



دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء

الطبعة الثانية

دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء الطبعة الثانية

© منظمة الصحة العالمية 2020

بعض الحقوق محفوظة. هذا المصنف متاح بمقتضى ترخيص المشاع الإبداعي «نسب المصنف – غير تجاري – المشاركة بالمثل 3.0 لفائدة المنظمات الحكومية الدولية» (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>).

وبمقتضى هذا الترخيص يجوز أن تنسخوا المصنف وتعيدوا توزيعه وتحوروه للأغراض غير التجارية، وذلك شريطة أن يتم اقتباس المصنف على النحو الملائم كما هو مبين أدناه. ولا ينبغي في أي استخدام لهذا المصنف الإيحاء بأن المنظمة (WHO) تعتمد أي منظمة أو منتجات أو خدمات محددة. ولا يُسمح باستخدام شعار المنظمة (WHO). وإذا قمت بتعديل المصنف فيجب عندئذ أن تحصلوا على ترخيص لمصنفكم بمقتضى نفس ترخيص المشاع الإبداعي (Creative Commons licence) أو ترخيص يعادله. وإذا قمت بترجمة المصنف فينبغي أن تدرجوا بيان إخلاء المسؤولية التالي مع الاقتباس المقترح: «هذه الترجمة ليست من إعداد منظمة الصحة العالمية (المنظمة (WHO)). والمنظمة (WHO) غير مسؤولة عن محتوى هذه الترجمة أو دقتها. ويجب أن يكون إصدار الأصل الإنكليزي هو الإصدار الملزم وذو الحجية».

ويجب أن تتم أية وساطة فيما يتعلق بالمنازعات التي تنشأ في إطار هذا الترخيص وفقاً لقواعد الوساطة للمنظمة العالمية للملكية الفكرية. (<http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules/>).

الاقتباس المقترح. دليل موجز عن الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء، الطبعة الثانية
[Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]
جنيف: منظمة الصحة العالمية: 2020. الترخيص CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

بيانات الفهرسة أثناء النشر. بيانات الفهرسة أثناء النشر متاحة في الرابط <http://apps.who.int/iris/>.

المبيعات والحقوق والترخيص. لشراء مطبوعات المنظمة (WHO) انظر الرابط <http://apps.who.int/bookorders>. ولتقديم طلبات الاستخدام التجاري والاستفسارات الخاصة بالحقوق والترخيص انظر الرابط <http://www.who.int/about/licensing>.

مواد الطرف الثالث. إذا كنتم ترغبون في إعادة استخدام مواد واردة في هذا المصنف ومنسوبة إلى طرف ثالث، مثل الجداول أو الأشكال أو الصور فإنكم تتحملون مسؤولية تحديد ما إذا كان يلزم الحصول على إذن لإعادة الاستخدام هذه أم لا، وعن الحصول على الإذن من صاحب حقوق المؤلف. ويتحمل المستخدم وحده أية مخاطر لحدوث مطالبات نتيجة انتهاك أي عنصر يملكه طرف ثالث في المصنف.

بيانات عامة لإخلاء المسؤولية. التسميات المستعملة في هذا المطبوع، وطريقة عرض المواد الواردة فيه، لا تعبر ضمناً عن أي رأي كان من جانب المنظمة (WHO) بشأن الوضع القانوني لأي بلد أو أرض أو مدينة أو منطقة أو لسلطات أي منها أو بشأن تحديد حدودها أو تخومها. وتشكل الخطوط المنقوطة على الخرائط خطوطاً حدودية تقريبية قد لا يوجد بعد اتفاق كامل بشأنها.

كما أن ذكر شركات محددة أو منتجات جهات صانعة معينة لا يعني أن هذه الشركات والمنتجات معتمدة أو موصى بها من جانب المنظمة (WHO)، تفضيلاً لها على سواها مما يماثلها في الطابع ولم يرد ذكره. وفيما عدا الخطأ والسهو، تميز أسماء المنتجات المسجلة الملكية بالأحرف الاستهلاكية (في النص الإنكليزي).

وقد اتخذت المنظمة (WHO) كل الاحتياطات المعقولة للتحقق من المعلومات الواردة في هذا المطبوع. ومع ذلك فإن المواد المنشورة تُوزع دون أي ضمان من أي نوع، سواء أكان بشكل صريح أم بشكل ضمني. والقارئ هو المسؤول عن تفسير واستعمال المواد. والمنظمة (WHO) ليست مسؤولة بأي حال عن الأضرار التي قد تترتب على استعمالها.

تمت الترجمة بواسطة TRADAS. في حالة وجود أي اختلاف بين الإصدارين الإنكليزي والعربي، فسوف يكون الإصدار الإنكليزي الأساسي هو الإصدار الملزم والأصلي.

المحتويات

iv	شكر وتقدير
v	الاختصارات
١	١. الغرض والنطاق
١	٢. لمحة عامة
٢	٣. قياس كمية الرصاص في الطلاء
٣	٣.١ قياس إجمالي كمية الرصاص مقابل الرصاص الذائب
٣	٣.٢ وحدات القياس
٤	٣.٣ طرق جمع العينات
٤	٣.٣.١ طلاء جديد
٤	٣.٣.٢ الطلاء المدهون بالفعل
٥	٤. الطرق التحليلية المستخدمة في قياس كمية الرصاص في مواد الطلاء
٥	٤.١ الطرق المختبرية
٥	٤.١.١ مطياف الانبعاث الذري المعتمد على اللهب (FAAS)
٦	٤.١.٢ مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)، أو مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GF AAS)
٦	٤.١.٣ ومطياف الانبعاث الذري البلازمي المقترن بالحث (ICP-AES)
٦	٤.٢ مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF)
٧	٤.٢.١ جهاز HDXRF في المختبر
٧	٤.٢.٢ مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF) المحمول باليد
٧	مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF) التقليدي
٨	مطياف الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح (HDXRF)
٨	٤.٣ مجموعات الاختبار الكيميائية
١١	٥. اختيار طريقة التحليل الأنسب
١٢	٥.١ اختيار المختبر
١٢	٥.٢ إيجاد المختبر
١٣	٥.٣ تأسيس خدمة مختبرية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء
١٤	٦. جوانب مهمة في ممارسات المختبر
١٤	٦.١ الوقاية من التلوث الخارجي
١٤	٦.٢ ضمان الجودة ومراقبتها
١٥	٦.٢.١ الاختبارات في الموقع
١٥	٦.٣ المعايير القياسية والشهادات والاعتماد
١٦	٧. الاستنتاجات
١٧	٨. المراجع
٢١	الملحق

شكر وتقدير

كُتبت الطبعة الأولى من هذا المستند بواسطة د. باسكال هيفلجر، قسم الصحة العامة والبيئة بمنظمة الصحة العالمية. وأشرف على تحديثها إلينا جاردان وجوانا تيمبوسكي، قسم البيئة والتغير المناخي والصحة، بمنظمة الصحة العالمية.

وقام الأشخاص التالي ذكرهم بمراجعة المستند وترك تعليقات على المستند بعد التحديث، ونحن نشكرهم للغاية لمساهماتهم:

أنجيلا باندنمهر، كبيرة اختصاصيي حماية البيئة الدولية، مكتب الشؤون العالمية والسياسات بمكتب الشؤون الدولية والقبلية، وكالة حماية البيئة، واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة الأمريكية.

سارة بروش، مديرة الحملة العالمية للتخلص من الطلاء المحتوي على عنصر الرصاص، الشبكة الدولية للقضاء على الملوثات (IPEN)، غوتنبرغ، السويد

كالافاتي شاننا، عالم طبي، لانسيت لابولاتيريز، جوهانسبرغ، جنوب أفريقيا

بيرري غوتيسفيلد، المدير التنفيذي لمنظمة المعرفة المهنية الدولية (OK International)، سان فرانسيسكو، الولايات المتحدة الأمريكية

خالدية خميدولينا، مديرة السجل الروسي للمواد الكيميائية والبيولوجية الخطرة، موسكو، روسيا

أنجيلا ماثي، مديرة وحدة البحوث البيئية والصحية، مجلس البحوث الطبية في جنوب إفريقيا، تايجربرج، جنوب أفريقيا

أولجا سبيرانسكايا، مستشارة أولى في الشبكة الدولية للتخلص من الملوثات، ونائبة رئيس مجلس Eco-Accord، موسكو، الاتحاد الروسي

هوارد فارنر، مدير المختبر، شركة خدمات المواد الخطرة البيئية ذات المسؤولية المحدودة، ريتشموند، الولايات المتحدة الأمريكية

أكمل جميع المراجعين استمارة إعلان المصالح لمنظمة الصحة العالمية وتمت مراجعتها من قبل المسؤول الفني في منظمة الصحة العالمية. ولم يتم التعرف على أي تضارب في المصالح.

خُبر هذا المستند بواسطة جون داوسون.

أعد هذا المستند من قبل منظمة الصحة العالمية في مرفق البيئة العالمي (GEF) في مشروع كامل الحجم ٩٧٧١: أفضل الممارسات العالمية بشأن قضايا السياسات الكيميائية الناشئة ذات الأهمية في إطار النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية (SAICM). أشرف برنامج الأمم المتحدة للبيئة على تنفيذ هذا المشروع، وقامت أمانة النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية بتنصيبه. تقرر منظمة الصحة العالمية بالمساهمة المالية لمرفق البيئة العالمية لتطوير هذا المستند وتحريره وتصميمه.

هذا المستند هو مساهمة في مبادرة "المواد الكيميائية الآمنة - نحو منتجات أكثر أمانًا لبيئتنا وصحتنا".

للمزيد من المعلومات بخصوص هذا المستند يرجى التواصل على ipcsmail@who.int.

الاختصارات

مطياف الامتصاص الذري	AAS
الرابطة الأمريكية للصحة الصناعية	AIHA
الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد	ASTM
سنتيمتر	cm
سنوات العمر معدلة حسب الإعاقة	DALY
الأشعة السينية الفلورية المشتتة للطاقة	EDXRF
برنامج اعتماد مختبر الرصاص البيئي	ELLAP
برنامج اختبار الكفاءة التحليلية للرصاص البيئي	ELPAT
ضمان الجودة الخارجي	EQA
مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري	ETAAS
مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب	FAAS
مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت	GFAAS
الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح	HDXRF
مطياف الانبعاث الذري البلازمي المقترن بالحث	ICP-AES
مطياف الكتلة البلازمي المقرون بالتحريض	ICP-MS
التعاون الدولي لاعتماد المختبرات	ILAC
المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس	ISO
كيلوجرام	kg
ملجرام	mg
مللتر	mL
ميكرو لتر	μL
جزء في المليون	ppm
أشعة سينية فلورية	XRF

١. الغرض والنطاق

يقدم هذا المستند نظرة عامة على الطرق التحليلية المستخدمة في قياس نسبة الرصاص في مواد الطلاء. ويهدف المستند بشكل رئيسي إلى توعية العاملين في مجال الصحة العامة، والمؤسسات العلمية، وصناع القرار السياسي غير العاملين في المختبرات ولكن الذين قد يحتاجون إلى تطوير خطط لقياس تركيزات الرصاص في مواد الطلاء الجديدة لأغراض إجراء دراسات، بشأن مدى إتاحة مواد الطلاء المحتوية على الرصاص^١ في السوق للشراء من قبل الزبائن.

تأسس خدمة مختبرية لقياس الرصاص أم شراء الخدمة من مختبر آخر. إن الغرض من هذا المستند ليس تقديم وصف للطرق التحليلية والبروتوكولات، أو لإبداء أي توصيات محددة بخصوص هذه الطرق أو المعدات الخاصة. فالمعلومات التقنية المفصلة بخصوص هذا الموضوع متاحة في أماكن أخرى، وتم توفير روابط للحصول على المزيد من المعلومات في قسم المراجع والملحق.

يتضمن هذا المستند الطرق التحليلية المعتمدة والمجربة لقياس محتوى الرصاص في مواد الطلاء، ويصف باختصار بعض خصائص هذه الطرق، بما في ذلك مزاياها وأوجه القصور بها. كما يسلط الضوء أيضًا على الأنواع المختلفة من التطبيقات والسيناريوهات المتنوعة، والأمور اللازم أخذها في الاعتبار عند تقرير استخدام طريقة معتمدة على المختبر أم تقنية محمولة، وما إذا كان علينا

٢. لمحة عامة

الرصاص عبارة عن مادة سامة، نتج عن استخدامها بشكل شائع تلوث بيئي ومشكلات صحية في العديد من ربوع العالم. في عام ٢٠١٧، قُدر أن تعرض البشر للرصاص قد تسبب في ١,٠٦ مليون وفاة، وخسارة ٢٤,٤ مليون عامًا من سنوات العمر المعدلة حسب الإعاقة (DALYs)، جراء الإصابة بتأثيرات صحية طويلة الأمد، مع إلحاق الضرر الأكبر بالبلدان ذات الدخول المنخفضة والمتوسطة (1).

وعلى الرغم من انخفاض مستويات استخدام الرصاص في البترول (الجازولين)، وأعمال السباكة واللحام، فإنه لا تزال هناك مصادر كبيرة للتعرض للرصاص؛ من ضمنها مواد الطلاء المحتوية على الرصاص. يمكن استخدام مواد الطلاء المحتوية على الرصاص في دهان المنازل من الداخل والخارج، والمدارس، وغيرها من المباني، وفي طلاء الألعاب، والأثاث، ومعدات الملاعب، وغيرها من الأجسام التي يستخدمها الأطفال، وطلاء علامات الطريق، والجسور، وغيرها من الهياكل الخارجية. ما زالت تتوفر مواد طلاء ذات مستويات مرتفعة من الرصاص، وتستخدم في العديد من بقاع العالم (3, 4). وحتى في البلدان التي حُظر فيها استخدام هذه المواد في استخدامات معينة، يمكن العثور على طلاء الرصاص في المنازل القديمة وعلى الأدوات والمعدات العتيقة (5).

الرصاص مادة سامة تراكمية تؤثر على أنظمة متعددة في جسم الإنسان؛ بما في ذلك الجهاز العصبي، والدم، والجهاز الهضمي، والقلب والأوعية الدموية، والكلى. تتضمن التأثيرات طويلة الأمد خطر الإصابة بارتفاع ضغط الدم، ومرض القلب الإقفاري، والأمراض الكلوية. ومن الجدير بالذكر أن الأطفال معرضون لخطر مرتفع من الإصابة بالتأثيرات العصبية الناجمة عن الرصاص، ومن شأن التعرض لمستويات منخفضة منه أن يسبب اعتلالاً في النمو الإدراكي، واضطرابات سلوكية. وقد تدوم هذه التأثيرات مدى الحياة (2).

^١ تعرف "مواد الطلاء المحتوية على الرصاص" من قبل التحالف العالمي للقضاء على القانون النموذجي لطلاء الرصاص وإرشادات تنظيم طلاء الرصاص على أنها أي دهانات بها مستويات من الرصاص تتخطى الحد الأقصى منه، مثل ٩٠ جزء في المليون على سبيل المثال.

يعد الغبار المنزلي الملوث بالرصاص أحد العوامل الرئيسية المساهمة في تكوين العبء الجسدي من الرصاص على الأطفال (7). الأطفال الصغار معرضون بدرجة أكبر للمخاطر الناجمة عن الرصاص؛ وذلك لأنهم يمتصون حوالي ٤٠ إلى ٥٠٪ من الكمية التي يتبلعونها (8). فضلاً عن ذلك، فإن الفضول الفطري للأطفال، وسلوكهم المقترن بصغر سنهم المتمثل في وضع أيديهم في أفواههم، يؤدي إلى تذوق الأجسام المحتوية على الرصاص أو المغطاة به أو ابتلاعها؛ مثل التربة الملوثة بالرصاص والغبار ورقائق من طلاء الرصاص المتحلل (8). وبالإضافة إلى ذلك، قد يأكل الأطفال المصابين باضطراب الببكا، شرائح من طلاء الرصاص أو من التربة الملوثة بالرصاص.

وقد يتعرض الناس للرصاص من الطلاء أو من المصادر البيئية أو في بيئات العمل، وذلك بشكل رئيسي عن طريق البلع أو الاستنشاق. قد يحدث التعرض للرصاص داخل بيئات العمل خلال عملية تصنيع مواد الطلاء، وخلال استخدام مواد الطلاء على الجدران أو إزالتها، وعندك تجديد المباني أو الهياكل المطلوبة بمواد طلاء تحتوي على رصاص، أو عند هدمها. إن إزالة طلاء الرصاص بالحرق ينتج عنه أدخنة وجسيمات من الرصاص. تؤدي طرق إزالة طلاء الرصاص بالكشط؛ مثل الصنفرة، إلى إنتاج كميات كبيرة من غبار الرصاص الذي يمكن استنشاقه وابتلاعه. وفي حين أن طلاء الرصاص السليم لا يمثل خطراً صحياً، فإن هذا الطلاء يصاب بشقوق بمرور الوقت، ويتقسم إلى شرائح وقد يصيب الغبار المحمل بالرصاص البيئات المنزلية (6).

٣. قياس كمية الرصاص في الطلاء

يوجد سببان رئيسيان لقياس كمية الرصاص في الطلاء:

- أ) لتقييم مواد الطلاء الجديدة؛ إما للتحقق من مطابقتها للقيود التنظيمية أو القانونية، أو كجزء من استطلاعات السوق لمعرفة ما إذا كان يتم بيع مواد الطلاء المحتوية على الرصاص أم لا؛
- ب) لمعرفة ما إذا كان الطلاء الذي يغلف أسطح المنازل وغيرها من الأبنية، أو الأثاث، أو معدات الملاعب، أو الدمى، تحتوي على رصاص أم لا، وذلك لتحديد إجراءات تحييد الخطر اللازم اتخاذها.

عندما يجري تحليل الطلاء الموجود بالفعل على الجدران أو الأسطح الأخرى، وتبين النتائج أنه يحتوي على مستويات عالية من الرصاص، فقد تتضمن تدابير إدارة المخاطر تثبيت طلاء الرصاص أو إزالته. لاحظ أنه عند إزالة طلاء الرصاص يجب اتباع إجراءات خاصة لتقليل انبعاث الرصاص وتعرض العمال وغيرهم من الأشخاص للتلوث بالرصاص. في حالة الألعاب أو المنتجات الأخرى، تتضمن إجراءات إدارة المخاطر النموذجية إيقاف البضائع في مصلحة الجمارك، وسحب المنتجات من السوق وإصدار تنبيهات للمستهلك.

تتخذ اختبارات الامتثال الرامية إلى تطبيق حد قانوني على كمية الرصاص في مواد الطلاء شكلين. بمقدور الشركة المصنعة (أو المستورد أو الموزع) أن ترسل عينات من الطلاء لمختبر مستقل يتولى تحليل العينة ويصدر تصريحاً تأكيدياً، يوضح أن محتوى الرصاص في الطلاء تطابق الحدود المطبقة. يمكن لسلطة تنظيمية أو تنفيذية أيضاً إجراء عمليات تفتيش على الدهانات وتحليلها؛ لمعرفة ما إذا كانت تتوافق مع حد الرصاص المنصوص عليه، مع إمكانية فرض عقوبات في حالة ثبوت عدم توافق الطلاء مع المعايير (9).

يمكن استخدام نتائج استطلاعات السوق لتقديم الأدلة على وجود حاجة إلى قوانين حكومية تنظيمية أفضل، وتنفيذ أفضل للقانون. قد تزود الدراسات أيضاً المستهلكين بالمعلومات حتى يتمكنوا من اتخاذ قرارات شراء مدروسة، والضغط من أجل الرقابة الحكومية على مواد الطلاء المحتوية على الرصاص. قد تشجع هذه الدراسات أيضاً الشركات المصنعة على إعادة تصميم منتجاتها طوعية.

٣.١ قياس إجمالي كمية الرصاص مقابل الرصاص الذائب

يمكن قياس تركيز الرصاص في الطلاء باستخدام طريقة تقيس كميةً إجماليً محتوى الرصاص في الطلاء أو المحتوى الذائب من الرصاص. تستند معظم المعايير التنظيمية لمواد الطلاء الجديدة على إجمالي محتوى الرصاص، وهذا هو القياس الموصى به الموصوف في قانون النموذج والإرشادات لتنظيم طلاء الرصاص (9).

يجري قياس إجمالي كمية الرصاص من خلال استخراج كامل كمية الرصاص الموجودة في عينة الطلاء. فهذا يمثل إجمالي كمية الرصاص التي يمكن امتصاصها؛ إما عن طريق البلع أو الاستنشاق لشرائح الطلاء أو الغبار الناتج عن الطلاء المتحلل أو المتآكل، أو الأدخنة الناتجة عن حرق الطلاء.

محتوى الرصاص الذائب هو كمية الرصاص التي يمكن استخلاصها باستخدام اختبار مختبري قياسي يتضمن احتضان عينة من طبقة الطلاء في حمض مخفف. يقاس محتوى الرصاص الذائب أحياناً بافتراض أنه يمثل كمية الرصاص المتاحة بيولوجياً والمحتمل أن تكون متاحة للامتصاص عند ابتلاع رقائق الطلاء أو الأجسام المظلمة به (10, 11). لكن عند تقييم مواد الطلاء المحتوية على الرصاص، لا تمثل طريقة القياس هذه كمية الرصاص التي يمكن امتصاصها بدقة (12). فضلاً عن ذلك، فإن مواد الطلاء التي تحتوي على كمية منخفضة من الرصاص الذائب قد تحتوي على محتوى إجمالي مرتفع من الرصاص (10). فمثلاً، كشفت دراسة أجريت مؤخراً في الصين أن أكثر من نصف مواد الطلاء التي خضعت للقياس باعتبار أن محتوى الرصاص الذائب بها أقل من ٩٠ جزء في المليون (ppm)، كانت تحتوي على إجمالي محتوى رصاص يزيد عن ٩٠ جزء في المليون، ويتراوح ليصل إلى ١٧ ٤٠٠ جزء في المليون (11).

٣.٢ وحدات القياس

يمكن التعبير عن محتوى الرصاص في الطلاء بتركيز كلي أو تركيز لكل وحدة مساحة على سطح مطلي (يُعرف أيضاً باسم تحميل الرصاص). يستخدم التركيز الكلي مع مواد الطلاء الجديدة، وتشير معظم المقاييس التنظيمية إلى إجمالي كمية الرصاص في طبقة جافة من الطلاء في صورة نسبة مئوية، أو جزء في المليون، أو بالملجرام لكل كيلوجرام (mg/kg). وإذا كان لدينا طلاء موجود على أسطح، فيمكن التعبير عن محتوى الرصاص في صورة تركيز الكتلة (جزء في المليون مثلاً) أو في صورة الكمية لكل وحدة مساحة بالملجرام لكل سنتيمتر مربع (mg/cm^2).

من الضروري ملاحظة أن تركيز الكتلة وقياسات تحميل الرصاص ليستا قيمتين يمكن لإحدهما أن تحل محل الأخرى. لا توجد علاقة دقيقة تربط بين القياسات المختبرية للطلاء الموجود على الأسطح المعبر عنها في شكل جزء في المليون وفي صورة ملجرام / سنتيمتر^٢؛ وذلك بسبب الاختلافات في تكوين الطلاء وسماعته، واحتمال تداخل مادة ركيزة أثناء التحليل.

الجدول ١ يلخص الوحدات المستخدمة في التعبير عن نتائج طرق التحليل المختلفة.

الجدول ١. الوحدات المستخدمة في التعبير عن نتائج الطرق التحليلية المختلفة

الطريقة	طلاء جديد	طلاء موجود على أسطح
التحليل في المختبر	جزء في المليون، أو %، أو ملجرام/كيلوجرام	جزء في المليون، أو %، أو ملجرام/كيلوجرام، أو ملجرام/سنتيمتر ^٢
الأشعة السينية الفلورية التقليدية المحمولة باليد (XRF)	جزء في المليون أو %	ملجرام/سنتيمتر ^٢ ، أو جزء في المليون (لكن انظر التعليق الهامشي ج)
الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح المحمولة باليد (HDXRF)	جزء في المليون	ملجرام/سنتيمتر ^٢ ، جزء في المليون

ملاحظات:

- (أ) لا يوجد مكافئ رياضي بين الجزء في المليون والملجرام/سنتيمتر مربع؛
 (ب) ٠.٠٠٩ % = ٩٠ جزء في المليون = ٩٠ ملجرام/كيلوجرام
 (ج) تحتوي بعض أجهزة XRF على خيار لحساب الوحدات وعرضها في صورة جزء في المليون، ولكن يجب إدخال كثافة وسمك الطلاء لتمكين هذه العملية الحساب (Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, personal communication November 2019).

٣.٣ طرق جمع العينات

تعتمد طريقة جمع العينة على ما إذا كان الطلاء المرجو تحليله جديداً أم مطلياً بالفعل على سطح ما، وعلى الطريقة التحليلية المستخدمة أيضاً.

٣.٣.١ طلاء جديد

الطريقة المعتادة لتحليل طلاء جديد (طلاء في علبة على سبيل المثال)، هي وضع طبقة رقيقة من الطلاء على سطح غير معدني متجانس؛ كشريحة زجاجية أو قطعة مسطحة وملساء من الخشب، وتركها لتجف. ثم يتم في المختبر كشط الطلاء، وتحضيره وتحليله باستخدام إحدى الطرق المختبرية المناسبة الموصوفة في القسم ٤.١ أدناه (13). يمكن أيضاً قياس محتوى الرصاص في طبقة الطلاء الجافة مباشرة باستخدام الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح (HDXRF)، دون الحاجة إلى كشط الدهان من على سطح الاختبار.

يمكن تحليل العينات السائلة من الطلاء باستخدام معدات مختبرية للأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح؛ وذلك باستخدام كؤوس عينات خاصة (انظر القسم الفرعي ٤.٢.١).

٣.٣.٢ الطلاء المدهون بالفعل

لتحليل العينة بالمختبر، يجب أن يتم جمع العينة باتباع إجراء تشغيلي قياسي مُحدد مسبقاً. ويوصى بشكل عام أن (6, 14, 15):

- يتم جمع جميع طبقات الطلاء؛ لأن الطبقات السفلى من الطلاء من المرجح أكثر أن تحتوي على رصاص؛
 - يتم جمع أقل قدر ممكن من المادة الواقعة أسفل الطلاء (كالخشب، أو الجبس، أو المعدن على سبيل المثال)، لأن ذلك قد يعطي نتيجة خاطئة إذا تم تقديم النتيجة في صورة تركيز الكتلة؛
 - داخل المنازل والمباني، يتم جمع عدة عينات تمثيلية من مناطق مختلفة، ويتم تسجيل موقع كل عينة؛
 - يتم إصلاح الأسطح التي أخذت منها عينات الطلاء؛ وذلك للوقاية من التعرض للمزيد من الرصاص، في حال كان الطلاء يحتوي عليه.
- يوصى بالتشاور مع المختبر الذي سيتولى تحليل العينة بخصوص أقل حجم ممكن من العينة، وطريقة تعبئة العينة، وغيرها من اشتراطات جمع العينات. يمكن تقديم النتائج في صورة تركيز كتلي إذا تم قياس وزن العينة، أو في صورة كتلة لكل وحدة مساحة إذا كان من الممكن تحديد مساحة سطح العينة بدقة.

يمكن أيضاً قياس تركيز الرصاص في الطلاء على سطح ما؛ كحائط مثلاً، بشكل مباشر باستخدام جهاز XRF أو HDXRF المحمول باليد، وتقدم النتائج بشكل عام في صورة ملجرام/سنتيمتر^٢. تستخدم هذه الطريقة بشكل شائع في تفتيش المنازل للعثور على طلاء يحتوي على الرصاص؛ لأنه يمكننا من القياس السريع لعينات متعددة، ولا يتطلب إحداث تدمير في جزء من الأسطح المطلية (6, 15, 16).

٤. الطرق التحليلية المستخدمة في قياس كمية الرصاص في مواد الطلاء

كما ذكرنا أعلاه، يمكن قياس محتوى الطلاء من الرصاص باستخدام طرق مخبرية، أو أجهزة أشعة سينية فلورية منضدية أو تحمل باليد، ومجموعات الاختبار. هذه الطرق موصوفة باختصار في هذا القسم.

١.٤ الطرق المخبرية

يصدر مصباح الكاثود المحتوي على الرصاص ضوءًا من ذرات الرصاص المثارة، يتميز بطول موجي معين، ويمكن امتصاصه بواسطة ذرات الرصاص الموجودة في العينة. يمر الضوء خلال العينة المفصولة إلى ذرات، ويتم امتصاص بعض الطاقة بواسطة ذرات الرصاص، وهو ما يؤدي بدوره إلى تقليص كمية الضوء المنقولة إلى الكاشف. ترتبط كمية الضوء الممتصة (أو الامتصاص) بعلاقة خطية بتركيز المادة المراد تحليلها في العينة (20). لإجراء قياس باستخدام طريقة AAS للقياس، يجب إدخال العينة المحتوية على الرصاص إلى الجهاز، بغرض إنتاج ذرات في حالة أرضية في الطور الغازي داخل مسار ضوئي في الجهاز، وهي عملية تعرف باسم الفصل إلى ذرات.

تستخدم طريقة مطياف الانبعاث الذري المعتمد على اللهب عادة لهبًا من الهواء والأسيتيلين لفصل الرصاص إلى ذرات في درجات حرارة تصل إلى ٢١٠٠ إلى ٢٤٠٠ درجة مئوية.

يمكن استخدام طريقة التحليل FAAS لتقدير تركيزات الرصاص في مستويات منخفضة تصل إلى ١٠٠ جزء في المليون (21). وبالرغم من نجاح بعض المختبرات في تطوير طرق يمكنها قياس تركيزات منخفضة تصل إلى ٤٠ جزءًا في المليون، فإن طريقة FAAS ليست الأفضل في تأكيد تطابق الطلاء مع حد الرصاص البالغ ٩٠ جزءًا في المليون² ووفقًا لمتطلبات سحب العينة المباشر، يجب وجود كمية لا تقل عن ٥ مليلترات (mL) من مستخلص العينة لسحب وقياس إشارة مستقرة. وقد تتعرض طريقة FAAS لبعض التداخل بفعل تشتت الضوء والامتصاص الجزيئي من قبل مكونات المصفوفة، وهي تداخلات يمكن تصحيحها بطرق متعددة. من الجدير بالذكر أن أجهزة FAAS، التي تستلزم مهارات للتعامل معها داخل المختبر، متاحة بشكل واسع مع أدوات جمع عينات آلية أو بدونها. تكلفة الأداة الأولية منخفضة نسبيًا، والمواد الاستهلاكية، مثل غاز الأسيتيلين، غير مكلفة نسبيًا. احتياجات الصيانة منخفضة نسبيًا، وقد تصل سعة إنتاج العينات إلى عدة عينات في الدقيقة (17).

إن التقنيات المخبرية الأكثر استخدامًا لتقدير كمية الرصاص في الطلاء داخل المختبر هي مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (FAAS)، ومطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)، ومطياف الانبعاث الذري البلازمي المقترن بالحث (ICP-AES). وعلى الرغم من أن هذه الطرق لها مستويات مختلفة من الدقة وأوجه قصور متنوعة في تحديد مستوى الرصاص، فإنها كلها كافية لتحديد كمية الرصاص في الطلاء عند حدود الكشف المطلوبة ومستويات الدقة المطلوبة بشكل شائع. تتوفر المبادئ التوجيهية والتوصيات وإجراءات التشغيل الموحدة لجمع العينات وإعدادها وتحليلها باستخدام هذه الطرق وغيرها من مصادر عديدة، بما في ذلك الشركات المصنعة، والمؤسسات الوطنية، وجهات توحيد المقاييس الدولية (6, 13, 14, 17-19). تتوفر معلومات إضافية عن ذلك في الملحق.

يمكن أيضًا تنفيذ قياس الرصاص باستخدام معدات HDXRF قائمة بذاتها أو توضع على المنضدة، الموصوفة في القسم ٤.٢.

تشمل الوسائل الأخرى الأقل استخدامًا، والتي لم يتم وصفها هنا، مطياف الكتلة البلازمي المقرون بالتحريض (ICP-MS)، ومطياف الانبعاث الذري البلازمي ذي التيار المباشر، وقياس الطيف الضوئي بالدايودات، وقياس الجهد الكهربائي بتجريد الأنود، قياس الجهد الكهربائي التجريدي.

١.٤.١ مطياف الانبعاث الذري المعتمد على اللهب (FAAS)

إن المبدأ وراء مطياف الامتصاص الذري (AAS) هو التفاعل بين إلكترونات الغلاف الخارجي للذرات الحرة الغازية غير المشحونة والأشعة فوق البنفسجية أو أشعة الضوء المرئي المتولدة من العنصر المراد قياسه. ففي حالة الرصاص، على سبيل المثال،

٤.١.٢ مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)، أو مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GF AAS)

تستخدم معظم أنظمة ETAAS أنبوب جرافيت مسخن كهربياً لتحليل المادة المرجو تحليلها حرارياً وفصلها إلى ذرات، ولهذا تعرف هذه الطريقة أيضاً باسم مطياف الامتصاص الذري القائم على فرن الجرافيت (GFAAS) (20). تُسخن العينة المحللة حرارياً حتى درجة حرارة تقارب ١٧٠٠ درجة مئوية بهدف فصل الرصاص إلى ذرات (19). توفر معدات ETAAS مستويات كشف منخفضة جداً، ولا تتطلب سوى كميات صغيرة جداً من مستخلصات العينة - حوالي ٢٠ ميكرو لتر (μL) (17). تنطبق هذه الطريقة على تركيزات الرصاص عند حد أدنى يبلغ ٠,١ جزء في المليون (17).³

يمكن أن تخضع قياسات ETAAS إلى تداخلات كبيرة من تشتت الضوء والامتصاص الجزيئي بواسطة مكونات المصفوفة، ولكن يمكن تخفيف تأثير تلك التداخلات باستخدام طرق مختلفة؛ بما في ذلك استخدام المعدلات الكيميائية، وطرق تصحيح الخلفية لزيما (17, 20). يجب أن يجري تشغيل أجهزة ETAAS بواسطة فنيين مختبرات مدربين.

تتوافر أجهزة ETAAS بشكل شائع، وتتطلب أجهزة جمع عينات آلية لزيادة الدقة والإنتاجية. التكلفة الأولية للأجهزة متوسطة، بينما تكلفة الصيانة والمواد المستهلكة مرتفعة. إنتاجية العينات حوالي عينة واحدة تقريباً كل دقيقتين أو ثلاث دقائق (17).

٤.١.٣ ومطياف الانبعاث الذري البلازمي المقترن بالحث (ICP-AES)

تستخدم أجهزة ICP-AES مصدراً من البلازما المقترنة بالحث (غاز متأين ذا درجة حرارة مرتفعة جداً مكون من إلكترونات وأيونات موجبة الشحنة) لتحليل العينة إلى الذرات والأيونات المكونة لها. في ظل هذه الظروف ذات مستويات الطاقة المرتفعة، ينبعث من الرصاص، شأنه شأن العديد من العناصر الأخرى، ضوءاً له طول موجي مميز. يمكن قياس كمية الضوء المنبعثة وربطها بتركيز الرصاص في العينة. تقدم أجهزة ICP-AES ميزة القدرة على تحديد عدة عناصر في آن واحد.

بمقدور أجهزة ICP-AES أن تقيس مستويات الرصاص في الطلاب في مستويات منخفضة تصل إلى ٢ جزء في المليون.⁴ متطلبات حجم العينة متوسطة. يشيع في هذه الطريقة وجود تداخلات طيفية لكن يمكن تصحيحها (17). يجب تحضير أجهزة

ICP-AES من قبل فريق مختبر مؤهل وحاصل على تدريب. التكلفة الأولية للجهاز مرتفعة، ولكن المادة المستهلكة الوحيدة هي غاز الأرجون. تكاليف الصيانة مرتفعة نسبياً بسبب التصميم المعقد لهذه الأجهزة. معدل إنتاج العينات متوسط، ويكون في المعتاد عينة واحدة في الدقيقة (17, 20).

٤.٢ مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF)

يقدم مطياف XRF طرقة سريعة وغير مدمرة لقياس نسبة الرصاص في الطلاب. مبدأ هذه الطريقة هو أنه عند تعريض الطلاب لإشعاع مرتفع الطاقة، ينبعث من الرصاص (شأنه شأن عناصر أخرى كثيرة)، أشعة سينية بتردد مميز (أشعة سينية فلورية). تنتج هذه الأشعة السينية من إزاحة إلكترون من الغلاف K إلى الغلاف L في الذرة (6, 16). وقد يكون مصدر الأشعة هو أنبوب أشعة سينية أو مصدراً لأشعة جاما. يمكن للأجهزة التي تستخدم أنابيب الأشعة السينية أن تكشف عن الوميض الفلوري للغلاف L، بينما التي تستخدم مصادر أشعة جاما تكشف الوميض الفلوري للغلاف K و L على حد سواء (6, 16, 22).

يمكن قياس شدة الأشعة وربطها بتركيز الرصاص في العينة. أما مع أي طريقة تحليلية أخرى، فمن الضروري أولاً معايرة الجهاز باستخدام مادة قياسية.

يوجد نوعان رئيسيان من جهاز XRF: جهاز XRF المشتت (EDXRF)، وجهاز XRF المشتت للطول الموجي (23). تتوافر أجهزة XRF للاستخدام في المختبرات، وتتوافر أيضاً في إصدارات محمولة وتحمل باليد بحيث يمكن استخدامها في الميدان. تتمتع أنظمة EDXRF المختبرية بمستوى طاقة أعلى، ووضوح أكبر، ومستويات رصد أقل مقارنة بالنسخ المتنقلة المحمولة باليد (23).

إحدى فئات أجهزة EDXRF هي الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح (HDXRF). هذه الفئة تستخدم EDXRF بالتزامن مع جهازين ضوئيين بلوريين منحنيين بشكل مضاعف للأشعة السينية، يوجهان الضوء في صورة شعاع شديد التركيز من الأشعة السينية على سطح المادة محل الاختبار (23, 24). يمكننا هذا النظام الضوئي من الحصول على أجهزة تحليل عالية الدقة ومدمجة

^٣ Ibid.

^٤ Howard Varner, personal communication, January 2020.

مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF) التقليدي

ترصد معظم أجهزة XRF الوميض الفلوري للغلاف K، والبعض الآخر للغلاف L، والبعض يرصد الاثنين معاً. وبعد مقارنة بين أجهزة XRF المحمولة باليد، وجدنا أن تلك الأجهزة التي ترصد الوميض الفلوري للغلاف L فقط قد تعطي نتائج سلبية خاطئة إذا تمت تغطية طلاء الرصاص بطبقة أخرى؛ لأن الأشعة السينية للغلاف L يجب ألا تخترق الطبقات لتصل إلى الكاشف. ولم يمثل ذلك مشكلة مع الأجهزة التي تقيس وميض الغلاف K، حيث إن الأشعة السينية لهذا الغلاف تكون ذات طاقة أعلى (16). ومن ناحية أخرى، من غير المرجح أن تكون الأشعة السينية للغلاف L عرضة للتأثر بالمادة الركيزة، في حين أنه قد تكون هناك حاجة لطرق تصحيح المادة الركيزة لأجهزة رصد الوميض الفلوري للغلاف K (6, 22). من الضروري إذن اختيار الجهاز المناسب للاختبار المطلوب، ويجب طلب الجهاز من الشركة المصنعة.

تقدم أجهزة XRF التقليدية النتائج في صورة كتلة لكل وحدة مساحة (أي ملجرام/ سنتيمتر²). تتيج بعض الأجهزة خيار حساب الوحدات في صورة جزء في المليون للمنتجات المطلوبة وعرض النتائج بهذه الوحدة، ولكن يجب إدخال كثافة وسمك الطلاء ويكون نطاق هذه الأجهزة محدوداً (23).⁵

يمكن أن يكون حد الكشف في أجهزة XRF لأغراض محددة منخفضاً وقد يصل حتى ٥ أجزاء في المليون، ولكن هذا دور يلعبه وقت الاختبار، ومصفوفة العينة، ووجود عناصر متداخلة مع الجهاز.⁶ يمكن الحصول على قياس في نطاق من ٠,١ إلى ١٠ ملجرام/سنتيمتر² لمواد الطلاء على الأسطح المنزلية.⁷ قد يختلف هذا النطاق اعتماداً على الركيزة الموجودة تحت الطلاء، على سبيل المثال يمكن للركائز المحتوية على الحديد أن تقلل بشكل كبير من حد الكشف عن الرصاص.⁸

تتم معايرة معظم الأجهزة لقياس الرصاص في الطلاء على مجموعة متنوعة من الركائز، على سبيل المثال الخشب والمعادن والإسمنت وألواح الجبس (الجبس) والجبس، ومن المهم أن يجري اختيار إعدادات المعايرة الصحيحة عند استخدام الجهاز. وبينما يمكننا الحصول على النتائج في غضون بضع ثوانٍ، فإن حد الكشف والدقة يزدادان مع فترات القياس الأطول.

ولا شك أن دقة أجهزة XRF التقليدية جيدة، شريطة أن يتم استخدامها من قبل عامل مدرب يتبع إجراءات المعايرة، ويتأكد من تثبيت الكاشف بشكل صحيح على سطح الاختبار.

ومنخفضة الطاقة. يمكن لأنظمة HDXRF قياس كمية الرصاص بدقة في مواد الطلاء السائلة فضلاً عن طبقات الطلاء الجافة، ويمكن تقديم النتائج بوحدة جزء في المليون.

٤.٢.١ جهاز HDXRF في المختبر

تتوفر أجهزة قائمة بذاتها أو منضدية من أنظمة HDXRF. تكون بعض النسخ المنضدية محمولة ومتقلة ويمكن استخدامها في أماكن بخلاف المختبر لأغراض اختبارات الامتثال.

يمكن استخدام أجهزة HDXRF المختبرية لقياس محتوى الرصاص في طبقات الطلاء مباشرة دون الحاجة إلى كشط الطلاء وتحليله. وقد تبين أن هذه الطريقة دقيقة بنفس مقدار دقة الطرق المختبرية الموصوفة أعلاه، وتم تطوير طريقة اختبار قياسي لذلك (25, 26).

لتحليل الطلاء السائل، توضع العينة في كأس خاص للعينة، ويغلف الكأس بطبقة، ثم يوضع في مقابل كاشف. وفي حين أن تحضير العينة يعد أبسط بكثير من الطرق المختبرية الموصوفة أعلاه، فمن المهم استخدام كأس العينة والطبقة الصحيحين، وتجميع كأس العينة بشكل صحيح؛ لذا مطلوب التدريب على هذه الطريقة (27).

مقارنة مع طريقة الامتصاص الذري، وICP-AES، يعتبر جهاز XRF المختبري أرخص وأبسط من الناحية التشغيلية. مع نمط تحليلي معتاد يتراوح بين ١ جزء في المليون إلى ١٠٠٪.

٤.٢.٢ مطياف الأشعة السينية الفلورية (XRF) المحمول باليد

توجد مجموعة متنوعة من معدات XRF المحمولة باليد. تسمع هذه المجموعات بتنفيذ عملية قياس الرصاص في الطلاء في الموقع دون الحاجة إلى إلحاق الضرر بالطلاء أو المادة الركيزة أسفله. ويأتي وصف نوعين من الأجهزة الميدانية المحمولة هنا: جهاز XRF التقليدي، وجهاز XRF عالي الوضوح.

ولأن هذه الأجهزة تحتوي على مصادر للإشعاع، فلا بد من استخدامها استخداماً آمناً (6, 16). وفي بعض البلدان، يجب أن يحصل مشغلو هذه الأجهزة على رخص واعتماد (6).

^٥ .Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, personal communication, November 2019

^٦ .Diego Tschur, CONTROLTECH AG, personal communication, November 2019

^٧ .Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, personal communication, November 2019

^٨ Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, personal communication, November 2019

٣.٤ مجموعات الاختبار الكيميائية

يتوفر عدد من مجموعات الاختبارات الكيميائية. لكن ليس بمقدور هذه المجموعات قياس محتوى الطلاء من الرصاص بنفس دقة قياسات المختبر وأجهزة XRF، ولكن يجري تقديم المعلومات عنها هنا من أجل الاستيفاء.

قد تكون مجموعات الاختبار الكيميائية اختبارات نوعية بسيطة أو اختبارات شبه كمية أكثر تعقيداً. يعتمد الكثير منها على خاصية تغير اللون للإشارة إلى وجود الرصاص فوق تركيز معين. في أبسط مجموعات الاختبار، تكون النتيجة إما موجبة (الرصاص موجود بتركيز يزيد عن تركيز معين)، أو سلبية (الرصاص غير موجود فوق تركيز معين)، وذلك حسب ما إذا كان هناك تغير في اللون أم لا. تعتمد العتبة (الحد الفاصل) للتركيز الذي يتغير عنده اللون على مجموعة الاختبار المستخدمة، ويمكن تحديد هذا الحد الفاصل بواسطة الدولة التي يجري تسويق المجموعة فيها. ففي الولايات المتحدة على سبيل المثال، يجب أن ترصد المجموعات مستويات من التركيز تزيد عن ١ ملجم/سنتيمتر^٢ (6). اعتماداً على السياق المقصود أن تستخدم فيه هذه الأجهزة، قد يكون لبعض مجموعات الاختبار الكيميائية حدوداً أقل في الكشف عن مستويات الرصاص.

تختبر المجموعات الأبسط الطلاء إما باستخدام مسحة منقوعة في كاشف كيميائي يتم فركه على السطح المطلي، أو تتطلب إزالة شريحة من الطلاء من منطقة محددة يتم خلطها بعد ذلك مع الكواشف في أنبوب. تستخدم مجموعات الاختبار الموضعية الأكثر تعقيداً طرق قياس فلورية أو ضوئية على رقائق من الطلاء (29, 30). قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بتقييم عدد من هذه المجموعات، ويمكن العثور على معلومات إضافية على موقعها على الإنترنت (31).

كما يعيب هذه المجموعات عدد من أوجه القصور (6, 30, 32). بمقدور هذه المجموعات اختبار الطبقات المكشوفة فقط؛ لذلك، من الضروري تقسيم سطح الطلاء أو إزالة شريحة منه (حسب الطريقة) لاختبار الطبقات السفلية الكامنة تحت السطح والأكثر رجحاناً أن تحتوي على الرصاص. بالنسبة لبعض المجموعات، قد يكون من الصعب ملاحظة تغير اللون، خاصة عند اختبار ألوان

تتوفر أجهزة XRF التقليدية المناسبة لقياس الرصاص في الطلاء من العديد من الشركات المصنعة. وهي باهظة الثمن نسبياً، إذ يتراوح ثمنها من ١٠ آلاف إلى ٥٠ ألف دولار أمريكي تقريباً. وهي تتطلب معدل صيانة منخفض، على الرغم من أن الأجهزة التي تستخدم مصدرًا للنظائر المشعة ستحتاج إلى استبدال دوري. يسمح وقت القياس القصير للمشغلين بتقييم أسطح طلاء متعددة بسرعة.

تتوفر إرشادات لتحديد كمية الرصاص في الطلاء باستخدام أجهزة XRF التقليدية من مصادر مختلفة، بما في ذلك الشركات المصنعة والمؤسسات الوطنية (6, 16).

مطياف الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح (HDXRF)

على النقيض من أجهزة XRF التقليدية، يمكن لأجهزة HDXRF المحمولة إجراء قياسات منفصلة للسطح والمادة الركيزة، وتقديم النتائج في صورة جزء في المليون. في الولايات المتحدة الأمريكية، اعتبرت لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية أن التحليل بأجهزة HDXRF مناسب لإجراء قياسات الامتثال للدهانات الجديدة وكذلك الأسطح المطلوبة القائمة بالفعل (28). نُشرت طريقة لتقييم كمية الرصاص في مواد الطلاء والتغليف، تصف مدى تحليلي يتراوح بين ٣٠ إلى ٤٥٠ جزءاً في المليون (26). وجه القصور الرئيسي في هذه الطريقة هو تكلفة المعدات، والتي قد تكون أكبر من تكلفة معدات الـ XRF التقليدية. وتماثلاً مثل أجهزة تحليل XRF التقليدية، توجد نفس المتطلبات فيما يخص لتدريب مشغلي الجهاز.

موجود فوق تركيز معين عندما يكون كذلك (نتيجة سالبة كاذبة) (32). لهذه الأسباب، يُفضل عمومًا استخدام طرق أخرى، بخلاف مجموعات الاختبار الكيميائية، من أجل التحديد الدقيق لكمية الرصاص في الطلاء.

وילخص الجدول ٢ الخصائص المختلفة للطرق التحليلية المختلفة.

الطلاء الداكنة. بشكل عام، لا يمكن لهذه المجموعات قياس كمية الرصاص الموجودة في الطلاء؛ حتى الطرق شبه الكمية لا تقدم إلا نتائج في صورة نطاقات تركيز. وأخيرًا، قد تكون دقة مجموعات الاختبار الكيميائية محدودة؛ أو بعبارة أخرى، قد تشير هذه المجموعات إلى أن الرصاص موجود بتركيز أعلى من حد معين عندما لا يكون كذلك (نتيجة موجبة كاذبة)، أو أن الرصاص غير

الجدول ٢. نظرة عامة على الطرق التحليلية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء

الطريقة	أوجه القوة	أوجه القصور
مطياف الانبعاث الذري المعتمد على اللهب (FAAS)	<ul style="list-style-type: none"> سهولة نسبية في الاستخدام وتكلفة متوسطة يمكن تركيب أجهزة جمع عينات آلية في الجهاز؛ بحيث يمكن معالجة عدة عينات في آن واحد 	<ul style="list-style-type: none"> تحتاج إلى غازات معينة يعتمد حد الكشف أو الرصد على تحضير العينة والطريقة المستخدمة تتطلب فني مختبر ماهراً
مطياف الامتصاص الذري الكهروحراري (ETAAS)	<ul style="list-style-type: none"> يمكنها فقط تحليل عينات صغيرة جداً يمكن تركيب أجهزة جمع عينات آلية معها بحيث يمكن معالجة عدد كبير من العينات 	<ul style="list-style-type: none"> تحتاج إلى غازات معينة تتطلب فني مختبر ماهراً
ومطياف الانبعاث الذري البلازمي المقترن بالحث (ICP-AES)	<ul style="list-style-type: none"> قد تكون خياراً اقتصادياً إذا استخدمت مع عينات كبيرة يمكنها فقط تحليل عينات صغيرة جداً يمكنها تحديد نسبة العناصر النظيرة، وذلك قد يساعد على تحديد مصدر الرصاص حد كشف منخفض للغاية 	<ul style="list-style-type: none"> تكلفة باهظة، مع تكلفة تشغيل مرتفعة تتطلب فني مختبر غزير المهارة
مطياف الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح القائم في المختبر (HDXRF)	<ul style="list-style-type: none"> طريقة منخفضة التكلفة مع تكاليف تشغيل منخفضة يمكنها قياس الرصاص في عينات الطلاء السائل عملية تحضير العينة تتسم بالبساطة انخفاض حد الكشف 	<ul style="list-style-type: none"> تكلفة شراء مرتفعة تتطلب تدريباً لضمان الحصول على نتائج دقيقة ومراقبة جيدة للصحة ومتطلبات الأمان
مطياف الأشعة السينية الفلورية التقليدية المحمولة باليد (XRF)	<ul style="list-style-type: none"> يمكن استخدامها في موضع الطلاء في مهام التحليل لا تستلزم إلحاق الضرر بالطلاء الموجود على السطح دقة جيدة نتائج فورية يمكنها قياس العديد من الأسطح في فترة وجيزة من الزمن أرخص في الاستخدام مقارنة بالطرق المختبرية عندما تكون هناك حاجة إلى اختبار عدة أسطح 	<ul style="list-style-type: none"> تتطلب تدريباً لضمان الحصول على نتائج دقيقة ومراقبة جيدة للصحة ومتطلبات الأمان ربما يحتاج تشغيل الجهاز إلى أن يكون معتمداً أو حاصلاً على ترخيص تكلفة شراء مرتفعة نسبياً
مطياف الأشعة السينية الفلورية عالية الوضوح المحمولة باليد (HDXRF)	<ul style="list-style-type: none"> نفس عيوب ومزايا جهاز XRF التقليدي، بالإضافة إلى: يمكنها تقديم النتائج في صورة جزء في المليون حد كشف منخفض (أقل من ٩٠ جزءاً في المليون) يمكن استخدامها على طبقات الطلاء الجافة لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء الجديدة لأغراض اختبارات الامتثال للمعايير 	<p>نفس عيوب ومزايا جهاز XRF التقليدي</p>
مجموعات الاختبار الكيميائية (تستخدم في الموقع)	<ul style="list-style-type: none"> اختبار نوعي لطلاء الرصاص على الجدران أو غيرها من الأسطح نتائج فورية تكاليف شراء وتشغيل منخفضة بساطة نسبية في الاستخدام 	<ul style="list-style-type: none"> لا يمكنها تقديم قياسات دقيقة من المحتمل أن تعطي نتائج موجبة وسالبة خاطئة يمكنها اختبار الطبقات العليا بشكل رئيسي (السطح) قد تستلزم إلحاق الضرر بسطح الطلاء قد يكون من الصعب ملاحظة تغير اللون مع مواد الطلاء الداكنة قد تحتاج إلى إجراء خاص مع أسطح معينة؛ كالجبس على سبيل المثال

٥. اختيار طريقة التحليل الأنسب

يعتمد اختيار طريقة التحليل على عوامل عديدة، بما في ذلك سبب التحليل (اختبارات الامتثال، أو تقييم المخاطر أو الفحص)، وعدد العينات المراد اختبارها، والمادة الركيزة المراد اختبارها (طلاء جديد، أم سطح مطلي موجود، وحجم والسطح وشكله)، وحدود التكلفة، والحاجة إلى قياس دقيق، وحد القياس الكمي المطلوب، وتوافر الموظفين المدربين والمعدات التحليلية.

المليون، يجب أن تكون طريقة التحليل قادرة على رصد مستوى يصل إلى ١٨ جزء في المليون. يلخص الجدول ٣ طرق التحليل التي يمكن استخدامها لأغراض مختلفة.

وفيما يتعلق بحد القياس الكمي (الحد الأدنى للقياس)، فإن القيمة المقترحة تساوي ٢٠٪ من الحد التنظيمي المنصوص عليه أو أقل من ذلك (33). إذن، ففي حال كان الحد يساوي ٩٠ جزء في

الجدول ٣. اختيار طريقة التحليل الأنسب حسب الغرض

مجموعة الاختبار الكيميائية	مطياف الأشعة السينية الفلورية			الطرق المختبرية	غرض الاختبار
	جهاز HDXRF المحمول باليد	جهاز XRF التقليدي المحمول باليد	المختبر		
لا	نعم - النتائج متوفرة في صورة جزء في المليون، ويمكن أخذ قراءات من طبقات الطلاء الجافة	لا - النتائج متاحة فقط في صورة ملجرام/سنتيمتر ^٢	نعم - يمكن أخذ قراءات من طبقات الطلاء الجافة أو المواد الطلاء السائلة	نعم	اختبار الامتثال لمواد الطلاء الجديدة
لا	نعم - النتائج متوفرة في صورة جزء في المليون، ويمكن أخذ قراءات من طبقات الطلاء الجافة	لا - النتائج متاحة فقط في صورة ملجرام/سنتيمتر ^٢	نعم - يمكن أخذ قراءات من طبقات الطلاء الجافة أو المواد الطلاء السائلة	نعم	استطلاعات السوق لمواد الطلاء الجديدة
لا يوصى بذلك	نعم	نعم	نعم - يجب إحداث بعض الضرر في الطلاء	نعم - يجب إحداث بعض الضرر في الطلاء	اختبار الطلاء الموجود بالفعل في المنازل، والمدارس، وغيرها من المواقع
لا	نعم	نعم	نعم	نعم	اختبار الطلاء الموجود على الدمي أو غيرها من الأجسام ذات الأشكال غير المنتظمة

في دقة النتائج التحليلية التي نحصل عليها وموثوقيتها. وهذا أمر شديد الأهمية بالأخص عند اختبار مواد طلاء جديدة للحصول على تصريح تأكدي لمطابقة قانون مواد الطلاء المحتوية على الرصاص. يتوفر المزيد من المعلومات حول جودة المختبر، بما في ذلك شهادة الاعتماد، في القسم ٦.

العوامل الأخرى هي:

- خبرة المختبر في اختبارات الطلاء
- الطرق التحليلية المستخدمة والحد الأدنى من الرصد
- متطلبات جمع العينة
- السعة في التعامل مع العدد المطلوب من العينات
- تكلفة التحليل، متضمنة تكاليف الشحن
- وقت إجراء التحليلات.

٥.٢ إيجاد المختبر

يمكن العثور على معلومات عن المختبرات المعتمدة لقياس كمية الرصاص في الطلاء على مواقع هيئات الاعتماد الوطنية. توجد تفاصيل الاتصال بهيئات الاعتماد الوطنية على موقع الويب الخاص بالتعاون الدولي لاعتماد المختبرات (ILAC)،^٩ والذي يسرد الهيئات الموقعة على اتفاقية الاعتماد المتبادلة الخاص بالتعاون. كما يقدم الموقع أيضاً معلومات عن هيئات التعاون الإقليمي للاعتماد.

مصدر آخر للمعلومات هو الموقع الإلكتروني لبرنامج اختبار الكفاءة التابع لجمعية الصحة الصناعية الأمريكية (AIHA).^{١٠} تدير جمعية الصحة الصناعية الأمريكية برنامج اختبار الكفاءة التحليلية للرصاص في البيئة (ELPAT) (34) وتقدم قائمة بأكثر من ٢٥٠ مختبراً في الولايات المتحدة وبلدان أخرى اجتازت أحدث اختبار الكفاءة لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء.

تحتفظ لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية بالولايات المتحدة^{١١} بقائمة من المختبرات المعتمدة لإجراء اختبارات الجهات الخارجية للامتثال لمتطلبات السلامة الفيدرالية للولايات المتحدة المعمول بها لمنتجات الأطفال (35). تتضمن هذه القائمة مختبرات معتمدة في الولايات المتحدة وفي بلدان أخرى يمكنها اختبار كمية الرصاص في مواد الطلاء.

يمكن أن يوفر التحليل المختبري قياسات دقيقة لكميات الرصاص في الطلاء (سواء الحالي أو الجديد)، طالما تم جمع العينات المناسبة والانصياع لمبادئ ضمان الجودة المناسبة (انظر القسم ٦.٢). هناك حاجة إلى مهارة كبيرة ووقت كبير لجمع العينات ونقلها، وكذلك في حالة استخدام أنظمة FAAS و ETAAS و ICP-AES وتقنية التحليل المختبري (يعتبر نظام HDXRF المختبري طريقة أسرع وأبسط). قد تكون تكلفة إرسال العينات وتحليلها مختبرياً كبيرة، اعتماداً على موقع المختبر، وعدد العينات المراد تقديرها، والطريقة التحليلية المستخدمة. إذا كان الطلاء الخاضع للاختبار قائم بالفعل على سطح ما، فيجب إتلاف طلاء السطح لجمع العينة.

يعد جهاز XRF المحمول بديلاً لقياس الرصاص في الطلاء المدهون بالفعل على سطح ما؛ لأنه لا يتطلب أخذ عينات مدمرة أو إزالة الطلاء، وأيضاً بفضل سرعته العالية وانخفاض تكلفته لكل عينة. لهذه الأسباب تعد هذه الطريقة هي الطريقة المفضلة عند تفتيش المنازل بحثاً عن مواد الطلاء المحتوية على الرصاص (6, 15).

ولكن يوصى باتباع طريقة التحليل المختبري في الحالات التالية:

- عندما تكون هناك حاجة إلى دقة عالية أو حدود كشف منخفضة؛
- للمناطق التي يتعذر الوصول إليها أو مكونات المباني ذات الأسطح غير المنتظمة والتي لا يمكن اختبارها بسهولة باستخدام معدات الـ XRF؛
- لتأكيد نتائج XRF المحمول باليد الأساسية.

بينما تعطي مجموعات الاختبار الكيميائية نتائج فورية أيضاً، إلا أنها توفر معلومات محدودة عن تركيز الرصاص وهي الطريقة الأقل دقة والموثوقة.

٥.١ اختيار المختبر

هناك عدد من الاعتبارات التي يجب التفكير فيها عند اختيار مختبر لاختبار الطلاء، ويوصى بالاتصال بالمختبر مسبقاً للتحقق من ملاءمته لتنفيذ التحليلات المطلوبة. وتعد جودة الخدمة المقدمة عاملاً شديداً الأهمية. فاستخدام مختبر معتمد من قبل هيئة معترف بها ومعتمد لإجراء الاختبارات المحددة المطلوبة سيعطي الثقة

^٩ <https://ilac.org/signatory-search>

^{١٠} <https://online.aihapat.org/patssa/f?p=AIHASSA:17800;searchforELPATLaboratoriesProgram>

^{١١} <https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>

٥.٣ تأسيس خدمة مختبرية لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء

يتطلب إنشاء خدمة مختبرية ضخ استثمارات كبيرة في الموارد، وفيما يلي نذكر بعض النقاط التي يجب أخذها في الاعتبار عند تحديد ما إذا كان سيتم المضي قدمًا في تقديم الخدمة أم لا.

- ما نوع الأجهزة اللازمة لأغراض المختبر (HDXRF، GFAAS، ETAAS، ICP-MS)؟
- هل المعدات التحليلية الضرورية متوفرة بالفعل أم يجب شراؤها؟
- هل تتوفر أموال كافية لشراء المعدات وتركيبها وتكاليف الصيانة والتشغيل، بما في ذلك شراء المواد المرجعية المعتمدة، واستبدال المواد الاستهلاكية مثل المصابيح والأنابيب والغازات؟
- هل هناك أماكن مناسبة لإنشاء المختبر مع إمدادات طاقة ومياه موثوقة ومستمرة؟ هل يمكن تعديل مبنى قائم بالفعل أم أنه من الضروري بناء مختبر جديد؟
- هل هناك عدد كاف من فنيي المختبر المدربين تدريبًا كافيًا لتشغيل الأجهزة والمعدات المختبرية؟
- هل سيسعى المختبر للحصول على شهادة اعتماد في قياس كمية الرصاص في الطلاء وهل تتوفر الموارد لدعم ذلك؟

- هل هناك أعباء عمل كافية لتبرير تأسيس الخدمة؟
- هل يوجد مختبر آخر في الدولة أو خارجها يقدم بالفعل هذه الخدمة بتكلفة معقولة وفي إطار زمني مقبول؟
- هل يوجد مختبر قائم بالفعل يمكنه إضافة اختبار الطلاء إلى خدماته؟

٦. جوانب مهمة في ممارسات المختبر

في الكيمياء التحليلية، حتى أكثر المعدات تعقيداً ودقة ستقدم نتائج غير صحيحة إذا لم يتم جمع العينات ومعالجتها بطريقة مناسبة، أو إذا لم تستخدم المعدات بشكل صحيح وتخضع لصيانة دورية، أو إذا لم يتم اتباع البروتوكولات التحليلية. يوجد اثنان من المخاوف المرتبطة بقياس الرصاص في الطلاء: وهما تلوث الرصاص غير المرصود، وانخفاض مستوى ضمان الجودة والسيطرة عليها. نتناول هاتين المشكلتين بالنقاش في الأقسام التالية.

٦.١ الوقاية من التلوث الخارجي

الرصاص عنصر واسع الانتشار ويمكنه أن يلوث العينات بطرق عديدة، خاصة في حالة التحليل المختبري لرقائق الطلاء. قد يحدث التلوث أثناء جمع العينات وتخزينها ونقلها ومعالجتها. وبالتالي فإن جودة جمع العينات ومعالجتها هي عامل حاسم في التحديد الدقيق لكمية الرصاص في الطلاء. يجب تنفيذ هذه الأنشطة باتباع إجراءات تشغيل قياسية تتضمن تدابير للوقاية من تلوث العينة؛ مثل استخدام معدات جمع عينات جديدة مع كل عينة (17).

كما أن مناولة العينات داخل المختبر تنطوي على خطر إصابتها بالتلوث. يجب أن تكون المختبرات أقرب إلى كونها خالية من ملوثات الرصاص قدر الإمكان، ويجب تدريب طاقم المختبر بشكل صحيح للحيلولة دون تلوث العينة. تتوفر بروتوكولات محددة للطرق التحليلية المختلفة، بما في ذلك بروتوكولات صادرة من الشركات المصنعة ووكالات توحيد المعايير، ويجب اتباعها بدقة (13، 17-19). يمكن تقليل مخاطر التلوث بشكل كبير من خلال تطبيق تدابير ضمان الجودة بالمستوى المطلوب (33).

٦.٢ ضمان الجودة ومراقبتها

يعد ضمان الجودة ومراقبتها من مكونات نظام إدارة الجودة. تتضمن إدارة الجودة دمج جميع جوانب عمليات المختبر؛ بما في ذلك الهيكل التنظيمي والعمليات والإجراءات والموارد من أجل ضمان أن تكون الخدمة المقدمة للمستخدمين ذات جودة عالية، وأن تكون نتائج المختبر موثوقة وقابلة للتكرار (33، 36).

يهتم ضمان الجودة بالعمليات والإجراءات التي تجري داخل المختبر. ويغطي استخدام الممارسات السليمة علمياً وتقنياً للفحوصات المخبرية، بما في ذلك اختيار العينات وجمعها

وتخزينها ونقلها، وتسجيل النتائج وتقديم تقرير عنها وتفسيرها. كما يشير إلى التدريب والإدارة المصممة لتحسين موثوقية الفحوصات. يشمل ضمان الجودة التقييم الأولي لطريقة تحليلية، فيما يتعلق بمدى صلاحيتها وموثوقيتها، والتي تشمل العلاقة الخطية، والانتقائية، والاسترداد، ومقاييس المعايرة، وثوابت البلانك، وحدود الكشف، وحدود القياس الكمي، والتماسك (17).

تشير مراقبة الجودة إلى ضبط الأخطاء التي تشوب أداء الاختبارات، والتحقق من نتائج الاختبار. وتتألف من مكونين: مراقبة الجودة الداخلية وتقييم الجودة الخارجي.

مراقبة الجودة الداخلية: عبارة عن مجموعة من الإجراءات التي يستخدمها موظفو المختبر لتقييم النتائج بشكل مستمر أثناء إنتاجها لتحديد ما إذا كانت دقيقة وسليمة أم لا، وبالتالي موثوقة بما يكفي لنشرها (17، 20). أحد الأمثلة على إجراءات مراقبة الجودة هو تحليل عينات ضابطة من مواد الطلاء التي تحتوي على محتوى من الرصاص يسهل رصده، للتحقق من أداء الطريقة التحليلية. في حالة توفر مواد مرجعية (معتمدة) مناسبة من حيث التركيز ومطابقة المصفوفة، فيوصى بشدة باتباع هذه المواد في خطوة التحقق، وفي التحقق المنتظم من الجودة. طورت وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة إجراءات مراقبة الجودة لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء (17، 33). يجب أن تتضمن إجراءات التشغيل القياسية لتحليل العينة عادةً وصفاً لإجراءات مراقبة الجودة (33).

تقييم الجودة الخارجي (EQA): هذا عبارة عن نظام هذا للتحقق الموضوعي من أداء المختبر باستخدام وكالة خارجية. ويتضمن إرسال المختبر لعينات اختبار "عمياء" تكون فيها كمية الرصاص غير معروفة. ثم تجري مقارنة النتائج الناتجة عن التحليل مع تركيزات الرصاص الفعلية، والتي لم يتم الكشف عنها إلا بعد الانتهاء من التحليلات. تجري مقارنة النتائج أيضاً مع تلك المختبرات الأخرى المشاركة في مخطط تقييم الجودة. تتضمن خطط تقييم الجودة الخارجية عادةً عدداً من دورات الاختبار التي تعقد بشكل سنوي. مخطط برنامج اختبار الكفاءة التحليلية للرصاص في البيئة المذكور أعلاه هو مثال على مخطط تقييم الجودة الخارجي للرصاص في رقائق الطلاء (أيضاً في التربة والغبار). تجري التقييمات بمعدل ربع سنوي.

الاعتماد هو الإجراء الذي تمنح من خلاله هيئة موثوقة اعترافاً رسمياً بأن المختبر مؤهل للقيام بمهام محددة؛ على سبيل المثال تحديد كمية الرصاص في الطلاء. في هذه الحالة، يخضع المختبر للفحص من قبل ممثلين من هيئة اعتماد يقومون بتقييم الكفاءة من خلال مراقبة موظفي المختبر، بالإضافة إلى البحث عن أدلة على الامتثال للمعايير والسياسات والإجراءات والمتطلبات والقوانين التنظيمية. يجوز لهيئة الاعتماد أيضاً أن تحدد المعايير التي يجب أن يلتزم بها المختبر (36). أحد الأمثلة على معايير الاعتماد هو معايير ISO/IEC 17025 (37). في الولايات المتحدة، تُعد المشاركة في برنامج اختبار الكفاءة التحليلية للرصاص في البيئة (ELPAT) شرطاً أساسياً للمختبر للتأهل في إطار برنامج اعتماد مختبر قياس الرصاص البيئي (ELLAP).

٦.٢.١ الاختبارات في الموقع

تنطبق الحاجة إلى ضمان الجودة وتدابير مراقبة الجودة أيضاً على التحليلات التي يتم إجراؤها بعيداً عن المختبر، على سبيل المثال، عندما يتم استخدام أجهزة XRF لتقييم محتوى الرصاص في مواد الطلاء داخل المباني. تشمل التدابير ضمان تدريب العاملين تدريباً وافياً، واستخدام اختبارات المعايرة والاختبارات الضابطة (6).

٦.٣ المعايير القياسية والشهادات والاعتماد

المعايير والشهادات والاعتماد هي تدابير مهمة لضمان جودة المختبر وإثباتها.

وثيقة المعايير القياسية هي وثيقة تم إنشاؤها بتوافق الآراء واعتمادها من قبل هيئة معترف بها، تقدم إرشادات أو مواصفات للأنشطة أو نتائجها، بغرض الاستخدام العام والمتكرر، وتهدف إلى تحقيق الدرجة المثلى من النظام في سياق معين (36). قد يجري تطوير المعايير القياسية على الصعيد الوطني أو الدولي. أمثلة على المعايير القياسية الدولية المتعلقة بقياس كمية الرصاص في الطلاء هي تلك التي وضعتها المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) والجمعية الأمريكية الدولية لاختبار المواد (ASTM). وهذه المعايير مدرجة في الملحق.

الشهادة هي الإجراء الذي من خلاله تقدم هيئة مستقلة تأكيداً كتابياً بأن العملية أو الخدمة تتوافق مع متطلبات محددة. يتضمن هذا فحص المختبر من قبل ممثلين من هيئة إصدار الشهادات، يبحثون عن أدلة على الامتثال للمعايير والسياسات والإجراءات والمتطلبات واللوائح اللازمة للحصول على شهادة الاعتماد. التقييم الرئيسي يهدف إلى التحقق من الوجود الحقيقي للإجراءات والوثائق (36).

٧. الاستنتاجات

تعتبر مواد الطلاء المحتوية على الرصاص مصدرًا مهمًا للتعرض للرصاص، تحديدًا للأطفال والعمال. ونظرًا لإمكانية صناعة الدهانات ذات الألوان والخصائص المرغوبة دون استخدام إضافات الرصاص، فهذا يُعد مصدر تعرض يمكن منعه. ومع ذلك، ستظل هناك كميات كبيرة متراكمة من مواد الطلاء المحتوية على الرصاص في المباني والهياكل التي ستظل مصدرًا للتعرض لسنوات عديدة، حتى ولو فرضت الدولة قيودًا على استخدام هذا النوع من مواد الطلاء.

يوضح هذا الكتيب الطرق المستخدمة بشكل شائع لقياس كمية الرصاص في مواد الطلاء، سواء في المختبر أو في الموقع الذي استخدم فيه طلاء الرصاص. تتوفر مجموعة متنوعة من الطرق التحليلية المختلفة، بمستويات متنوعة من التكاليف والتعقيد، ويجب على سلطات الصحة العامة والوكالات البيئية وغيرها من المؤسسات اختيار الطرق التي تناسب احتياجاتهم على أفضل وجه.

يتمثل الإجراء الأساسي للوقاية من التعرض للرصاص في تنفيذ تدابير رقابة ملزمة قانونًا؛ مثل القوانين أو اللوائح أو المعايير القياسية لوقف إضافة المكونات القائمة على الرصاص إلى مواد الطلاء الجديدة. في البلدان التي توجد فيها بالفعل مباني وهياكل أخرى مطلية بطلاء يحتوي على الرصاص، قد تتضمن الوقاية أيضًا استخدام تدابير إدارة المخاطر المناسبة؛ مثل إنقاص كمية طلاء الرصاص الموجودة. ومن أجل أغراض الوقاية الأولية والثانوية، من الضروري امتلاك الوسائل اللازمة لقياس محتوى الرصاص في مواد الطلاء.

٨. المراجع

- .1 GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 30 March 2020).
- .2 Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–1251. doi:10.1001/jama.2017.1712.
- .3 Global Health Observatory (GHO) data. Legislation: regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization; 2019 (https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/lead_paint_regulations/en/, accessed 30 March 2020).
- .4 update on the global status of legal limits on lead in paint. Nairobi: United Nations 2019 Environment Programme; 2019 (<https://www.unenvironment.org/resources/report/2019-update-global-status-legal-limits-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
- .5 American Healthy Homes Survey: lead and arsenic findings. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2011 (https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS_REPORT.PDF, accessed 6 April 2020).
- .6 Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2012. Chapter 7 and Appendix 13.2 (https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/lbp/hudguidelines, accessed 6 April 2020).
- .7 Dixon SL, Gaitens JM, Jacobs DE, Strauss W, Nagaraja J, Pivetz T et al. Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999—2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children's blood lead levels. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3):468–74. doi:10.1289/ehp.11918.
- .8 Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 30 March 2020).
- .9 Model law and guidance for regulating lead paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2018 (<https://www.unenvironment.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
- .10 Le Bot B, Arcelin C, Briand E, Glorennec P. Sequential digestion for measuring leachable and total lead in the same sample of dust or paint chips by ICP-MS, *J Environ Sci Health, Part A*. 2011; 46(1):63–69. doi:10.1080/10934529.2011.526902.
- .11 Soluble and total lead content of solvent-based paints for home use in China. Stockholm: International Pollutants Elimination Network; 2017 (http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1_3-en.pdf, accessed 30 March 2020).

- .12 Deshommes E, Tardif R, Edwards M, Sauvé S, Prévost M. Experimental determination of the oral bioavailability and bioaccessibility of lead particles. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6: 138. doi.org/10.1186/1752-153X-6-138
- .13 Test method: CPSC-CH-E1003-09.1: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2011 (https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk_pdf_CPSC-CH-E1003-09_1.pdf, accessed 30 March 2020).
- .14 Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination. ASTM E1729-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
- .15 Diagnostique plomb: protocole de réalisation du constat de risque d'exposition au plomb [Lead diagnostic: protocol for carrying out risk assessment of lead exposure]. NF X46–030: 2008–4. La Plaine Saint-Denis: l'Association Française de Normalisation; 2008.
- .16 Détection du plomb dans les peintures anciennes [Detection of lead in old paint]. Maisons-Alfort: Agence française de sécurité sanitaire environnementale; 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2004et5091Ra.pdf>, accessed 30 March 2020)
- .17 Pb-based paint laboratory operations guidelines: analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0, EPA 747-R-92-006, May 1993. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 1993 (<https://www.epa.gov/lead/pb-based-paint-laboratory-operations-guidelines-analysis-pb-paint-dust-and-soil-revision-10-epa>, accessed 30 March 2020).
- .18 Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis. ASTM E1645-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
- .19 Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques. ASTM E1613-12. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2004.
- .20 Flanagan RJ, Taylor A, Watson ID, Whelpton R. *Fundamentals of analytical toxicology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007: 281–301.
- .21 ISO 6503:1984. Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method. Geneva: International Organization for Standardization; 1984 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:12880:en>, accessed 30 March 2020).
- .22 Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/ HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999;60:444–451.

- Cobb D. Study on the effectiveness, precision, and reliability of X-ray fluorescence spectrometry and other alternative methods for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2009 (<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/leadinpaintmeasure.pdf>, accessed 30 March 2020). .23
- Gibson WM, Chen ZW, Danhong L. High-definition X-ray fluorescence: applications. X-ray Optics and Instrumentation. 2008; Article ID 709692. doi:10.1155/2008/709692. .24
- Cobb D. Update on use of X-ray fluorescence spectrometry for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2010. .25
- Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams. ASTM F2853-10. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015. .26
- Analysing liquids using XRF sample cups and films. FXBA-0032-01. Bedburg-Hau: Fluxana; 2019 (https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper_Analyzing_Liquids_using_XRF_sample_cups_and_films.pdf, accessed 30 March 2020). .27
- The U.S. Consumer Product Safety Commission approves new test method for detection of lead in paint. Business Wire, 31 March 2011 (<https://www.businesswire.com/news/home/20110331006041/en/U.S.-Consumer-Product-Safety-Commission-Approves-New>, accessed 30 March 2020). .28
- ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — lead-in-paint test kit. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elky.pdf>, accessed 30 March 2020). .29
- ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — LeadPaintCheck. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elna.pdf>, accessed 30 March 2020). .30
- Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010). [website] Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program; 2019 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/html/este.html#pcqstklp>, accessed 3 April 2020). .31
- Rossiter WJ, Vangel MG, McKnight ME, Dewalt G. Spot test kits for detecting lead in household paint: a laboratory evaluation. NISTIR 6398. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology; 2000 (https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860223, accessed 3 April 2020). .32
- National Lead Laboratory Accreditation Program: Laboratory quality system requirements, Revision 3.0. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 2007 (<https://www.epa.gov/lead/national-lead-laboratory-accreditation-program-laboratory-quality-system-requirements-revision>, accessed 3 April 2020). .33

- ELPAT frequently asked questions. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association; 2019 (<https://www.aihapat.org/programs/environmental-lead-proficiency-analytical-testing-elpat-program/elpat-faqs>, accessed 3 April 2020). .34
- List of CPSC-accepted testing laboratories. United States Consumer Product Safety Commission (<https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>, accessed 3 April 2020). .35
- Laboratory quality management system: handbook, version 1.1. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 3 April 2020). .36
- ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2017 (<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>, accessed 6 April 2020). .37

الملحق

المعايير القياسية والطرق الدولية لجمع العينات وإعداد وتحليل كمية الرصاص في مواد الطلاء

الإجراء	اسم المعيار
المعايير القياسية الدولية لجمع العينات	ASTM E1729-16. الممارسات القياسية لجمع عينات الطلاء الجاف في الموقع لتحليلها فيما بعد لتحديد محتواها من الرصاص
	ISO 15528:2013. مواد الطلاء والورنيشات والمواد الخام للدهانات - عملية جمع العينات (متوفر باللغات الإنجليزية والفرنسية والروسية)
المعايير القياسية الدولية لتحضير العينة	ISO 1513:2010. مواد الطلاء والورنيشات - فحص عينات الاختبار وتحضيرها (متوفر بالإنجليزية والفرنسية والروسية)
	ASTM E1645-16. الممارسة القياسية لإعداد عينات الطلاء المجفف عن طريق طبع التسخين أو التحليل في الميكروويف لتحليل العينة فيما بعد لتحديد كمية الرصاص بها
	ASTM E1979-17. الممارسة القياسية في الاستخراج بالموجات فوق الصوتية للطلاء، والغبار، والتربة، وعينات الهواء لتحديد كمية الرصاص بها
المعايير القياسية الدولية لطرق الاختبار	ISO 6503:1984. مواد الطلاء والورنيشات - تحديد إجمالي كمية الرصاص - طريقة مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (لقياس تركيز الرصاص من ٠,٠١٪ إلى ٢,٠٪) (متوفر باللغتين الإنجليزية والفرنسية)
	ASTM D3335-85a (2014). طريقة الاختبار القياسية للتركيزات المنخفضة من الرصاص والكاديوم والكوبالت في مواد الطلاء بواسطة مطياف الامتصاص الذري (لقياس تركيز الرصاص من ٠,٠١٪ إلى ٥,٠٪)
	ASTM E1613-12. طريقة الاختبار القياسية لتحديد كمية الرصاص من خلال مطياف الانبعاث الذري البلازما المقترن حثيًا (ICP-AES)، أو مطياف الامتصاص الذري المعتمد على اللهب (FAAS)، أو طرق مطياف الامتصاص الذري القائمة على فرن الجرافيت (GFAAS)
	ASTM F2853-10 (2015). طريقة الاختبار القياسية لتحديد كمية الرصاص في طبقات الطلاء وطبقات التغليف المماثلة أو في الركائز والمواد المتجانسة بواسطة مطياف الأشعة السينية الفلورية المشتتة للطاقة باستخدام العديد من حزم الإثارة أحادية اللون

يمكن الحصول على معايير الأيزو من <https://www.iso.org>

يمكن الحصول على معايير ASTM من الموقع <https://www.astm.org>

للمزيد من المعلومات، يُرجى التواصل مع:
قسم البيئة والتغير المناخي والصحة (ECH)
منظمة الصحة العالمية

Avenue Appia 20
27 Geneva 1211-CH

سويسرا

البريد الإلكتروني: ipcsmail@who.int

