء عمرها التشغيلي، مما يخلق تحديات تتعلق بتحديدها وإعادة تدويرها والتخلص منها بطريقة سليمة بيئيًا .

وتخضع المواد الصناعية المدرجة لأحكام المرفق ألف المتعلق بالإزالة أو المرفق باء المتعلق بالتقييد، بحسب المادة والأحكام الخاصة بها.



الصورة رقم(3) توضح بنية الملوثات العضوية الثابتة (المواد الكيميائية الصناعية)

أمثلة:

- Polychlorinated biphenyls (PCBs)
- Hexachlorobenzene (HCB)
- Pentachlorobenzene (PeCB)

3.2 الملوثات العضوية الثابتة الناتجة عن الإطلاقات الغير مقصودة (UPOPs):

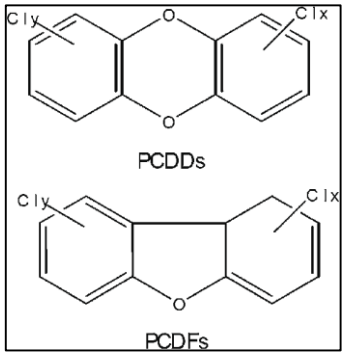
هي ملوثات عضـــوية ثابتة تتكون أو تنطلق بصـــورة غير مقصـــودة بوصـــفها نواتج ثانوية لبعض العمليات الصـــناعية وعمليات الاحتراق والمعالجة الحرارية. وقد تنتج عن حرق النفايات في ظروف غير ملائمـة، وبعض عمليـات إنتـاج المعـادن والمواد الكيميـائيـة، والاحتراق غير الكـامـل للمواد العضوية المحتوية على الكلور. ومن أبرز أمثلتها:

- الديوكسينات .(PCDDs)
- الفورانات .(PCDFs)
- بعض مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور .(PCBs)
- بعض النفثالينات متعددة الكلور .(PCNs)
- مركبات أخرى مدرجة في المرفق جيم من الاتفاقية .

أسباب إدراجها ضمن اتفاقية ستوكهولم:

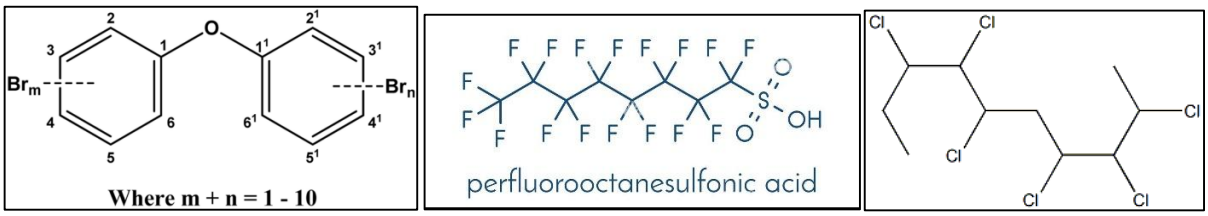
- صعوبة منع تكوّنها بصورة مطلقة في بعض العمليات الصناعية والحرارية .
- ثباتها البيئي وقدرتها على الانتقال لمسافات طويلة .
- سميتها العالية لبعض المركبات، وما قد تسببه من أضرار صحية وبيئية .
- إمكانية انبعاثها من مصادر متعددة، بما فيها الأنشطة الصناعية وممارسات إدارة النفايات غير الملائمة .

ولذلك، يركز المرفق جيم على اتخاذ تدابير لخفض الإطلاقات غير المقصودة لهذه الملوثات، بهدف مواصلة تقليلها إلى أدنى حد ممكن، والقضاء عليها نهائيًا حيثما كان ذلك ممكنًا، من خلال تحسين العمليات الصناعية، وتطبيق أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية .



الصورة رقم(4) توضح بنية الملوثات العضوية الثابتة الغير المقصودة (UPOPs)

4.2 أمثلة على الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حديثًا



الصورة رقم(5) توضح أمثلة على الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حديثًا

أمثلة:

- **الإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم(Polybrominated Diphenyl Ethers – PBDEs)**
هي مجموعة من المركبات الكيميائية البرومية ا ستُخدمت أ سا سًا بو صفها مثبطات للهب، بهدف الحد من قابلية اشتعال المواد، وأُضيفت إلى منتجات مثل البلاستيك والمنسوجات ومكونات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والأثاث. وتشمل المركبات المدرجة ضمن الاتفاقية مجموعات من الإيثرات ثنائية الفينيل متعددة البروم، منها:
  - رباعي برومو ثنائي الفينيل إيثر .(TetraBDE)
  - خماسي برومو ثنائي الفينيل إيثر .(PentaBDE)
  - سداسي برومو ثنائي الفينيل إيثر .(HexaBDE)
  - سباعي برومو ثنائي الفينيل إيثر .(HeptaBDE)
  - عشاري برومو ثنائي الفينيل إيثر .(DecaBDE)

أسباب إدراجها:
- الثبات البيئي :مقاومة بعض مركباتها للتحلل، واستمرار وجودها في البيئة لفترات طويلة .
- التراكم الحيوي :قدرة بعض مركباتها على التراكم في الأنسجة الحية والانتقال عبر السلسلة الغذائية .

الآثار السمية :وجود أدلة علمية على آثار ضارة محتملة في صحة الإنسان والحياة البرية، بما في ذلك التأثيرات على الجهازين العصبي والهرموني لبعض المركبات .
- انتشارها في المنتجات والمخلفات :استمرار وجودها في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية والمنتجات البلا ستيكية والمنسوجات القديمة، مما يجعل إعادة تدوير هذه المنتجات وإدارة مخلفاتها تحديًا بيئيًا .

أُدرجت مركبات TetraBDE و PentaBDEو HexaBDE وHeptaBDE ضمن المرفق ألف عام 2009، وأُدرج DecaBDE عام 2017. ويخضع إدراجها لأحكام الإزالة والا ستثناءات المحددة لكل مادة، بما في ذلك الأحكام الخاصة ببعض المنتجات والمخلفات المحتوية عليها.

- **حمض السلفونيك البيرفلوروكتاني وأملاحه (Perfluorooctane Sulfonate – PFOS)**
ينتمي PFOS إلى مجموعة المواد البيرفلورية ومتعددة الفلورة(PFAS) ، وهي مجموعة من المركبات الكيميائية ا ستُخدمت في تطبيقات صناعية وتجارية متعددة بسبب مقاومتها للماء والزيوت والحرارة. و شملت ا ستخداماته بعض أنواع رغوات مكافحة الحرائق، ومعالجة المنسوجات، والطلاءات، والتطبيقات الكهربائية والإلكترونية.

أسباب إدراجه:
- الثبات الكيميائي المرتفع :يتميز PFOS بمقاومة شديدة للتحلل، مما يؤدي إلى استمراره في البيئة لفترات طويلة .
- الانتقال البيئي بعيد المدى :يمكن أن ينتقل عبر الأوساط البيئية إلى مناطق بعيدة عن مصادر انبعاثه .
- التراكم الحيوي :يمكن أن يتراكم في الكائنات الحية؛ ويختلف نمط تراكمه عن كثير من الملوثات العضوية الثابتة التقليدية، إذ يرتبط بالبروتينات في الدم والكبد بدلًا من اقتصاره على الأنسجة الدهنية .
- المخاطر الصحية والبيئية :استوفى معايير تقييم المخاطر المعتمدة بموجب الاتفاقية، بما يشمل خصائص الثبات والانتقال والتراكم والآثار السمية .

أُدرج PFOS وأملاحه ومركب فلوريد السلفونيل البيرفلوروكتاني (PFOSF) في المرفق باء عام 2009، وهو مرفق التقييد، مع تحديد أغراض مقبولة وإعفاءات محددة لبعض الاستخدامات. ولذلك، فإن إدراجه لا يعني الحظر المطلق لجميع استخداماته، بل يخضع الإنتاج والاستخدام للأحكام والشروط الواردة في الاتفاقية .

- البارافينات المكلورة قصيرة السلسلة(Short-Chain Chlorinated Paraffins – SCCPs) هي مخاليط من الألكانات المكلورة ذات أطوال سلاسل كربونية قصيرة، تتراوح عادةً بين 10 و13 ذرة كربون. استُخدمت في تطبيقات صناعية متعددة، منها سوائل تشغيل المعادن، والمواد المانعة للاشتعال، والدهانات والمواد اللاصقة، وبعض منتجات المطاط والبلاستيك.

أسباب إدراجها:

- الثبات البيئي :تتميز باستقرارها الكيميائي وقدرتها على البقاء في البيئة.
- الانتقال لمسافات طويلة :يمكن أن تنتقل عبر الهواء إلى مناطق بعيدة عن مصادر إطلاقها .
- التراكم الحيوي :أظهرت العديد من مركباتها قدرة على التراكم في الكائنات الحية .
- الآثار السمية :تشير التقييمات العلمية إلى احتمالية تسببها في آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة، نتيجة خصائصها وانتقالها البيئي .
- تعدد الاستخدامات الصناعية :أدى استخدامها في قطاعات مختلفة إلى انتشارها في المنتجات الصناعية والمخلفات، مما يزيد من تحديات الرقابة وإدارة النفايات المحتوية عليها .

أُدرجت البارافينات المكلورة قصيرة السلسلة ضمن المرفق ألف عام 2017، بهدف إزالة إنتاجها واستخدامها وفقًا لأحكام الاتفاقية والاستثناءات المحددة فيها.

3. استراتيجيات أخذ عينات الهواء لرصد الملوثات العضوية الثابتة:

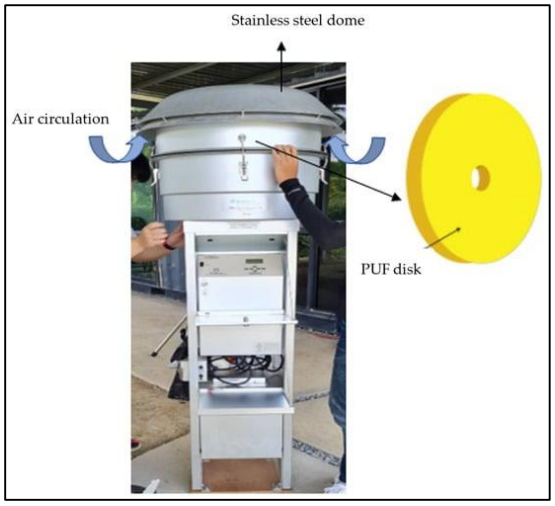
يوصي برنامج الرصد العالمي لاتفاقية ستوكهولم باتباع نهجين أساسيين لأخذ العينات، وهما:

1. أخذ عينات الهواء السلبي
2. أخذ عينات الهواء النشط

1.3. طريقة أخذ عينات الهواء السلبية:

1.1.3. مبادئ طريقة أخذ عينات الهواء السلبية:

تعتمد أجهزة أخذ عينات الهواء السلبية (Passive Air Samplers – PAS) (الصورة 6)على جمع الملوثات العضوية الثابتة من الهواء المحيط دون الحاجة إلى استخدام المضخات أو أنظمة سحب الهواء الميكانيكية، وذلك من خلال استخدام مواد ماصة مناسبة، مثل الأقراص أو الأغشية المصنوعة من البولي يوريثان (PUF) أو غيرها من المواد الماصة، التي تسمح بانتقال الملوثات من الهواء وتراكمها تدريجيًا بمرور الوقت. وتوفر هذه التقنية بيانات تعكس التعرض التراكمي للملوثات خلال فترة أخذ العينة، وتُستخدم على نطاق واسع في برامج وشبكات الرصد البيئي على المستويين الإقليمي والعالمي.



الصورة رقم(6) توضح أجهزة أخذ عينات الهواء السلبية

تُعدّ أجهزة أخذ العينات السلبية مناسبة بشكل خاص لما يلي:

- مواقع الرصد عن بُعد
- تحليل الاتجاهات طويلة الأجل
- شبكات الرصد واسعة النطاق

2.1.3. مواد أخذ العينات:

المادة الماصة الأكثر شيوعًا هي (أقراص رغوة البولي يوريثان (PUF))، وتتميز هذه المواد بقدرتها الفائقة على امتصاص المركبات العضوية شبه المتطايرة، مثل الملوثات العضوية الثابتة، وتشمل مكونات أخذ العينات ما يلي:

- قرص رغوة البولي يوريثان (قطره ١٤-١٥ سم)
- غلاف لأخذ العينات مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الألومنيوم
- غطاء واقٍ للحماية من المطر وأشعة الشمس

3.1.3. مدة أخذ العينات:

- فترات التعرض النموذجية: من 4 إلى 12 أسبوعاً.
- فترة الرصد العالمية القياسية: 3 أشهر (يسمح هذا بتراكم كافٍ للملوثات العضوية الثابتة حتى عند التركيزات المنخفضة في الغلاف الجوي).

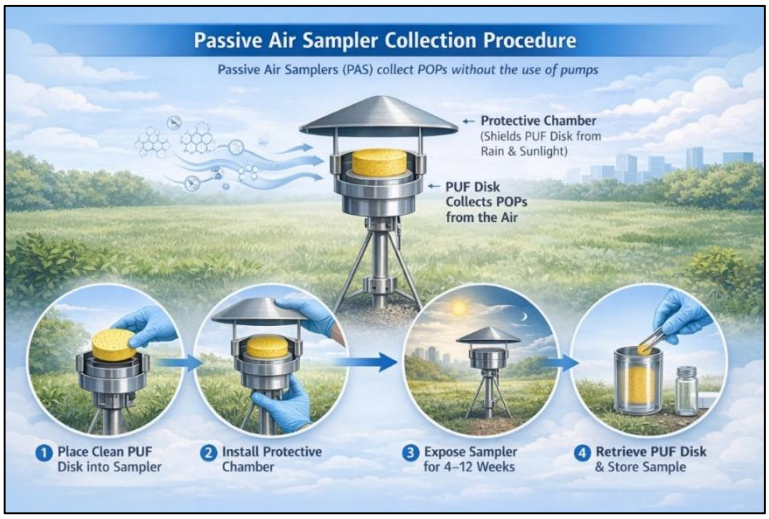
4.1.3. كيفية اختيار مواقع أخذ العينات:

يجب اختيار مواقع أخذ العينات بعناية لتمثيل الظروف البيئية الإقليمية، وتشمل المعايير ما يلي:

- الابتعاد عن مصادر الانبعاثات المباشرة
- ارتفاع لا يقل عن 1.5-2 متر فوق سطح الأرض
- تهوية جيدة
- الحماية من الأمطار
- تجنب المباني أو الأشجار التي تعيق تدفق الهواء

ومن أنواع محطات الرصد مواقع رصد بيئية، مواقع رصد حضرية، ومواقع رصد ناتجة عن تأثيرات صناعية، ومحطات رصد ساحلية.

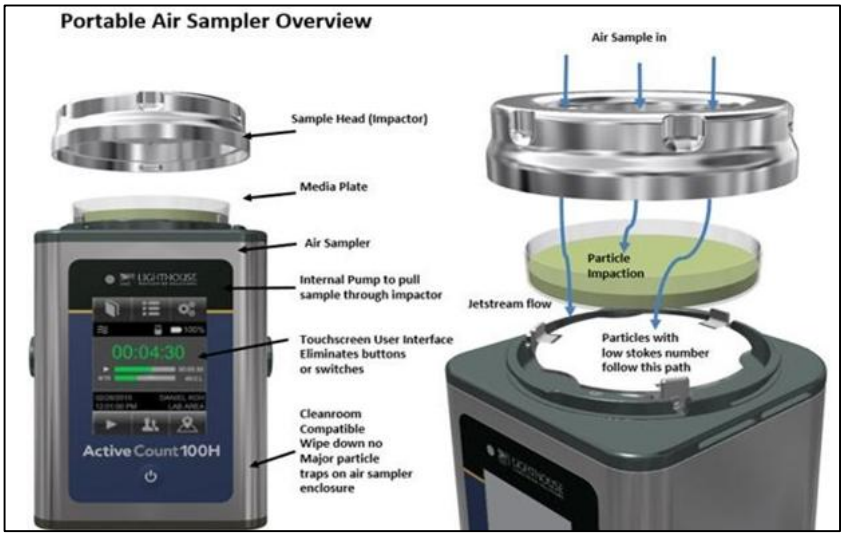
5.1.3. خطوات أخذ العينات السلبية:

خطوات أخذ العينات السلبية	الصورة التوضيحية
1. نظّف أقراص البولي يوريثان الرغوي (PUF) باستخدام الاستخلاص بالمذيبات. 2. ثبّت غلاف جهاز أخذ العينات في موقع الرصد. 3. ضع قرص البولي يوريثان الرغوي داخل جهاز أخذ العينات. 4. سجّل وقت النشر والظروف البيئية. 5. عرّض جهاز أخذ العينات لفترة الرصد المحددة. 6. استخرج جهاز أخذ العينات بعد انتهاء فترة الرصد. 7. أغلق قرص البولي يوريثان الرغوي بإحكام في حاويات مُنظّفة بالمذيبات. 8. خزّن العينات عند درجة حرارة -20 درجة مئوية حتى وقت التحليل.	 الصورة رقم(7) توضح إجراء أخذ عينات الهواء السلبي

2.3. طريقة أخذ عينات الهواء النشطة:

1.2.3. مبادئ جمع عينات الهواء النشطة:

تعتمد تقنية أخذ عينات الهواء النشطة على استخدام جهاز أخذ عينات الهواء عالي الحجم (High-Volume Air Sampler) (الصورة 8) أو جهاز أخذ عينات الهواء متوسط الحجم (Medium-Volume Air Sampler)، والمزوّد بمضخة لسحب حجم معلوم من الهواء المحيط وتمريره عبر مرشح جسيمي ومواد ماصة مناسبة، مثل مادة البولي يوريثان (PUF) أو راتنجات الإكثار الامتزازي(XAD-2) ، لالتقاط الملوثات العضوية الثابتة الموجودة في الطورين الجسيمي والغازي. ويُحدد نوع الجهاز والمواد المستخدمة وفقًا للملوثات المستهدفة والغرض من الرصد. وتتيح هذه التقنية قياس تراكيز الملوثات كميًا، والتعبير عنها بوحدات مثل البيكوغرام لكل متر مكعب (pg/m^3) أو النانوغرام لكل متر مكعب.(ng/m^3)



الصورة رقم(8) توضح خطوات أخذ عينات الهواء النشط

2.2.3. جهاز أخذ عينات الهواء عالي الحجم (HiVol):

يُعد جهاز أخذ عينات الهواء عالي الحجم (HiVol) (الصـــورة9)أكثر أجهزة أخذ العينات النشـــطة استخدامًا لرصد الملوثات العضوية الثابتة.

- معدل تدفق العينة النموذجي: 300-500 لتر/دقيقة
- حجم الهواء المُجمّع: 500-1000 متر مكعب لكل عينة



الصورة رقم(9) توضح جهاز أخذ عينات الهواء عالي الحجم

3.2.3. مكونات أخذ العينات:

تعتمد عملية أخذ العينات النشطة على نظام تجميع ثنائي المراحل:

1. مرشح الألياف الزجاجية (GFF): يلتقط الملوثات العضوية الثابتة المرتبطة بالجسيمات.
2. خرطوشة رغوة البولي يوريثان (PUF): تلتقط الملوثات العضوية الثابتة الغازية.

4.2.3. مدة أخذ العينات:

المدة النموذجية لأخذ العينات: 24-48 ساعة

5.2.3. خطوات أخذ العينات (الهواء النشطة):

خطوات أخذ عينات الهواء النشطة	الرسم التوضيحي
1. ثبّت مرشح الألياف الزجاجية في حامل المرشح. 2. ضع خرطوشة البولي يوريثان الرغوي (PUF) أسفل المرشح. 3. اضبط معدل تدفق الهواء. 4. شغّل جهاز أخذ العينات للمدة المحددة. 5. سجّل إجمالي حجم الهواء الذي تم أخذ عينة منه. 6. أزل المرشحات وخراطيش البولي يوريثان الرغوي. 7. لفّها بورق ألومنيوم مُنظّف بالمذيب. 8. خزّنها في درجة حرارة (٢٠-) درجة مئوية حتى وقت الاستخلاص.	 **الصورة رقم(10) توضح إجراء أخذ عينات الهواء النشطة**

4. إجراءات استخلاص العينات:

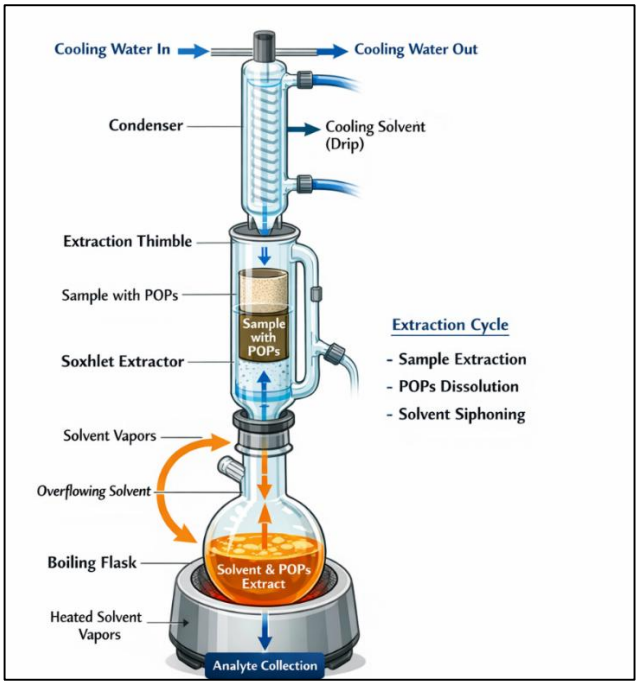
يجب استخلاص العينات المجمعة قبل تحليلها كيميائياً، وتشمل طرق الاستخلاص ما يلي:

1.4. استخلاص سوكسلت (Soxhlet):

الطريقة التقليدية باستخدام المذيبات العضوية مثل:

- Hexane
- Dichloromethane

مدة الاستخلاص: (16-24 ساعة)



الصورة رقم (11) توضح إجراء استخلاص الملوثات العضوية الثابتة باستخدام جهاز Soxhlet

2.4. الاستخلاص المعجل بالمذيبات (Accelerated solvent extractor (ASE)):

هي تقنية اســتخلاص آلية حديثة تقلل من اســتخدام المذيبات ووقت المعالجة، تتميز بالمميزات التالية:

- استخلاص أسرع
- كفاءة أعلى
- استهلاك أقل للمذيبات

5. تنظيف العينات:

تتطلب العينات المستخلصة عملية تنقية لإزالة المركبات المتداخلة، وتشمل طرق التنقية الشائعة ما يلي:

- كروماتوغرافيا عمود السيليكا جل
- تنقية عمود الألومينا
- تنقية عمود فلوريسيل
- إزالة الكبريت باستخدام النحاس المنشط

6. أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة:

بعد عملية التنظيف، يتم تحليل العينات باستخدام أجهزة تحليلية عالية الدقة، هي:

1.6. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS):

يُستخدم جهاز Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) على نطاق واسع للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة.

الوظائف:

- فصل المركبات (GC)

- تحديد الهوية والقياس الكمي (MS)

التطبيقات:

- ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)
- مبيدات الآفات العضوية الكلورية (Organochlorine pesticides)
- ثنائي الفينيل متعدد البروم (PBDEs)



الصورة رقم (12) توضح جهاز GCMS- TSQ™ 8000 Evo triple quadrupole GC-MS/MS

2.6. High Resolution GC-HRMS:

توفر تقنية قياس الطيف الكتلي عالي الدقة حدود كشف منخفضة للغاية، وحدود الكشف النموذجية لهذه التقنية (مستوى بيكوغرام/م^3)، وتُستخدم في قياس:

- الديوكسينات (PCDDs)
- الفيورانات (PCDFs)

3.6. Gas Chromatography with Electron Capture Detector (GC-ECD):

حساسة للمركبات الهالوجينية مثل ثنائي الفينيل متعدد الكلور، ومبيدات الآفات العضوية الكلورية.



الصورة رقم (13) توضح جهاز Gas chromatography-ECD

4.6. Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS/MS):

يُستخدم في تحليل مركبات PFAS، والملوثات العضوية الثابتة القطبية.

الفصل الثاني: اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى المياه

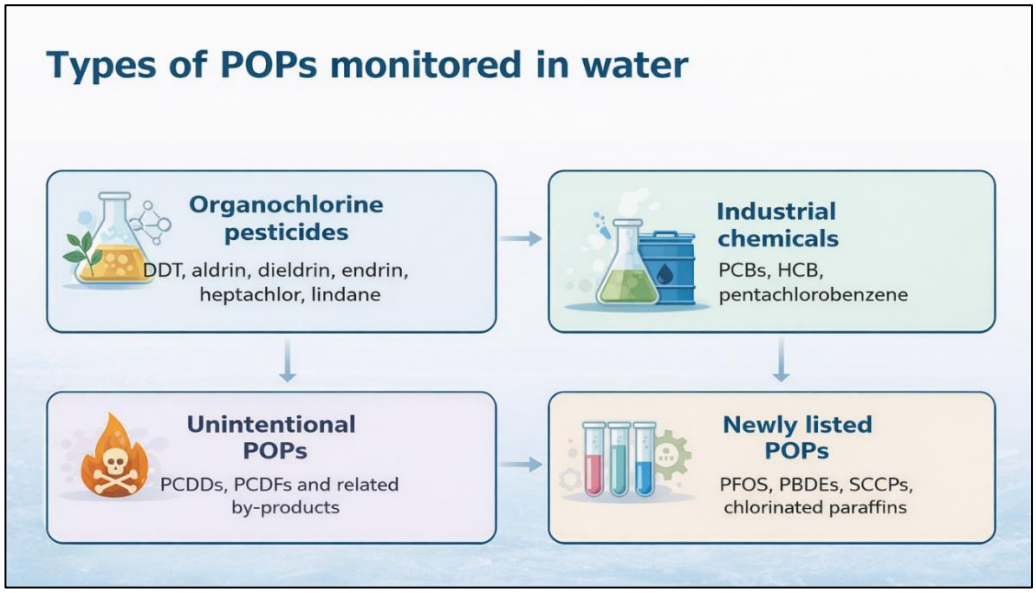
1. الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة في المياه:

تشمل الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة في المياه ما يلي:

- توليد بيانات موثوقة وقابلة للمقارنة حول وجود الملوثات العضوية الثابتة، وتوزيعها، واتجاهاتها الزمنية،
- تدعم بيانات رصد الملوثات العضوية الثابتة في المياه تقييم المخاطر، تحديد المصادر، تقييم الامتثال، ووضع استراتيجيات إدارة قائمة على أسس علمية لهذه الملوثات.

2. أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في المياه:

بموجب اتفاقية ستوكهولم، تشمل المجموعات الرئيسية للملوثات العضوية الثابتة التي يمكن مراقبتها في المياه:



الصورة رقم(14) توضح أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في المياه

1. مبيدات الآفات العضوية الكلورية (OCPs):

تشمل مادة DDT ومستقلباتها، وسداسي كلورو حلقي الهكسان، والألدرين، والديلدرين، والإندرين، والكلوردان، والهيبتاكلور، والتوكسافين، ومخلفات الإندوسلفان، وقد تدخل هذه المركبات إلى المسطحات المائية من خلال التلوث التاريخي، أو الجريان السطحي، أو إعادة تحريك الرواسب، أو الاستخدام غير القانوني.

2. المواد الكيميائية الصناعية:

تشمل الملوثات العضوية الثابتة الشائعة في الصناعة ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)، وسداسي كلورو البنزين (HCB)، وخماسي كلورو البنزين (PeCB)، والمواد المكلورة ذات الصلة. وفي الماء، غالباً ما ترتبط هذه المركبات بالمواد الصلبة العالقة، والرواسب الغنية بالمواد العضوية، ومخلفات النفط، ومياه الصرف الصحي.

3. الملوثات العضوية الثابتة الناتجة عن الإطلاقات الغير المقصودة (UPOPs):

قد تصل الملوثات العضوية الثابتة غير المقصودة، مثل ثنائي بنزو-بارا-ديوكسينات وثنائي بنزوفيورانات متعددة الكلور، إلى الأنظمة المائية عبر الترسيب الجوي، والانبعاثات الصناعية، وحرق النفايات، والجريان السطحي الملوث، ومياه الصرف الصحي. وعلى الرغم من أن تركيزاتها في الماء غالباً ما تكون منخفضة، إلا أنها ذات أهمية بيئية نظراً لسميتها العالية وقدرتها الكبيرة على الالتصاق بالجسيمات.

4. مبيدات الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حديثًا:

قد تصل الملوثات العضوية الثابتة غير المقصودة، مثل ثنائي بنزو-بارا-ديوكسينات وثنائي بنزوفيورانات متعددة الكلور إلى الأنظمة المائية عبر الترسيب الجوي، الانبعاثات الصناعية، حرق النفايات، الجريان السطحي الملوث، ومياه الصرف الصحي. وعلى الرغم من أن تركيزاتها في الماء غالباً ما تكون منخفضة، إلا أنها ذات أهمية بيئية نظراً لسميتها العالية وقدرتها الكبيرة على الالتصاق بالجسيمات.

ويعتمد اختيار المواد المستهدفة للتحليل على الأولويات الوطنية، والمصادر المعروفة، والاستخدام التاريخي، والأنشطة الصناعية، والقدرات التحليلية.

3. استراتيجيات أخذ عينات المياه لرصد الملوثات العضوية الثابتة:

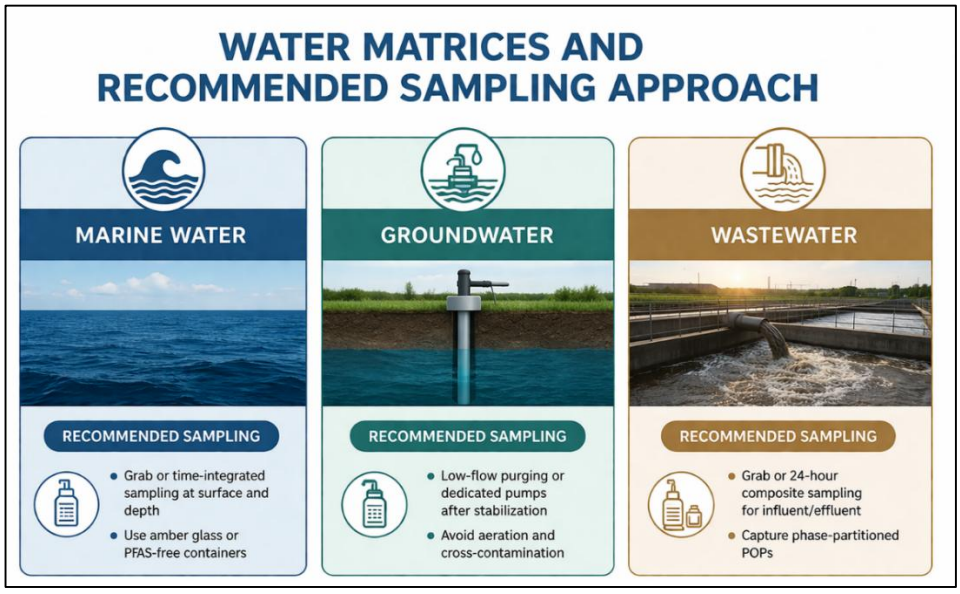
يعتمد اختيار استراتيجية أخذ عينات المياه على:

- البيئة المحيطة،
- نطاق التركيز المتوقع،
- الظروف الهيدرولوجية،
- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمركبات المستهدفة.

حيث يُستخدم أخذ عينات المياه المنفصلة على نطاق واسع في المياه البحرية والجوفية، بينما تُستخدم كل من أساليب أخذ العينات المنفصلة والمركبة الموزونة زمنياً بشكل شائع في دراسات مياه الصرف الصحي. كما يمكن اعتماد أجهزة أخذ العينات السلبية المتكاملة زمنياً عند توقع تركيزات منخفضة أو متذبذبة.

1.3. البيئات المائية الرئيسية الثلاث لعينات المياه والهدف منها:

- يُصمم رصد المياه البحرية لتقييم التركيزات الأساسية، والمدخلات الساحلية، وتأثير الموانئ والمناطق الصناعية، ومناطق الاختلاط بالقرب من مصبات المياه.
- يركز رصد المياه الجوفية على هشاشة طبقات المياه الجوفية، وتأثير أعمدة التلوث الناتجة عن مكبات النفايات أو الصناعات، والآثار المحتملة على موارد مياه الشرب.
- أما رصد مياه الصرف الصحي فيُستخدم لتقييم جودة المياه الداخلة والخارجة، وكفاءة المعالجة، وانبعاث الملوثات العضوية الثابتة من أنظمة الصرف الصحي البلدية والصناعية والمختلطة.



الصورة رقم(15) توضح أنواع عينات المياه ونهج أخذ العينات الموصى به

4. طرق أخذ عينات المياه :

1.4 أخذ العينات المنفصلة:

يُعدّ أخذ العينات المنفصلة مناسباً عندما يكون الهدف هو تحديد خصائص جودة المياه في نقطة زمنية ومكانية محددة، ويُستخدم على نطاق واسع في مراقبة المياه البحرية والمياه الجوفية ومياه الصرف الصحي المعالجة، وتُعدّ العينات المنفصلة مفيدة بشكل خاص للأنظمة المستقرة نسبياً أو للمراقبة التأكيدية في النقاط الساخنة المحددة.

2.4 أخذ العينات المركبة:

يُوصى بشكل أساسي بأخذ عينات مركبة لمياه الصرف الصحي، حيث يمكن أن يختلف التركيز والتدفق بشكل كبير على مدار اليوم، وتوفر العينات المركبة التي تُؤخذ على مدار 24 ساعة، سواءً كانت متناسبة مع الزمن أو التدفق، قياساً أكثر تمثيلاً لمتوسط حمولة الملوثات، ويتطلب أن تكون الحاويات والأنابيب متوافقة مع المواد المراد تحليلها، ويجب ألا تُدخل تلوثاً بالفلور عند تضمين مركبات PFAS.

يمكن استخدام أجهزة أخذ العينات السلبية، مثل أجهزة الأغشية شبه النفاذة (SPMDs) أو أجهزة أخذ العينات المتكاملة للمواد الكيميائية العضوية القطبية (POCIS)، للرصد الزمني المتكامل للملوثات العضوية الثابتة منخفضة المستوى في المياه البحرية أو العذبة، وتُعد هذه الطرق مفيدة بشكل خاص لتقييم الاتجاهات طويلة الأجل وللمواقع التي يُتوقع فيها تقلبات في التركيز، وينبغي التخطيط بعناية لوقت النشر ومعايرة أجهزة أخذ العينات ومكافحة التلوث البيولوجي وعينات المقارنة الميدانية.

5. حاويات أخذ العينات والمواد والمعدات الميدانية:

- بالنسبة لمعظم الملوثات العضوية الثابتة الكارهة للماء، يفضل استخدام زجاجات زجاجية كهرمانية نظيفة مسبقًا ذات أغطية خالية من مادة البولي تترافلوروإيثيلين أو أغطية معدنية مبطنة تم شطفها بالمذيبات.



الصورة رقم(16) توضح عبوات زجاجية كهرمانية اللون بأغطية خالية من مادة البولي تترافلوروإيثيلين

- أما بالنسبة للمواد الكيميائية المشبعة بالفلور (PFAS) والمواد التحليلية ذات الصلة، ينبغي تجنب استخدام المواد المحتوية على متعدد رباعي فلورو الإيثيلين، وقد تكون حاويات البولي إيثيلين عالي الكثافة أو البولي بروبيلين مقبولة لبعض المواد التحليلية المختارة بعد إتمام التحقق المختبري، وقد تشمل معدات أخذ العينات أجهزة أخذ عينات من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الزجاج، وزجاجات نيسكين لمياه البحر، ومضخات أو مغارف منخفضة التدفق للمياه

الجوفية، وأجهزة أخذ عينات مركبة آلية لمياه الصرف الصحي، ووحدات ترشيح ميدانية عند الحاجة، ومبردات مزودة بأكياس ثلج، ونماذج سلسلة الحفظ، ومستلزمات التطهير المناسبة.



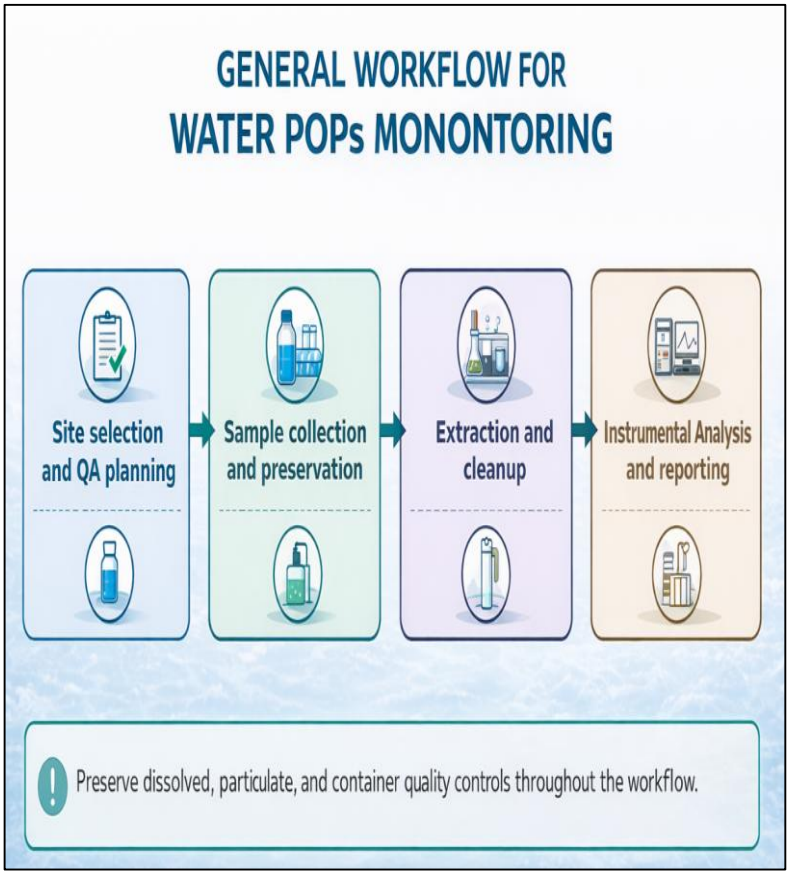
الصورة رقم(17) توضح معدات أخذ عينات المياه

6. إجراءات أخذ وجمع وحفظ واستخلاص العينات:

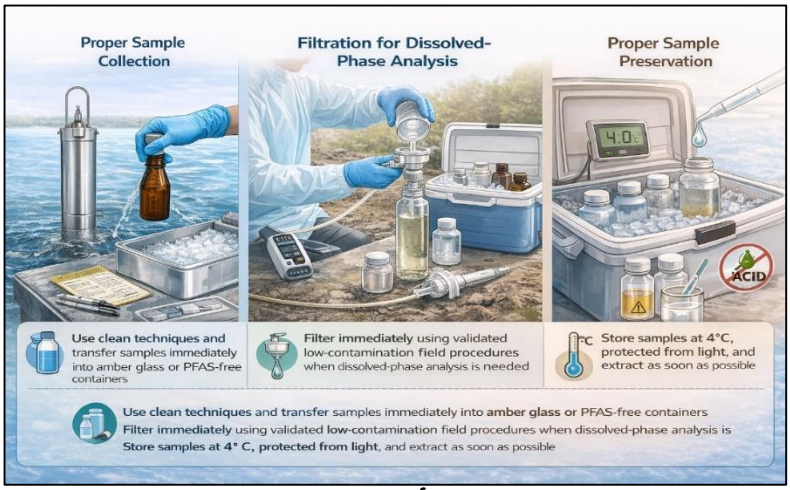
إجراءات أخذ العينات	الصورةالتوضيحية
1. تبدأ العملية باختيار الموقع وتخطيط ضمان الجودة، حيث يتم تحديد مواقع أخذ العينات المناسبة بناءً على أهداف الدراسة ومصادر التلوث المحتملة والمتطلبات التنظيمية. تتضمن هذه المرحلة أيضاً تطوير إطار عمل قوي لضمان الجودة ومراقبتها لضمان موثوقية البيانات وقابليتها للمقارنة. 2. تتضمن الخطوة التالية جمع العينات وحفظها، حيث تُؤخذ عينات المياه باستخدام التقنيات والمعدات المناسبة حسب نوع العينة (مياه بحرية، مياه جوفية، أو مياه صرف صحي)، و عدّ طرق الحفظ السليمة، بما في ذلك التحكم في درجة الحرارة، واستخدام حاويات مناسبة (مثل الزجاج الكهرماني أو مواد خالية من مركبات (PFAS)، وتقليل التلوث إلى أدنى حد، ضرورية للحفاظ على سلامة العينة قبل التحليل. 3. بعد الجمع، تخضع العينات لعمليات الاستخلاص والتنظيف، وهي خطوات حاسمة لعزل الملوثات العضوية الثابتة من أنواع المياه المعقدة، وتُستخدم عادةً تقنيات استخلاص مثل الاستخلاص الطوري الصلب (SPE) والاستخلاص السائل-السائل واستخلاص سوكسلت، تليها إجراءات تنقية باستخدام السيليكا	

أو الألومينا أو مواد ماصة أخرى لإزالة المواد المتداخلة وتعزيز دقة التحليل.

4. تتضمن المرحلة الأخيرة التحليل الآلي وإعداد التقارير، حيث تُستخدم تقنيات تحليلية متقدمة مثل GC-MS و-GC HRMS وLC-MS/MS لتحديد وقياس الملوثات العضوية الثابتة. بعد ذلك، تُعالج البيانات وتُدقّق وتُبلغ وفقاً للإرشادات والأطر التنظيمية المعمول بها.

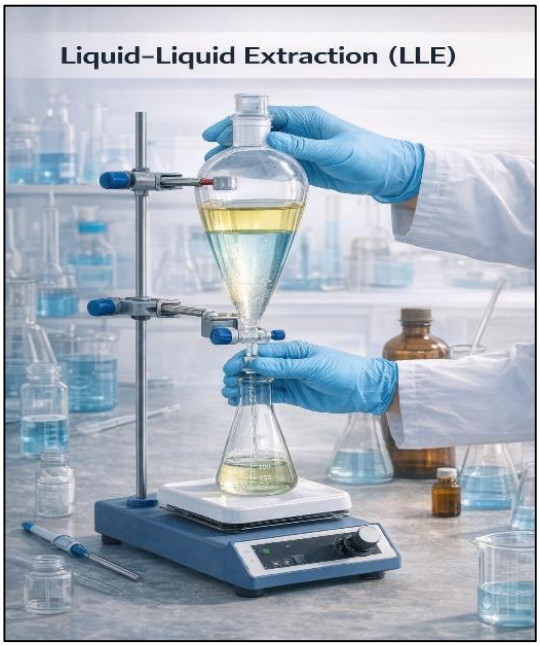


الصورة رقم(18) توضح سير العمل العام لرصد الملوثات العضوية الثابتة في المياه

جمع وحفظ العينات الميدانية	الصورة التوضيحية
1. جمع عينات المياه باستخدام تقنيات نظيفة ونقلها فوراً إلى حاويات مناسبة، 2. تُحفظ العينات عادةً عند درجة حرارة 4 درجات مئوية أثناء النقل، مع حمايتها من الضوء، 3. يتم استخلاص العينات عملياً، بالنسبة لبعض المواد المراد تحليلها، قد يُسمح بالتحميض أو الحفظ الكيميائي فقط بعد التأكد تحليلياً من ثبات المركبات المستهدفة في ظل هذه الظروف.	

الصورة رقم(19) توضح عملية أخذ عينات المياه

إجراءات استخلاص العينات

الاستخلاص السائل-السائل (LLE): يُعدّ الاستخلاص السائل-السائل طريقةً كلاسيكيةً لاستخلاص الملوثات العضوية الثابتة الكارهة للماء من الماء، حيث يتم استخلاص حجم مُقاس من الماء باستخدام مذيب عضوي غير قابل للامتزاج، مثل الهكسان العادي أو ثنائي كلورو الميثان أو أنظمة المذيبات المختلطة، ومن ثم يُجفف المستخلص المُجمّع فوق كبريتات الصوديوم اللامائية ويُركّز قبل تنقيته.	 الصورة رقم(20) توضح الاستخلاص السائل-السائل
الاستخلاص الطوري الصلب (SPE): تُستخدم تقنية الاستخلاص الطوري الصلب (SPE) على نطاق واسع لأنها تقلل من استهلاك المذيبات ويمكن تكييفها مع مجموعة واسعة من المواد المراد تحليلها حيث يتم تمرير الماء عبر خراطيش ماصة مثل C18، أو خراطيش الطور العكسي البوليمرية، أو خراطيش التبادل الأيوني، أو خراطيش الوضع المختلط، ويُعد هذا الأسلوب مناسبًا بشكل خاص لمركبات PFAS والمبيدات الحشرية ومجموعات المواد المختلطة المراد تحليلها، وذلك بعد التحقق من صحة الخراطيش بشكل مناسب.	 الصورة رقم(21) توضح استخلاص الطور الصلب
الاستخلاص الدقيق للأطوار الصلبة (SPME) والأساليب ذات الصلة: يمكن تطبيق تقنيات الاستخلاص الدقيق للمواد الصلبة (SPME) وغيرها من تقنيات الاستخلاص الدقيق في برامج الفحص أو البحث التي تتطلب أحجام عينات صغيرة جداً أو تحضيراً سريعاً، ولا يُنصح باستخدام هذه الطرق إلا بعد التحقق من دقتها، ونسبة استخلاصها، وتأثيرات النوع.	 الصورة رقم(22) توضح الاستخلاص الدقيق في الطور الصلب

7. تنظيف العينة:

بعد الاستخلاص، يلزم إجراء عملية تنقية لإزالة الشوائب من المصفوفة، مثل الدهون، الكبريت، الأصباغ، المواد الفعالة سطحياً، والمواد العضوية المستخلصة معها. حيث تشمل إجراءات التنقية النموذجية كروماتوغرافيا عمود هلام السيليكا، والتنقية باستخدام الألومينا، والتنقية باستخدام فلوريسيل، وكروماتوغرافيا نفاذية الهلام، والتنقية باستخدام الكربون لإزالة المركبات الشبيهة بالديوكسين، وإزالة الكبريت باستخدام النحاس المنشط ، و يجب أن تتوافق خطط التنقية مع فئة المادة المراد تحليلها ومتطلبات حساسية الجهاز.

8. أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة

يعتمد اختيار الجهاز على درجة التطاير والقطبية وحساسية الكشف المطلوبة للمركبات المستهدفة، وغالباً ما تجمع برامج تحليل المخلفات المتعددة بين منصات كروماتوغرافيا الغاز والكروماتوغرافيا السائلة.

1.8 كروماتوغرافيا الغاز - مطياف الكتلة (GC-MS/MS):

يُستخدم جهاز GC-MS/MS بشكل شائع لتحليل مبيدات الآفات العضوية الكلورية، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم (PBDEs)، والبارافينات المكلورة، والعديد من المركبات شبه المتطايرة الكارهة للماء، ويُحسّن مطياف الكتلة الترادفي الانتقائية ويُقلل حدود الكشف في مصفوفات المياه المعقدة.



الصورة رقم(23) توضح جهاز GCMS- TSQ™ 8000 Evo triple quadrupole GC-MS/MS

2.8 عالي الدقة GC-HRMS:

يفضل استخدام تقنية GC-HRMS عالية الدقة لتحليل آثار الديوكسينات والفيورانات والمركبات ذات الصلة حيث تكون هناك حاجة إلى حدود كشف منخفضة للغاية ودقة كتلة عالية.



الصورة رقم (24) توضح جهاز HRGC-HRMS

3.8 الاستشراب السائل - مطياف الكتلة (LC-MS/MS):

يُعدّ التحليل الكروماتوغرافي السائل - مطياف الكتلة الترادفي (LC-MS/MS) الطريقة المُفضّلة لتحليل مركبات PFAS وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة القطبية التي لا يُمكن تحليلها باستخدام كروماتوغرافيا الغاز ، ويتطلب ذلك تطبيق ضوابط مخبرية صارمة للحدّ من التلوث الخلفي الناتج عن المواد الفلورية.



الصورة رقم (25) توضح جهاز مطياف الكتلة بالكروماتوغرافيا السائلة

4.8 كروماتوغرافيا الغاز - كاشف التقاط الإلكترون (GC-ECD):

يعتبر جهاز GC-ECD الجهاز الأنسب للفحص المستهدف للمركبات المهلجنة مثل مبيدات الآفات العضوية الكلورية ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، على الرغم من التوصية بشدة بإجراء تحليل تأكيدي بواسطة مطياف الكتلة.



الصورة رقم (26) توضح جهاز كروماتوغرافيا الغاز - التقاط الإلكترون

الفصل الثالث : اجراءات جمع وتحليل عينات الملوثات العضوية الثابتة فى التربة والرسوبيات

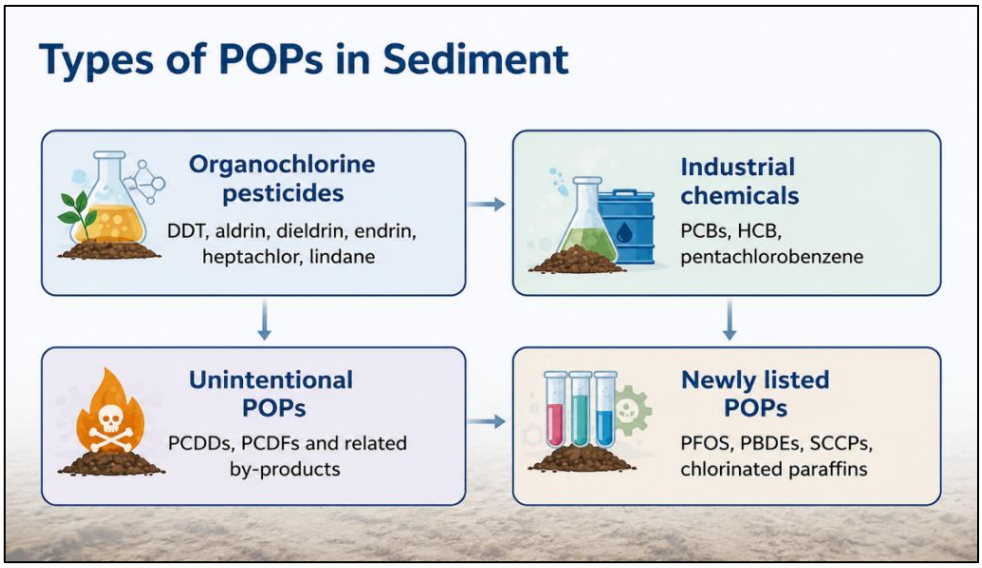
1. الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة في التربة والرسوبيات:

تشمل الأهداف الرئيسية لرصد الملوثات العضوية الثابتة في التربة والرسوبيات ما يلي:

- تحديد تركيزات الملوثات العضوية الثابتة الأساسية في عينات تمثيلية من التربة والرسوبيات؛
- تحديد أنماط التلوث المكاني؛
- تقييم المناطق الساخنة القريبة من المناطق الصناعية والزراعية والحضرية ومدافن النفايات والموانئ والمناطق الساحلية؛
- تقييم الاتجاهات طويلة الأجل؛
- تعزيز القدرات الوطنية لرصد الملوثات العضوية الثابتة.

2. أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في التربة والرسوبيات:

بموجب اتفاقية ستوكهولم، تشمل الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها بشكل شائع في التربة والرسوبيات ما يلي:



الصورة رقم(27) توضح أنواع الملوثات العضوية الثابتة التي يتم رصدها في التربة والرسوبيات

1.2 مبيدات الآفات العضوية الكلورية (OCPs):

تشمل مبيدات الآفات العضوية الكلورية مادة DDT ومستقلباتها، الألدرين، والديلدرين، والإندرين، والكلوردان، والهيبتاكلور، والهيكساكلوروبنزين، والتوكسافين، والميركس، واللينداان، وألفا-HCH، وبيتا-HCH، والكلورديكون، والبنتاكلوروبنزين، ومخلفات مشتقات الإندوسلفان. قد تبقى هذه المركبات في التربة الزراعية، ومواقع دفن النفايات، ومواقع تخزين المبيدات القديمة، وقنوات الصرف، والرسوبيات التي تستقبل مياه الجريان السطحي من مستجمعات المياه الملوثة تاريخياً.

2.2 المواد الكيميائية الصناعية:

تشمل الملوثات العضوية الثابتة الصناعية ثنائي الفينيل متعدد الكلور، وسداسي كلورو البنزين، وخماسي كلورو البنزين، وإيثرات ثنائي الفينيل متعددة البروم، وسداسي بروم ثنائي الفينيل، و سدا سي بروم حلقي الدوديكان، والبارافينات المكلورة ق صيرة الس لسلة، والبارافينات المكلورة متوسطة السلسلة عند الاقتضاء، ومركب ديكلوران بلس. وترتبط هذه المركبات عادةً بالمواقع الصناعية، والمعدات الكهربائية، والمواد المقاومة للاشتعال، ومناطق معالجة النفايات، والموانئ، وأحواض بناء السفن، والرواسب الحضرية.

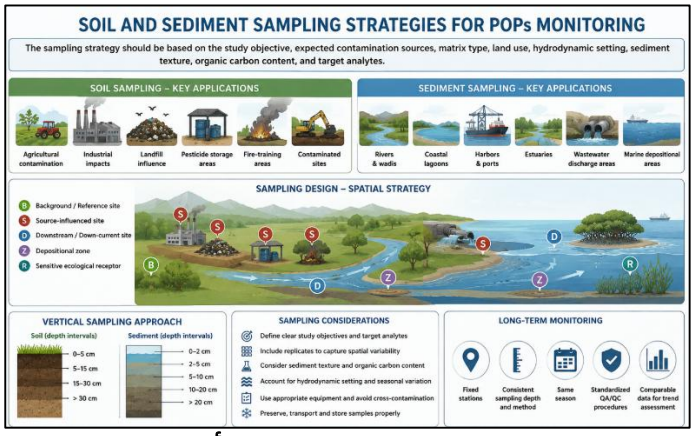
3.2 الملوثات العضوية الثابتة الناتجة عن الإطلاقات الغير مقصودة (UPOPs):

تشمل الملوثات العضوية الثابتة غير المقصودة ثنائي بنزو-بارا-ديوكسينات متعددة الكلور، وثنائي بنزوفيوران متعدد الكلور، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الشبيهة بالديوكسين، وسداسي كلوروبنزين، وخماسي كلوروبنزين، والمنتجات الثانوية المكلورة المتكونة بشكل غير مقصود. وقد تنشأ هذه المركبات من الحرق المكشوف، وحرق النفا يات، والعمليات المعدنية، والاحتراق الصناعي، والحرائق العرضية، والترسبات الجوية الملوثة.

4.2 الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حديثًا:

تشمل الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حديثًا، والتي لها صلة برصد التربة والرسوبيات، مركبات PFOS وPFOA وPFHxS والمركبات ذات الصلة، ومركبات PBDEs وHBCD وSCCPs، ومركبات dicofol، وUV-328، وmethoxychlor، وchlorpyrifos، وDechlorane Plus، وأحماض البيرفلوروكربوكسيلية طويلة السلسلة.

3. استراتيجيات أخذ عينات التربة والرسوبيات لرصد الملوثات العضوية الثابتة:

استراتيجيات أخذ العينات	الصورة التوضيحية
1. يُستخدم أخذ عينات التربة بشكل أساسي لتقييم التلوث الزراعي، والتأثيرات الصناعية، وتأثير مكبات النفايات، ومناطق تخزين المبيدات، ومناطق التدريب على مكافحة الحرائق، والمواقع الملوثة. 2. أما أخذ عينات الرسوبيات فيُستخدم لتقييم تراكم الملوثات العضوية الثابتة في الأنهار، والأودية، والبحيرات الساحلية، والموانئ، ومصبات الأنهار، ومناطق تصريف مياه الصرف الصحي، ومناطق الترسيب البحرية. 3. ينبغي أن تشمل برامج أخذ العينات مواقع مرجعية/خلفية، ومواقع متأثرة بالمصدر، ومواقع في اتجاه مجرى النهر أو التيار، ومناطق الترسيب، والمستقبلات البيئية الحساسة. وللمراقبة طويلة الأجل، ينبغي الحفاظ على محطات ثابتة باستخدام عمق أخذ	 الصورة رقم(28) توضح استراتيجيات أخذ عينات التربة والرسوبيات لرصد الملوثات العضوية الثابتة

عينات ثابت، وطريقة ثابتة، وموسم ثابت، وإجراءات ثابتة لضمان الجودة ومراقبتها.	

4. طرق أخذ عينات التربة والرسوبيات:

1.4 أخذ العينات المنفصلة:

يُستخدم أسلوب أخذ العينات المنفصلة عندما يكون الهدف هو تحديد تركيز الملوثات العضوية الثابتة في موقع وعمق محددين، وهو مناسب لتقييم المواقع الملوثة، والحقول الزراعية، والتربة الصناعية، ومناطق دفن النفايات، والرسوبيات المدية، والرسوبيات البحرية.

2.4 أخذ العينات المركبة:

يُوصى بأخذ عينات مركبة عندما يكون الهدف هو الحصول على متوسط تركيز تمثيلي لمنطقة محددة، حيث تُجمع عدة عينات فرعية من شبكة أو مقطع عرضي وتُخلط لتكوين عينة مركبة واحدة، ويُعد هذا النهج مفيدًا للتربة الزراعية والمناطق الملوثة الكبيرة والمسوحات الأساسية.

3.4 أخذ عينات من العمق:

يُوصى بأخذ عينات من طبقات التربة على أعماق مختلفة عند توقع ترسبات تاريخية أو دفن أو هجرة رأسية للملوثات العضوية الثابتة، حيث يمكن تقسيم عينات التربة إلى شرائح مثل 0-5 سم، 5-15 سم، و15-30 سم. أما عينات الرسوبيات، فيمكن تقطيعها إلى شرائح عند 0-2 سم، 2-5 سم، 5-10 سم، وفترات أعمق، وذلك حسب ظروف الترسيب وأهداف الدراسة.

4.4 أخذ عينات من الرسوبيات السطحية:

تستهدف عملية أخذ عينات الرسوبيات السطحية بشكل عام الطبقة النشطة بيولوجياً والمترسبة حديثاً، وعادةً ما تكون الطبقة العليا التي يتراوح عمقها بين 0 و5 سم. وتُعد هذه الطبقة مهمة لتقييم التعرض البيئي، ومخاطر الكائنات القاعية، واتجاهات التلوث الحديثة.

5. اختيار مواقع أخذ العينات الميدانية وجمعها وحفظها ونقلها:

ينبغي أن تمثل مواقع أخذ العينات الظروف الطبيعية، والمصادر المشتبه بها، ومسارات النقل، ومناطق الترسيب، والمستقبلات الحساسة.

1.5 اختيار موقع أخذ العينات الميدانية

- بالنسبة للتربة، تشمل المواقع الموصى بها الحقول الزراعية، ومناطق تخزين المبيدات، والمناطق الصناعية، ومحيط مكبات النفايات، ومناطق حرق النفايات، ومواقع التدريب على مكافحة الحرائق، والتربة الحضرية، ومنشآت النفط والغاز، والمناطق المرجعية.
- بالنسبة للرسوبيات، تشمل المواقع الموصى بها البحيرات الساحلية والموانئ ومناطق تصريف مياه التحلية ومناطق تصريف مياه الصرف الصحي والأودية ومصبات الأنهار ومناطق أشجار المانغروف والمسطحات المدية ومحطات المرجعية البحرية.

2.5. جمع وحفظ ونقل العينات الميدانية

- يُفضّل بشكل عام جمع عينات التربة من الطبقة السطحية (0-5 سم أو 0-10 سم) لتقييم التلوث السطحي.
- أما بالنسبة للتربة الزراعية، فقد يكون من المناسب جمع العينات من الطبقة 0-20 سم، وذلك بحسب عمق الحراثة.
- تُجمع عينات الرسوبيات من الطبقة السطحية (0-5 سم) باستخدام أداة جمع العينات أو أداة أخذ العينات الأسطوانية، مع تجنّب المواد المضطربة أو المغسولة.
- بعد عملية الجمع، تُزال الأحجار والأصداف وبقايا النباتات والمواد الغريبة فقط إذا لم تكن جزءًا من المادة المستهدفة،
- بعد ذلك تُنقل العينات إلى عبوات مُنظّفة مسبقًا، وتُعلّم بوضوح، وتُحفظ في صناديق تبريد عند درجة حرارة 4 درجات مئوية تقريبًا، بعيدًا عن أشعة الشمس، وتُنقل إلى المختبر في أسرع وقت ممكن.



الصورة رقم (29) توضح مواقع أخذ العينات وجمعها وحفظها ونقلها

6. إجراءات تحضير العينات واستخلاصها:

عادة ما تتطلب عينات التربة والرسوبيات التجفيف والغربلة والتجانس والاستخلاص والتنظيف والتركيز قبل التحليل الآلي.

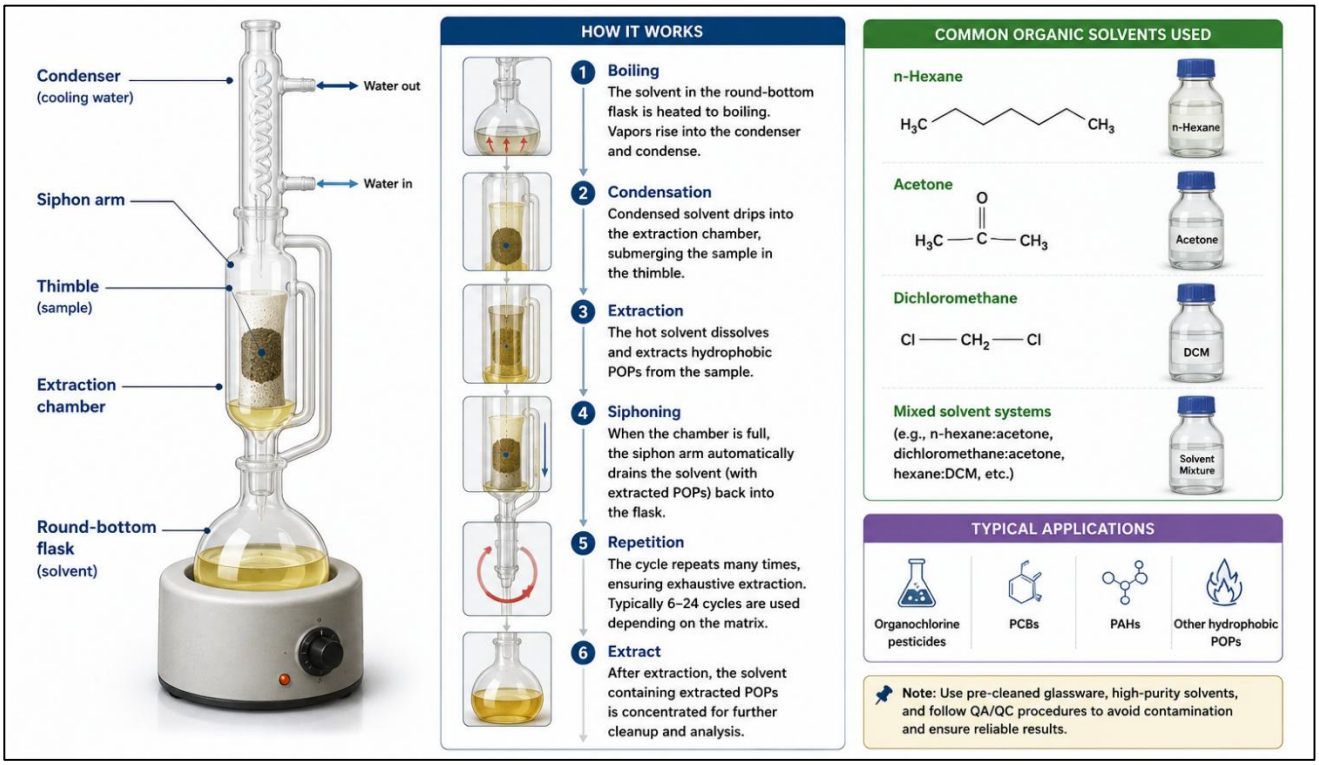
1.6. التجفيف والتجانس:

يمكن تجفيف العينات بالتجميد أو بالهواء في بيئة نظيفة وخالية من التلوث، وذلك حسب استقرار المادة المراد تحليلها وإجراءات التشغيل القياسية للمختبر، ويُفضل التجفيف بالتجميد لتحليل آثار الملوثات العضوية الثابتة، ويجب تجانس العينات المجففة ونخلها، عادةً باستخدام منخل بقطر 2مم

للتربة، وجزء دقيق مناسب لتحليل الرواسب. بالإضافة إلى تحديد نسبة الرطوبة للإبلاغ عن النتائج على أساس الوزن الجاف.

2.6. استخلاص سوكسلت (Soxhlet):

يُعدّ استخلاص سوكسلت طريقة كلاسيكية وشائعة الاستخدام لتحليل الملوثات العضوية الثابتة الكارهة للماء في التربة والرسوبيات، حيث تُستخلص عينة ذات وزن جاف معروف باستخدام مذيبات عضوية مثل الهكسان العادي، أو الأسيتون، أو ثنائي كلورو الميثان، أو أنظمة المذيبات المختلطة، ويُركّز المستخلص ويُخضع لعملية تنقية قبل التحليل الآلي.



الصورة رقم(30) توضح استخلاص سوكسلت للملوثات العضوية الثابتة الكارهة للماء

3.6. استخلاص المذيبات المعجل:

يُوصى باستخدام الاستخلاص المُعجّل بالمذيبات في التحليل الروتيني للملوثات العضوية الثابتة، لأنه يُقلل من استهلاك المذيبات ووقت الاستخلاص. حيث تُستخلص العينات المُجففة والمتجانسة تحت درجة حرارة وضغط مُتحكم بهما باستخدام مذيبات عضوية مناسبة، وتعتبر هذه الطريقة مُلائمة لمركبات الكلور العضوية، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم، والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (إن وُجدت)، والبارافينات المُكلورة، وغيرها من الملوثات العضوية الثابتة الكارهة للماء.

4.6. استخلاص بالموجات فوق الصوتية:

يتم استخدام الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية في الفحص والتقييم السريع، أو في المختبرات ذات البنية التحتية المحدودة، حيث يتم استخلاص كمية محددة من التربة أو الرسوبيات باستخدام مذيب عضوي مع التحريك بالموجات فوق الصوتية، ويجب التحقق من صحة هذه الطريقة من حيث الاسترداد، وقابلية التكرار، وحدود الكشف قبل اعتمادها من قبل الجهات التنظيمية.

5.6. استخلاص مركبات PFAS:

بالنسـبة لمركبات PFAS وغيرها من الملوثات العضـوية القطبية، تتضـمن عملية اسـتخلاص التربة والرسـوبيات عادةً اسـتخدام الميثانول القلوي، أو مخاليط الميثانول والماء، أو أنظمة مذيبات معتمدة، متبوعةً بتنقية باستخدام الاستخلاص بالطور الصلب.

7. تنظيف العينة:

بعد الاستخلاص، يلزم إجراء عملية تنقية لإزالة الكبريت والدهون والأصباغ ومخلفات البترول والمواد العضوية المستخلصة معها، وتشمل طرق التنقية الشائعة الآتي:

- كروماتوغرافيا هلام السيليكا،
- التنقية باستخدام السيليكا الحمضية،
- التنقية باستخدام الألومينا،
- التنقية باستخدام فلوريسيل،
- كروماتوغرافيا نفاذية الهلام،
- التنقية باستخدام عمود الكربون للديوكسينات والفيورانات،
- معالجة النحاس المنشط لإزالة الكبريت.

8. أجهزة تحليلية للكشف عن الملوثات العضوية الثابتة:

1.8 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS/MS):

يُعدّ جهاز GC-MS/MS مناسـبًا لتحليل مبيدات الآفات العضـوية الكلورية، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)، ومركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم (PBDEs)، والبارافينات المكلورة، والعديد من الملوثات العضوية الثابتة شبه المتطايرة الكارهة للماء. كما يوفر انتقائية وحساسية عاليتين في مستخلصات التربة والرواسب المعقدة.



الصورة رقم (31) توضح جهاز GC-MS/MS GCMS- TSQ™ 8000 Evo triple quadrupole

2.8 High Resolution GC-HRMS:

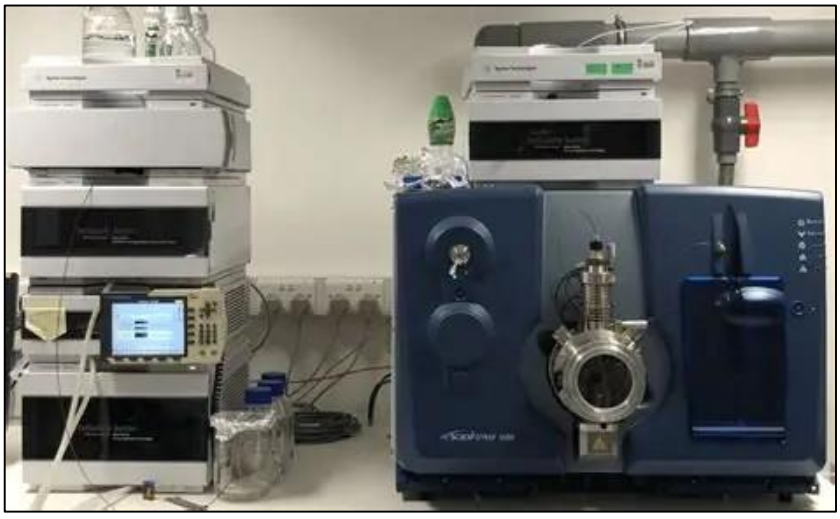
يُفضّل استخدام تقنية كروماتوغرافيا الغاز عالية الدقة المقترنة بقياس الطيف الكتلي عالي الدقة لتحليل آثار الديوكسينات والفيورانات ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الشبيهة بالديوكسينات، ويُنصح باستخدامها عند الحاجة إلى تقييم التكافؤ السمي.



الصورة رقم (32) توضح جهاز High Resolution GC-HRMS

3.8. Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS/MS):

يُعدّ التحليل الطيفي الكتلي الترادفي بالكروماتوغرافيا السائلة (LC-MS/MS) الطريقة المُفضّلة لتحليل مركبات PFAS، بما في ذلك PFOS وPFOA وPFHxS ومركبات PFCA طويلة السلسلة، والملوثات العضوية الثابتة القطبية ذات الصلة. يجب على المختبرات تطبيق إجراءات صارمة للتحكم في تلوث PFAS أثناء أخذ العينات والاستخلاص والتحليل.



الصورة رقم (34) توضح جهاز Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS/MS)

3.8. Gas Chromatography with Electron Capture Detector (GC-ECD):

يمكن ا ستخدام تقنية كروماتوغرافيا الغاز مع كا شف التقاط الإلكترون (GC-ECD) للفحص الموجه للمبيدات الحشـرية المكلورة ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs). ومع ذلك، يُوصـى بشدة بإجراء تحليل تأكيدي باستخدام مطياف الكتلة لإعداد التقارير الرسمية.



الصورة رقم (35) توضح جهاز Gas chromatography-ECD

المراجع

1. Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Stern, G., & Rosenberg, B. (2004). Using passive air samplers to assess urban-rural trends for persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology, 38*(17), 4474-4483.
2. Harner, T., et al. (2006). Passive air sampling for persistent organic pollutants: Methods and applications. *Environmental Pollution, 144*, 445-452.
3. ISO. (2017). *ISO/IEC 17025:2017—General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*
4. ISO. (2009). *ISO 25101: Water quality—Determination of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA).*
5. Stockholm Convention Secretariat. (2023). *Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants.* Geneva, Switzerland.
6. UNEP. (2021). *Global Monitoring Plan Guidance on Passive Air Sampling.*
7. UNEP. (2023). *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Overview and Technical Guidance.*
8. UNEP. (2022). *Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs.*
9. USEPA. (1996). *Method TO-4A: Determination of Pesticides and PCBs in Ambient Air.*
10. USEPA. (1999). *Method TO-9A: Determination of PCBs in Ambient Air.*
11. USEPA. (2007). *Method 3540C: Soxhlet Extraction.*
12. USEPA. (2007). *Method 3545A: Pressurized Fluid (Accelerated Solvent) Extraction.*
13. USEPA. (2007). *Method 3630C: Silica Gel Cleanup.*
14. USEPA. (2018). *Method 8270E: Semivolatile Organic Compounds by GC/MS.*
15. USEPA. (1994). *Method 1613B: Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by HRGC/HRMS.*
16. WHO. (2019). *State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals.*
17. APHA. (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24th ed.).
18. Huckins, J. N., Petty, J. D., & Booij, K. (2006). Monitors of Organic Chemicals in the Environment: Semipermeable Membrane Devices.
19. ISO. (2023). ISO 5667-1: Water Quality—Sampling—Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programmes.
20. ISO. (2016). ISO 5667-3: Preservation and Handling of Water Samples.
21. ISO. (2019). ISO 5667-6: Sampling of Rivers and Streams.
22. ISO. (2020). ISO 5667-10: Sampling of Waste Waters.
23. ISO. (2024). ISO 5667-11: Sampling of Groundwaters.
24. ISO/IEC. (2017). ISO/IEC 17025:2017. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.
25. Jones, K. C., & de Voogt, P. (1999). Persistent organic pollutants (POPs): State of the science. Environmental Pollution, 100(1-3), 209-221.
26. Pawliszyn, J. (1997). Solid Phase Microextraction: Theory and Practice.
27. Stockholm Convention Secretariat. (2023). Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants.
28. UNEP. (2021). Guidance on the Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants.
29. UNEP. (2022). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs.
30. U.S. EPA. (2024). Method 1633: Analysis of PFAS in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS.
31. U.S. EPA. SW-846 Test Methods (Methods 3510C, 3540C, 3545A, 3550C, 3630C, 8270E, 8081B, 1613B, and related methods).

32. Alshemmari, H., Al-Kasbi, M. M., Kavil, Y. N., Orif, M. I., Al-Hulwani, E. K., Al-Darii, R. J., ... & Chakraborty, P. (2023). New and legacy pesticidal persistent organic pollutants in the agricultural region of the Sultanate of Oman. Journal of Hazardous Materials, 459, 132205.
33. ASTM International. (2013). ASTM D4823-95(2013): Standard Guide for Core Sampling Submerged, Unconsolidated Sediments.
34. Burton, G. A. (2002). Sediment Quality Criteria in Use Around the World. Limnology, 3, 65-76.
35. ISO. (2017). ISO 18400-101: Soil quality—Sampling.
36. ISO. (2017). ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
37. ISO. (2009). ISO 25101: Water quality—Determination of PFOS and PFOA.
38. Jones, K. C., & de Voogt, P. (1999). Persistent organic pollutants (POPs): State of the science. Environmental Pollution, 100, 209-221.
39. Stockholm Convention Secretariat. (2023). Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants.
40. UNEP. (2021). Guidance on the Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants.
41. UNEP. (2022). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs.
42. UNEP. (2023). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Technical Guidance.
43. U.S. EPA. (2007). Method 3540C: Soxhlet Extraction.
44. U.S. EPA. (2007). Method 3545A: Pressurized Fluid (Accelerated Solvent) Extraction.
45. U.S. EPA. (2007). Method 3550C: Ultrasonic Extraction.
46. U.S. EPA. (2007). Method 3630C: Silica Gel Cleanup.
47. U.S. EPA. (2018). Method 8270E: Semivolatile Organic Compounds by GC/MS.
48. U.S. EPA. (1994). Method 1613B: Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by HRGC/HRMS.
49. U.S. EPA. (1996). Method 8081B: Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography.
50. U.S. EPA. (2024). Method 1633: Analysis of PFAS in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS.
51. Weber, R., Watson, A., Forter, M., & Oliaei, F. (2018). Persistent organic pollutants and land management. Environmental Science and Pollution Research, 25, 113-124.

الملحق (1)

الجدول1: قائمة الملوثات العضوية الثابتة (POPs):			
المرفق أ (الحد/ elimination)	- Aldrin, Chlordane, Chlordecone - Decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE), - Dieldrin, dicofol, Endrin, Heptachlor - Hexabromobiphenyl (HBB) - Hexabromodiph enyl ether and heptabromodiph enyl ether - Hexabromocyclodod ecane (HBCD) - Hexachlorobenz ene (HCB) - Hexachlorobutadien e (HCBD) - Alpha-HCH, Beta-HCH,	- Lindane (gamma-HCH) - Mirex, Pentachlorobenzen e (PeCB) - Pentachlorophenol and its salts and esters (PCP, its salts and esters) - Polychlorinated biphenyls (PCBs) - Polychlorinated naphthalenes (PCNs) - Short-chain chlorinated paraffins (SCCPs)	- Tetrabromodiphen yl ether and pentabromodiphe nyl ether - Toxaphene, Technical endosulfan and its related isomers - Dechlorane Plus - Perflurooctanoic acid (PFOA), its salt and PFOA-related compounds - Perflurohexane sulfonic acid (PFHxS), its salt and PFHxS-related compounds, - UV-328 - Methoxychlor
المرفق ب (التقييد/ Restriction)	- DDT - Perfluorooctane sulfonic acid, its salts and - perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOS, its salts and PFOS-F)		
المرفق ج (الانتاج غير المقصود/	- Polychlorinated dibenzo-p-dioxins	- Pentachlorobenzen e (PeCB)	

	- Polychlorinated biphenyls (PCBs) - Polychlorinated naphthalenes (PCNs) - Hexachlorobutadiene (HCBD	- (PCDD) - Polychlorinated dibenzofurans - (PCDF) - Hexachlorobenzene (HCB)	Unintentional Production)