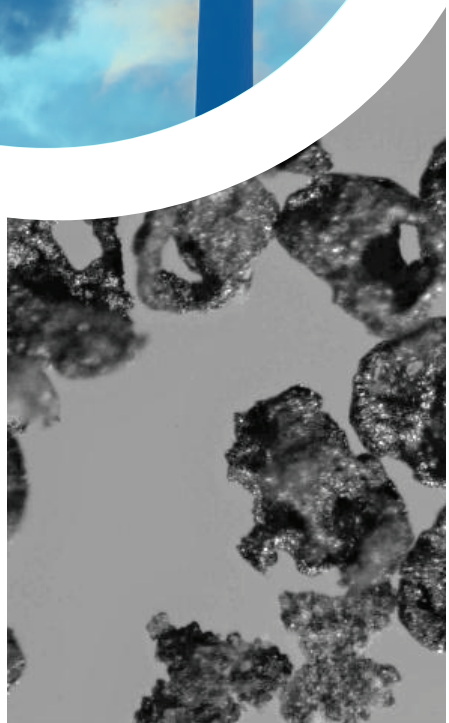
النتائج التحليليّة لمختبرات غرينبيس للبحوث

تحليل جُزيئات الغبار المستقرّ في مدينة القنيطرة، المغرب



جمعية أوكسجين للبيئة والصحة
Oxygen Association for Environment and Health

GREENPEACE
غرينبيس

تنويه:

لا تُمكِّنُ النتائجُ الواردةُ في هذا التقرير من تحديد المصدر الدقيق للغبار الأسود بشكلٍ قاطع. وتجدرُ الإشارةُ إلى أن أيَّ ذِكرٍ لمنشأةٍ أو نشاطٍ في هذا التقرير يندرج حصراً في إطار الملاحظة العلمية والتقييم البيئي، ولا سيما بالنظر إلى قربه من مواقع أخذ العينات. ولا ينبغي بأي حالٍ من الأحوال تفسير هذه الإشارات على أنها اتهام أو إسناد للمسؤولية أو تحديد لأي منشأة باعتبارها مصدراً للتلوث.

إنَّ قربَ مواقع أخذ العينات من محطةٍ لتوليد الطاقة يُذكر أنها تعمل بشكلٍ دوري وتستخدم الوقود الثقيل، يُعدُّ عاملاً رصدياً ذا صلة قد يستدعي إجراء مزيدٍ من الدراسات والتحريات. ومع ذلك، فإنَّ الإسناد النهائي لمصدر هذه الترسبات يتطلب إجراء تحقيقاتٍ إضافيةٍ موجَّهة، وتحليلاتٍ متخصصةٍ لتحديد المصادر، وأدلةً داعمةً أخرى تتجاوز نطاق هذه الدراسة.

مقدّمة

استلمنا في مختبرات غرينبيس عيّنتين من الغبار الأسود المستقرّ، جُمعتا بحسب ما أُبلغنا في 15-16 آب/أغسطس من العام 2022 من مدينة القنيطرة في المغرب، لتخضعا للتحليل في 30 آب/أغسطس من العام 2022. وتجدر الإشارة إلى أنّ العيّنتين جُمعتا من مواقع قريبة من محطة لتوليد الطاقة في منطقة صناعيّة قريبة. ووفق ما أفاد به السكان المحليّون، تستخدم محطة توليد الطاقة المازوت الثقيل كوقود. وتتكوّن العيّنتان من مسحوق أو غبار أسود دقيق وجاف، جُمع وخُزّن في أكياس بلاستيكيّة جديدة ونظيفة ومُزوَّدة بسحاب، وسُلّمت إلى المختبر في هذه الحاويات. وفور استلامهما، خُزّنت العيّنتان في الظلام في حرارة 4 درجات مئويّة إلى حين خضوعها للتحليل. يحتوي الجدول 1 أدناه على تفاصيل العيّنتين اللتين تمّ استلامهما.

الجدول 1

رمز العيّنة المُعتمَد في مختبرات غرينبيس للبحوث	تاريخ أخذ العيّنات والوقت	موقع أخذ العيّنات	بيانات نظام تحديد المواقع العالمي جي بي أس	المسافة (كلم) والاتجاه من محطة توليد الطاقة
MA22001	15-8-2022، 6.30 مساءً	سقف أحد المنازل، سوق، الخبازات، القنيطرة	34.26428 شمالًا، 6.56489- غربًا	2.3 كلم، جنوبًا
MA22002	16-8-2022 ، 7.15 مساءً	سقف أحد المنازل، باب فاس، القنيطرة	34.27249 شمالًا، 6.55728- غربًا	1.5 كلم، الجنوب - الجنوب الشرقي

الجدول 1: تفاصيل العيّنات المُستلمة والمُحلّلة في مختبرات غرينبيس للبحوث

مختبرات غرينبيس للبحوث
كليّة العلوم البيولوجيّة
مركز الابتكار - المرحلة الثانية
رين درايف
جامعة إكستر
إكستر EX4 4RN، المملكة المتّحدة

المحتويـــات

مقدّمة 2

المواد والوسائل 6

النتائج 8

توزيع أحجام الجُزيئات 9

الفحص المجهري البصري 10

التحليل الكمي للمعادن باستخدام "مطياف لكتلة البلازميّة المقرونة بالحث" (ICP-MS) 11

الفرز النوعي للاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS للملوّثات العضويّة شبه المتطايرة القابلة للاستخراج بالمذيبات (sVOCs) 12

الانحلال الحراري النوعي للاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS للمركّبات العضويّة شبه المتطايرة ومنتجات الانحلال الحراري 12

التحليل الإجمالي للكربون 18

التحليل بالأشعة تحت الحمراء باستخدام أداة تحويل فورييه (FT-IR) 18

ملاحظات ختاميّة 19

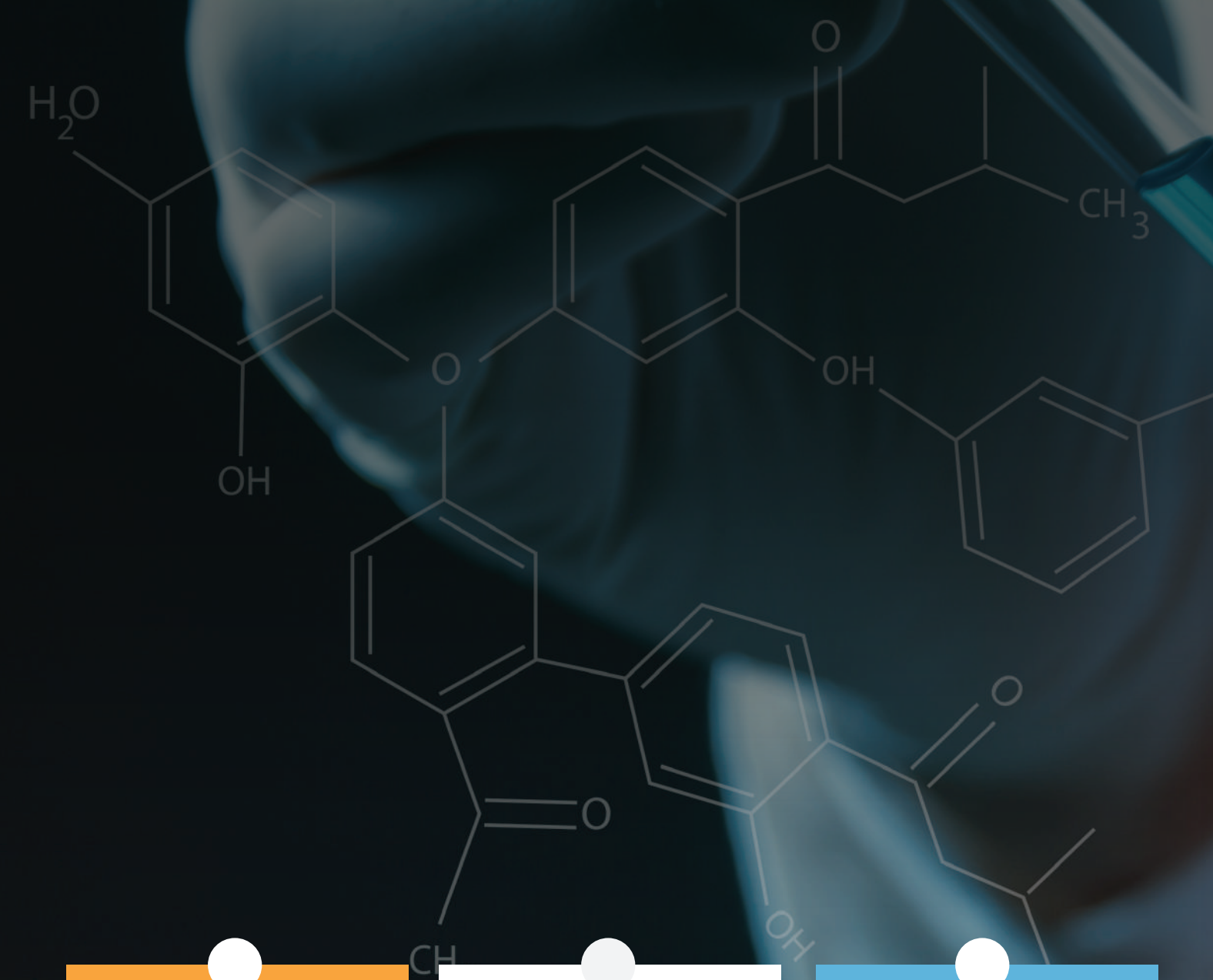
المراجع 21

الملحق 22

المواد والوسائل

أُخضِعت كلّ عيّنة للغربلة باستخدام شبكات ذات أحجام مختلفة لتحديد نطاق أحجام الجزيئات في داخل المادة. ولكلّ عيّنة، استُخدمت شريحة الحجم الأكثر شيوعًا، مع العلم أن أحجام الجُزيئات تتراوح بين 63 ميكرومترًا و250 ميكرومترًا، وذلك للمجموعة التالية من تقنيّات التحليل الجنائي:

- الفحص المجهري البصري
- التحليل الكمي للمعادن باستخدام "مطياف الكتلة البلازميّة المقرونة بالحث" (ICP-MS) بعد الهضم الحمضي
- الفرز النوعي للاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS للملوّثات العضويّة شبه المتطايرة القابلة للاستخراج بالمذيبات (sVOCs)



الانحلال الحراري النوعي للاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ للمركّبات GC-MS العضويّة شبه المتطايرة ومنتجات الانحلال الحراري

التحليل الإجمالي للكربون

التحليل بالأشعة تحت الحمراء باستخدام أداة تحويل فورييه (FT-IR)

لمزيدٍ من التفاصيل حول الطرق المُستخدَمة في كلّ نوع من أنواع التحليل، راجع الملحق 1.

النتائج

تحتوي الأقسام التالية على النتائج العائدة لكلّ تحليل وارد أعلاه.

توزيع أحجام الجُزيئات

في العيّنتين، كانت غالبيّة الجُزيئات (94-95% بحسب الوزن) أقلّ من 355 ميكرومترًا، والباقي يتكوّن في غالبيته من جزيئات أكبر تختلف من الناحية البصريّة عن الجزيئات السوداء التي تُشكّل الجزء الأكبر من كلّ عيّنة. ومن ضمن الشريحة التي تحتوي على جزيئات أقل من 355 ميكرومترًا، كان معظمها يتراوح بين 63 ميكرومترًا و 250 ميكرومترًا (راجع الجدول 2 لمزيد من التفاصيل). وأشارت الصور المجهريّة البصريّة للشريحة التي تتراوح ما بين 250 ميكرومترًا و355 ميكرومترًا إلى جزيئات مشابهة جدًا من الناحية البصريّة للجزيئات في الشريحة التي تتراوح بين 63 و 250 ميكرومترًا (راجع الصور أدناه). وفي العينتين، كانت الكميّة الصغيرة من المادة التي تحتوي على جزيئات أقل من 63 ميكرومترًا ذات مظهر بنيّ فاتح، وتختلف بصريًا عن الشريحة الرئيسية.

يتوافق نطاق أحجام الجزيئات في العيّنتَيْن مع الرماد المتطاير الناتج عن محطات توليد الطاقة التي تستخدم المازوت الثقيل، خصوصًا في ظلّ ظروف الاحتراق السيّئة (آل-ديغس وآخرون 2014، كوون وآخرون 2004، يو وآخرون 1996)، غير أنه يمكن أن تكون للجزيئات التي هي من مصادر أخرى نطاقات أحجام مماثلة.

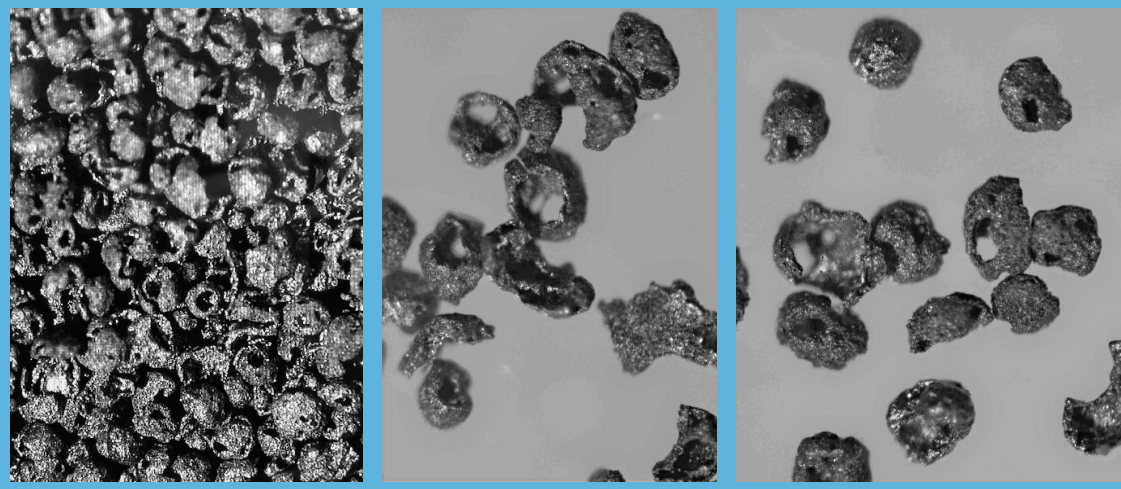
حجم الشريحة	MA22001	MA22002
355 - 250 ميكرومترًا	24.5 %	34.1 %
250 - 63 ميكرومترًا	74.4 %	65.6 %
أقلّ من 63 ميكرومترًا	1.1 %	0.3 %

الجدول 2: النسب المئويّة الكتليّة لشرائح مختلفة الحجم من المادة التي عبرت الشبكة بقياس 355 ميكرومترًا

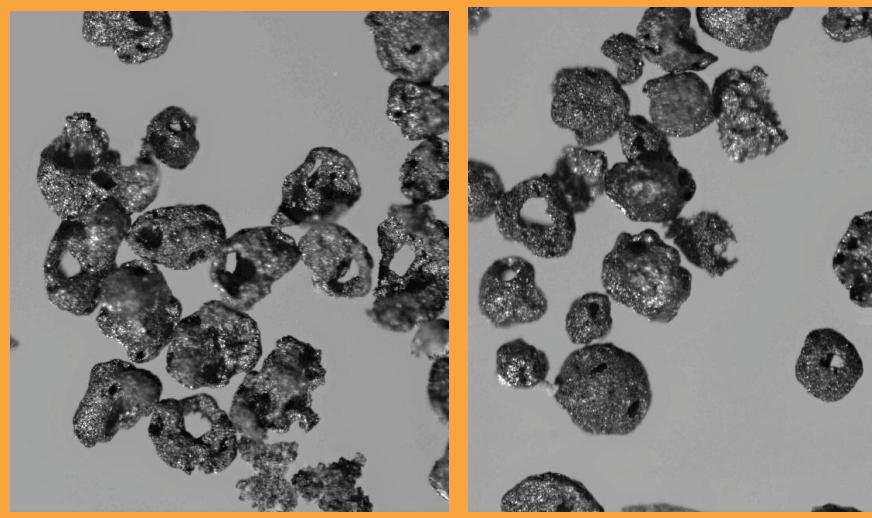
الفحص المجهري البصري

في الشريحة التي تتراوح بين 63 و 250 ميكرومترًا من العيّنتين، أشارت دراسة الجزئيّات باستخدام مجهر بصري إلى أنّ المواد تتكوّن من جزيئات جوفاء خاملة وخفيفة الوزن (الصورة 1). توجد هذه الأنواع من التراكيب بشكل شائع في الرماد المتطاير، بما في ذلك الرماد المتطاير الناتج عن احتراق المازوت الثقيل (كاراموسيو وآخرون 2003).

(أ)



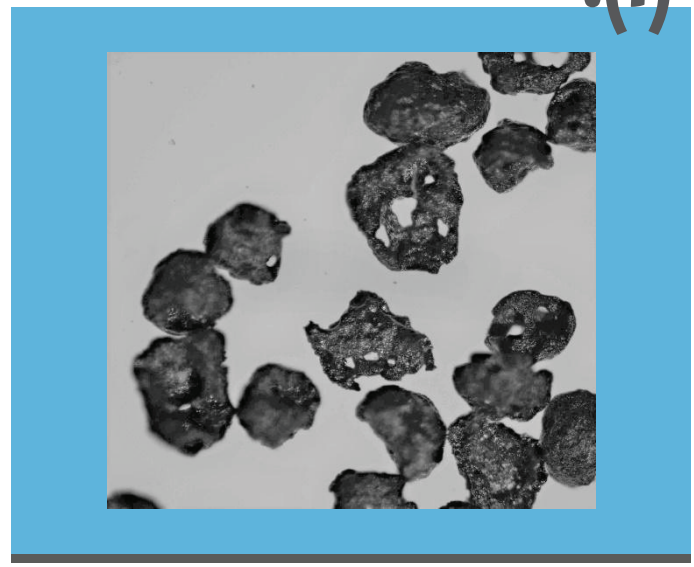
(ب)



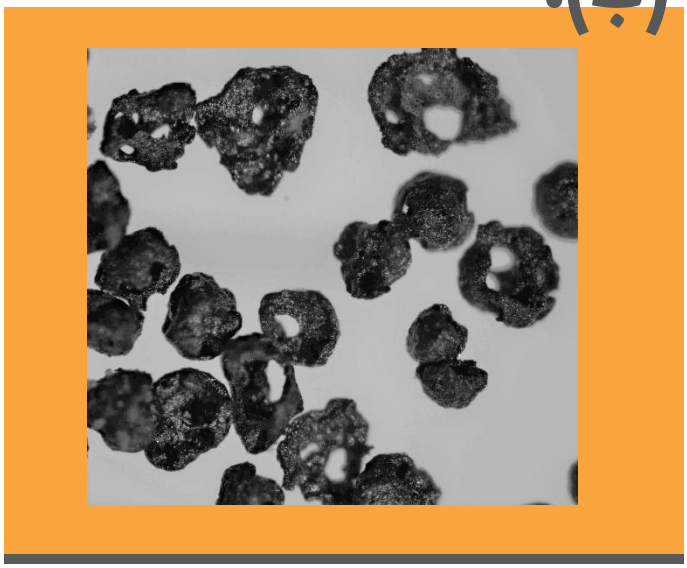
الصورة 1: رسوم مجهريّة بصريّة للشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا للعيّنة (أ) MA22001 والعيّنة (ب) MA22002

إنَّ الجزيئات في الشريحة التي تتراوح بين 250 و355 ميكرومترًا من العيّنتين لها شكل مماثل لجزيئات الشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا **(الصورة 2)**.

(أ).



(ب).



الصورة 1: رسوم مجهريّة بصريّة للشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا للعيّنة (أ) MA22001 والعيّنة (ب) MA22002

التحليل الكمي للمعادن باستخدام "مطياف الكتلة البلازميّة المقرونة بالحث" (ICP-MS)

يحتوي الجدول 3 على التركيزات لمجموعة من المعادن وأشباه الفلزات في الشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا من كلّ عيّنة.

تتضمّن العيّنتان تركيزات ملحوظة من الفاناديوم (1640-3060 ملغ/كلغ) والنيكل (656-1180 ملغ/كلغ). تم الإبلاغ عن احتواء الرماد المتطاير من المازوت الثقيل على تركيزات عالية نسبيًا من الفاناديوم والنيكل، على الرغم من أن التركيزات تكون عادةً أعلى من تلك الموجودة في العيّنتَيْن، وتتراوح بين 7000 و61000 ملغ/كلغ من الفاناديوم و2000 و14000 ملغ/كلغ من النيكل. في المقابل، عادةً ما يحتوي رماد الفحم المتطاير على تركيز أقل من هذه المعادن، أي ما يقارب 100-200 ملغ/كلغ للفاناديوم و30-200 ملغ/كلغ للنيكل (آل-ديغس وآخرون 2014). كذلك، تحتوي العيّنتان على معادن وأشباه فلزات أخرى بتركيزات أقل من تلك التي نجدها عادةً في رماد الفحم المتطاير، بما في ذلك الزرنيخ والبورون واليورانيوم (معهد أبحاث الطاقة الكهربائية EPRI 2009).

الفرز النوعي للاستشراب الغازي – قياس الطيف الكتليّ GC-MS للملوّثات العضويّة شبه المتطايرة القابلة للاستخراج بالمذيبات (sVOCs)

لم يتم تحديد أيّ مركبات عضويّة قابلة للاستخراج بالمذيبات في أيّ عيّنة من العيّنتين.

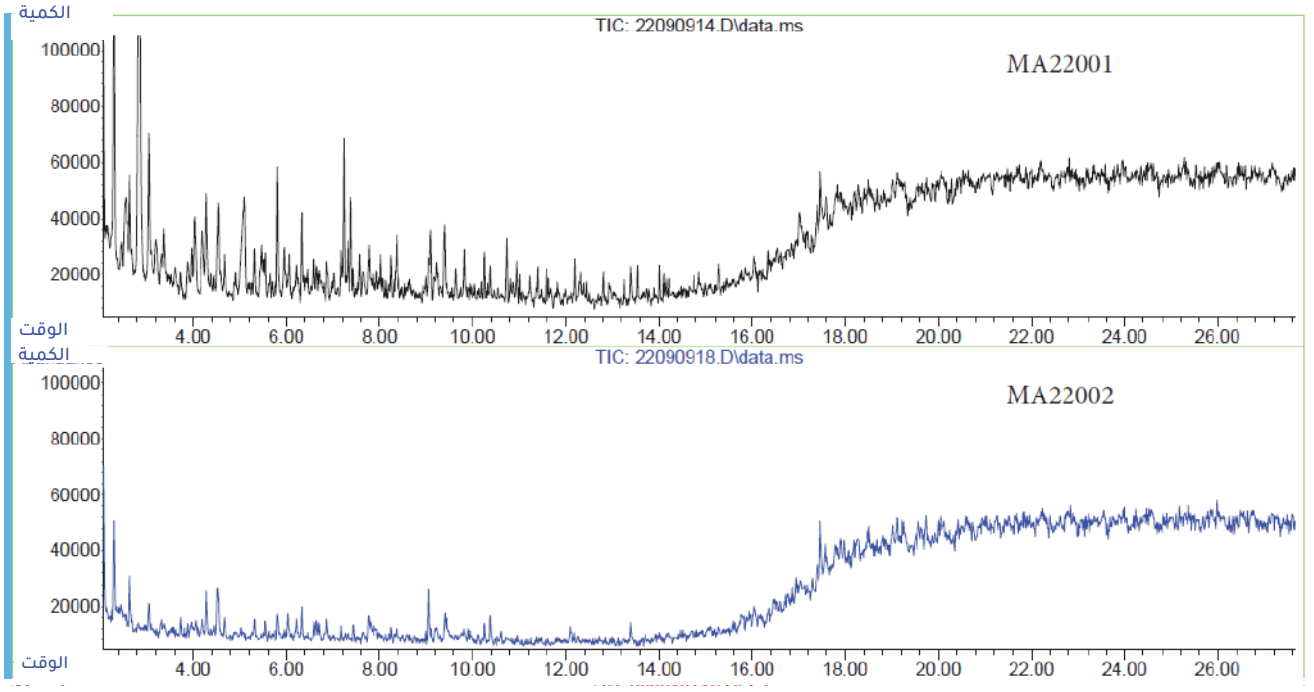
الانحلال الحراري النوعي للاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS للمركّبات العضويّة شبه المتطايرة ومنتجات الانحلال الحراري

لم يتم اكتشاف أيّ مركّبات عضويّة شبه متطايرة بعد تسخين أيّ عيّنة من العيّنتين إلى 200 درجة مئويّة، ما يشير إلى أنّ المادة في الحالتين خاملة نسبيًا وغير عضوية بطبيعتها.

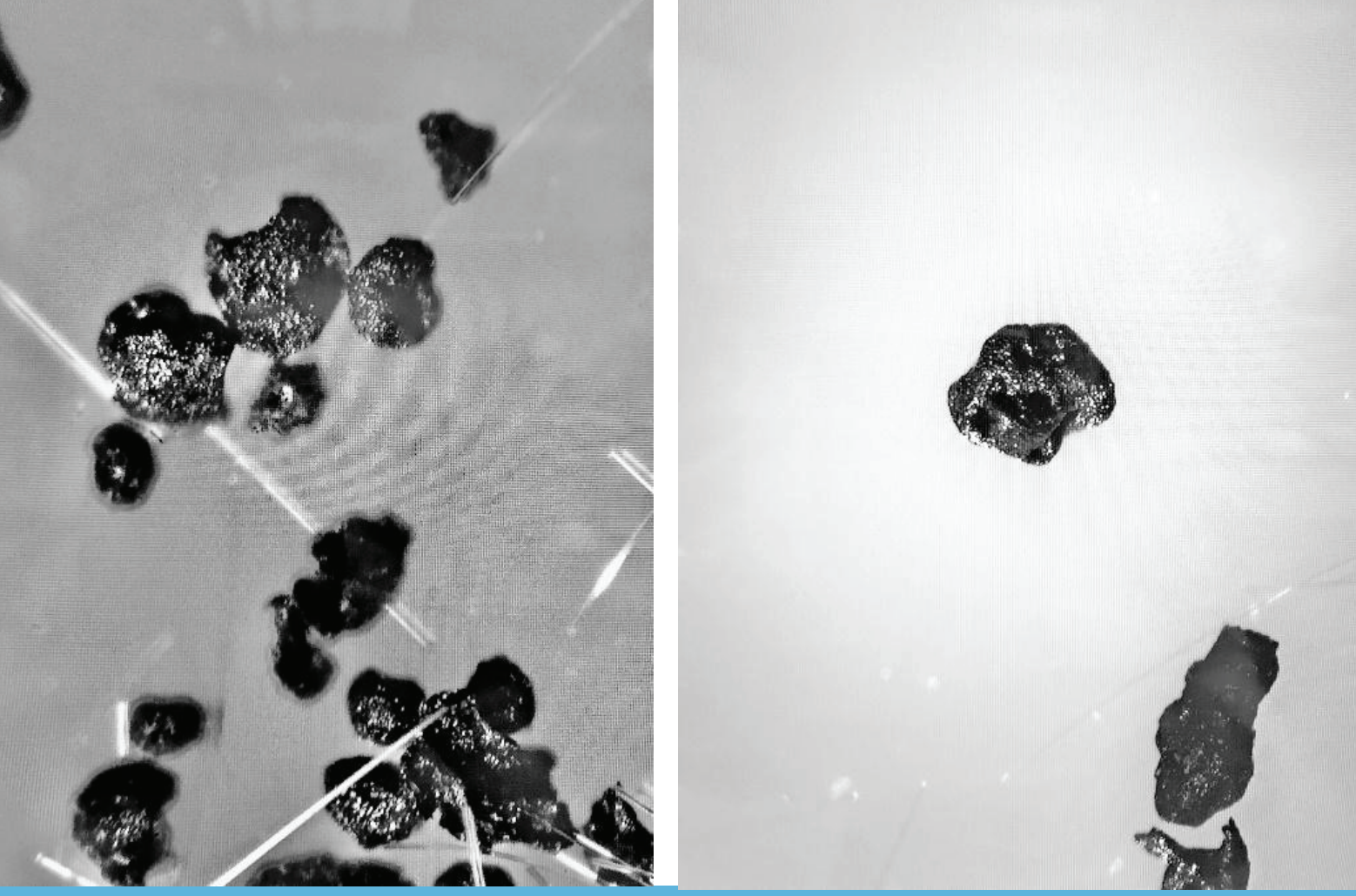
MA22001	MA22002		المعادن/أشباه الفلزات
5380	2800	Al	ألومينيوم
1.9	0.6	Sb	أنتيمون
4.3	2.7	As	زرنيخ
114	30.8	Ba	باريوم
0.21	0.10	Be	بريليوم
23	15	B	بورون
0.28	0.28	Cd	كادميوم
3040	2790	Ca	كالسيوم
8.9	8.9	Ce	سيريوم
38.5	44.3	Cr	كروم
10.4	6.08	Co	كوبالت
41.8	34.6	Cu	نحاس
4.77	1.89	Ga	غاليوم
9580	3660	Fe	حديد
39.4	18.1	Pb	رصاص
1850	1500	Mg	مغنيسيوم
120	84.4	Mn	منغنيز
<0.1	<0.1	Hg	زئبق
42.4	24.0	Mo	موليبدينوم
1180	**656**	**Ni**	**نيكل**
1740	1540	K	بوتاسيوم
0.52	0.30	Se	سيلينيوم
1610	2020	Na	صوديوم
34.0	33.7	Sr	سترنتيوم
0.86	0.44	Th	ثوريوم
6.09	0.71	Sn	قصدير
127	19	Ti	تيتانيوم
0.25	0.20	U	يورانيوم
3060	**1640**	**V**	**فاناديوم**
222	180	Zn	زنك

الجدول 3: تركيزات المعادن وأشباه الفلزات (ملغ/كلغ - وزن جاف) للشرائح التي يتراوح حجمها بين 63 و 250 ميكرومترًا

أدى الانحلال الحراري عند 700 درجة مئويّة إلى ارتفاعات طفيفة في منتجات الانحلال الحراري (الصورة 3)، بأعداد وكمية أكبر في العينة MA22001 مقارنةً بالعيّنة MA22002، ولكن كانت المادة خاملة نسبيًا. وتضمّنت منتجات الانحلال الحراري مخلّفات محدودة من البنزين والتولوين ومشتقات الفيوران والفينولات، وهي منتجات شائعة للانحلال الحراري للكثير من المواد العضويّة، ولا تعود لأيّ مصدر معيّن. وظَهَرَت أيضًا، وخصوصًا في العيّنة MA22001، بقايا من مشتقات الفيورانون والفورفورال، التي قد تشير إلى وجود كميّات صغيرة من المواد الحيويّة في العيّنة (على سبيل المثال، أجزاء صغيرة من مادة نباتيّة أو غبار التربة) أكثر ممّا قد تشير إلى أنها من الكربون الأحفوري. وعلى الرغم من الحرص على تضمين الجزيئات السوداء في العيّنات الفرعيّة التي خضعت للانحلال الحراري، لم يكن من الممكن ضمان استبعاد جميع المواد الأخرى التي قد تكون ترسّبت (وبالتالي جُمعت لاحقًا) مع الجزيئات السوداء. لذلك، من الممكن أن تكون منتجات الانحلال الحراري القليلة التي تم تحديدها قد نشأت من مواد أخرى مختلطة مع الكرات. أُثبتت الطبيعة الخاملة للجزيئات السوداء في الشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا بشكل أدق من خلال الدراسة المجهريّة للعيّنات الفرعيّة بعد الانحلال الحراري، حيث ظهرت بدون تغيير فعلي على الرغم من التسخين الشديد إلى 700 درجة مئويّة لمدة 15 ثانية (الصورة 4). وتتوافق هذه النتيجة مع التقارير السابقة المتعلّقة بجزيئات الرماد المتطاير من الزيت الثقيل، التي بدت أيضًا بدون تغيير يُذكر بعد الانحلال الحراري عند 900 درجة مئويّة (كاراموسيو وآخرون 2003).



الصورة 3: رسوم بيانيّة (مخطّطات إجمالي الأيونات من الانحلال الحراري - الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS) للعيّنات الفرعيّة للشرائح التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا للعيّنتَين MA22001 وMA22002، مع ظهور ارتفاعات طفيفة فقط عن خط الأساس

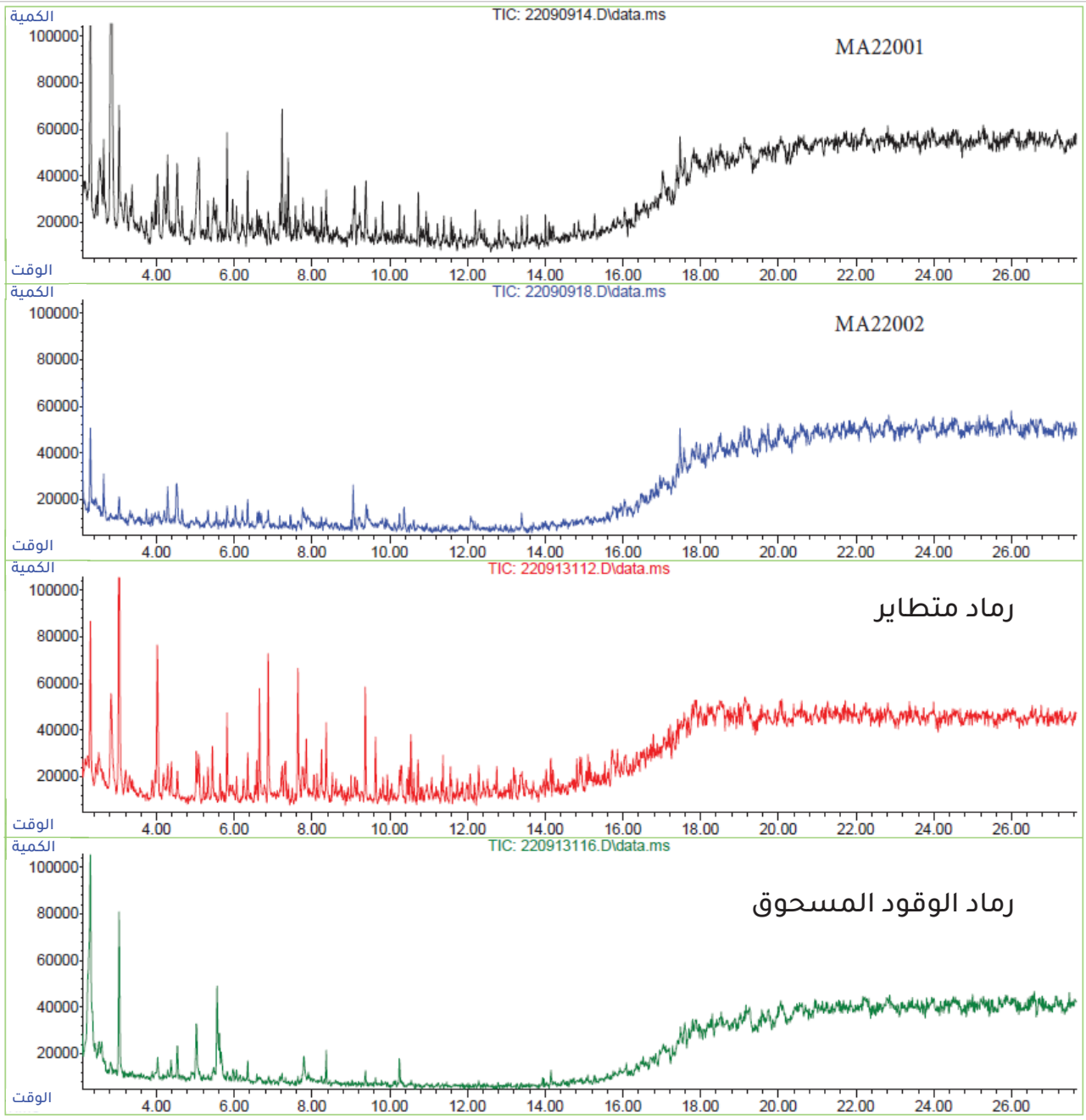


الصورة 4: رسوم مجهريّة بصريّة للشريحة التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا بعد الانحلال الحراري. الألياف المرئيّة في الصورة اليسرى مأخوذة من صوف الكوارتز المستخدم لتثبيت العيّنة في موضعها في أنابيب الانحلال الحراري أثناء التحليل

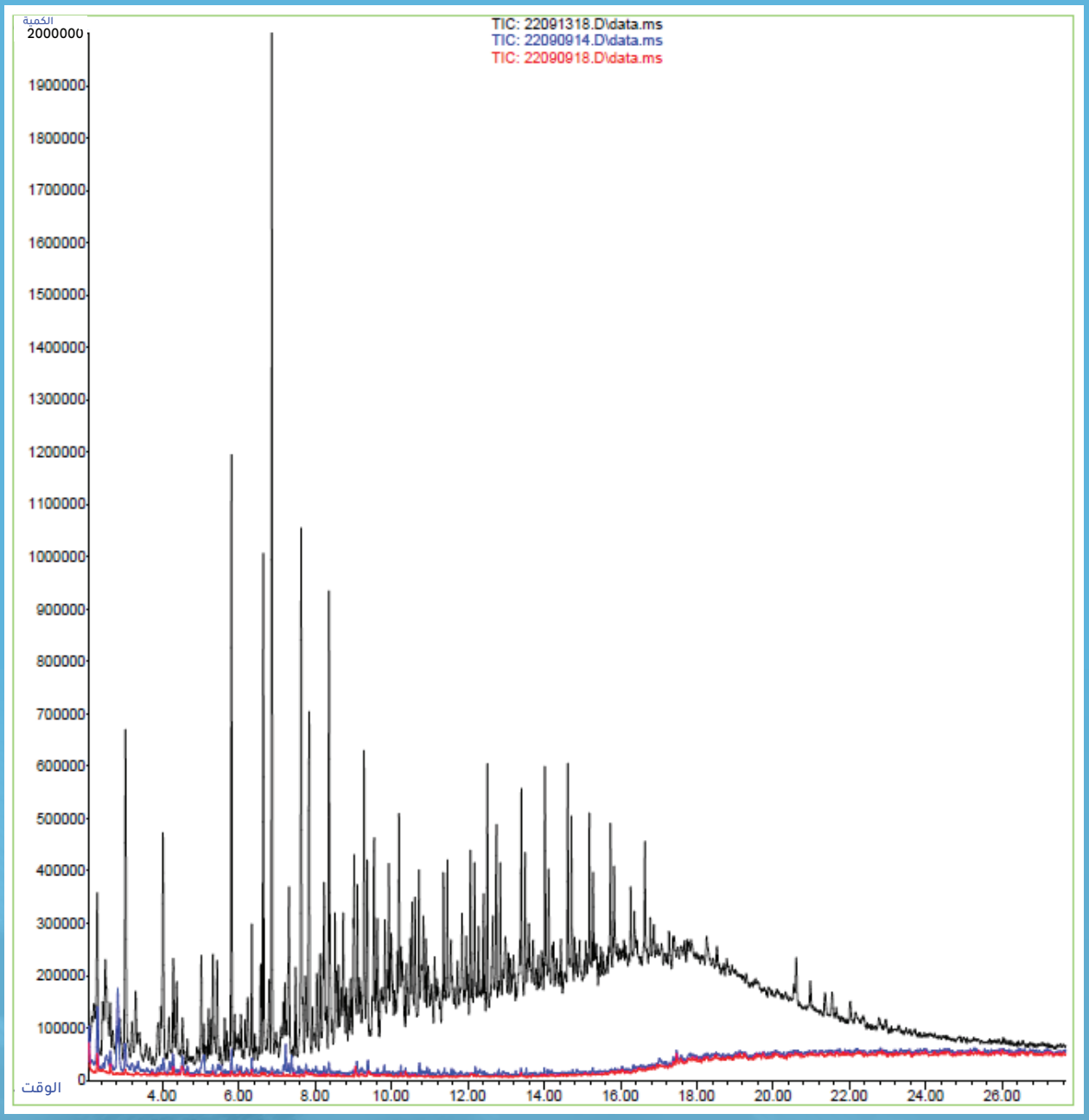
لأغراض المقارنة النوعيّة، خضعت كميّات متساوية من مادتين مرجعيّتين معتمدتين (الرماد المتطاير ورماد الوقود المسحوق) لتحليل الانحلال الحراري - الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS نفسه، بالإضافة إلى عيّنة من غبار الفحم (شظايا الغبار بشريحة الحجم نفسها، محضّرة من فحم التدفئة المحليّ الذي تم شراؤه في المملكة المتحدة) بكميّة وحجم مماثلين لاستبعاد احتمال أن يكون الغبار الأسود المتجمّع على الأسطح مرتبطًا بمعالجة الفحم غير المحترق، نظرًا للتشابه البصري للمواد بالعين المجرّدة.

تُعرَض الرسوم البيانيّة (مخطّطات من تحليل الانحلال الحراري النوعي - الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS) لعيّنتي الرماد المتطاير مقارنةً بعينتيّ غبار السطح MA22001 و MA22002 في الصورة 5 أدناه. وعلى الرغم من أن هذا النوع من المقارنة توضيحي بطبيعته لأنَّ الذروات المتوافقة في أيّ وقت معيّن (المحور الأفقي) لا تمثّل بالضرورة المواد الكيميائيّة نفسها (راجع ما يلي)، تُشير المقارنة إلى أن عيّنات الرماد المتطاير يمكن أن تعطي أيضًا بعض المنتجات الثانويّة للانحلال الحراري، على الرغم من كونها في الأصل نفايات ناتجة عن عمليّة احتراق على درجة حرارة عالية. بالإضافة إلى ذلك، كانت هناك الكثير من المواد الكيميائيّة الناتجة عن الانحلال الحراري للرماد والمُماثلة بالفعل لتلك الناتجة عن الانحلال الحراري لعيّنتي الغبار الأسود، بما في ذلك البنزين والتولوين والفيوران والفينول ومشتقاتها.

على النقيض من ذلك، ولأغراض المقارنة النوعيّة أيضًا، كان الرسم البياني الخاص بالانحلال الحراري لكميّة متساوية من غبار الفحم مختلفًا بشكل ملحوظ (راجع الصورة 6). ويشير ذلك ببساطة إلى نوع الرسم البياني الذي يمكن توقّعه إذا كان الغبار الأسود مادة ذات محتوى عالٍ من الكربون العضوي القابل للاحتراق.



الصورة 5: رسوم بيانيّة (مخطّطات إجمالي الأيونات من الانحلال الحراري - الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS) للعيّنات الفرعيّة للشرائح التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا للعيّنتَيْن MA22001 وMA22002، مقارنةً بالمواد المرجعيّة المعتمدة لعينتيّ الرماد المتطاير



الصورة 6: رسوم بيانيّة (مخطّطات إجمالي الأيونات من الانحلال الحراري - الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS) للعيّنات الفرعيّة للشرائح التي تتراوح بين 63 و250 ميكرومترًا للعيّنتَيْن MA22001 وMA22002، (الخطوط الزرقاء والحمراء)، مقارنةً بتلك الخاصة بكتلة مكافئة لشظايا فحم التدفئة المحلي في الشريحة ذات الحجم نفسه (الخط الأسود).

التحليل الإجمالي للكربون

يعرض **الجدول 4** تركيز إجمالي الكربون في العيّنتين. تتوافق التركيزات في هاتين العيّنتين مع التركيزات المُبلَّغ عنها لإجمالي الكربون في الرماد المتطاير من الزيت الثقيل (كاراموسيو وآخرون 2003، كوون وآخرون 2004).

العيّنة	إجمالي الكربون (%)
MA22001	54.6
MA22002	68.1

الجدول 4: تركيز إجمالي الكربون (الكتلة %) للشريحة التي يتراوح حجمها بين 63 و250 ميكرومترًا من كلّ عيّنة

التحليل بالأشعة تحت الحمراء باستخدام أداة تحويل فورييه (FT-IR)

على الرغم من المحاولات الكثيرة، لم نتمكّن من استخلاص طيف بالأشعة تحت الحمراء باستخدام أداة تحويل فورييه FT-IR من طبقة رقيقة من المادة الأرضية على بلوّرة الانعكاس الكلي المخفض، ويُعزى ذلك على الأرجح إلى اللون الداكن جدًا والطبيعة غير العضويّة إلى حد كبير. ومن المحتمل أن تكون التقنيّات البديلة، مثل التحليل المجهري بالأشعة السينيّة، ضروريّة للحصول على معلومات حول التركيب الأولي والبنية المحتملة.

ملاحظات ختاميّة

بعد أن جُمِعَت عيّنتان من الغبار الأسود المستقرّ من على الأسطح في مدينة القنيطرة في المغرب، تم تصنيفهما قدر الإمكان باستخدام مجموعة من تقنيّات التحليل الجنائي البيئي. وأكّد الفحص المجهري البصري أنّ المادة تتكوّن أساسًا من كرات جوفاء داكنة اللون، بأحجام تتراوح بغالبيتها بين 63 و250 ميكرمترًا، وهي مماثلة شكليًا للجزيئات الجوفاء الخاملة الموجودة كمكوّنات في الرماد المتطاير الناتج عن عمليّات الاحتراق الحراري.

في شريحة الحجم الأكثر شيوعًا، أظهرت المواد نسبةً عالية من المحتوى الكربوني، ولكنْ تَبيَّنَ أنها لا تحتوي على مكوّنات كربون عضوي قابلة للاستخراج بسهولة، ولم تُسفِر سوى عن منتجات ثانويّة من الانحلال الحراري عند 700 درجة مئويّة، ما يشير إلى أنّ محتوى الكربون غير عضوي بطبيعته إلى حدّ كبير.

ولم يطرأ على الكرات أيّ تغيير من الناحية الشكليّة أثناء الانحلال الحراري، وظهرت متطابقة قبل التسخين إلى 700 درجة مئويّة لمدة 15 ثانية وبعده. وفي ما يتعلّق بالمعادن وأشباه الفلزات، تَبيَّنَ أنّ مستويات الفاناديوم والنيكل فقط كانت مرتفعة بشكل ملحوظ. وبالجمع بين كلّ خطوط الأدلة هذه، يبدو واضحًا توافقها مع خصائص الرماد المتطاير الناتج عن احتراق المازوت الثقيل، خصوصًا في ظلّ ظروف احتراق دون المستوى الأمثل.

انطلاقًا من هذه التحليلات، من غير الممكن أن نؤكّد ما هو تحديدًا مصدر الغبار الأسود. ولكن، نظرًا لقرب المواقع التي أُخِذت منها العينات من محطة توليد الطاقة التي تعمل بشكل دوري، والتي يُقال إنها تحرق المازوت الثقيل، ثمة احتمال بأن يكون هذا المرفق هو مصدر الغبار الأسود المترسّب على الأسطح، وبالتالي من الواضح أنّ هذا الاحتمال يستحق دراسة عاجلة وأكثر تفصيلًا.

إضافةً إلى ذلك، ورغم أنّ نتائج هذه الدراسة تشير إلى أنّ المواد التي تلقّيناها للتحليل كانت خاملة نسبيًا بطبيعتها، ولا تحتوي على مستويات عالية من الملوثات السامة، من المهمّ أن نأخذ في الاعتبار أنّ الغبار الذي استقر في تلك المواقع كان بحجمٍ كبير نسبيًا، بحيث أنّ ما جُمِع وأُخضِع للتحليل قد لا يمثّل سوى جزء بسيط من إجمالي الجزيئات والتحميل الكيميائي الناتج عن المصدر. بعبارة أخرى، قد يكون ترسّب الغبار الأسود الظاهر بشكل واضح، الذي خضع للتحليل في هذه الدراسة، مجرد جانب واحد من مشكلة أوسع نطاقًا للانبعاثات في الهواء من كلّ الأحجام. يُظهِر هذا الغبار خصائص متّسقة مع انبعاثات الرماد المتطاير من مصدر احتراق كبير، إنما لا يمثّل في حدّ ذاته مجمل تلك الانبعاثات. وبالتالي، من الضروري أخذ عيّنات أكثر شمولًا من الملوثات المحمولة الجوّية في المنطقة، ربما بالاقتران مع نمذجة أعمدة الانبعاث من مصادر معروفة، وذلك من أجل دراسة تلوّث الهواء في المنطقة بشكل أكثر شمولًا، وتحديد الآثار المترتّبة على صحّة سكان القنيطرة.

لمزيدٍ من المعلومات، يرجى التواصل مع:
كيفن بريجدين، بياتريز كاللِيجو، أو ديفيد سانتيللو

المراجع

آل- ديغس، ي.س. غرير، أ.، خوري، ه.، والكر، جي.م.، سونجوك، م.، الغوتي، م. (2014) توصيف واستخدام الرماد المتطاير للمازوت الثقيل الناتج عن محطّات توليد الطاقة، تقنيّة معالجة الوقود، 123: 41-46.
2014.01.040.j.fuproc/10.1016/http://dx.doi.org

كاراموسيو، ب.، دي ستيفانو، ل.، سيغياني، م.، فيتولو، س.، ناردوسي، ب. (2003) تحضير الكربونات المنشَّطة من الرماد المتطاير الناتج عن الزيت الثقيل. إدارة النفايات، 23: 345-351.

معهد أبحاث الطاقة الكهربائيّة (2009) رماد الفحم: الخصائص والإدارة والمسائل البيئيّة. معهد أبحاث الطاقة الكهربائيّة. التقرير 1019022، أيلول/سبتمبر 2009، 12 ص.
000=http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId
000000001019022

كوون، و.ت.، كيم، د.ه.، كيم، ي.ب. (2004) خصائص الرماد المتطاير من الزيت الثقيل الناتج عن محطة لتوليد الطاقة الكهربائيّة. التقدّم في تكنولوجيا المواد ومعالجتها، 6: 260 - 263. رمز التعريف الرقمي: azojomo0135/10.2240

يو، ي. ت.، كيم، ب. ج.، تشوي، ي.ي.، هونغ، س. ي.، هوانغ، س. ك.، بارك، ج.ه. (1996) دراسة عن معالجة حرق الرماد المتطاير من الزيت الثقيل - خصائص وميزات احتراق الرماد المتطاير من الزيت الثقيل. مجلّة الجمعيّة الكوريّة لهندسة النفايات الصلبة، 13: 236-246 (باللغة الكوريّة)

©Ayoub kbir

الملحق 1:

تفاصيل الطرق التحليليّة المطبّقة

المعادن

لكل عيّنة، استُخدمت الشريحة التي يتراوح حجمها بين 63 ميكرومترًا و250 ميكرومترًا للتحليل. وتمّ قياس وزن حوالي 0.2 غ من العينة بشكل دقيق، وأُخضِعت للهضم باستخدام 5.0 مل من حمض النيتريك المركّز و0.5 مل من حمض الهيدروكلوريك المركّز، كمرحلة أولى طوال الليل في درجة حرارة الغرفة ثم باستخدام الهضم بمساعدة الميكروويف ونظام CEM MARS Xpress مع زيادة درجة الحرارة: التسخين حتى 200 درجة مئويّة لأكثر من 20 دقيقة والإبقاء على حرارة 200 درجة مئويّة لمدّة 20 دقيقة. بعد التبريد، تم ترشيح كلّ محلول ناتج عن الهضم وتم تحويله إلى 25 مل بالماء المنزوع الأيونات. وقبل التحليل، تم تخفيف كلّ محلول بنسبة 1: 4 باستخدام ماء منزوع الأيونات.

وتمّ تحضير عيّنة واحدة لتحليل البلازما المقرون بالحث في نسختين، ثمّ تمّ تحليلها للتحقّق من قابليّة تكرار الطريقة. وحُضِّرَت عيّنة فارغة مع العيّنات، إلى جانب مادتين مرجعيتين معتمدين؛ LGC6180، رماد الوقود المسحوق من محطة توليد الطاقة القائمة على الفحم، المعتمد من قِبل المختبر الكيميائي الحكومي، في المملكة المتّحدة، وBCR-038، الرماد المتطاير من الفحم المسحوق المعتمد من قِبل مفوضيّة المجتمعات الأوروبيّة.

تمّ تحليل خلاصات العيّنات بواسطة مطياف الكتلة البلازميّة المقرونة بالحث (ICP-MS) باستخدام مطياف Agilent 7900 مع استعمال خلية تصادم مع الهيليوم كغاز تصادم لتقليل التداخلات ذات الذرّات المتعددة. كما استُخدمت معايير متعدّدة العناصر، ومصفوفة مطابقة للعيّنات، بتركيزات 1 و10 و100 و1000 ميكروغرام/ل على التوالي، بخلاف تركيزات الزئبق (1، 2، 5، 20 ميكروغرام/ل على التوالي) لمعايرة الأجهزة.

وتمّ التحقّق من صحّة المعايرة من خلال تحليل معايير مراقبة الجودة عند 80 ميكروغرامًا/ل و800 ميكروغرام/ل (4 ميكروغرام/ل و16 ميكروغرامًا/ل للزئبق)، وتمّ تحضيرها بطريقة مماثلة، ولكن من مخزونات الكواشف المختلفة بالنسبة إلى مقاييس معايرة الجهاز. واستَخدَمَ التحليل إضافةً مضمّنة لمزيج قياسي داخلي عند 100 ميكروغرام/ل (سكانديوم وجرمانيوم وإيتريوم وإنديوم وتيربيوم). وأيّ عيّنة تتجاوز نطاق المعايرة خضعت للتخفيف، وقُسمت إلى جزأين، قبل أن يُعاد تحليلها.

المركّبات العضويّة شبه المتطايرة (sVOCs) باستخدام استخلاص المذيبات السائلة-الصلبة (SPE) والحقن السائل بالاستشراب الغازي – قياس الطيف الكتليّ GC-MS

استخراج العيّنة

تمّ أخذ 0.5 غ تقريبًا كعيّنات فرعيّة من كلّ عينة، ووُضِعَت في وعاء زجاجي مناسب، وأُضيفَت 10 ميكروغرامات من النفثالين المُثقَّل (المعيار الداخلي)، ثم 5 ملل من البنتان: التولوين (95:5). وتمّ أيضًا تحضير محلول يتكوّن من 5 ملل من البنتان: التولوين (95:5).
ولاحقًا، خضعت العيّنات والمحلول إلى عملية "الصوتنة" في حمام مائي عند 30 درجة مئويّة لمدّة 30 دقيقة، قبل أن تخضع كلّ العيّنات إلى عملية تنظيف بواسطة الفلوريسيل: جُمعت خراطيش الزجاج بواسطة مرشح منظَّف مسبقًا و2 غ من الفلوريسيل، متبوعًا بمرشح نهائي، قبل تكييفها بـ 5 ملل من البنتان. ولكلّ عيّنة، تمّ تمرير المستخلص (5 ملل) عبر عمود مكيّف، ثم نُفّذت التصفية باستخدام جزأين منفصلين من البنتان (5 ملل)، واستُخدم أحدهما بدايةً لشطف الحاوية الزجاجيّة التي تمّت فيها صوتنة العيّنة. وجُمِعَت المذيبات الخاصة بكلّ عيّنة في وعاء زجاجي مناسب، ونُقل 1 ملل منها إلى قوارير 2 ملل من جهاز أخذ العيّنات الأوتوماتيكي، وتمّ تحليلها باستخدام الحقن السائل GC/MS.

تحليل الاستشراب الغازي/قياس الطيف الكتليّ (GC/MS)

في ما يتعلّق بفحص إجمالي المركّبات العضويّة، خضعت العيّنات للتحليل باستخدام Agilent 6890 Series II GC مع عمود ريستيك Rtx-17Sil (30 م، 0.25 ملم ID، سماكة الفيلم 0.25 ميكرومتر) مرتبط بـAgilent 5975B Inert MSD في وضعية التأيُّن الإلكتروني، ويتفاعل مع نظام بيانات "Agilent Enhanced Chemstation". وتمّ الحصول على إجمالي مخطّطات الأيونات ومخطّطات محدّدة لرصد الأيونات. وكان برنامج درجة حرارة فرن الاستشراب الغازي المُستخدَم على النحو التالي: درجة حرارة أوليّة تبلغ 40 درجة مئويّة، وترتفع إلى 260 درجة مئويّة بمعدّل 10 درجات مئويّة للدقيقة الواحدة،

ثمّ إلى 295 درجة مئويّة بمعدّل 50 درجة مئويّة للدقيقة الواحدة (تمّ تثبيتها لمدّة 10 دقائق)، ثم إلى 325 درجة مئويّة بمعدّل 50 درجة مئويّة للدقيقة الواحدة (تمّ تثبيتها لمدّة 25 دقيقة)، وأخيرًا رُفعت إلى 330 درجة مئويّة بمعدّل 50 درجة مئويّة للدقيقة الواحدة (تمّ تثبيتها لمدّة دقيقة واحدة). والغاز الحامل كان الهيليوم، وتمّ تزويده بمعدل 1 ملل/دقيقة.
وحُدّدت المركّبات بواسطة مطابقة الأطياف المستخرجة أثناء التحليل مقابل Wiley W10N11 و Pesticides Libraries، ومقابل الأطياف المستخرجة من مركّبات مستهدفة معيّنة. وتمّت الاستعانة برأي الخبراء للتحقّق من جودة مطابقة الطيف الكتلي لكلّ ذروة على حدة من أجل تجنّب سوء التعريف.

الانحلال الحراري للاستشراب الغازي/ قياس الطيف الكتليّ GC-MS

نُقلت عيّنتان فرعيّتان وزنهما تقريبًا 500 ميكروغرام من مادة متجانسة من الحجم نفسه (تتكوّن من 30 إلى 40 من الكتلات الفرديّة في كلّ حالة) إلى أنابيب انحلال حراري منفصلة من نوع "كوارتز"، نُظِّفَت مسبقًا بواسطة الانحلال الحراري عند 700 درجة مئويّة لمدّة 15 ثانية. وتمّ إبقاء العيّنات في مكانها في الأنابيب باستخدام سدادة رقيقة من صوف الكوارتز، وقد خضعت هي أيضًا للانحلال الحراري مسبقًا. ثم أُخضعت العيّنات للانحلال الحراري النوعي المزدوج مع الاستشراب الغازي - قياس الطيف الكتليّ GC-MS باستخدام محلّل حراري CDS Pyroprobe 6200، مُجهَّز بدوارة لأخذ عيّنات تلقائيّة CDS 6250T DISC مع Agilent 6890 GC وMSD 5973.

تم تسخين كلّ عيّنة أولًا في حجرة عيّنة الانحلال الحراري إلى 200 درجة مئويّة بمعدل 20 درجة مئويّة/م. ث.، وتم الحفاظ على درجة الحرارة لمدّة 15 ثانية. ومُسِحَت الحجرة بغاز حامل الهيليوم ووُجّهت أيّ مركّبات شبه متطايرة تنبعث من العيّنة إلى مصيدة باردة بحرارةٍ تبلغ 50 درجة مئويّة، ثم تمّت زيادة الحرارة لتبلغ 280 درجة مئويّة لمدّة 3 دقائق من أجل امتصاص هذه المركبات على عمود قياس الطيف الكتليّ من أجل إجراء التحليل GC-MS. ولاحقًا، تُسخّن كلّ عيّنة مرّة ثانية، ولكن هذه المرّة لتبلغ الحرارة 700 درجة مئويّة بمعدل 20 درجة مئويّة/م. ث.، ويتمّ الإبقاء عليها مجدّدًا لمدّة 15 ثانية، بالإضافة إلى توجيه منتجات الانحلال الحراري إلى المصيدة، ثم تمتص المصيدة بنفس الطريقة لإجراء عملية الاستشراب الغازي-قياس الطيف الكتليّ GC-MS.

كان عمود قياس الطيف الكتليّ المستخدم عبارة عن 30 م ريستيك Rxi-17Sil MS، وقطره الداخلي 0.25 ملم، سماكة الفيلم 0.25 ميكرومتر، مع معدّل تدفّق ثابت لغاز حامل الهليوم بـ1 ملل/دقيقة. وتمّ الإبقاء على حرارة الفرن عند درجة حرارة أوليّة تبلغ 50 درجة مئويّة لمدّة دقيقة واحدة، قبل الارتفاع بمعدّل 15 درجة مئويّة للدقيقة الواحدة لتبلغ درجة الحرارة النهائيّة 300 درجة مئويّة. وتمّ الإبقاء على هذه الحرارة لمدّة 10 دقائق، ما يؤدي إلى وقت تشغيل إجمالي قدره 27.67 دقيقة.

حُدّدت المركبات من خلال مطابقة الأطياف الناتجة عن التحليل مقابل بيانات Wiley 12 وNIST 20. وتمّت الاستعانة برأي الخبراء للتحقّق من جودة مطابقة الطيف الكتلي لكلّ ذروة على حدة من أجل تجنّب سوء التعريف.

التحليل الإجمالي للكربون

أُخذ وزن ما يقرب من 5 ملغ من كلّ عيّنة في كبسولة منفصلة مقاسها 8 ملم × 5 ملم باستخدام ميزان دقيق من طراز "سارتوريوس" Sartorius (طراز MC5، سارتوريوس AG، ألمانيا). وحُلّلت هذه العيّنات باستخدام المحلّل العنصري Flash 2000 Elemental Analyzer (تيرموفيشر سينتفك ThermoFisher Scientific، هولندا)، باستخدام EDTA كمعيار. وتمّ تطبيق منحنى المعايرة باستخدام عامل K قبل تحليل العيّنات، وحُلّلت عيّنة إضافيّة من EDTA بعد العيّنات للتحقّق من دقّة التحليل.

تحليل مطياف محوّل فورييه بالأشعة تحت الحمراء (FT-IR)

تمّ تحليل عيّنات فرعيّة من 100 ملغ تقريبًا من المواد الأرضيّة من كلّ عيّنة باستخدام مطياف محوّل فورييه بالأشعة تحت الحمراء (FT-IR) للانعكاس الكلي المخفّف، مع استعمال مطياف بيركين إيلمير فرونتيير PerkinElmer Frontier. وجُمعت أطياف محوّل فورييه بالأشعة تحت الحمراء FT-IR (منتصف الأشعة تحت الحمراء) لكلّ عيّنة عن طريق المسح ضمن نطاق الموجات بين 4000 و650 سم-1، بدقّة 4 سم-1، ومع إنتاج 4 عمليّات مسح لكلّ عيّنة. وخضعت كلّ الأطياف للمعالجة باستخدام برنامج بيركين إيلمير PerkinElmer's Spectrum (الإصدار 10.5.4)، الأمر الذي سمحَ بإزالة الخلفيّة بعد الاستحصال على النتائج، وتطبيع البيانات، ومقارنتها لاحقًا بعدد من قواعد البيانات الطيفيّة المتاحة في الأسواق.

عن غرينبيس الشرق الأوسط وشمال أفريقيا:

منظمة غرينبيس في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا هي منظمة غير ربحية مستقلة تمامًا - سياسيا وماليا. تأسست في العام 2018، كأحدث المكاتب التابعة لشبكة غرينبيس العالمية المكوّنه من 27 منظمة وطنية وإقليمية مستقلة في أكثر من 55 دولة بالإضافة إلى هيئة التنسيق الخاصة بها، منظمة غرينبيس الدولية. ومنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا هي موطننا ونعمل وفق نهج تعاوني إبداعي خلّاق لتقليص الآثار البيئية والاقتصادية والاجتماعية الناتجة عن الأزمة المناخية العالمية، ونشجّع على إيجاد الحلول المبتكرة في إطار محلي لتمكين مجتمعاتنا من الازدهار والعيش بانسجام مع البيئة التي تحتضنهم.

الموقع الرسمي

الإنستقرام

الفيسبوك

تم توفير العينات من قبل رئيس جمعية جمعية أوكسيجين للبيئة والصحة بالقنيطرة-المغرب، أيوب كرير.باحث في إعداد المجال والتنمية المستدامة.

جمعية أوكسجين للبيئة والصحة - المغرب

معلومات التواصل

Youtube

LinkedIn

+212 (0) 7 08 87 88 03

Facebook

tiktok

oxygeneass@gmail.com

Instagram

Twitter

Threads

+212 (0) 6 18 73 46 39

القنيطرة- المغرب

صوت غرينبيس

جمعية أوكسجين للبيئة والصحة
Oxygen Association for Environment and Health