تصور مقترح قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى

د. نيفين حلمى عبد الحميد الخيال*

المستخلص

هدفت الدراسة إلى إعدادٍ تصور مقترح قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؛ وتحقيقا لذلك أعدت الباحثة قائمة بمبادئ الكيمياء المستدامة الملائمة كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى؛ وشملت: (٩) مبادىء للمرحلة الابتدائية، و(١١) مبدأ للمرحلة الإعدادية، و١٣ مبدأ للمرحلة الثانوية، كما أعدت قائمة بالمعايير، والمؤشرات المتضمنة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، وقد تضمنت القائمة (١٣) معياراً؛ بإجمالى (٢١٩) مؤشرًا. وحللت مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى في ضوء هذه المعايير، والمؤشرات.

وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج؛ أهمها: ضعف مستوى تناول مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى مبادئ الكيمياء المستدامة، كما قدمت تصورًا مقترحًا لمناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى فى ضوء المعايير، والمؤشرات القائمة على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ متضمنًا الأسس، والأهداف العامة، ونواتج التعلم، والمحتوى، واستراتيجيات التعليم والتعلم، والأنشطة العلمية والتعليمية، وأساليب التقويم، وقد أوصت الدراسة بعدد من التوصيات الخاصة بتطوير مناهج العلوم فى ضوء التصور المقترح، وعدد من الدراسات المقترحة.

الكلمات المفتاحية: تصور مقترح، مناهج العلوم، مبادئ الكيمياء المستدامة، الكيمياء الخضراء.

A proposed conceptualization based on sustainable chemistry principles to develop science curricula in pre-university education

Dr. Nevien Helmy Elkhaial

Abstract

The present study aimed to preparing a proposed conceptualization based on sustainable chemistry principles to develop science curricula in pre-university education. For achieving this aim, an inventory of standards and indicators was developed. The content of science curricula was analyzed in light of those standards.

Results indicated a weakness in the coverage of standards in curricula. A suggested conceptualization for developing sustainable chemistry principles in science curricula was prepared. The suggested conceptualization included learning outcomes, content, teaching strategies, activities, and evaluation techniques. Several recommendations and proposals were also suggested with some related studies.

Key Words: suggested conceptualization, science curricula, sustainable chemistry principles, green chemistry.

مقدمة

يواجه عالم اليوم منظومة متشابكة ومتلاحقة من المشكلات، والتحديات المعرفية والتكنولوجية التى تتباين أبعادها الاجتماعية والاقتصادية والبيئية، والتى تتسم بأنها ذات صفة كونية فى تأثيرها فى الإنسان فى كافة دول العالم المتقدم، والنامى على السواء. وقد كان لعلم الكيمياء دور رئيس فى تطوير التقنيات والمنتجات المبتكرة المسهمة فى النمو الاقتصادى، ورفاهية الإنسان؛ بوصفه إحدى طرق معرفة العالم؛ غير أنه – فى المقابل – دفعت البيئة، وبشكل متزايد ثمنًا باهظا؛ بفعل الآثار السلبية للمواد الكيميائية المصنعة، وتأثيراتها.

* مدرس المناهج وتعليم العلوم – كلية التربية – جامعة الإسكندرية.

وقد تزايدت المناداة بإحداث التغييرات فى الكيمياء، والتطبيقات الصناعية المرتبطة بها؛ حيث إن هذه التغييرات ستكون قادرة على المساعدة فى مواجهة التحديات المؤثرة فى الإنسان والبيئة، والحد من تعرض الطبيعة لانبعاثات غازات الاحتباس الحرارى، أو التدفقات الحيوية الجيوكيميائية غير الخاضعة للرقابة، أو المواد السامة (Kümmerer et al., 2020; Matlin et al., 2015)[1]، وكانت إحدى الأفكار التى اقترحت؛ لتحقيق ذلك ما أُطلق عليه: "الكيمياء الخضراء green chemistry"؛ وهي تُعنى بتصميم منتجات كيميائية، وبعمليات تقلل، أو تمنع توليد المواد الخطرة (Linkwitz & Eilks, 2020).

وفى هذا السياق وضع Anastas and Warner (1998) المبادئ الإثنى عشر للكيمياء الخضراء؛ والتي تعتمد على تقليل، أو عدم استخدام المذيبات السامة فى العمليات، والتحليلات الكيميائية، فضلا عن عدم توليد النفايات من هذه العمليات، وتقترح هذه المبادئ إجراءات مواتية بيئيًا من تخطيط المنتج إلى تركيبه ومعالجته وتحليله ووجهته بعد الاستخدام، وهدفها الرئيس هو تقليل المخاطر البيئية، والمهنية الملازمة للأنشطة الصناعية. وقد مضى على الكيمياء الخضراء أكثر من عقدين من الزمان، وأدت إلى إنشاء فرع جديد تمامًا من الأبحاث المرتبطة بعلم الكيمياء؛ والتى كانت - في بدايتها - تتكون أساسًا من مجموعة من الإرشادات الفنية الجديدة بشأن كيفية ممارسة الكيمياء، وتطورت الآن إلى فلسفة مختلفة لكيفية فهم الكيمياء.

وبرغم أن العملية، أو المنتج الكيميائى قد يلبى المبادئ الإثنى عشر؛ فليس بالضرورة أن يكون مستدامًا بيئيًا؛ لأن التركيز في الكيمياء الخضراء يكون على العملية أو المنتج، وجدواهما التقنية؛ وليس بالضرورة دورة حياة المنتج بأكملها، ولا نهايته، ولا القضايا المجتمعية والاقتصادية المرتبطة به (Blum et al., 2017; Rosa et al.,2022 .)

ومن ثم اقترحت منظمة التعاون الاقتصادى والتنمية The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) - بالتوازى مع نموذج الكيمياء الخضراء الفكرى green chemistry paradigm فى الولايات المتحدة وأوروبا - فكرة الكيمياء المستدامة sustainable chemistry؛ والتى تسعى إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية؛ لتلبية الاحتياجات البشرية للمنتجات، والخدمات الكيميائية؛ وتُعرف بأنها تصميم منتجات، وعمليات كيميائية، وتصنيعها، واستخدامها؛ بحيث تتسم بالكفاءة، والفاعلية، والأمان، والأكثر استدامة من الناحية البيئية (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 1998).

وقد تبع ذلك كثير من الجدل بشأن الفروق بين النهجين؛ غير أنه - وفى الوقت نفسه - بدأ كلا النهجين في التحرك تجاه بعضهما البعض، وفى عام ٢٠١٩ نشر برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2019) United Nations Environmental Program [UNEP] التوقعات العالمية للمواد الكيميائية Global Chemicals Outlook II (GCO II)، وتم اقتراح استخدام مصطلح الكيمياء الخضراء والمستدامة Green and Sustainable Chemistry (GSC)؛ وهو مصطلح يتماشى مع عديد من الممارسات التى تجرى حاليًا على المستوى البحثى الأكاديمى، والمؤتمرات العلمية.

وإجمالا تعد الكيمياء المستدامة نهجًا أكثر اتساعًا، وشمولية، وتحتوى - من الناحية المفهومية -على الكيمياء الخضراء التي تعد مكونًا أساسيًا لها، وتتضمن أهدافها (Blum et al., 2017; Linkwitz & Eilks, 2020, p. 56; Rosa et al., 2022)؛ فالكيمياء المستدامة تُبنى على مفهومين؛ أحدها: ينطوى على تصنيع المواد الكيميائية واستخدامها بطرق تُعنى بإدارة مخاطر المواد، والآخر: أن الابتكارات فى الكيمياء تساعد العالم فى تحقيق أهداف الاستدامة بطرق مختلفة؛ منها: الحد

[1] اتبعت الباحثة - فى توثيق مراجع الدراسة- توثيق جمعية علم النفس الأمريكية APA، الإصدار السابع.

من انبعاثات غازات الاحتباس الحرارى، وحل مشكلات الجوع، وتحسين نوعية الحياة، فضلاً عن النظر في دورات الحياة الكاملة للعمليات، والمنتجات، ووظائفها المجتمعية، والخدمات المطلوبة (Kümmerer, 2017; Zuin et al., 2021).

وفى هذا الصدد أوضح GCO II أن عديدًا من التحديات التي تواجه العالم فى القرن الحادى والعشرين ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالكيمياء، وقد وافقت الأمم المتحدة United Nations [UN] (2015) على جدول أعمال ٢٠٣٠، وفيه اقتُرح ١٧ هدفًا للتنمية المستدامة لكوكب الأرض. ومن بين هذه المقترحات، هناك عشرة على الأقل مرتبطة – بشكل، أو بآخر– بالكيمياء (UNEP, 2019)؛ حيث يشير عديد من أهداف التنمية المستدامة إلى التغييرات في كيفية استخدام البشر الكيمياء وتطبيقاتها، وتشمل الأمثلة: العمل المناخى، والمياه النظيفة والصرف الصحى، والقضاء على الجوع، وتحسين مستويات الصحة والرفاهية، والحياة على الأرض وتحت الماء.

ومن ثم اكتسبت الكيمياء المستدامة عناية كبرى، ومحورًا أساسيًا في إطار استمرار الجهود العالمية؛ استجابة لتحديات الاستدامة المختلفة؛ فيمكن القول: إن مصطلح الكيمياء المستدامة هو الأكثر قربًا لتحقيق أهداف التنمية المستدامة؛ والتي تسعى إليها دول العالم كافة، وقد أكد Anastas and Zimmerman (2018) أن الكيمياء المستدامة يمكن أن تؤدى دورًا مركزيًا في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

ولأن التعليم يتحمل الجهد الأكبر في حل كثير من المشكلات التى تواجه المجتمع؛ من خلال تحسين نوعية مخرجاته فى كافة المراحل التعليمية، ومنح المجتمع متطلباته من الكوادر العلمية جيدة الإعداد، والقادرة على المنافسة فى عالم يستعد بقوة لمواجهة تحديات المستقبل؛ أوضح GCO II أن تعليم الكيمياء يحتاج تحمل مسؤولية تضمين تعليم الكيمياء الأخضر، والمستدام (GSCE) في المناهج، وممارسات التدريس في مراحل التعليم كافة؛ من المدرسة إلى التعليم العالى؛ لتعزيز التعلم مدى الحياة (UNEP, 2019)؛ والإسهام – بشكل أكبر– فى التعليم من أجل التنمية المستدامة (Burmeister et al., 2012).

وفى المقابل انعكس نمو الكيمياء الخضراء – على مدى العقود الماضية – فى محاولات لتطوير تعليم الكيمياء الخضراء؛ من خلال العناية بتضمينها فى المقررات الدراسية، والتدريس (Andraos & Dicks, 2012; Haack & Hutchison, 2016)؛ وتم البدء فى عديد من المبادرات لدمج تعليم الكيمياء مع التفكير الكيميائى الأخضر، والمستدام.

ومن ثم كان هناك التزام دولى متزايد لدمج الكيمياء الخضراء، والاستدامة فى الممارسات الصناعية، والبرامج التعليمية (Andraos & Dicks, 2015; Bodner, 2017; Marteel-Parrish & Newcity, 2017). ولبناء الجيل القادم من الكيميائيين، والمستهلكين، والمواطنين المثقفين المعنيين بالاستدامة؛ يجب أن يكون الطلاب مجهزين بالأدوات اللازمة لدعم حلول الكيمياء الخضراء المبتكرة، وتعزيزها (Burmeister et al., 2012; Rauch, 2015). ولأن الطلاب لا يستطيعون حل الأزمات البيئية، ولا أزمات الطاقة خلال فترة دراستهم مقررات الكيمياء العامة (التقليدية)؛ فيمكن – من خلال تعريفهم بالمبادئ، والممارسات المستدامة – استخدامها في النهاية؛ لإحداث تأثير ذى مغزى فى المشكلات العالمية.

وأكد كل من: (Holfelder,2019; Zuin and Kümmerer, 2021) أنه ينبغى توفير محتوى تعليمى عالى الجودة للطلاب، يركز على تدريس الكيمياء المستدامة؛ حيث يمكن للطلاب رؤية التأثير الذى يمكن أن تحدثه الكيمياء تجاه حل بعض التحديات الكبرى للاستدامة، كما أكد Koulougliotis et al. (2021) أن تعليم الكيمياء المستدامة تطوّر؛ كرد فعل لتعليم الكيمياء التقليدية؛

حيث يهدف إلى تطوير مهارات الطلاب، وسلوكياتهم؛ كأعضاء مسؤولين فى المجتمع، ومع ذلك فإن تضمين موضوعاتها في المناهج ضعيف حتى الآن.

مشكلة الدراسة، وأسئلتها:

صار الحديث عن قضايا التنمية المستدامة، وتداعياتها محط عناية دولية على الأصعدة كافة. ومع التوافق العالمى بشأن رؤية ٢٠٣٠ لتحقيق أهداف التنمية المستدامة؛ تسعى الدول كافة إلى تحقيقها؛ ولاسيما فى نطاق التعليم؛ فالتعليم هو مفتاح المستقبل المستدام. وللمناهج - وبخاصة مناهج العلوم - القدرة على تقليل الفجوة بين ما يقدمه التعليم، وما يحتاجه العَالم؛ لتحقيق التنمية، والاستدامة.

وتعد الكيمياء المستدامة من فروع علم الكيمياء الحديثة التى نحتاج دعمها فى سياق المناهج الدراسية فى المراحل التعليمية كافة؛ فهناك ضرورة مُلحة لأن تقدم التربية العلمية - في المستويات التعليمية كلها - مناهج توفر الفرص للمتعلمين؛ لتنمية مفاهيم الكيمياء المستدامة، ومبادئها لديهم؛ لتصير جزءًا أساسيًا من المنهج الدراسى الذى يدرسونه.

وفى إطار العناية العالمية، والعربية بالاستدامة، والكيمياء المستدامة؛ عقد عديد من المؤتمرات؛ لتأكيد أهميتها، والتوصية بضرورة تضمينها على المستويين: التعليمى، والبحثى؛ منها: المؤتمر الدولى السادس بعنوان: "الكيمياء الخضراء، والمستدامة "الذى عقد بمدينة دريسن بألمانيا (Elsevier, 2022)؛ وكذلك المؤتمر العلمي الدولي الثالث بعنوان: "علم من أجل الحياة"؛ والذى عُقد فى مصر (جامعة عين شمس، ٢٠١٩)، كما أجرى بعض الدراسات التى أوصت بضرورة تفعيل مبادئ الكيمياء المستدامة، وموضوعاتها؛ لتحقيق التنمية المستدامة، وضرورة تضمينها في المناهج الدراسية؛ ومنها على المستوى العالمى: (Andraos & Dicks, 2012; Armstrong, 2021; Burmeister & Eilks, 2012; Caruana 2015; Linkwitz & Eilks, 2022).

وعلى المستوى العربي أجريت دراسة كل من: أبو الوفا (٢٠١٨) ، وإسماعيل (٢٠١٩) ، وغانم (٢٠١٥)؛ والحربى (٢٠٢٠)، والشامى (٢٠١٨)، والشناوى (٢٠٢٠)، ومحمد (٢٠٢٠) وأوصتٍ جميعها بضرورة توظيف موضوعات الكيمياء الخضراء فى المراحل التعليمية المختلفة؛ تحقيقا للتنمية المستدامة.

وقد دُعمت نتائج تلك الدراسات بما أسفرت عنه نتائج الدراسة الاستكشافية التي تضمنت عددًا من الأسئلة الموجهة لمعلمى العلوم بالمراحل المختلفة: (٤) من معلمى العلوم بالمرحلة الابتدائية، و(٣) من معلمى المرحلة الإعدادية، و(٥) من معلمى الكيمياء بالمرحلة الثانوية؛ عن مدى تناول مناهج العلوم - فى كل مرحلة - الموضوعات، والمبادئ المتعلقة بالكيمياء المستدامة، وكانت النتائج كالتالى:

- أوضح معلمو المراحل الثلاثة أنه لم يذكر مبادىء الكيمياء الخضراء، ولا الكيمياء المستدامة فى المناهج الحالية بشكل واضح، ولا أى من المفاهيم المرتبطة؛ مثل: (المذيبات، أو الحوافز الآمنة، أو البادئات الخضراء ... إلى غير ذلك).
- أجمع المعلمون - فى المراحل المختلفة - أن المنهج لا يتضمن ما يسمى بالتجارب الخضراء أو المستدامة، كما لا تتوافر لديهم معرفة عن طبيعتها، ولا كيفية إجرائها.
- يوجد لدى جميع معلمى العلوم بالمراحل الثلاثة خلط بين مفهومى: الكيمياء المستدامة، والكيمياء البيئية، ويعدونهما مفهومًا واحدًا.
- أفاد معلمو الكيمياء بالمرحلة الثانوية أن منهج الكيمياء للصف الأول الثانوى فى طبعة عام ٢٠١٣/٢٠١٤ كان يتضمن فصلًا عن الكيمياء البيئية، وذُكر فيه مفهوم الكيمياء الخضراء؛ غير أنه لم يدرَّس فى هذا العام؛ نتيجة إلغائه، ثم حُذف نهائيًا من الإصدارات التالية لكتب الكيمياء.
- أجمع المعلمون أن مفهوم الكيمياء المستدامة، وموضوعاته لم يدرسوها من قبل في مراحل إعدادهم، ولا يوجد لديهم فكرة عن مفاهيمه، ولا موضوعاته الرئيسة.

- لا يوجد لدى الطلاب – بوجه عام – أى اهتمامات أخرى سوى ما هو داخل منهجهم الدراسى، ولا يوجد وقت لمزيد من الاطلاع، أو التعلم خارج نطاق منهج الوزارة.

مما سبق يتضح أن المناهج – بوضعها الحالى – لا تراعى مبادئ الكيمياء المستدامة، وقد تحددت مشكلة الدراسة الحالية في وجود قصور فى تضمين مناهج العلوم بمراحل التعليم قبل الجامعى مبادئ الكيمياء المستدامة، كما لا توجد دراسة – في حدود علم الباحثة – هدفت إلى وضع تصور قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم في مراحل التعليم قبل الجامعى (من الصف الرابع الابتدائى إلى الثالث الثانوى)؛ ومن ثم تمحورت الدراسة الحالية حول الإجابة عن السؤال الرئيس التالى:

كيف يمكن وضع تصور مقترح قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟

ويتفرع عن هذا السؤال الرئيس الأسئلة التالية:

١. ما مبادىء الكيمياء المستدامة الملائمة التى يجب تضمينها فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟
٢. ما المعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة التى يجب أن تتناولها مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟
٣. ما مدى توافر المعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟
٤. ما التصور المقترح القائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟

أهداف الدراسة:

هدفت الدراسة الحالية إلى تقديم تصور مقترح قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؛ عن طريق:

١. تحديد مبادئ الكيمياء المستدامة الملائمة لمرحلة التعليم قبل الجامعى.
٢. بناء قائمة بمعايير مقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ والتى يجب أن تتناولها مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى.
٣. تعرف مستوى توافر المعايير المقترحة فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى.
٤. بناء تصور مقترح قائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى.

أهمية الدراسة:

تبرز أهمية الدراسة فى:

١. الاستجابة للاتجاهات الحديثة فى التطورات المرتبطة بمنهج العلوم؛ والتي يجب تضمينها في مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى.

٢. تقديم قائمة بمعايير مقترحة، ومؤشراتها فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة قد تفيد مخططى مناهج العلوم ومطوريها؛ فى مراعاتها فى أثناء بناء المنهج، وتطويره.

٣. تحديد مواطن القوة، والضعف فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؛ فيما يتعلق بمبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتعرفها، والعمل على تطويرها.

٤. تقديم تصور مقترح، قد يفيد في تطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى، وتفعيل دورها فى تنمية مبادئ الكيمياء المستدامة.

٥. توجيه نظر الباحثين إلى إجراء مزيد من البحوث عن الكيمياء المستدامة، وتطوير المناهج، وإعداد المعلمين، وتدريبهم؛ لتنمية مبادئها، ومفاهيمها المتضمنة.

حدود الدراسة:

اقتصرت الدراسة على:

١. كتب العلوم المقررة على الصفوف الدراسية (من الصف الرابع الابتدائى إلى الثالث الإعدادى)، وكتب الكيمياء بالصفوف الثلاثة للمرحلة الثانوية.

٢. عناصر المنهج (الأهداف، والمحتوى، والأنشطة، والتدريبات) الواردة فى الكتب الدراسية.

تحديد مصطلحات الدراسة:

١. التصور المقترح:

يُقصد به إجرائيًّا: إطار يوضح منهج العلوم، وتتابعه عبر الصفوف الدراسية بمرحلة التعليم قبل الجامعى (من الصف الرابع الابتدائى إلى الثالث الثانوى)، وشمل العناصر التالية: مبادئ الكيمياء المستدامة - معايير كل مرحلة، ومؤشراتها - عنوان الوحدة - نواتج التعلم - مفاهيم المحتوى، وموضوعاته - استراتيجيات التعليم، والتعلم - الأنشطة العلمية، والتعليمية - أساليب التقويم.

٢. الكيمياء المستدامة:

عرفتها الباحثة بأنها: أحد فروع علم الكيمياء الحديثة؛ والتى تهدف إلى تصميم منتجات، وعمليات كيميائية، وتصنيعها، واستخدامها؛ بحيث تتسم بالكفاءة، والفاعلية، والأمان؛ بالاعتماد على عدة مبادىء، ترتكز على: اقتصاد الذرة، وتقليل استهلاك الطاقة، ومنع تكوين المخلفات مع الاعتماد على الموارد المتجددة، والمواد الأقل سمية، والأكثر أمانًا، والأعلى كفاءة وظيفية، والسعى إلى منتجات، أو عمليات كيميائية، تفى بمصالح مجموعة واسعة من الأفراد؛ تحقيقا لهدف الاستدامة على المستويات: البيئية، والمجتمعية، والاقتصادية.

منهج الدراسة:

استخدمت الدراسة المنهج الوصفى فى إعداد قائمة مبادىء الكيمياء المستدامة، والمعايير المقترحة، ومؤشراتها، وبطاقة تحليل مناهج العلوم فى مراحل التعليم قبل الجامعى (من الصف الرابع الابتدائى إلى الثالث الثانوى)، وإعداد التصور المقترح فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى، وعرض النتائج وتفسيرها.

خطوات الدراسة، وإجراءاتها:

للإجابة عن أسئلة الدراسة؛ سارت وفق الإجراءات التالية:

١ إعداد الإطار النظرى: الذى تضمن: الكيمياء المستدامة (من حيث: نشأتها، طبيعتها، مبادؤها)، والكيمياء المستدامة، وتطوير مناهج العلوم.

٢ إعداد أدوات الدراسة: التي شملت قائمة مبادئ الكيمياء المستدامة، وقائمة المعايير المقترحة، ومؤشراتها؛ فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، وبطاقة تحليل مناهج العلوم فى مراحل التعليم قبل الجامعى.

٣ تحليل كتب العلوم المقررة على الصفوف الدراسية (من الصف الرابع الابتدائى إلى الثالث الإعدادى)، وكتب الكيمياء بالصفوف الثلاثة للمرحلة الثانوية؛ فى ضوء بطاقة التحليل.

٤ إعداد التصور المقترح الذي تضمن: الأسس التى يقوم عليها التصور المقترح، ومبادئ الكيمياء المستدامة، ومعايير كل مرحلة، ومؤشراتها، وعنوان الوحدة، ونواتج التعلم، ومفاهيم

المحتوى، وموضوعاته، واستراتيجيات التعليم، والتعلم، والأنشطة العلمية، والتعليمية، وأساليب التقويم

٥ تقديم نتائج الدراسة، وتوصياتها، ومقترحاتها.

الإطار النظرى، والدراسات السابقة

سيُعنى فى هذا الجزء بالتأصيل النظرى لمحاور الدراسة ممثلة فى: الكيمياء المستدامة: تطورها التاريخى، ومبادؤها، وتطوير مناهج العلوم، وذلك فيما يأتى:

أولًا: الكيمياء المستدامة: تطورها التاريخى، ومبادؤها

يعد علم الكيمياء أساس الاقتصاد، والتطورات الصناعية في المجتمعات المعاصرة؛ غير أن تطبيق الكيمياء، والصناعات المرتبطة بها أدى إلى عديد من الممارسات غير المستدامة في الأزمنة السابقة، وقد تسببت هذه الممارسات في عديد من الآثار السلبية؛ منها على سبيل المثال: قضايا المناخ العالمي،وانخفاض مستويات التنوع البيولوجي، وتعرض الطبيعة لمواد كيميائية اصطناعية جديدة غير معروفة حتى الآن ... إلى غير ذلك (Linkwitz & Eilks, 2020; Steffen et al., 2015).

وهذا الوجه القاتم لأهم المجالات العلمية، والصناعية في العصر الحديث دفع الباحثين فى مجال الكيمياء إلى وضع أسس، وقواعد لفرع جديد، وواعد – للحد من المخاطر الناتجة عن الصناعات الكيميائية، وتحقيق التوازن بين المشكلات الناجمة عن العلم وتطبيقاته، وبين إيجاد حلول لها، أو منع حدوثها – وهو الكيمياء المستدامة.

١. طبيعة الكيمياء المستدامة، وتطورها التاريخى:

أسهمت الكيمياء بالدور الأعظم في النهضة الحضارية للإنسان التى شملت شتى مجالات الحياة؛ غير أن الإنسان أسرف فى استغلال موارد كثيرة أضرت بالبيئة؛ حيث استغل الثروات الطبيعية؛ من مصادر الوقود، والخامات المعدنية وغيرها من الموارد غير المتجددة، فضلا عن الإسراف فى النشاط الصناعى؛ مما أدى إلى تلوث الأنهار والبحار والهواء، كما أسرف فى استخدام المخصبات والمبيدات الكيميائية؛ الأمر الذى أضر بالأرض الزراعية؛ مما تسبب فى كثير من المشكلات المتعلقة بالبيئة؛ من التغير المناخى، والأمطار الحامضية، وتدمير طبقة الأوزون ... إلى غير ذلك (Anastas, 2011; Anastas & Beach, 2009).

ولم يُعنَ العَالم بتأثيرات المواد، والمنتجات الكيميائية فى الإنسان، ولا البيئة إلى أن تم نشر كتاب الربيع الصامت Silent Spring فى عام ١٩٦٢؛ والذى تضمن التأثيرات القاتلة للمبيدات الكيميائية فى السلاسل الغذائية، ومدى الثبوت الكيميائى لهذه المبيدات؛ والتى يتطلب تحللها سنوات عدة؛ ومن ثم انتبهت المجتمعات لهذه التأثيرات، وعُقدت عدة مؤتمرات نادت بوضع القواعد المنظمة لتصنيع هذه المبيدات، والحد من استخدامها، أو محاولة إيجاد بدائل أخرى أقل خطورة على الإنسان وسلامة البيئة، وسن التشريعات؛ للسيطرة على الصناعات الكيميائية؛ بداية من انتقاء الخامات الأولية، وطريقة تداولها إلى آليات تصنيعها، والمنتجات النهائية وما ينتج من منتجات ثانوية؛ فضلا عن معالجة النفايات، وكيفية التخلص منها (Marco et al., 2019).

ومن ثم ظهرت الحاجة إلى تطوير فروع جديدة من الكيمياء تكون أقل خطورة على الإنسان، والبيئة (Bodner, 2017)؛ ووضع العلماء عددًا كبيرًا من الطرق في خلال العقدين الماضيين؛ لتعميق مفهوم الاستدامة فى العلوم الكيميائية؛ وكان أهمها: مفهوم الكيمياء الخضراء green chemistry، وصاحب هذا المفهوم تسميات كثيرة؛ مثل: الكيمياء الحميدة أو غير الضارة بيئيًا Environmentally Benign chemistry، والكيمياء النظيفة dean chemistry؛ بديلا للتسميات التي صاحبت الكيمياء التقليدية؛ مثل: الكيمياء السوداء، وغيرها.

وتعنى جميع هذه التسميات أن عناية علماء الكيمياء ليست مقصورة على خواص الجزيئات المستهدفة – أى: النواتج، أو مدى فاعلية مادة ما فحسب – ولكن أيضًا بتتبع النتائج

المرافقة للعمليات الكيميائية، وعدم تجاهل التأثير السلبى للمواد الكيميائية، والسعي نحو تطوير أساليب جديدة فى الكيمياء تكون أكثر أمانًا، وأقل ضررًا (Bodner, 2017; Marteel-Parrish & Newcity, 2017).

ومن ثم فالمفهوم الرئيس للكيمياء الخضراء هو: استخدام المهارات، والمعرفة الكيميائية؛ لتقليل أو القضاء على استخدام المواد الخطرة، أو توليدها في أثناء تخطيط المواد الكيميائية، وتصنيعها، وتطبيقها لتقليل التهديدات بشأن صحة الإنسان، والبيئة، وقد طرح Anastas and Warner (1998) المبادئ الإثنى عشر للكيمياء الخضراء؛ والتى تشكل المبادئ التوجيهية لأبحاث الكيمياء الخضراء فى جميع أنحاء العالم.

وتستند هذه المبادئ إلى تقليل، أو عدم استخدام المذيبات السامة في العمليات والتحليلات الكيميائية، وكذلك عدم توليد المخلفات الناتجة عن هذه العمليات؛ ومن ثم يتم الاعتماد على الاقتصاد الذرى، واستخدام المواد الخام المتجددة وغير الضارة، واستخدام التحفيز الآمن؛ لتسريع التفاعلات الكيميائية، وتوفير الطاقة وتقليل توليد النفايات، كما يُعنى أحد المبادئ – أيضًا – بالتنمية الواعية للمواد الكيميائية؛ بحيث يجب أن تتحلل بعد عمرها الإنتاجى، وتصير منتجات تحلل غير ضارة بالبيئة، وكذلك تجنب تراكمها (Epicoco et al., 2014).

وبنظرة معمقة يتضح أن الكيمياء الخضراء ليست سوى منهجية، تبسط جهود العلماء؛ لتحقيق الاستدامة؛ فهى مجرد وسيط؛ وليست الحل. وعلى سبيل المثال: عند الالتزام في عملية كيميائية بشكل صارم بالمواد الخام الآمنة والمذيبات والعمليات، وكميات أقل من المواد الكيميائية والمذيبات (بدون مذيبات)، والطاقة (استخدام الطاقة المتجددة)، وتحفيز العملية والفاعلية ومنع النفايات؛ فيمكن أن يطلق عليها عملية كيميائية خضراء (Centi & Perathoner, 2009)؛ ويمكن تسمية المنتجات التي تم الحصول عليها؛ من خلال هذه العمليات الصارمة بالمواد الخضراء، وحينما تصل هذه المادة إلى المجتمع، وتحقق الهدف منها، وتتلاشى ببطء بشكل طبيعى، وبأمان بدون ضرر؛ فتسمى: مادة مستدامة؛ فإذا لم تحقق الكيمياء الخضراء منافع اجتماعية، واقتصادية؛ فلن تكون قابلة للتطبيق، ولا مستدامة (Ganarajan & Ashok, 2021).

ولتوضيح ذلك فإنه يمكن استخدام تقنيات، ومواد خضراء؛ تحقيقًا لمبادئ الكيمياء الخضراء؛ ولكنها تستخدم بطريقة تضر المجتمعات؛ كأن تستخدم في صناعة المتفجرات، وغيرها من الصناعات على سبيل المثال. كذلك الماء العذب يعد – من وجهة نظر الكيمياء الخضراء – مذيبًا أخضر مثاليًّا للعمليات الكيميائية؛ بديلا عن المذيبات العضوية؛ غير أنه يمثل ١٪ من المحتوى المائى العالمى؛ مما يجعل استخدامه خيارًا غير مستدام إذا لم يتم الانتباه إلى الجدوى الاقتصادية، والصناعية من استخدامه (Zuin et al., 2021).

ومن ثم كان هناك اقتراح لمصطلح آخر؛ وهو الكيمياء المستدامة ضمن قسم الكيمياء البيئية للجمعية الكيميائية الألمانية German Chemical Society؛ كوجهة نظر أكثر اتساعًا من الكيمياء الخضراء، وكان الدافع وراء هذا النهج نظرة أوسع للبيئة؛ وهو جانب نهاية حياة المنتجات؛ وليس من جانب التركيب بشكل أساسي فقط. وتم تحديد مصطلح الكيمياء المستدامة من قبل منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية Organisation for Economic Cooperation and Development، وأوضحت أن مجالات البحث والتطوير في الكيمياء المستدامة تتضمن: استخدام مسارات تركيبية بديلة، وظروف تفاعل بديلة، وتصميم مواد كيميائية أكثر أمانًا بطبيعتها من المواد الحالية، واستخدام المواد الأولية المتجددة أو المعاد تدويرها، وتجنب الثبات، والتراكم الأحيائي، والمواد السامة، وزيادة كفاءة الطاقة ، واستخدام الأساليب التحليلية الخضراء فى المعالجة (OECD, 1998).

وبالنظر إلى ذلك؛ فالكيمياء المستدامة تركز على المنتجات نفسها، وتشبه – إلى حد بعيد – المبادئ الاثنى عشر للكيمياء الخضراء؛ فهي عملية تحث على الابتكار فى جميع القطاعات؛

لتصميم واكتشاف مواد كيميائية جديدة، وعمليات الإنتاج والممارسات التى توفر أداءً متزايداً، وقيمة متزايدة مع تحقيق أهداف حماية، وتعزيز صحة الإنسان والبيئة. وقد تم اقتراح الفوائد البيئية، والمجتمعية للكيمياء المستدامة؛ لتشمل (Zuin et al., 2021):

- تجنب استخدام المواد الثابتة، والمتراكمة بيولوجيًّا، والسامة، والخطرة.
- استخدام الموارد المتجددة، وتقليل استهلاك الموارد غير المتجددة.
- تقليل الآثار البيئية السلبية للمعالجة الكيميائية، والتصنيع.
- توفير تقنيات تنافسية اقتصاديًّا، ومفيدة للصناعة.

ومن ناحية أخرى أشار (1999) Hutzinger – الكيميائى البيئى – بوضوح إلى اختلاف جوهرى بين المجالين: على حين أن الكيمياء المستدامة تمثل "الدعم الرئيس، والاستمرار في تطوير سليم بيئيًّا"؛ تغطي الكيمياء الخضراء "التصميم والتصنيع، واستخدام المواد الكيميائية والعمليات الكيميائية التي تنطوي على القليل من التلوث، أو لا تنطوي على مخاطر بيئية".

وإجمالاً؛ فبرغم أن الكيمياء الخضراء لبنة بناء مهمة للكيمياء المستدامة؛ فإنها ليست مستدامة بالضرورة؛ حيث لا تتناول الآثار المحتملة لاستخدام الموارد المتجددة؛ مثل: إجمالى المواد، والمنتجات، وتدفقات الطاقة، ولا الأخلاق، ولا أدوار أصحاب المصلحة (Constable, 2021).

وبينما تركز الكيمياء الخضراء على النواتج بشكل أساسي؛ تهدف الكيمياء المستدامة إلى مراعاة جميع الأبعاد الثلاثة للاستدامة (البيئية، والاجتماعية، والاقتصادية)؛ ومن ثم تصير مسؤولية علماء الكيمياء استخدام مبادئ الكيمياء الخضراء في تحقيق الأهداف المطلوبة دون حدوث ضرر للبيئة، ولا المجتمع، ولا الاقتصاد؛ تحقيقا لفكر الاستدامة؛ فيما نطلق عليه: الكيمياء المستدامة (Ganarajan & Ashok, 2021).

٢. مبادئ الكيمياء المستدامة:

تعد مبادئ الكيمياء المستدامة بمنزلة الأسس التي تسهم في التنمية المستدامة، وشملت تلك المبادئ الـ (١٢) مبدأ التي اقتُرحت من قبل في سياق الكيمياء الخضراء، فضلًا عن ثلاثة مبادئ أخرى، اقتُرحت؛ لمتابعة الاستدامة؛ ليصير مجموعها في النهاية (١٥) مبدأ، ويمكن توضيح تلك المبادئ كالتالى: (Anastas & Warner,1998; Anastas & Beach, 2009; Asveld , 2019; Manahan, 2011; Saleh & Koller, 2018)

(١) يفضل منع تكوين المخلفات عن معالجتها، أو التخلص منها بعد تكوينها:

يتضمن هذا المبدأ تصميم تركيبات كيميائية لمنع النفايات أو عدم ترك أى نفايات للمعالجة أو التنظيف. فمع تعدد المشكلات الصحية، والبيئية الناتجة عن عمليات التصنيع الكيميائي؛ ازدادت العناية بمعرفة نوعية المخلفات التى تنتج عن استخدام مادة كيميائية معينة، والأضرار الناتجة عنها، وكيفية التعامل معها، ومعالجتها بطريقة سليمة، وما تستلزمه من تقنيات؛ للتخلص منها أو تحويلها إلى صورة غير ضارة، فضلا عن تأثيرها في حياة الإنسان، وسلامة البيئة؛ ومن ثم كان التوجه إلى اتباع تقنيات، تقلل المخلفات الناتجة عن التفاعلات الكيميائية، أو تحد منها، فضلا عن توفير الآليات المناسبة للتحكم فى الأخطار المصاحبة لها.

(٢) يجب أن تصمم طرق التحضير؛ بحيث تندمج معظم المتفاعلات؛ لتكون المنتج النهائي:

يدخل هذا المبدأ فى الكيمياء الفعلية لكيفية تصنيع المنتجات؛ حيث من الأفضل استخدام جميع الذرات في العملية الكيميائية، ولتوضيح ذلك؛ فالحساب الكيميائي بُني على أساس مولات المتفاعلات فى مقابل مولات النواتج؛ فإذا كان مول المادة المتفاعلة ينتج مولا من المادة الناتجة؛ فإن حصيلة التفاعل ١٠٠٪ أو نعده تام الكفاءة؛ غير أنه قد تتكون مواد ثانوية بكميات كبيرة،

ولتجنب ذلك؛ يجب الأخذ بمبدأ النسبة المئوية للناتج (نسبة العائد). ويستخدم حاليًا مفهوم اقتصاد الذرة Atom economy؛ لقياس الدرجة التى دخلت بها المواد المتفاعلة في المنتج النهائي؛ فإذا دخلت المواد المتفاعلة كلها بالكامل في المنتج النهائي؛ كانت طريقة التحضير ١٠٠٪ ذرة اقتصادية؛ وهو ما يسعى إليه علماء الكيمياء.

(٣) يجب أن تصمم طرق التصنيع؛ بحيث تكون المواد البادئة للتفاعل، والناتجة لها أقل قدر من السمية، أو تكون غير خطيرة إطلاقا على صحة الإنسان، وسلامة البيئة:

ويتضمن: تصميم منهجيات تستخدم مواد ذات سمية قليلة أو معدومة على صحة الإنسان، والبيئة، وتنتجها، كلما كان ذلك ممكنًا. ومن ثم يستهدف هذا المبدأ الإزالة، أو التقليل - بقدر الإمكان - من المواد الخطرة، من خلال البحث عن مواد بادئة للتفاعل، ومسارات نظيفة؛ لإنتاج كيماويات صديقة للبيئة، وأكثر أمانًا على صحة الإنسان.

(٤) يجب أن يمتاز المنتج الكيميائي بأعلى درجة من الكفاءة الوظيفية، وأقل قدر من السمية:

يركز هذا المبدأ على المنتج الذى يُصنع؛ فيتضمن تصميم كيماويات آمنة، تحقق الاتزان بين أقصى كفاءة وظيفية، وأقل سمية ممكنة؛ وهو ما صار ممكنًا بشكل أفضل في الوقت الحاضر؛ نظرًا للتقدم الهائل في فهمنا طبيعة التسمم الكيميائى؛ فقد كانت فاعلية أداء المنتج الكيميائي تقاس بمدى تحقيقه الوظيفة التي صمم من أجلها، ولم يكن من السهل معرفة المرحلة التي تحدث عندها السمية في الجيل السابق من الكيماويات؛ غير أنه حاليًا تم فهم الآلية التى تُمكن الكيميائيين من تعديل تركيب المادة؛ لمنع حدوث التفاعلات الضارة، أو تقليلها؛ بمعرفة التركيب الجزيئى للمادة، واستخدام آليات التحليل والقياس التى تُمكن علماء الكيمياء من تعرُّف خواصها.

(٥) يفضل إجراء التفاعلات بدون استخدام مواد إضافية؛ مثل: المذيبات، أو مواد الفصل، وإذا لزم الأمر يجب أن تكون هذه المواد غير خطيرة:

تبحث الكيمياء المستدامة عن بدائل؛ لتجنب الأخطار الناتجة عن استخدام المذيبات العضوية التقليدية، وغيرها من المواد المساعدة؛ مثل: الموائع الحرجة غير الضارة للإنسان والبيئة؛ ومنها: ثانى أكسيد الكربون فوق الحرج، والتفاعلات بدون مذيبات؛ مثل: صهر المواد المتفاعلة؛ للتأكد من الامتزاج التام في ظروف مثالية للتفاعل بدون مذيب، وكذلك محاولات إجراء التفاعلات بدون مذيبات، وإجراء التفاعلات فى الوسط المائى، واستخدام مذيبات غير مقيدة (غير متطايرة).

(٦) التصميم بهدف رفع كفاءة الطاقة، واسخدامها فى أضيق الحدود:

ويتضمن تصميم الطرق التى تقلل من الطاقة المستخدمة فى كل مرحلة من مراحل التفاعل؛ حيث إن لتوليد الطاقة، واستهلاكها تأثيرًا كبيرًا في البيئة؛ ومن ثم يجب ترشيد استخدام الطاقة، وتحويلها إلى صورة ينتفع بها؛ ومن أمثلة ذلك: تصميم تفاعلات تجرى فى درجة الحرارة، والضغط المحيطين، واستخدام الميكروويف؛ كتقنية للتحولات الكيميائية السريعة؛ بدلًا من التفاعلات التقليدية التى تجرى فى المحاليل السائلة، واستخدام الطاقة فوق الصوتية.

(٧) يجب أن تكون الخامات التى تحتوى على المواد البادئة (الأولية) مواد متجددة؛ بدلًا من استنزاف المواد غير المتجددة:

ويتضمن استخدام العلماء المواد المتجددة؛ بدلًا من تلك القابلة للنفاذ (غير المتجددة)، وتتمثل مصادر المواد غير المتجددة فى الوقود الحفرى (البترول - الغاز الطبيعى - الفحم الحجرى) الذى تكوَّن عبر ملايين السنين؛ على حين ترتبط المواد المتجددة بالمواد الحيوية، وذات الأصل النباتى، ومصادر الطاقة المتجددة؛ ويقصد بها: تلك المواد التى تتكون باستمرار خلال فترة عمر الإنسان.

(٨) يجب – ما أمكن – تجنب العمليات الكيميائية، والفيزيائية غير الضرورية؛ مثل اشتقاق مجموعات بعينها، أو إجراء تعديلات مؤقتة فى الجزيئات.

يعد هذا المبدأ هو المبدأ الأكثر تجريدًا، ففى بعض الأحيان تكون الطرق التى يستخدمها الكيميائيون لصنع المنتجات شديدة التعقيد. وينطوى عديد منها على معالجة الجزيئات من أجل تشكيلها بالشكل الذى نريدها أن تكون عليه، ومن ثم يهدف هذا المبدأ إلى تبسيط هذه العملية من أجل تصميم المنتجات بطريقة مبسطة.

(٩) يفضل استخدام عوامل حفز متخصصة عن الاكتفاء؛ باستخدام النسب المتكافئة من المتفاعلات.

تُستخدم المحفزات في العمليات الكيميائية؛ لتقليل متطلبات الطاقة، وجعل معدل التفاعل يحدث بكفاءة أكبر، وأسرع؛ فإذا كان المحفز المستخدم حافزًا "أخضر أو مستدام" بالفعل، فستكون له سمية قليلة أو معدومة، ويمكن استخدامه أكثر من مرة فى أثناء العملية؛ لأنه لا يستهلك فى أثناء التفاعل، ويعاود الظهور مرة أخرى بعد انتهاء التفاعل.

(١٠) يجب تصميم المنتجات؛ بحيث لا تستقر في البيئة بعد أداء وظيفتها، ويجب أن تكون قابلة للتحلل في البيئة إلى مواد بسيطة غير ضارة؛

يسعى هذا المبدأ إلى تصميم المنتجات بطريقة تؤدى وظيفتها المقصودة، وتتحلل إلى منتجات ثانوية آمنة وغير ضارة عند التخلص منها. ومن ثم عند تصميم مركب كيميائى؛ فإننا نضع – في المقام الأول – الخواص التى نريدها فى هذا المركب، وأيضًا قابليته للتحلل البيولوجى بعد استخدامه، كما يجب ألا تمثل المواد الناتجة عن التحلل أى خطر على صحة الإنسان، ولا البيئة بشكل عام.

(١١) يجب تطوير طرق التحليل الكيميائي؛ لتواكب سير التفاعل لحظيًّا؛ بحيث تراقب التفاعل، وتسيطر عليه قبل تكوين أى مواد خطرة؛

ويتضمن أن يتركز جهد الكيمياء التحليلية فى تطوير منهجيات، وتقنيات تسمح بمنع، أو تقليل تكوين المواد الخطرة في أثناء التفاعلات الكيميائية؛ أى: رصد سير التفاعل؛ بحيث يمكن التحكم في ظروف التفاعل عند اكتشاف ظهور النواتج الثانوية الخطرة، أو التفاعلات الجانبية؛ لتقليل تكوُّن هذه المواد، أو تفاديها كلية.

(١٢) يجب اختيار المواد الكيميائية الآمنة؛ من حيث النوع، والتركيب؛ بحيث تقلل – قدر الإمكان – احتمال حدوث الحوادث الكيميائية؛ من انطلاق الغازات، أو الانفجارات، أو الحرائق.

يركز هذا المبدأ على استخدام المواد الكيميائية التى لا تنفجر، أو تشتعل، وما إلى ذلك عند صنع منتج كيميائى؛ نظرً لما تسببه المواد الكيميائية غير الآمنة من عديد من الحوادث ذات أضرار بالإنسان، والبيئة.

(١٣) يجب توزيع الفوائد الناشئة عن عملية كيميائية بشكل عادل فى جميع أنحاء سلسلة القيمة بأكملها.

(١٤) يجب أن يفي المنتج / العملية الكيميائية المصممة بمصالح مجموعة واسعة من الأفراد؛ لتحديد القيم ذات الصلة بالقبول المجتمعى، والخلقى لتقنيات معينة.

(١٥) يسهم المنتج، أو العملية الكيميائية فى واحد – على الأقل – من أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر (SDGs) للأمم المتحدة (UN, 2015).

وفى هذا الصدد توفر أهداف التنمية المستدامة مرجعًا قويًّا، وتمهد الطريق للنهوض بأجندة الكيمياء المستدامة؛ فمن المتوقع أن يستفيد عدد كبير من أهداف التنمية المستدامة من الإسهامات المباشرة للكيمياء المستدامة؛ بما فى ذلك: القضاء على الجوع (الهدف ٢)، والصحة الجيدة والرفاهية (الهدف ٣)، والمياه النظيفة والصرف الصحي (الهدف ٦)، وبأسعار معقولة ونظيفة، والطاقة (الهدف ٧)، والاستهلاك والإنتاج المستدامان (الهدف ١٢)، والعمل المناخي

(الهدف ١٣)؛ من خلال تقليل و / أو القضاء على المخاطر الكيميائية، والتأثيرات الصحية والبيئية والتلوث المرتبطة بها، كما يمكن أن تسهم الكيمياء المستدامة - أيضًا - في تحقيق أهداف التنمية المستدامة الأخرى؛ مثل: ظروف العمل اللائقة والنمو الاقتصادي (الهدف ٨)، والابتكار والبنية التحتية (الهدف ٩)، والحياة تحت الماء (الهدف ١٤)، والحياة على الأرض (الهدف ١٥) (UNEP, ***2020***, p:***2***)، ويوضح الجدول (١) بعض أهداف التنمية المستدامة ذات الصلة بالكيمياء المستدامة (UNEP,***2019***, p:***644***)

جدول (١)؛ بعض أهداف التنمية المستدامة ذات الصلة بالكيمياء المستدامة:

القطاع	أهداف التنمية المستدامة	أمثلة لدور الكيمياء المستدامة
الزراعة، والغذاء.	الهدف (٢): إنتاج غذائي مستدام.	تطوير البدائل الحيوية غير الكيميائية، واستخدامها، وتطبيق الممارسات الزراعية المفيدة الأخرى.
الصحة.	الهدف (٣): الأدوية، واللقاحات الآمنة.	الإدارة السليمة للأدوية، والمطهرات التي تسهم في مقاومة مضادات الميكروبات.
الطاقة.	الهدف (٧): أبحاث الطاقة النظيفة، وتقنياتها.	تحسين التقنيات؛ باستخدام مواد مستدامة، وموفرة للموارد عند إزالة الكربون من قطاع الطاقة.
البنى التحتية.	الهدف (٩): البنى التحتية المستدامة.	تقليل استخدام المواد الخام، وتوليد النفايات؛ من خلال المواد المتقدمة دون خلق مشكلات في المستقبل.
الصناعة.	الهدف (٩): التصنيع المستدام.	التأكد من أن الصناعات كثيفة الاستخدام للمواد الكيميائية، تعتمد على أفضل التقنيات المتاحة، وأفضل الممارسات البيئية.
الإسكان.	الهدف (١١): السكن الآمن.	الحد من تلوث الهواء الداخلي؛ من خلال العزل الآمن، واستبدال مواد البناء ذات الأهمية.
وسائل النقل.	الهدف (١١): أنظمة النقل المستدامة.	تطوير النقل النظيف؛ من خلال حلول مستندة إلى الكيمياء المستدامة.
السياحة.	الهدف (٨): السياحة المستدامة.	اعتماد ممارسات؛ لتقليل البصمة الكيميائية للخدمات السياحية.
التعدين.	الهدف (١٢): الاستخدام المستدام للموارد الطبيعية.	الإدارة السليمة لمخلفات المناجم، فضلا عن إعادة استخدام المخلفات، وإعادتها إلى الاقتصاد بأقصى حد ممكن.
العمل.	الهدف (٨): بيئات عمل آمنة.	تعزيز تقييم مخاطر المواد الكيميائية المثيرة للقلق، مع تشجيع الاستثمار في الكيمياء الخضراء، والمستدامة؛ للحد من التعرض المهني الخطير.
التعليم.	الهدف (٤): التعلم من أجل التنمية المستدامة.	تعميم الكيمياء الخضراء، والمستدامة في المناهج الدراسية ذات الصلة.
التمويل.	الهدف (١٧): موارد مالية من مصادر متعددة.	تعزيز استخدام مقاييس الكيمياء الخضراء، والمستدامة؛ كمعايير في الاستثمار.

ومن الناحية التعليمية، وفى ضوء تركيز الهدف (٤) - وفق الجدول (١) - على التعليم من أجل التنمية المستدامة؛ فقد حظِيت المخاوف متعلقة بحماية صحة الإنسان، والبيئة بعناية متزايدة فى مناهج العلوم؛ مصحوبة بوعي متزايد بالآثار الضارة لبعض المواد الكيميائية؛ كما حدث بتضمين موضوعات جديدة؛ مثل: الكيمياء البيئية، وعلم السموم البيئية (Anastas & Maertens, 2018; Elschami & Kümmerer, 2020)، وقد عكست التربية الكيميائية هذا التحول المفهومى خلال السنوات الماضية، وأعيد النظر في المناهج الدراسية فى عديد من البلدان مع المناداة عالميًا بدمج مفاهيم، ومبادىء الكيمياء المستدامة فى مناهج العلوم فى كافة المستويات التعليمية.

ثانيًا: الكيمياء المستدامة، وتطوير مناهج العلوم

يوفر دمج مبادئ الكيمياء المستدامة فى المناهج الدراسية للطلاب سياقًا حقيقيًّا لتعلم الكيمياء؛ من خلاله؛ فهى نهج يعطى سلامة البشر، والبيئة الأولوية؛ من خلال مراعاة مقاييس الكيمياء الخضراء المعقدة، والعوامل المجتمعية (Eissen, 2012)؛ فقد يُطلب من الطلاب تبرير طريقة التخليق التي يجب اختيارها فى الكيمياء العضوية (Graham et al., 2014; Lee et al. 2014) ، أو تقييم خصائص الكيمياء الخضراء للمنتجات التجارية (Purcell et al., 2016)؛ وفى هذه الحالة لا توجد إجابة واحدة "صحيحة" يمكن تقديمها للطلاب؛ بل توجد مجموعة من الحلول المناسبة (Andraos & Dicks, 2012; Armstrong et al., 2018; Khuong, 2017; Machado, 2015).

ويُعرِّض هذا التحليل المقارن الطلاب إلى فهم أكثر تدقيقا لطبيعة العلم، ويؤدي إلى تحليل أعمق، وفهم أكبر للكيمياء، ومن ثم تسمح الكيمياء المستدامة للطلاب برؤية التأثير الذى يمكن أن تحدثه الكيمياء تجاه بعض التحديات الكبرى للاستدامة، كما توفر لهم إطارًا خلقيًّا لممارسة الكيمياء؛ لأنها غالبًا ما تتطلب تحليلا مقارنًا بين خيارين أو أكثر، كما تسمح لهم بالمشاركة في حل المشكلات، والاستفسار الأكثر واقعية؛ حيث توجد – غالبًا – مجموعة متنوعة من الخيارات التي تتطلب تقييمًا؛ مما يعزز تفكيرهم، وقدراتهم فى الكيمياء (Andraos & Dick, 2012)، كما أنها تضفى مزيدًا من المعنى على تعليم الكيمياء، وتعلمها (Bodner, 2017 ; Burmeister et al., 2012).

وقد عُني عددٌ من الدراسات السابقة بتعليم الكيمياء المستدامة فى المستويات الدراسية المختلفة؛ مثل دراسات كل من: (Agbayewa et al., 2013; Caruana, 2015; Etzkorn and Ferguson, 2022; Karpudewan, et al., 2016)؛ لأنها تسهم فى:

- تحسين فهم الطلاب المفاهيم الكيميائية.
- فهم التأثير البيئي، والمجتمعي، والاقتصادي للكيمياء.
- ربط الكيمياء بالعلوم الأخرى، والمجتمع.
- توجيه تعليم الكيمياء نحو الممارسات المستدامة المرتبطة بالبيئة، والاقتصاد، والمجتمع.
- تأكيد أن تعليم الكيمياء يرتكز على أهداف التنمية المستدامة، وموجه نحو تحقيقها.
- إعداد مواطنين يعملون على أن يصير المجتمع أكثر استدامة.

ومن ثم تعد الكيمياء المستدامة عنصرًا مهمًا بشكل متزايد في ممارسات التعليم الكيميائى، والصناعات المختلفة (Bodner, 2017; Haack & Hutchison, 2016; Marteel-Parrish & Newcity, 2017). وتعتمد أهداف التنمية المستدامة الدولية على الابتكارات، والحلول التى تقدمها الكيمياء المستدامة؛ ولا سيما لمواجهة أزمات الطاقة، والبيئة العالمية. ولتحقيق هذه الأهداف؛ فمن الضروري أن يفهم عدد كبير من المهنيين مبادئها، ويستخدموها (Burmeister et al., 2012)؛ وإدراكا لهذه الحاجة؛ أنشأت اليونسكو عقدًا للتعليم من أجل التنمية المستدامة (UNESCO, 2005) UN Decade of Education for Sustainable Development, 2005-2014)، ونتيجة لذلك كان هناك جهد دولى متزايد؛ لتطوير مواد تعليمية، تركز على الكيمياء المستدامة.

ومن الدراسات التي عنيت بدمج مفاهيم الكيمياء المستدامة: دراسة Caruana (2015) التى استهدفت تصميم حقيبة تعليمية، وتنفيذها؛ لتقديم بعض الأفكار الأساسية للكيمياء

الخضراء للطلاب بالمرحلة الجامعية؛ فى حين هدفت دراسة Karpudewan et al. (2015) تطوير منهج للكيمياء الخضراء بماليزيا، وتعرف أثره فى تطوير الفهم والدافعية لدى طلاب المرحلة الثانوية، بينما طورت دراسة Armstrong (2021) منهجًا للكيمياء الخضراء للتخصصات غير الكيميائية فى جامعة كاليفورنيا فى بيركلى، وحاولت دراسة Linkwitz & Eilks (2022) دمج التعليم من أجل التنمية المستدامة – بناءً على مفهوم الكيمياء الخضراء – في مناهج المرحلة الثانوية.

وعلى مستوى الدراسات العربية هدفت دراسة غانم (٢٠١٥) إلى تصميم وحدة مقترحة في التكنولوجيا الخضراء قائمة على عملية التصميم التكنولوجى، وتعرف فاعليتها في تنمية مهارات تصميم النماذج التكنولوجية، واتخاذ القرار في مقرر العلوم البيئية لطلاب الصف الثالث الثانوي، واستهدفت دراسة أبو الوفا (٢٠١٨) تعرف فاعلية مقرر مقترح للكيمياء الخضراء قائم على مبادئ التربية من أجل التنمية المستدامة (ESD)؛ في تنمية الثقافة الكيميائية لدى الطلاب المعلمين شعبة الكيمياء.

بينما هدفت دراسة الشامى (٢٠١٨) تعرف أثر برنامج تنمية مهنية لمعلمي الكيمياء بالمرحلة الثانوية قائم على الكيمياء الخضراء؛ في تنمية مهارات حل المشكلات، واستيعاب مفاهيم البيئة، واستهدفت دراسة إسماعيل (٢٠١٩) تعرف أثر وحدة مقترحة في الكيمياء الخضراء في تنمية الوعي الاقتصادي، والاتجاه نحو دراستها لدى الطلاب المعلمين بكلية التربية.

فى حين اقترحت دراسة الشحرى (٢٠٢٠) وحدة فى البلاستيك الحيوى Bioplastics فى ضوء مبادئ الكيمياء الخضراء لتنمية مهارات المدافعة البيئية والاتجاه نحو الصحة الوقائية لدى طلاب المرحلة الثانوية، كما حاولت دراسة الحربى (٢٠٢٠) تعرف فاعلية وحدة مقترحة فى تنمية الوعي بتطبيقات الكيمياء الخضراء لدى طالبات المرحلة الثانوية، وقدرتهن على اتخاذ القرار، بينما هدفت دراسة الشناوى (٢٠٢٠) الكشف عن فاعلية برنامج مقترح في الكيمياء الخضراء في تنمية القيم البيئية لدى الطلاب المعلمين شعبة الكيمياء، فى حين هدفت دراسة محمد (٢٠٢٠) اقتراح منهجًا فى العلوم لتلاميذ المرحلة الإعدادية قائم على مبادئ الكيمياء الخضراء وتطبيقاتها لتنمية الوعي بالاستدامة البيئية والتفكير الإيجابي.

وقد كان التوجه السائد في تصميم معظم مقررات الكيمياء المستدامة – عادة – إما من خلال تقديمها في صورة مقررات اختيارية، أو دمجها في مقررات الكيمياء الموجودة مسبقا، وتعد مقررات الكيمياء المستدامة القائمة بذاتها نادرة نسبيًّا؛ حيث يمكنها تغطية موضوعاتها بالتفصيل؛ غير أنها تتطلب وقتًا، ومساحةً، ومعلمًا معدًا بصورة جيدة (Andraos & Dicks, 2012)، وقد حلل Burmeister et al. (2012) الدراسات، والكتابات التربوية المتعلقة بتعليم الكيمياء من أجل التنمية المستدامة، واقترحوا (٣) نماذج لربط تعليم الكيمياء بالتنمية المستدامة؛ والتى يمكن اتخاذها؛ كأساس لبناء مناهج الكيمياء المستدامة؛ وهذه النماذج هى:

(١) **النموذج الأول**؛ ويعتمد على دمج مبادئ الكيمياء المستدامة في ممارسة العمل المعملي في أثناء تعلم العلوم؛ فيمكن تحويل التجارب التقليدية إلى تجارب موجهة نحو مبادئ الكيمياء المستدامة؛ حيث يمكن استبدال مواد بديلة أقل سمية بالمواد الخطرة، ويمكن – من خلاله – أن يتعلم الطلاب كيف تحاول أبحاث الكيمياء، والصناعة الكيميائية تقليل استخدام الموارد، وتعظيم التأثيرات، وحماية البيئة. وتكمن قوة هذا النموذج في أن تعليم الكيمياء يسهم فعلا فى الاستدامة؛ عن طريق تقليل كميات المواد الكيميائية المستخدمة، وإنتاج نفايات أقل؛ على حين يتمثل ضعف هذا النموذج المتعلق بالتعليم من أجل التنمية المستدامة في أنه لا يتطرق إلى التركيز على الجوانب الأكثر إثارة للجدل؛ فيما يتعلق بالقرارات المتعلقة بالتكنولوجيات البديلة، أو التفاعلات المعقدة بين العلم والتكنولوجيا والمجتمع؛ ومن ثم لن يتحقق النهج الشامل للتعليم من أجل التنمية المستدامة.

(٢) **النموذج الثاني**؛ ويسمى: النموذج القائم على السياق، ويتبنى هذا النموذج المبادئ الكيميائية الأساسية وراء الاستدامة، وتطبيقاتها الصناعية؛ كمحتوى في مناهج الكيمياء. وفيه تظهر المبادئ الكيميائية الأساسية وراء الكيمياء المستدامة، وتطبيقاتها الصناعية؛ كمحتوى مستقل في مناهج الكيمياء، وتشمل الأمثلة العملية على ذلك تطوير عمليات فعالة في الكيمياء الصناعية في مجالات الطاقة، والحفاظ على المواد الخام، والبحث فى هيكل المحفزات الآمنة المبتكرة، وخصائصها، وتطبيقها، والاعتبارات الكيميائية وراء إنتاج الوقود الناشئ عن المواد المتجددة. ويمكن أن يوفر تعرُّف إسهامات الكيمياء المستدامة، والبحوث الكيميائية فى التنمية المستدامة؛ أساسًا لفهم أفضل للتطورات المختلفة في مجالات متنوعة. وتكمن قوة هذا النموذج في أنه يسلط الضوء على تعلم المبادئ الكيميائية الكامنة وراء العمليات اليومية والمنتجات النهائية؛ مما يجعلها أكثر أهمية للطلاب.

ويؤخذ على هذا النموذج أنه لن يؤدى إلى الفهم الشامل للتفاعل بين العلم والتكنولوجيا والمجتمع – من حيث التعليم من أجل التنمية المستدامة؛ أى: "التفاعل بين التأثيرات الاقتصادية، والبيئية، والمجتمعية"– إذا كان تركيز المتعلمين بشكل أساسى على تعلم المحتوى الكيميائى وراء تطبيقه التكنولوجى؛ فالمهارات العامة اللازمة للمشاركة في المناقشات المجتمعية بشأن القضايا الاجتماعية، والعلمية لن يكون لها فرصة للظهور.

(٣) **النموذج الثالث**؛ ويسمى: المدخل القائم على العلم، والمجتمع؛ ويستخدم القضايا العلمية المجتمعية ذات العلاقة بقضايا الاستدامة؛ كنقاط انطلاق فى تعليم الكيمياء، وفهم علاقة الكيمياء الخضراء والمستدامة بالتنمية المستدامة، وينصب التركيز الأساسي على تعلم كيف يمكن تقييم التطورات فى الكيمياء، ومناقشتها فعلا داخل المجتمع؛ باستخدام جميع أبعاد الاستدامة. بمعنى آخر؛ يسعى هذا النموذج إلى فهم كيفية ارتباط الكيمياء بالمجتمع والاقتصاد والبيئة؛ و هذا النهج موجه نحو المهارات مع التركيز الشديد على التعليم من أجل التنمية المستدامة.

ويختلف هذا النموذج عن النموذج الثانى؛ من حيث إنه يتضمن الأساس الكيميائى للمعرفة، ويعكس نقاش المجتمع بشأن تطبيقه العملى فى التكنولوجيا؛ كعوامل يجب تعلمها. أما النموذج الثالث فيركز– بشكل أساسي – على تعلم كيف يمكن تقييم التطورات في الكيمياء، ومناقشتها فعلا داخل المجتمع؛ باستخدام جميع أبعاد الاستدامة. ولا يشكل هذا النهج التعلم الصريح للكيمياء فحسب؛ بل يشمل – أيضًا – تعلم الكيمياء؛ كما يتم التعامل معها في المجتمع، وتضمين المناقشات المجتمعية الدائمة، وتطوير المهارات المناسبة للمشاركة بنشاط فيها بشكل منهجي في سياق المحتوى، ويتعلم الطلاب كيفية المشاركة في صنع القرار المجتمعي؛ للإسهام في تشكيل مستقبل مستدام. وتكمن قوة هذا النهج في أنه موجه نحو المهارات، مع تركيز حاد على التعليم من أجل التنمية المستدامة. ومع ذلك، فإن بعض القضايا الاجتماعية العلمية ذات الطبيعة المثيرة للجدل لها إمكانات محدودة في مجالات العمل الفردي، والمحلي؛ فغالبًا ما يكون النقاش بشأن التقنيات الجديدة معقداً للغاية، ويحدث – بشكل أساسي – في لجان الخبراء، وفيها يكون تأثير الفرد محدودًا للغاية.

ولتوضيح كيف تكون النماذج الثلاثة أساسًا لبناء المناهج الدراسية للكيمياء المستدامة؛ ذكر Goes et. al. (2014) أن:

– النموذج الأول: يرتبط – بشكل أكبر– بالتوجه التقليدى لتعليم العلوم، ويجمع بين استراتيجيات التدريس المرتبطة بالمحتوى، وممارسات التدريس التجريبية، وأهداف التعلم التي تحدد أولويات المفاهيم، والنظريات في الكيمياء، والكيمياء المستدامة. كما يجمع هذا النموذج بين أهداف التدريس الأساسية لمفاهيم الكيمياء المستدامة، ومفاهيم الكيمياء الأساسية.

- النموذج الثاني: يعكس مدخلًا قائمًا على السياق للكيمياء المستدامة، ويجمع بين الجوانب المتعلقة بالعلاقة بين الكيمياء، ونظام تطوير المنتج والبيئة؛ بوصفها نتائج التعلم المقصودة، مع استراتيجيات التدريس القائمة على العرض، ودراسات الحالة. ويؤكد هذا النموذج - أيضًا - الحاجة إلى دمج المفاهيم من مجالات الكيمياء المختلفة. علاوة على ذلك تهدف أهداف التدريس إلى تحسين فهم الطلاب مفاهيم الكيمياء؛ من خلال علاقتهم بالتطبيقات التكنولوجية، والقضايا البيئية. وفيما يتعلق بالمنهج الدراسي؛ يمكن تغطية هذه الأهداف - بشكل كافٍ - في تخصص منفصل، أو توجيهها إلى المحتوى المحدد للكيمياء المستدامة (محتوى مستقل).

- النموذج الثالث: يركز على أهداف التعلم المرتبطة بالمهارات، والمواقف، مع التركيز على التعليم من أجل التنمية المستدامة، والمناقشات الجماعية، واستراتيجيات التدريس القائمة على المشكلات. وترتبط أهداف التعلم بتطوير المهارات، والمواقف التي تركز على التنمية المستدامة. كما تركز الصعوبات الرئيسة التي يواجهها الطلاب - فيما يتعلق بهذا النموذج - على الحاجة إلى مناهج متعددة التخصصات؛ أي: الجمع بين الكيمياء والتخصصات الأخرى، والحاجة إلى ربط جوانب الكيمياء بالجوانب الإنتاجية والاجتماعية، أو النظم الاقتصادية، ويعتمد تنفيذ هذا النموذج على تطوير مبادئ الكيمياء المستدامة، ومناقشتها إلى جانب موضوعات المناهج التقليدية.

ومن ثم يرتبط النموذجان: الأول، والثاني ارتباطًا وثيقًا بجوانب المحتوى؛ ويركز كلاهما- بشكل أساسى - على مفاهيم الكيمياء؛ على حين يركز النموذج الثالث - بشكل خاص - على الجوانب المتعلقة بالمواقف والقيم؛ أي: أن التركيز المتعلق بالجوانب الاقتصادية، والاجتماعية يكتسب مزيدًا من العناية.

ويمكن الإفادة من هذه المداخل الثلاثة في بناء المناهج الدراسية، وقد تبنت الباحثة في إعداد التصور المقترح مدخلى: السياق، والمجتمع عند إعداد التصور المقترح لمناهج العلوم؛ فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ حيث يمكن عرض المبادئ، والمفاهيم الرئيسة للكيمياء المستدامة، وتطبيقاتها التكنولوجية والبيئية، وفى الحياة اليومية، وأيضًا علاقتها بالقضايا المجتمعية العلمية التى يدور بشأنها النقاش والجدل فى المجتمع.

الإجراءات المنهجية للدراسة

وتتناول إجراءات الإجابة عن أسئلة الدراسة؛ وذلك فيما يأتى:

أولًا: إعداد قائمة مبادئ الكيمياء المستدامة:

للإجابة عن السؤال الأول للدراسة؛ أعدت الباحثة قائمة بمبادىء الكيمياء المستدامة التى يجب تضمينها فى مناهج العلوم، والملائمة لكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى؛ وفق الخطوات الآتية:

(١) تحديد الهدف من القائمة:

تمثَّل الهدف من القائمة فى تعرُّف مبادئ الكيمياء المستدامة التى يجب تضمينها فى مناهج العلوم فى كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى: الابتدائى، والإعدادى، والثانوى؛ والإفادة منها فى إعداد المعايير، والمؤشرات المرتبطة بها، فضلا عن استخدامها؛ كأساس يجرى - فى ضوئه - تطوير مناهج العلوم فى مرحلة التعليم قبل الجامعى.

(٢) مصادر إعداد القائمة:

أعدَّت بنود قائمة مبادئ الكيمياء المستدامة؛ من خلال مسح البحوث، والدراسات السابقة: العربية، وغير العربية؛ وتحليلها، فضلا عن المؤتمرات التى تناولت الكيمياء المستدامة، ومبادئها.

(٣) إعداد الصورة الأولية للقائمة:

تكونت القائمة - في صورتها الأولية - من (١٥) مبدأ للكيمياء المستدامة؛ وهى: الكيمياء المستدامة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، والكيمياء المستدامة فى خدمة المجتمع، والكيمياء

المستدامة والحد من تكون المخلفات، واقتصاد الذرة، وعمليات تخليق كيميائى أقل خطورة، وتصميم المواد الكيميائية الآمنة، وتصميم المواد المساعدة والمذيبات الآمنة، والتصميم؛ بهدف رفع كفاءة الطاقة، واستخدام المواد الأولية المتجددة، وتقليل الاشتقاق، ودمج الحفز (العوامل الحفازة)، وتصميم المواد الكيميائية للتحلل (التصميم للتحلل)، ودمج تحليل الوقت الفعلى، وتقليل المخاطر قدر الإمكان.

(٤) صدق القائمة:

عُرضت القائمة على مجموعة من السادة المحكمين من أساتذة المناهج وتعليم العلوم والكيمياء، وأساتذة تعليم الكيمياء بكليتي: التربية، والعلوم؛ للحكم على مدى صلاحيتها؛ من حيث: مناسبة كل مبدأ من هذه المبادئ لتضمينها في منهج العلوم بكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى، ودرجة أهمية كل مبدأ؛ وفقا للمرحلة، وإضافة أى تعديلات يرونها ملائمة.

(٥) إعداد الصورة النهائية للقائمة:

أجرت الباحثة التعديلات اللازمة فى ضوء آراء السادة المحكمين؛ حيث حُذف (٢) من المبادىء؛ لصعوبتهما فى مرحلة التعليم قبل الجامعى، وهما: "تقليل الاشتقاق، و"توزيع الفوائد الناشئة عن عملية كيميائية بشكل عادل"، ومن ثم تضمنت المبادئ الملائمة – والتى يمكن الاعتماد عليها في وضع المعايير، والمؤشرات لمناهج العلوم فى مرحلة التعليم قبل الجامعى – للمرحلة الابتدائية (٩) مبادئ، وللمرحلة الإعدادية (١١) مبدأ، وللمرحلة الثانوية (١٣) مبدأ.

ثانيًا: إعداد قائمة بالمعايير التى يجب أن تتناولها مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعي:

للإجابة عن السؤال الثانى للدراسة؛ أعدت الباحثة قائمة بالمعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ وفق الخطوات الآتية:

(١) تحديد الهدف من القائمة:

هدفت القائمة إلى تحديد المعايير التى يجب أن تتناولها مناهج العلوم فى مرحلة التعليم قبل الجامعى في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة.

(٢) مصادر إعداد القائمة:

أُعِدَّت هذه القائمة في ضوء القائمة الخاصة بمبادئ الكيمياء المستدامة التي أُعِدَّت سلفاً، فضلاً عن الدراسات، والبحوث السابقة، وعدد من المؤتمرات، والندوات العلمية التي عُنيت بدور الكيمياء المستدامة فى حل المشكلات البيئية، والحد منها، وطبيعة كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى.

(٣) إعداد الصورة الأولية للقائمة:

أعدت القائمة في صورتها الأولية؛ حيث شملت المعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، والملائمة كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى: الابتدائي، والإعدادي، والثانوي، ووضع المؤشرات الفرعية التى ترتبط بكل معيار؛ وفقا للمرحلة. وقد تكونت من (١٣) معياراً رئيسًا، و(٢٢٦) مؤشرًا فرعيًا.

(٤) صدق القائمة:

عُرضت القائمة على مجموعة من السادة المحكمين؛ لإبداء الرأي في:

- مناسبة المعايير المقترحة لكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى.
- انتماء المؤشرات الفرعية لكل معيار.
- دقة، وصحة الصياغة العلمية واللغوية للمعايير الرئيسة، ومؤشراتها الفرعية.
- اقتراح ما يرونه من تعديلات؛ سواء أكان ذلك بالحذف، أم بالإضافة.

وقد أوصى المحكمون بحذف (٧) مؤشرات، وإجراء بعض التعديلات فى الصياغة العلمية، واللغوية لبعض المعايير، والمؤشرات؛ لتكون أكثر وضوحًا، وملاءمة للمرحلة التعليمية. وقد أجرت الباحثة كافة التعديلات، وصيغت القائمة في صورتها النهائية، وقد تضمنت (١٣) معيارًا، و(٢١٩) مؤشرًا فرعيًّا.

ثالثًا: تحليل مناهج العلوم بمراحل التعليم قبل الجامعي، وتقييمها فى ضوء قائمة المعايير، والمؤشرات.

للإجابة عن السؤال الثالث للدراسة، وللتحقق من صحة الفرض التالى: "مستوى معالجة مبادئ الكيمياء المستدامة، وتضمينها في مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى دون المستوى المقبول (أقل من ٥٠٪)؛ أجرت الباحثة ما يلى:

(١) إعداد بطاقة التحليل:

أعدت الباحثة بطاقة تحليل مناهج العلوم فى مرحلة التعليم قبل الجامعى (ملحق١)؛ وفق الخطوات التالية:

- تحديد الهدف من بطاقة التحليل: وهو تحديد مستوى تضمين مناهج العلوم بمراحل التعليم قبل الجامعي؛ المعايير، والمؤشرات المقترحة، والتي حُددت في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة.
- إعداد الصورة الأولية لبطاقةٍ التحليل: أُعِدَّت بطاقة التحليل فى ضوء قائمة المعايير، والمؤشرات المقترحة المحددة سلفا.
- صدق بطاقة التحليل: للتحقق من صدق بطاقة التحليل؛ عُرضت على بعض السادة المحكمين. وقد أكدوا صلاحيتها لتحليل كتب العلوم، والحكم على مستوى تناولها المعايير المقترحة، ومؤشراتها.
- إعداد الصورة النهائية لبطاقة التحليل: أُعدت بطاقة التحليل في صورتها النهائية؛ لاستخدامها في تحليل مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعي، وتضمنت محورين؛ محور رأسي: خاص بالمعايير ومؤشراتها، ومحور أفقي: خاص بتناول مؤشرات كل معيار في مناهج العلوم؛ ومن ثم صارت صالحة للتطبيق، وإصدار الحكم في مستويين رئيسين: (متوافر - غير متوافر).

(٢) إجراء عملية التحليل، وضوابطه:

أجُريت عملية التحليل؛ وفق الخطوات التالية:

- تحديد مجتمع التحليل: تضمن كتب العلوم المقررة على الصفوف الدراسية (من الصف الرابع الإبتدائي إلى الثالث الإعدادي) ، وكتب الكيمياء بالصفوف الثلاثة للمرحلة الثانوية ، ويوضح الجدول (٢) مواصفات هذه الكتب:

جدول (٢) عينة التحليل، ومواصفاتها:

الكتاب	الطبعة	عدد صفحات كتاب الفصل الدراسي الأول	عدد صفحات كتاب الفصل الدراسي الثاني	المجموع
العلوم للصف الرابع	2022-2023	245	100	345
العلوم للصف الخامس	2022-2023	220	---	323
	2021-2022	---	103	
العلوم للصف السادس	2021-2022	91	90	181
العلوم للصف الأول الإعدادي	2021-2022	112	115	227
العلوم للصف الثاني الإعدادي	2021-2022	119	110	229
العلوم للصف الثالث الإعدادي	2021-2022	109	92	201
الكيمياء للصف الأول الثانوي	2020-2021	105	60	165
الكيمياء للصف الثاني الثانوي	2020-2021	52	52	104
الكيمياء للصف الثالث الثانوي	2020-2021	91	96	187
الإجمالي		1144	818	1962

- تحديد وحدات التحليل: تمثلت وحدات التحليل في الأهداف، والمحتوى، والأنشطة، والتدريبات الخاصة بكل موضوع من الموضوعات الواردة فى كتب العلوم بالصفوف التسعة.
- تحديد فئات التحليل: تُعد المؤشرات المتضمنة فى المعايير بمنزلة فئات التحليل لمناهج العلوم فى مرحلة التعليم قبل الجامعى فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة.
- تحديد وحدة التحليل: تحدد الموضوع؛ كوحدة للتحليل.
- قراءة كل موضوع من موضوعات الكتاب؛ متضمنة الأهداف، والمحتوى، والأنشطة، والتدريبات الخاصة بالصف، وتحديد تناولها مؤشرًا من مؤشرات المعايير المقترحة، وحساب نسبة توافرها.

(٣) ثبات عملية التحليل:

أعادت الباحثة تحليل وحدة من كتب الصفوف: الرابع الابتدائي، والأول الإعدادى، والأول الثانوى بعد أسبوعين من التحليل الأول، وحساب ثبات أداة التحليل؛ باستخدام معادلة هولستى لنسبة الاتفاق؛ وكانت قيمته: ٠.٩٠، وهى قيمة معامل ثبات مرتفعة؛ مما يشير إلى ثبات عملية التحليل.

رابعًا: إعداد التصور المقترح القائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم في مراحل التعليم قبل الجامعى.

للإجابة عن السؤال الرابع من أسئلة الدراسة؛ أُعِدَّ التصور المقترح لمناهج العلوم بمراحل التعليم قبل الجامعي في ضوء النتائج النظرية، والوصفية للدراسة؛ وفق الخطوات التالية:

(١) تحديد أسس التصور المقترح: وذلك فى ضوء ما توصلت إليه الدراسة – من تحديد المعايير، والمؤشرات في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، وتقويم مستوى تناول المناهج الحالية لها، ومراجعة الدراسات والبحوث، وآراء الخبراء.

(٢) إعداد التصور المقترح: أُعد التصور المقترح؛ بصوغ أهدافه العامة، وبنائه في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة.

(٣) بناء التصور المقترح: بُنى التصور المقترح؛ وفق مدخلي: السياق، والمجتمع، وتبنى أفكار النظرية البنائية، والاطلاع على عديد من البحوث، والدراسات السابقة؛ بهدف تطوير مناهج العلوم

بمرحلة التعليم قبل الجامعي في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ حيث تكوَّن التصور المقترح مما يلى:

- نواتج التعلم: صيغت نواتج التعلم فى المجالات الثلاثة: المعرفية، والمهارية، والوجدانية.
- عناصر المحتوى: تحقيقاً لنواتج التعلم المستهدفة؛ أُعدت موضوعات المحتوى بالاستعانة بعديد من الكتب والمراجع العلمية فى مجال الكيمياء المستدامة، والخضراء.
- استراتيجيات التعليم، والتعلم: حُددت استراتيجيات التعليم، والتعلم فى ضوء نواتج التعلم المستهدفة، وعناصر المحتوى العلمى، واستُخدمت استراتيجيات عديدة تركز على نشاط وتفاعل المتعلم وفق الفكر البنائى.
- الأنشطة العلمية والتعليمية: حُددت الأنشطة العلمية، والتعليمية الملائمة للمحتوى العلمى، والتى تسهم فى تحقيق نواتج التعلم المستهدفة.
- أساليب التقويم: استُخدمت عديد من أساليب التقويم؛ للتحقق من نواتج التعلم.

(٤) **ضبط التصور المقترح:** عُرض التصور المقترح على مجموعة من السادة المحكمين؛ للتحقق من صلاحيته؛ من حيث: وضوح نواتج التعلم، ومناسبتها لمنهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعي، ومدى ملاءمة المحتوى وارتباطه بنواتج التعلم، ومدى مناسبة استراتيجيات التعليم والتعلم، والأنشطة العلمية والتعليمية، ومدى ملاءمة أساليب التقويم المستخدمة للأهداف، والمحتوى.
وقد أجريت التعديلات المقترحة التي تمثلت في إعادة صوغ بعض نواتج التعلم، وحذف بعضها، وإضافة بعض استراتيجيات التعليم والتعلم؛ ومن ثم تم التوصل إلى التصور المقترح فى صورته النهائية.

(٥) **تضمين موضوعات التصور المقترح في مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعي:** ثمة أساليب عدة لتضمين التصور المقترح فى مناهج العلوم؛ حيث يمكن تقديمه؛ كمقررات (وحدات) مستقلة، أو تضمين موضوعاته فى موضوعات مناهج العلوم الحالية بمرحلة التعليم قبل الجامعى.

ونظرًا لحركة تطوير المناهج القائمة فى الوقت الحالى من قبل وزارة التربية والتعليم، ورؤية الباحثة في تقديم هذا التصور؛ إسهامًا فى هذا التطوير؛ فقد رأت تقديم التصور في صورة وحدات مستقلة؛ تأكيدًا لأهمية التركيز على مبادئ الكيمياء المستدامة ومفاهيمها، وتنميتها لدى طلاب مرحلة التعليم قبل الجامعى.

نتائج الدراسة

للإجابة عن السؤال الأول، والذى نصه: "ما مبادىء الكيمياء المستدامة الملائمة التى يجب تضمينها فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟" حددت الباحثة مبادئ الكيمياء المستدامة الملائمة كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى، ويوضح الجدول (٣) المبادئ الملائمة؛ وفق المرحلة:

جدول (٣): مبادئ الكيمياء المستدامة الملائمة كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعي:

المبادئ	الابتدائي	الإعدادي	الثانوي
الكيمياء المستدامة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة.	√	√	√
الكيمياء المستدامة في خدمة المجتمع.	√	√	√
الكيمياء المستدامة، والحد من تكوُّن المخلفات.	√	√	√
اقتصاد الذرة.	×	√	√
عمليات تخليق كيميائي أقل خطورة.	√	√	√
تصميم المواد الكيميائية الآمنة.	√	√	√
تصميم المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة.	√	√	√
التصميم؛ بهدف رفع كفاءة الطاقة.	×	×	√
استخدام المواد الأولية المتجددة.	√	√	√
دمج الحفز (العوامل الحفازة).	×	√	√
تصميم المواد الكيميائية للتحلل (التصميم للتحلل).	√	√	√
دمج تحليل الوقت الفعلي.	×	×	√
تقليل المخاطر قدر الإمكان.	√	√	√

من الجدول (٣) يتضح أن عدد المبادئ الملائمة للمرحلة الابتدائية (٩) مبادئ، والمرحلة الإعدادية (١١) مبدأ، والمرحلة الثانوية (١٣) مبدأ.

وللإجابة عن السؤال الثاني للدراسة؛ والذى نصه: "ما المعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة التى يجب أن تتناولها مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟"؛ أعدت الباحثة قائمة بتلك المعايير في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، والمؤشرات المرتبطة بكل معيار؛ وفقاً للمرحلة، ويوضح الجدول (٤) المعايير المقترحة، وعدد المؤشرات في كل معيار:

جدول (٤): المعايير المقترحة في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، وعدد مؤشراتها لكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى:

المعيار	عدد المؤشرات			مج
	ابتدائي	إعدادي	ثانوي	
١. المعيار الأول: فهم طبيعة الكيمياء المستدامة، والاسترشاد بمبادئها؛ للتفكير في كيفية تقليل الضرر الناتج عن تأثيرات الأنشطة البشرية - في مجال الكيمياء، والصناعات الكيميائية التقليدية - في البيئة، والمجتمع، والاقتصاد.	2	5	7	14
٢. المعيار الثانى: فهم أن التطورات المستمرة في أبحاث الكيمياء؛ وبخاصة الكيمياء المستدامة تقدم فوائد، وتطبيقات عديدة للمجتمع؛ فهي جزء لا يتجزأ من تلبية احتياجات المجتمع الأساسية من الغذاء، والطاقة، والمياه، والصناعة في مسار مستدام مستقبلياً.	1	1	6	8
٣. المعيار الثالث: معرفة أن للمنتجات الكيميائية التقليدية بعض النتائج غير المقصودة سلبًا بالنسبة للإنسان، والبيئة؛ كالمخلفات، وأن لمنتجات الكيمياء المستدامة وتقنياتها إمكانات كبيرة؛ للتخفيف من هذه النتائج، أو تقليلها قبل حدوثها.	4	7	8	19
٤. المعيار الرابع: فهم أن أفضل نهج لتطوير، وتصميم طرق لتخليق منتجات، وتركيبات كيميائية جديدة؛ هو استخدام المعرفة، والأدوات الحسابية المتاحة؛ كاقتصاد الذرة؛ لتصميم الوظيفة بالتنسيق مع التنبؤ بالمخاطر، والمصير البيئي.	-----	6	4	10
٥. المعيار الخامس: توسيع فهم العلاقة بين التركيب الكيميائي والسمية، وكيف يؤثر التعرض للمواد الكيميائية، ومنتجاتها في صحة الإنسان والبيئة، ودور الكيمياء المستدامة في استخدام بادئات خضراء أو تصميم منهجيات تخلق، وتستخدم مواد ذات سمية قليلة، أو معدومة؛ كلما كان ذلك ممكنًا.	3	7	15	25
٦. المعيار السادس: فهم العلاقة بين التركيب الجزيئي، والكفاءة الوظيفية، والمصير في البيئة؛ للتصميم العقلاني للنواتج الكيميائية الآمنة.	2	2	6	10
٧. المعيار السابع: فهم أهمية استخدام المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة في إجراء التفاعلات الكيميائية؛ بديلا عن المواد التقليدية ذات التأثير السلبي المرتفع.	4	7	12	23
٨. المعيار الثامن: فهم أن زيادة كفاءة إجراء التفاعلات الكيميائية يتطلب خفض متطلبات الطاقة قدر الإمكان؛ مما يقلل من الآثار البيئية، والاقتصادية لهذه المتطلبات.	----	----	4	4
٩. المعيار التاسع: معرفة أنه يمكن استخدام الموارد الأولية المتجددة؛ لصنع منتجات كيميائية ذات ملامح استدامة محسنة.	11	18	32	61
١٠. المعيار العاشر: فهم دور الحوافز، والكواشف المستدامة في تقليل متطلبات الطاقة، وزيادة فاعلية التفاعلات الكيميائية	----	11	14	25
١١. المعيار الحادى عشر: فهم كيفية تصميم منتجات كيميائية، تتحلل إلى مواد غير ضارة بعد استخدامها؛ لعدم التراكم في البيئة.	2	3	5	10
١٢. المعيار الثانى عشر: معرفة منهجيات التحليل الأخضر؛ لدمج تحليل الوقت الفعلي للتفاعلات الكيميائية من المواد الأولية إلى نواتج التفاعل؛ منعًا للتلوث.	----	----	3	3
١٣. المعيار الثالث عشر: معرفة قواعد إجراء الاستقصاءات الكيميائية المعملية؛ للإجابة عن الأسئلة، أو شرح الظواهر، أو تصميم الحلول؛ باستخدام الأدوات، والطرق الآمنة.	1	2	4	7
المجموع	30	69	120	219

ويتضح من الجدول (٤) أن عدد المعايير المقترحة شملت (١٣) معياراً؛ بإجمالي (٢١٩) مؤشراً، ويوضح الجدول (٥) المعايير، والمؤشرات لكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى:

جدول (٥): المعايير، والمؤشرات المقترحة لكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى:

الابتدائية	الإعدادية	الثانوية
المعيار الأول: فهم طبيعة الكيمياء المستدامة، والاسترشاد بمبادئها؛ للتفكير في كيفية تقليل الضرر الناتج عن تأثيرات الأنشطة البشرية – في مجال الكيمياء، والصناعات الكيميائية التقليدية – في البيئة، والمجتمع، والاقتصاد.		
المؤشرات		
١. يتعرف ماهية الكيمياء المستدامة. ٢. يحدد أهميتها، وفوائدها (للإنسان، والبيئة).	١. يوضح طبيعة علم الكيمياء، وعلاقته بالبيئة. ٢. يتعرف معنى يوم تجاوز موارد الأرض. ٣. يوضح ماهية الكيمياء المستدامة، ونشأتها. ٤. يذكر بعض مبادئ الكيمياء المستدامة. ٥. يلخص العلاقة بين الكيمياء المستدامة والبيئة، وأهميتها للاستدامة.	١. يعطى أمثلة لبعض الحوادث الكيميائية، والصناعية للمواد التقليدية لعلم الكيمياء. ٢. يوضح ماهية الكيمياء المستدامة، والمفاهيم المرتبطة بها (الكيمياء الخضراء – السوداء...)؛ مقارنة بالكيمياء التقليدية، ومميزاتها. ٣. يتتبع مراحل تطور الكيمياء المستدامة، وأسبابها. ٤. يُظهر العلاقة بين الكيمياء المستدامة، ومجالات الكيمياء الأخرى (العضوية – الحيوية... وغيرها). ٥. يذكر مبادئ الكيمياء المستدامة. ٦. يتنبأ بمستقبل الكيمياء المستدامة، ولماذا تتعاظم العناية بها. ٧. يستنتج أهمية الكيمياء المستدامة (للمجتمع، والاقتصاد، والعلم).
المعيار الثانى: فهم أن التطورات المستمرة في أبحاث الكيمياء، وبخاصة الكيمياء المستدامة تقدم فوائد، وتطبيقات عديدة للمجتمع؛ فهي جزء لا يتجزأ من تلبية احتياجات المجتمع الأساسية من الغذاء، والطاقة، والمياه، والصناعة في مسار مستدام مستقبلياً.		
المؤشرات		
١. يتعرف بدائل المواد الكيميائية التقليدية في المنزل، وتطبيقاتها في الحياة اليومية.	١. يحدد تطبيقات (إنجازات) الكيمياء المستدامة فى بعض المجالات الصناعية، والزراعية.	١. يستكشف تطبيقات / إنجازات الكيمياء المستدامة في بعض المجالات (التكنولوجيا، والفضاء، والإليكترونيات). ٢. يتعرف مفهوم المنتجات المستدامة، وأهميتها. ٣. يحدد مفهوم البصمة البيئية للمنتج المستدام. ٤. يعطى أمثلة للمنتجات المستدامة (منتجات البناء والأثاث، الملابس الخضراء، الأجهزة الخضراء). ٥. يوضح أهمية الأطعمة العضوية؛ مقارنة بغير العضوية. ٦. يوضح دور النانو كيمياء في المجالات المختلفة.

المعيار الثالث: معرفة أن للمنتجات الكيميائية التقليدية بعض النتائج غير المقصودة سلبًا بالنسبة للإنسان، والبيئة؛ كالمخلفات، وأن لمنتجات الكيمياء المستدامة وتقنياتها إمكانات كبيرة؛ للتخفيف من هذه النتائج، أو تقليلها قبل حدوثها.		
المؤشرات		
١. يتعرف مفهوم التلوث بالمخلفات، وأسبابه. ٢. يحدد بعض الآثار، والمشكلات التي تسببها المخلفات بالنسبة لصحة الإنسان. ٣. يوضح مفهوم إعادة التدوير، وتطبيقاته في المخلفات (الورقية، والبلاستيكية). ٤. يضع أمثلة لدور الكيمياء المستدامة في التخلص من المخلفات.	١. يوضح مفهوم التلوث بالمخلفات، وأنواعها بصورة مختصرة. ٢. يستكشف بعض المشكلات التي تسببها المخلفات بالنسبة للإنسان، والبيئة. ٣. يطرح أمثلة لإعادة تدوير الأنواع المختلفة من المخلفات (الصلبة، والزيوت المستهلكة في المنازل والمطاعم،...وغيرها). ٤. يبين الأهمية الاقتصادية لإعادة تدوير المخلفات. ٥. يتعرف أهمية الحاويات صديقة البيئة؛ لفرز المخلفات. ٦. يلخص دور الكيمياء المستدامة في إيجاد حلول للمخلفات. ٧. يستنتج أهمية المطامر الصحية للمخلفات (أهميتها، وطرق تصميمها).	١. يصنف أنواع المخلفات المختلفة. ٢. يتعرف أنواع المخلفات الإليكترونية، والمخلفات الكيميائية الخطرة (الطبية)، وتأثيرهما في الانسان، والبيئة. ٣. ينقد الطرق التقليدية للتخلص من المخلفات المختلفة. ٤. يطرح استراتيجيات مختلفة؛ لإعادة تدوير المخلفات الإليكترونية، والطبية/ طرق معالجتها. ٥. يستنتج أن المخلفات قد تكون مصدرًا لمواد أولية آمنة. ٦. يشرح مفهوم منع التلوث (النفايات) على المستوى الجزيئي (كمقدمة للاقتصاد الذري). ٧. يتعرف كيفية استخراج الوقود من المخلفات. ٨. يوضح كيفية تحويل المخلفات إلى سماد.
المعيار الرابع: فهم أن أفضل نهج لتطوير، وتصميم طرق لتخليق منتجات، وتركيبات كيميائية جديدة؛ هو استخدام المعرفة، والأدوات الحسابية المتاحة؛ كاقتصاد الذرة؛ لتصميم الوظيفة بالتنسيق مع التنبؤ بالمخاطر، والمصير البيئي.		
المؤشرات		
ـــــ	١. يتعرف مفهوم التفاعلات الكيميائية الخضراء (المستدامة). ٢. يحدد مفهوم اقتصاد الذرة، وأهميته. ٣. يوضح معادلة اقتصاد الذرة. ٤. يتعرف مفهوم المادة النقية، وعلاقته باقتصاد الذرة. ٥. يستخلص مفهوم النسبة المئوية (المردود المئوي للناتج)، وعلاقته بكفاءة التفاعل الكيميائي. ٦. يقارن بين مفهومي: الكتلة النظرية، والكتلة الفعلية.	١. يذكر بعض الأمثلة للتفاعلات الكيميائية غير الاقتصادية. ٢. يشرح مفهوم الاقتصاد الذري؛ كتطور لمفهوم نسبة العائد التقليدي. ٣. يتعرف تطبيقات اقتصاد الذرة في بعض التفاعلات الكيميائية الخضراء. ٤. يضع أمثلة لتفاعلات الاقتصاد الذري.

المعيار الخامس: توسيع فهم العلاقة بين التركيب الكيميائي والسمية، وكيف يؤثر التعرض للمواد الكيميائية، ومنتجاتها في صحة الإنسان والبيئة، ودور الكيمياء المستدامة في استخدام بادئات خضراء أو تصميم منهجيات تخلق، وتستخدم مواد ذات سمية قليلة، أو معدومة، كلما كان ذلك ممكنًا.		
المؤشرات		
١. يتعرف سمية بعض المواد الكيميائية المنزلية، وتأثيراتها في الصحة، والبيئة. ٢. يذكر بعض تطبيقات/منهجيات الكيمياء المستدامة في الحد من التأثيرات الخطرة (سمية) لبعض المركبات الكيميائية في صحة الإنسان، والبيئة. ٣. يذكر مفهوم معامل التأثير البيئيe factor	١. يحدد بعض أنواع المواد الكيميائية السامة فى البيئة المحيطة. ٢. يقيم التأثير السام لبعض نواتج التفاعلات الكيميائية (مثل: تفاعلات الأكسدة، وعلاقتها بالضباب الضوئي الكيميائي). ٣. يعدد بعض منهجيات إجراء التفاعلات الكيميائية التقليدية بطرق أكثر استدامة. ٤. يوضح دور الكيمياء المستدامة في تقنيات معالجة المياه من المواد السامة (الصرف الصحي – مياه المصانع – المياه الجوفية)، وأهميتها الاقتصادية. ٥. يحدد مفهوم المواد البادئة المستدامة. ٦. يعطى بعض الأمثلة على المواد البادئة الخضراء (المستدامة). ٧. يذكر بعض البدائل الحيوية؛ كبادئات مستدامة، وبعض أنواعها، واستخداماتها.	١. يصنف أنواع المواد الكيميائية السامة، وكيفية تحللها. ٢. يبحث عن منهجيات، أو طرق نظيفة؛ لتقليل الخطر (السمية) (كتقنية الميكروويف (الموجات الدقيقة)، والموجات فوق الصوتية)؛ لاستخدامها في التصنيع الكيميائي. ٣. يذكر بعض الأمثلة لمنهجيات تصنيع مستدامة. ٤. يقارن بين عملية تبييض الورق بالطرق التقليدية، والمستدامة؛ من حيث السمية. ٥. يتعرف دور الثورة التكنولوجية في تصميم طرق؛ لتخليق مركبات كيميائية غير سامة صديقة البيئة. ٦. يقارن بين كيمياء الأكسدة النظيفة، والأكسدة التقليدية. ٧. يحدد مفهوم المواد المؤكسدة الخضراء. ٨. يعطى أمثلة للمواد المؤكسدة الخضراء. ٩. يتعرف مفاعلات الأكسجين السائل (الأكسدة السائلة). ١٠. يوضح مفهوم المواد البادئة التقليدية، وتأثيراتها (المباشرة، وغير المباشرة، والاقتصادية... وغيرها). ١١. يحدد مفهوم المواد البادئة الخضراء، ومعايير اختيارها في التفاعلات الكيميائية، وأمثلتها المتنوعة. ١٢. يقارن بين المواد البادئة الخضراء، والتقليدية للإنتاج الأنظف. ١٣. يميز بين استخدام المواد الثقيلة، والضوء؛ كبادئات للتفاعل. ١٤. يوضح مفهوم المواد الخام البيولوجية feedstocks، وأنواعها، واستخداماتها، وعلاقتها بالكيمياء المستدامة. ١٥. يعطى أمثلة لبادئات التفاعل الحيوية المستدامة.

المعيار السادس: فهم العلاقة بين التركيب الجزيئي، والكفاءة الوظيفية، والمصير في البيئة؛ للتصميم العقلاني للنواتج الكيميائية الآمنة.		
المؤشرات:		
١. يتعرف المركبات الكيميائية، وبعض أمثلتها من المواد المنزلية، والحياتية. ٢. يحدد تأثير المركبات الكيميائية المختلفة في البيئة (مشكلات: تلوث الهواء، والماء، والتربة).	١. يعدد مخاطر المواد الكيميائية، وتأثيراتها في الإنسان، والبيئة (مشكلات: الاحترار العالمي - الأمطار الحامضية - تآكل طبقة الأوزون - التغيرات المناخية-الضباب الدخاني). ٢. يوضح دور الكيمياء المستدامة في تصميم نواتج كيميائية أقل خطورة.	١. يوضح مفهوم المخاطرة الكيميائية البيئية، ومعادلة المخاطرة البيئية. ٢. يستنتج أنواع الأخطار الكيميائية (التهديد الأمني- التآكل، والعوامل المؤكسدة، والمختزلة - السمية البيئية، والبشرية. ٣. يتعرف هرم التصميم الجزيئي في الكيمياء المستدامة. ٤. يربط بين بنية المركب الكيميائي، وفاعليته. ٥. يوضح ابتكارات التصميم الكيميائي الحالية، والإفادة منها في المجالات الأخرى. ٦. يستخلص العلاقة بين الرابطة التساهمية، والكيمياء المستدامة.
المعيار السابع: فهم أهمية استخدام المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة في إجراء التفاعلات الكيميائية؛ بديلا عن المواد التقليدية ذات التأثير السلبي المرتفع.		
المؤشرات:		
١. يتعرف مفهوم المذيب، وقيم يستخدم. ٢. يحدد مفهوم المذيب الأخضر، وأهميته. ٣. يحدد الماء؛ كمذيب أخضر آمن. ٤. يقيم التأثير البيئي لبعض المنظفات المنزلية التي تستخدم؛ كمذيبات.	١. يوضح مفهوم المذيبات العضوية التقليدية المتطايرة، والمخاوف البيئية المرتبطة بتأثيراتها. ٢. يقارن بين المذيبات العضوية، والمذيبات الخضراء. ٣. يذكر مفهوم الأثر البيئي. ٤. يستنتج الأثر البيئي لمنتجات التنظيف، ومستحضرات التجميل؛ كمذيبات. ٥. يفسر أن الماء يعد مذيبًا أخضر مثاليًّا؛ من خلال العمليات الكيميائية التي تجرى في الماء). ٦. يبحث عن استخدامات، أو تطبيقات المذيبات الخضراء. ٧. يتعرف ماهية المنظفات الخافضة للتوتر السطحي.	١. يصنف أنواع المذيبات الكيميائية، ومصادرها. ٢. يعطى أمثلة لبعض التفاعلات بدون مذيبات. ٣. يعطى أمثلة على المذيبات الخضراء، وأهميتها؛ وفق ظروف التفاعل. ٤. يحدد معايير اختيار المذيب الأخضر. ٥. يوضح التطبيقات المختلفة للمذيبات الخضراء. ٦. يوضح أهمية استخدام كيمياء السطوح في إنتاج منظف للبيئة. ٧. يوضح الطرق البديلة للمذيبات التقليدية. ٨. يتعرف استخدام ثاني أكسيد الكربون؛ كمذيب. ٩. يوضح كيفية إجراء التفاعلات بدون مذيبات. ١٠. يوضح كيفية التحفيز؛ من خلال الميكروويف. ١١. يتعرف أهمية المذيبات المقيدة (غير المتطايرة). ١٢. يتعرف أهمية السوائل الأيونية؛ كمذيبات خضراء.

المعيار الثامن: فهم أن زيادة كفاءة إجراء التفاعلات الكيميائية يتطلب خفض متطلبات الطاقة قدر الإمكان؛ مما يقلل من الآثار البيئية، والاقتصادية لهذه المتطلبات.		
المؤشرات		
ــــــــــ	ــــــــــــــــ	١. يحدد دور تكنولوجيا الموجات فوق الصوتية في إجراء التفاعلات الكيميائية. ٢. يتعرف التفاعلات الضوكيميائية، وقانوني الكيمياء الضوئية: الأول، والثاني. ٣. يتعرف آلية تخزين الطاقة، وإطلاقها؛ من خلال المركبات الكيميائية. ٤. يتعرف تحولات الطاقة الكيميائية الخضراء.
المعيار التاسع: معرفة أنه يمكن استخدام الموارد الأولية المتجددة؛ لصنع منتجات كيميائية ذات ملامح استدامة محسنة.		
المؤشرات:		
١. يتعرف مفهوم الموارد المتجددة، وأمثلتها. ٢. يقارن بين الموارد المتجددة وغير المتجددة. ٣. يذكر مفهوم الطاقة المستدامة. ٤. يعطى أمثلة للطاقة المستدامة. ٥. يعطى أمثلة لبعض تقنيات الطاقة الشمسية، واستخداماتها الكيميائية. ٦. يحدد مفهوم الكتلة الحيوية. ٧. يفسر أن الكتلة الحيوية من مصادر الطاقة المتجددة. ٨. يذكر بعض منتجات الكتلة الحيوية. ٩. يوضح أهمية الكتلة الحيوية في الحصول على الطاقة. ١٠. يسرد تحولات طاقة الكتلة الحيوية. ١١. يعطى أمثلة لتوليد الكهرباء؛ باستخدام طاقة الكتلة الحيوية.	١. يذكر بعض التطبيقات للطاقة الشمسية، وفكرة عملها. ٢. يشرح كيفية تحليل الماء، وتحليته بالطاقة الشمسية. ٣. يحدد مفهوم الخلايا الفوتوفولتية، وتطبيقاتها. ٤. يحدد المشكلات التي يسببها الوقود الأحفوري. ٥. يميز بين الوقود الحيوي، والوقود الأحفوري. ٦. يتعرف أنواع الوقود الحيوي. ٧. يحدد مصادر الكتلة الحيوية. ٨. يعطى مفهومًا للوقود الحيوي (المستدام)، ويشرح أهميته الاقتصادية. ٩. يذكر بعض تطبيقات الوقود الحيوي. ١٠. يشرح طرق الحصول على الطاقة الكهربية من الكتلة الحيوية. ١١. يبحث عن بعض الصناعات القائمة على بقايا الكتلة الحيوية. ١٢. يستخلص مميزات استخدام طاقة الكتلة الحيوية، وعيوبها. ١٣. يحدد الهيدروجين كعنصر. ١٤. يوضح طرق فصل الهيدروجين من الماء ١٥. يستنتج استخدامات الهيدروجين الصناعية. ١٦. يوضح استخدامات الهيدروجين كوقود. ١٧. يشرح أهمية الهيدروجين كوقود بديل للوقود الأحفوري، و ميزات استخدامه وعيوبه. ١٨. يذكر فكرة عمل خلايا الوقود بشكل مبسط واستخداماتها، وميزاتها وعيوبها.	١. يوضح ماهية التفاعلات الكيميائية الشمسية. ٢. يعطى أمثلة لاستخدامات الطاقة الشمسية في التفاعلات الكيميائية. ٣. يبحث كيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى وقود أخضر مستدام. ٤. يوضح فكرة عمل الخلايا الشمسية البلاستيكية؛ لتخزين الطاقة الشمسية. ٥. يوضح تركيب الخلايا الفوتوفولتية، والتفاعلات التي تجرى داخلها. ٦. يستنتج التأثيرات البيئية، والاقتصادية لاستخدام الخلايا الفوتوفولتية. ٧. يوضح الطرق الكيميائية المستخدمة لإنتاج الوقود الحيوي. ٨. يذكر مفهوم الغاز الحيوي، والتخمر اللاهوائي. ٩. يعدد مكونات الغاز الحيوي، ومراحل إنتاجه. ١٠. يتعرف مكونات وحدات إنتاج الغاز الحيوي. ١١. يعطى أمثلة للاستخدامات المختلفة للغاز الحيوي، ومميزاته، وعيوبه. ١٢. يحدد التأثيرات البيئية، والاقتصادية، والاجتماعية لاستخدام الغاز الحيوي. ١٣. يوضح مفهوم التخمر الكحولي. ١٤. يعدد مصادر إنتاج الإيثانول الحيوي، وطريقه إنتاجه. ١٥. يحدد الاستخدامات المختلفة للإيثانول الحيوي، ومميزاته، وعيوبه.

		١٦. يذكر مصادر إنتاج الديزل الحيوي. ١٧. يوضح تركيب الديزل الحيوي. ١٨. يستنتج مميزات استخدام الديزل الحيوي وعيوبه. ١٩. يوضح مفهوم التغويز. ٢٠. يحدد مكونات غاز المولدات. ٢١. يوضح مراحل إنتاج التغويز، ومكونات وحدات التغويز. ٢٢. يوضح مميزات استخدام غاز المولدات وعيوبه. ٢٣. يوضح الطرق الكيميائية المستخدمة لانتاج الوقود الحيوى. ٢٤. يذكر مفهوم الغاز الحيوي، والتخمر اللاهوائي. ٢٥. يعدد مكونات الغاز الحيوي، ومراحل انتاجه. ٢٦. يتعرف مكونات وحدات انتاج الغاز الحيوي. ٢٧. يعطى أمثلة للاستخدامات المختلفه للغاز الحيوي، ومميزاته وعيوبه. ٢٨. يوضح كيفية تخزين الهيدروجين. ٢٩. يوضح مفهوم خلايا الوقود الهيدروجينية. ٣٠. يتعرف أنواع خلايا الوقود الهيدروجينية. ٣١. يشرح التفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلايا الوقود. ٣٢. يعدد استخدامات خلايا الوقود المختلفة.
المعيار العاشر: فهم دور الحوافز، والكواشف المستدامة في تقليل متطلبات الطاقة، وزيادة فاعلية التفاعلات الكيميائية		
المؤشرات:		
ـــــ	١. يذكر مفهوم العامل الحفاز. ٢. يذكر مفهوم المحفزات الآمنة وأنواعها. ٣. يوضح كيفية استخدام المحفزات الخضراء في صناعة الورق بجودة عالية. ٤. يوضح استخدام المحفزات الحيوية في تصنيع العقاقير الدوائية. ٥. يتعرف مفهوم الإنزيمات (المحفزات الحيوية) ومصادرها. ٦. يحدد تطبيقات المحفزات الحيوية. ٧. يذكر بعض الإنزيمات المنتجة في الصناعة وتطبيقاتها. ٨. يذكر أمثلة لبعض التفاعلات الكيميائية باستخدام المحفزات الخضراء. ٩. يذكر مفهوم الكواشف الكيميائية وأهميتها. ١٠. يعطى أمثلة على الكواشف الكيميائية الخضراء. ١١. يقارن بين عملية إنتاج الورق بالكواشف التقليدية والخضراء.	١. يميز بين العوامل المساعدة التقليدية والخضراء (الانتقائية) وشروط استخدامها. ٢. يستقصي أضرار العوامل المساعدة التقليدية. ٣. يبحث دور العوامل المساعدة الانتقائية في تقليل تلوث البيئة. ٤. يوضح أهمية استخدام عوامل مساعدة اقتصادية. ٥. يحدد دور العوامل المساعدة الخضراء وأهميتها، وشروط استخدامها. ٦. يتعرف بدائل العوامل المساعدة التقليدية (الواقع فوق الحرجة / الإنزيمات / العوامل الانتقائية). ٧. يذكر مفهوم المراجعة البيئية. ٨. يشرح طريقة تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى بوليمرات باستخدام المحفزات. ٩. يوضح استخدامات (تطبيقات) المحفزات الخضراء في الصناعة. ١٠. يوضح دور الإنزيمات كعوامل حفازة، وتطبيقاتها في مجالات: الصناعة والزراعة والطبيعة. ١١. يقارن بين الكواشف الكيميائية الحفازة الانتقائية والمكافئة. ١٢. يحدد آليات استخدام الكواشف الانتقائية. ١٣. يحدد مفهوم الصيانة البيئية. ١٤. يعطى أمثلة للكواشف الخضراء.

المعيار الحادى عشر: فهم كيفية تصميم منتجات كيميائية، تتحلل إلى مواد غير ضارة بعد استخدامها؛ لعدم التراكم في البيئة.		
المؤشرات:		
١. يحدد مفهومًا للمواد الكيميائية القابلة للتحلل، وغير القابلة للتحلل الحيوي. ٢. يضع أمثلة لبعض المنتجات الكيميائية المنزلية القابلة للتحلل، وأهميتها للاستدامة البيئية.	١. يقارن بين المنتجات الكيميائية القابلة، وغير القابلة للتحلل. ٢. يوضح مصدر المنتجات الكيميائية القابلة، وغير القابلة للتحلل. ٣. يعطى أمثلة متنوعة للمنتجات الكيميائية القابلة للتحلل من البيئة.	١. يذكر مفهوم البوليمرات الحيوية (الآمنة). ٢. يعدد أنواع البوليمرات، وقواعد تحللها، وإعادة تدويرها، وكيفية تصنيعها من النباتات بمحفزات طبيعية. ٣. يوضح مفهوم البلاستيك الحيوي، واستعمالاته، وأنواعه، وخصائصه، وكيفية صناعته، ودوره في الاستدامة). ٤. يصنف البلاستيك الحيوي الأخضر؛ كأحد البوليمرات الآمنة؛ مقارنة بالبلاستيك التقليدي. ٥. يشرح عملية التقاط الكربون من الهواء؛ لتحويل غازات الاحتباس الحراري إلى بلاستيك حراري عالي الأداء.
المعيار الثانى عشر: معرفة منهجيات التحليل الأخضر؛ لدمج تحليل الوقت الفعلي للتفاعلات الكيميائية من المواد الأولية إلى نواتج التفاعل؛ منعًا للتلوث.		
المؤشرات:		
———	———	١. يطرح أمثلة على منهجيات الكيمياء التحليلية الخضراء؛ لرصد وقت التفاعل الفعلي؛ مقارنة بالمنهجيات التقليدية. ٢. يوضح دور أجهزة الرصد، أو الاستشعار في الوقت الفعلي في منع التلوث، أو توليد نفايات خطرة؛ عبر المعالجة الحيوية للملوثات البيئية. ٣. يتعرف جهاز الكشف عن المعادن الثقيلة في الوقت الفعلي، وأهميته.
المعيار الثالث عشر: معرفة قواعد إجراء الاستقصاءات الكيميائية المعملية؛ للإجابة عن الأسئلة، أو شرح الظواهر، أو تصميم الحلول؛ باستخدام الأدوات، والطرق الآمنة.		
المؤشرات:		
١. يتعرف بعض قواعد الأمان المعملية.	١. يتعرف قواعد الأمان للتجارب الكيميائية المعملية. ٢. يقارن بين المواد الكيميائية التقليدية، والمستدامة؛ من حيث درجة الأمان.	١. يطبق قواعد الأمان في إجراء التجارب الكيميائية المعملية. ٢. يتعرف كيمياء الميكروسكيل، واستخداماتها العملية. ٣. يوضح أهمية إجراء التفاعلات الكيميائية؛ باستخدام تقنية الميكروسكيل. ٤. يذكر بعض التطبيقات على استخدام تقنية الميكروسكيل.

وللإجابة عن السؤال الثالث للدراسة؛ والذي نصه: "ما مدى توافر المعايير المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ فى مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟"، وللتحقق من صحة الفرض التالى: "مستوى معالجة مبادئ الكيمياء المستدامة، وتضمينها في مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى دون المستوى المقبول (أقل من ٥٠٪)"؛ حللت الباحثة كتب العلوم المقررة على الصفوف الدراسية (من الصف الرابع الإبتدائي إلى الصف الثالث الإعدادي) وكتب الكيمياء بالصفوف الثلاثة للمرحلة الثانوية؛ فى ضوء المعايير المقترحة، ومؤشراتها التى حُددت، وحُسبت نسب توافرها، ويمكن توضيح نتائج تحليل المحتوى (ملحق ١) كما يلى:

أولا: بالنسبة لكتب العلوم في المرحلة الابتدائية (٤-٦):

يوضح الجدول (٦) نتائج تحليل كتب العلوم للصفوف الثلاثة بالمرحلة الابتدائية؛ وفق المعايير الخاصة بالمرحلة الابتدائية، ومؤشراتها:

جدول (٦): نتائج تحليل كتب العلوم للصفوف الثلاثة بالمرحلة الابتدائية (٤-٦)؛ وفق المعايير، والمؤشرات المقترحة فى ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة:

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الرابع				الخامس				السادس			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
الأول	2	0	0%	2	100%	0	0%	2	100%	0	0%	2	100%
الثانى	1	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%
الثالث	4	1	25%	3	75%	2	50%	2	50%	0	0%	4	100%
الخامس	3	0	0%	3	100%	0	0%	3	100%	1	33%	2	67%
السادس	2	1	50%	1	50%	2	100%	0	100%	1	50%	1	50%
السابع	4	0	0%	4	100%	0	0%	4	100%	0	0%	4	100%
التاسع	11	4	36%	7	64%	1	9%	10	91%	0	0%	11	100%
الحادى عشر	2	0	0	2	100%	0	0%	2	100%	0	0%	2	100%
الثالث عشر	1	1	100%	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%	0	0%

ويتضح من الجدول (٦) أن:

العدد الكلى لمؤشرات المعايير - وفق مبادئ الكيمياء المستدامة - (٣٠) مؤشرًا، تندرج تحت (٩) معايير للمرحلة الابتدائية، لم يتضمن منهج العلوم بالصفوف الثلاثة: الرابع، والخامس، والسادس سوى (١٠) مؤشرات؛ بنسبة إجمالية ٣٣٪، وهى تعكس نسبًا منخفضة عن الحد الأدنى المقبول (٥٠٪)، ويمكن توضيحها كما يلى:

- بالنسبة للمعايير: الأول المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة**"، والثاني المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة في خدمة المجتمع**"، والسابع المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة**"، والحادي عشر المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية للتحلل (التصميم للتحلل)**"؛ لم يتوافر أى من مؤشرات هذه المعايير فى كتب العلوم بالصفوف الثلاثة من المرحلة الابتدائية.

- بالنسبة للمعيار الثالث المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة، والحد من تكوُّن المخلفات**": جاء المؤشر "يحدد بعض الآثار، والمشكلات التي تسببها المخلفات بالنسبة لصحة الإنسان"؛ في كتاب العلوم للصف الرابع الابتدائي في الفصل الدراسي الأول متضمنًا مناقشة التلوث بالنفايات، وآثارها على الإنسان والبيئة في سياق موضوع التكيف، والبقاء بوحدة "الأنظمة الحية"، كما تناوله كتاب الصف الخامس الابتدائي للفصل الدراسي الأول في المشروع البيني التخصصي "لا للإهدار.. عالج

المخلفات"، فضلًا عن مؤشر "يوضح مفهوم إعادة التدوير، وتطبيقاته في المخلفات الورقية، والبلاستيكية"؛ بوحدة العلاقات الغذائية بين الكائنات الحية.

- بالنسبة للمعيار الخامس المتعلق بمبدأ: "**عمليات تخليق كيميائي أقل خطورة**"، جاء مؤشر "يتعرف سمية بعض المواد الكيميائية المنزلية، وتأثيراتها في الصحة، والبيئة"؛ في كتاب العلوم للصف السادس الابتدائي في الفصل الدراسي الأول بوحدة "مكونات الغلاف الجوي".

- بالنسبة للمعيار السادس المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية الآمنة**"، جاء مؤشر "يتعرف المركبات الكيميائية، وبعض أمثلتها من المواد المنزلية، والحياتية"؛ في أنشطة كتاب العلوم للصف الخامس الابتدائي الفصل الدراسي الأول في موضوع "وصف المادة، وطرق قياسها" بوحدة "حركة الجزيئات" في محور "المادة، والطاقة"، كما جاء مؤشر "يحدد تأثير المركبات الكيميائية المختلفة في البيئة؛ مشكلات: تلوث الهواء، والماء، والتربة"؛ في محتوى كتاب العلوم، وأنشطته للصف الرابع الابتدائي في الفصل الدراسي الثاني في موضوع "عن الوقود" بوحدة الطاقة، والوقود، وكذلك محتوى الصف الخامس للفصل الدراسي الأول في موضوع التغيرات في الشبكات الغذائية بوحدة "العلاقات الغذائية بين الكائنات الحية"، وفى أنشطة كتاب العلوم بالصف الخامس الفصل الدراسي الأول في موضوع التغيرات في الشبكات الغذائية بوحدة العلاقات الغذائية بين الكائنات الحية، كما توافر في أهداف كتاب الصف السادس ومحتواه، وتدريباته للفصل الدراسي الأول بوحدة "مكونات الغلاف الجوي".

- بالنسبة للمعيار التاسع المتعلق بمبدأ: "**استخدام المواد الأولية المتجددة**": تضمن مؤشر "يعطى أمثلة لبعض تقنيات الطاقة الشمسية، واستخداماتها الكيميائية"؛ في كتاب العلوم للصف الخامس الابتدائي في الفصل الدراسي الأول في أهدافه، ومحتواه، وأنشطته في موضوع "احتياجات النبات" بوحدة العلاقات الغذائية بين الكائنات الحية، كما تضمنه كتاب العلوم للصف الرابع في أنشطة كتاب العلوم للفصل الدراسي الأول فى سياق موضوع "السرعة" بوحدة الحركة، وفى محتوى كتاب العلوم للفصل الدراسي الثاني في موضوع "الأجهزة، والطاقة" بوحدة الطاقة، والوقود، فضلًا عن توافر المؤشرات التالية: "يتعرف مفهوم الموارد المتجددة، وأمثلتها"، و"يقارن بين الموارد المتجددة، وغير المتجددة"، و"يعطى أمثلة للطاقة المستدامة"؛ فى أهداف، ومحتوى، وأنشطة موضوعى:"عن الوقود"، و"مصادر الطاقة المتجددة" بوحدة الطاقة، والوقود.

- بالنسبة للمعيار الثالث عشر المتعلق بمبدأ: "**تقليل المخاطر قدر الإمكان**": جاء مؤشر "يتعرف بعض قواعد الأمان المعملية" فى جميع كتب العلوم للصفوف الثلاثة بالمرحلة الابتدائية فى الفصلين الدراسيين: الأول، والثاني؛ كإرشادات للسلامة فى فصول العلوم فى نهاية كل كتاب بصورة منفصلة.

وإجمالًا يمكن توضيح النسبة المئوية الكلية للمؤشرات في كتب العلوم في كل صف دراسي بالمرحلة الابتدائية فى الجدول (٧):

جدول (٧): النسبة الكلية للمؤشرات فى كل صف من صفوف المرحلة الابتدائية (٤-٦):

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الرابع				الخامس				السادس			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
المجموع	30	7	23%	23	77%	6	20%	22	80%	3	10%	27	90%

ويتضح من الجدول (٧) أن النسبة الكلية المتوافرة لمؤشرات المعايير كانت بنسبة ٢٣٪ للصف الرابع، و٢٠٪ للصف الخامس، و١٠٪ للصف السادس من العدد الكلى للمؤشرات التي يجب توافرها. وهي تعكس نسبًا منخفضة؛ مما يعنى تدنى مستوى تضمين منهج العلوم بالمرحلة الابتدائية بالصفوف الثلاثة؛ تلك المبادئ.

ثانيًا: بالنسبة لمناهج العلوم فى المرحلة الإعدادية (٧-٩):

يوضح الجدول (٨) نتائج تحليل كتب العلوم للصفوف الثلاثة بالمرحلة الإعدادية؛ وفق المعايير الخاصة بالمرحلة الإعدادية، ومؤشراتها:

جدول (٨): نتائج تحليل كتب العلوم للصفوف الثلاثة بالمرحلة الإعدادية (٧-٩)؛ وفق المعايير، والمؤشرات المقترحة في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة:

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الأول الإعدادى				الثانى الإعدادى				الثالث الإعدادى			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
الأول	5	0	0%	5	100%	0	0%	5	100%	0	0%	5	100%
الثانى	1	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%	1	100%	0	0%
الثالث	7	0	0%	7	100%	0	0%	7	100%	0	0%	7	100%
الرابع	6	1	17%	5	83%	0	0%	7	100%	0	100%	6	100%
الخامس	7	1	14%	6	86%	0	0%	7	100%	0	0%	7	100%
السادس	2	1	50%	1	50%	1	50%	1	50%	0	0%	2	100%
السابع	7	0	%0	7	100%	1	14%	6	86%	0	0%	7	100%
التاسع	18	1	6%	17	94%	0	0%	18	100%	0	0%	18	100%
العاشر	11	0	0%	11	100%	0	0%	11	100%	2	18%	9	82%
الحادى عشر	3	0	0%	3	100%	0	0%	3	100%	0	0%	3	100%
الثالث عشر	2	0	0%	2	100%	0	0%	2	100%	1	50%	1	50%

ويتضح من الجدول (٨):

أن العدد الكلى لمؤشرات المعايير - وفق مبادئ الكيمياء المستدامة - (٦٩) مؤشرًا، تندرج تحت (١١) معيارًا للمرحلة الإعدادية، لم يتضمن منهج العلوم بالصفوف الثلاثة: الأول، والثاني، والثالث سوى (٩) مؤشرات؛ بنسبة إجمالية ١٣٪، وهى تعكس نسبًا منخفضة عن الحد الأدنى المطلوب (٥٠٪)، ويمكن توضيحها كما يلى:

بالنسبة للمعايير: الأول المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة**"، والثالث المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة، والحد من تكوُّن المخلفات**"، والحادي عشر المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية للتحلل (التصميم للتحلل)**"؛ لم يتوافر أى من مؤشرات هذه المعايير في كتب العلوم بالصفوف الثلاثة من المرحلة الإعدادية.

بالنسبة للمعيار الثاني المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة في خدمة المجتمع**"، جاء مؤشر "يحدد تطبيقات (إنجازات) الكيمياء المستدامة فى بعض المجالات الصناعية، والزراعية"؛ فى كتاب الصف الثالث الإعدادي الفصل الدراسي الثاني؛ كنشاط إثرائى للعلاقة بين العلم، والتكنولوجيا، والمجتمع فى نهاية وحدة التفاعلات الكيميائية.

بالنسبة للمعيار الرابع المتعلق بمبدأ: "**اقتصاد الذرة**" جاء مؤشر "يوضح معادلة اقتصاد الذرة" في محتوى كتاب الصف الأول الإعدادي، وأنشطته في الفصل الدراسي الثاني في موضوع المعادلة الكيميائية، والتفاعل الكيميائي بوحدة التفاعلات الكيميائية.

بالنسبة للمعيار الخامس المتعلق بمبدأ: "**عمليات تخليق كيميائي أقل خطورة**" جاء مؤشر "يحدد بعض أنواع المواد الكيميائية السامة فى البيئة المحيطة"؛ فى كتاب الصف الأول الإعدادي في الفصل الدراسي الثاني فى محتوى موضوع "المعادلة الكيميائية، والتفاعل الكيميائي"، وأنشطته بوحدة التفاعلات الكيميائية.

بالنسبة للمعيار السادس المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية الآمنة**" جاء مؤشر "يعدد مخاطر المواد الكيميائية، وتأثيراتها فى الإنسان، والبيئة"؛ فى كتاب العلوم للصف الأول الإعدادي الفصل الدراسي الثاني فى أهداف موضوع "المعادلة الكيميائية، والتفاعل الكيميائي"،

ومحتواه، وتدريباته بوحدة التفاعلات الكيميائية، وفى كتاب الصف الثاني الإعدادي الفصل الدراسي الأول فى أهداف، ومحتوى، وتدريبات موضوع "الماء" بوحدة دورية العناصر وخواصها، وموضوع "تآكل طبقة الأوزون، وارتفاع درجة حرارة الأرض" فى وحدة الغلاف الجوي، وحماية كوكب الأرض.

بالنسبة للمعيار السابع المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة**" جاء مؤشر "يفسر أن الماء يعد مذيبًا أخضر مثاليًّا؛ من خلال العمليات الكيميائية التي تجرى فى الماء"؛ فى محتوى كتاب الصف الثاني الإعدادي، وأنشطته في الفصل الدراسي الأول فى موضوع "الماء" بوحدة دورية العناصر، وخواصها.

بالنسبة للمعيار التاسع المتعلق بمبدأ: "**استخدام المواد الأولية المتجددة**" جاء مؤشر "يذكر بعض التطبيقات للطاقة الشمسية، وفكرة عملها"؛ فى كتاب العلوم بالصف الأول الإعدادي فى الفصل الدراسي الأول فى أهدافه، ومحتواه، وتدريباته فى وحدة الطاقة.

بالنسبة للمعيار العاشر المتعلق بمبدأ: "**دمج الحفز (العوامل الحفازة)**" جاء مؤشرا: "يذكر مفهوم العامل الحفاز"، و"يذكر بعض الإنزيمات المنتجة فى الصناعة، وتطبيقاتها"؛ في كتاب العلوم للصف الثالث الإعدادي الفصل الدراسي الثاني في موضوع "سرعة التفاعلات الكيميائية" بوحدة التفاعلات الكيميائية.

بالنسبة للمعيار الثالث عشر المتعلق بمبدأ: "**تقليل المخاطر قدر الإمكان**" جاء مؤشر "يتعرف بعض قواعد الأمان المعملية"؛ فى بداية كتاب العلوم للصف الثالث الإعدادي الفصل الدراسي الثانى.

وإجمالًا يمكن توضيح النسبة المئوية الكلية للمؤشرات في كتب العلوم في كل صف دراسي بالمرحلة الإعدادية فى الجدول (٩):

جدول (٩): النسبة الكلية للمؤشرات فى كل صف من صفوف المرحلة الإعدادية (٧-٩):

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الأول الإعدادى				الثانى الإعدادى				الثالث الإعدادى			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
المجموع	69	4	6%	65	94%	2	3%	67	97%	4	6%	65	94%

ويتضح من الجدول (٩) أن النسبة الكلية المتوافرة لمؤشرات المعايير كانت ٦٪ للصف الأول الإعدادي، و٣٪ للصف الثاني الإعدادى، و ٦٪ للصف الثالث الإعدادى؛ من العدد الكلى للمؤشرات التي يجب توافرها بالمرحلة؛ وهي تعكس نسبًا منخفضة؛ مما يعنى تدنى مستوى تضمين منهج العلوم بالمرحلة الإعدادية بالصفوف الثلاثة؛ تلك المبادئ.

ثالثًا: بالنسبة لمناهج العلوم فى المرحلة الثانوية (١٠-١٢):

يوضح الجدول (١٠) نتائج تحليل كتب الكيمياء للصفوف الثلاثة بالمرحلة الثانوية؛ وفق المعايير الخاصة بالمرحلة الثانوية، ومؤشراتها:

جدول (١٠): نتائج تحليل كتب الكيمياء للصفوف الثلاثة بالمرحلة الثانوية (٩-١٢)؛ وفق المعايير، والمؤشرات المقترحة في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة:

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الأول الثانوى				الثانى الثانوى				الثالث الثانوى			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
الأول	7	0	0%	7	100%	0	0%	7	100%	1	14%	6	86%
الثانى	6	1	17%	5	83%	0	0%	6	100%	0	0%	6	100%
الثالث	8	0	0%	8	100%	0	0%	8	100%	0	0%	8	100%
الرابع	4	2	%50	2	50%	0	0%	4	100%	0	0%	4	100%
الخامس	15	0	0%	15	100%	0	0%	15	100%	0	0%	15	100%
السادس	6	0	0%	6	100%	0	0%	6	100%	0	0%	6	100%
السابع	12	1	8%	11	92%	0	0%	12	100%	0	0%	12	100%
الثامن	4	0	0%	4	100%	0	0%	4	100%	0	0%	4	100%
التاسع	32	0	0%	32	100%	0	0%	32	100%	0	0%	32	100%
العاشر	14	0	0%	14	100%	0	0%	14	100%	1	7%	13	93%
الحادى عشر	5	0	0%	5	100%	0	0%	5	100%	0	0%	5	100%
الثانى عشر	3	0	0%	3	100%	0	0%	3	100%	0	0%	3	100%
الثالث عشر	4	1	25%	3	75%	1	25%	3	75%	1	25%	3	75%

ويتضح من جدول (١٠):

أن العدد الكلى لمؤشرات المعايير - وفق مبادئ الكيمياء المستدامة - (١٢٠) مؤشرًا، تندرج تحت (١٣) معيارًا للمرحلة الثانوية، لم يتضمن منهج الكيمياء بالصفوف الثلاثة: الأول، والثاني، والثالث الثانوي سوى (٧) مؤشرات؛ بنسبة إجمالية ٦٪، وهى تعكس نسبًا منخفضة عن الحد الأدنى المطلوب (٥٠٪)، ويمكن توضيحها كما يلى:

بالنسبة للمعايير: الثالث المتعلق بمبدأ: "**الكيمياء المستدامة، والحد من تكوُّن المخلفات**"، والخامس المتعلق بمبدأ: **عمليات تخليق كيميائي أقل خطورة**"، والسادس المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية الآمنة**"، والثامن المتعلق بمبدأ: "**التصميم بهدف رفع كفاءة الطاقة**"، والتاسع المتعلق بمبدأ: "**استخدام المواد الأولية المتجددة**"، والحادي عشر المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد الكيميائية للتحلل (التصميم للتحلل)**"، والثاني عشر المتعلق بمبدأ: "**دمج تحليل الوقت الفعلي**"؛ لم يتوافر أي من مؤشرات هذه المعايير في كتب العلوم بالصفوف الثلاثة من المرحلة الثانوية.

بالنسبة للمعيار الأول المتعلق بـ "**الكيمياء المستدامة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة**" جاء مؤشر "يعطى أمثلة لبعض الحوادث الكيميائية، والصناعية للمواد التقليدية لعلم الكيمياء"؛ فى كتاب الكيمياء للصف الثالث الثانوي فى الفصل الدراسي الثاني فى أهدافه، ومحتواه؛ حيث تضمن أمثلة عديدة لتطبيقات الهيدروكربونات بوحدة "الكيمياء العضوية".

بالنسبة للمعيار الثاني المتعلق بـ "**الكيمياء المستدامة فى خدمة المجتمع**" جاء مؤشر "يوضح دور النانو كيمياء في المجالات المختلفة"؛ فى كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي فى الفصل الدراسي الاول فى أهدافه، ومحتواه، وأنشطته، وتدريباته فى موضوع "النانوتكنولوجي، والكيمياء" بوحدة الكيمياء مركز العلوم.

بالنسبة للمعيار الرابع المتعلق بمبدأ: "**اقتصاد الذرة**" جاء فى كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي فى الفصل الدراسي الأول فى موضوع "حساب الصيغة الكيميائية" بوحدة الكيمياء

الكمية مؤشر "يذكر بعض الأمثلة للتفاعلات الكيميائية غير الاقتصادية" فى المحتوى، كما جاء مؤشر "يشرح مفهوم الاقتصاد الذري؛ كتطور لمفهوم نسبة العائد التقليدي" في كل من: الأهداف، والمحتوى، والأنشطة، والتدريبات.

بالنسبة للمعيار السابع المتعلق بمبدأ: "**تصميم المواد المساعدة، والمذيبات الآمنة**" جاء مؤشر "يصنف أنواع المذيبات الكيميائية، ومصادرها"؛ فى كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي، الفصل الدراسي الأول في أهداف موضوع "المحاليل، والغرويات"، ومحتواه، وتدريباته؛ بوحدة المحاليل– الأحماض، والقواعد.

بالنسبة للمعيار العاشر المتعلق بمبدأ: "**دمج الحفز (العوامل الحفازة)**" جاء مؤشر "يميز بين العوامل المساعدة التقليدية والخضراء (الانتقائية)، وشروط استخدامها"؛ فى كتاب الكيمياء للصف الثالث الثانوى فى كل من: الأهداف، والمحتوى، والتدريبات بوحدة الاتزان الكيميائى.

بالنسبة للمعيار الثالث عشر المتعلق بمبدأ: "**تقليل المخاطر قدر الإمكان**" جاء مؤشر "يطبق قواعد الأمان في إجراء التجارب الكيميائية المعملية"؛ فى أنشطة كتاب الكيمياء بالصف الأول الثانوى، وفي أهداف كتابى: الكيمياء للصفين: الثانى، والثالث الثانويين.

وإجمالا يمكن توضيح النسبة المئوية الكلية للمؤشرات فى كتب الكيمياء في كل صف دراسي بالمرحلة الثانوية في الجدول (١١):

جدول (١١): النسبة الكلية للمؤشرات فى كل صف من صفوف المرحلة الثانوية (٧-٩):

المعيار	عدد المؤشرات	الصف											
		الأول الثانوى				الثانى الثانوى				الثالث الثانوى			
		متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪	متوافر	٪	غير متوافر	٪
المجموع	120	5	4%	115	96%	1	1%	119	99%	3	3%	117	97%

ويتضح من الجدول (١١) أن النسبة الكلية المتوافرة من المؤشرات كانت ٤٪ للصف الأول الثانوي، و١٪ للصف الثاني الثانوي، و٣٪ للصف الثالث الثانوي من العدد الكلي للمؤشرات التي يجب توافرها بالمرحلة؛ وهى تعكس نسبًا منخفضة؛ مما يعني تدني مستوى تضمين منهج العلوم بالمرحلة الثانوية بالصفوف الثلاثة؛ تلك المبادئ.

وإجمالا؛ فى ضوء النتائج السابقة لتحليل مناهج العلوم فى مراحل التعليم قبل الجامعى الثلاثة؛ يتضح صحة فرض الدراسة؛ وهو: "مستوى معالجة مبادئ الكيمياء المستدامة، وتضمينها في مناهج العلوم بمراحل التعليم قبل الجامعي دون المستوى المطلوب أقل من (٥٠٪).

وللإجابة عن السؤال الرابع للدراسة؛ والذي نصه: " ما التصور المقترح القائم على مبادئ الكيمياء المستدامة؛ لتطوير مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى؟"

وضعت الباحثة تصورًا مقترحًا لمناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعى فى ضوء مبادىء الكيمياء المستدامة، مستندًا إلى الأسس التى اعتمد عليها، وصوغ الأهداف العامة للمنهج، ونواتج التعلم المستهدفة، واختيار محتواه وتنظيمه، واقتراح استراتيجيات التعليم والتعلم، والأنشطة العلمية والتعليمية، وأساليب التقويم، ويمكن توضيح عناصره كما يلى:

- **أسس التصور المقترح:** أمكن تحديد الأسس التي يستند إليها التصور المقترح؛ فيما يلى:

  - المعايير العالمية مثل: معايير العلوم للجيل القادم NGSS، وما تتضمنه من معايير خاصة بالعلوم، والكيمياء، والاستدامة.

  - طبيعة الكيمياء المستدامة؛ كمجال علمي حديث يلقى عناية على مستوى العالم، وضرورة ترسيخ مفاهيمه، ومبادئه في سياق مرحلة التعليم قبل الجامعي.

- تضمين مبادئ الكيمياء المستدامة، والمفاهيم العلمية الأساسية التي أكدتها توصيات الدراسات، والبحوث المختلفة.
- ارتباط الكيمياء المستدامة بالتوجهات الحالية في التعليم بالمجتمع المصري؛ فيما يتعلق بقضايا الاستدامة، وضرورة ترسيخ المفاهيم، والمهارات، والاتجاهات المرتبطة بها.
- طبيعة المتعلمين في كل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعى، وخصائص نموهم.
- الحاجة إلى تطوير مناهج العلوم بشكل دوري، ومستمر؛ استجابةً للتوجهات العالمية الحديثة، ومتطلباتها؛ وبخاصة الاستدامة.
- طبيعة المجتمع المصري، وحاجته إلى مناهج تعليمية تعكس متطلباته، وتسهم في إعداد المواطن الصالح الذي له دور فعال في مجتمعه.
- تطبيق مدخلى: السياق، والمجتمع، ومبادئ النظرية البنائية في وضع عناصر التصور المقترح.

- **الأهداف العامة للتصور المقترح:** استهدف التصور المقترح تحقيق عدد من الأهداف العامة؛ هى:

- تعرف طبيعة الكيمياء المستدامة، وتاريخها، وأسباب تطورها.
- اكتساب المبادئ، والمفاهيم الرئيسة المرتبطة بالكيمياء المستدامة.
- معرفة دور الكيمياء المستدامة في معالجة كثير من المشكلات، والقضايا البيئية: المحلية، والعالمية.
- تنمية الوعي بمفهوم الاستدامة، ودور الكيمياء المستدامة في تحقيقها.
- توضيح أهمية التقنيات الحديثة فى إجراء التفاعلات الكيميائية.
- تقدير دور العلم، والعلماء في حل المشكلات البيئية على المستويين: المحلى، والعالمي.
- تنمية المهارات، والاتجاهات لدى الطلاب نحو المحافظة على البيئة، وحمايتها من التلوث، وحل بعض المشكلات البيئية.

- **نواتج التعلم:** شملت نواتج التعلم بالتصور المقترح المجالات: المعرفية، والمهارية، والوجدانية؛ بحيث تراعى الأهداف المرجو اكتسابها من قبل طلاب كل مرحلة، والتى تسهم - بصورة مباشرة - في تنمية مبادئ الكيمياء المستدامة، ومفاهيمها.

- **المحتوى:** حُددت موضوعات محتوى التصور المقترح، وقد شملت هذه الموضوعات المفاهيم الواردة بقائمة المعايير والمؤشرات المقترحة فى ضوء مبادىء الكيمياء المستدامة، مع مراعاة التكامل، والتناسق، والتتابع المنطقى فى عرض المحتوى عبر المراحل المختلفة من خلال تصميم مصفوفة المدى، والتتابع.

- **استراتيجيات التعليم، والتعلم:** ارتكزت استراتيجيات التعليم، والتعلم؛ لتدريس موضوعات التصور المقترح؛ على الفكر البنائي؛ ليكون المتعلم محور العملية التعليمية، وتتاح له فرص

المشاركة النشطة في عمليتي: التعليم والتعلم، وما تتضمنه من البحث، والاستقصاء، والتعلم التعاوني، وحل المشكلات، والمشروعات ... إلى غير ذلك.

– **الأنشطة العلمية، والتعليمية**: ركز التصور المقترح على استخدام المتعلمين أنشطة علمية، وتعليمية متنوعة؛ منها: كتابة التقارير العلمية، والبحث في شبكة الإنترنت وقواعد البيانات العالمية، وتصميم المجسمات والعينات، وقراءة بعض المقالات عن الكيمياء المستدامة وتطبيقاتها في المجالات المختلفة.... إلى غير ذلك.

– **أساليب التقويم المستخدمة**: تنوعت أساليب التقويم، وأدواته المقترحة؛ فتضمنت الاختبارات التحريرية: المقالية، والموضوعية، وبطاقات الملاحظة، وملفات الأداء، وكتابة التقارير، والأبحاث، والمشروعات العلمية.

وقدم التصور المقترح في صورة وحدات مستقلة؛ لكل صف دراسي بكل مرحلة من مراحل التعليم قبل الجامعي: الإبتدائي، والإعدادي، والثانوي بمجموع (٩) سنوات دراسية (ملحق ٢).

تعليق عام على نتائج الدراسة:

يتضح من النتائج السابقة تنوع المعايير التي يجب أن تتناولها مناهج العلوم بمرحلة التعليم قبل الجامعي، وشمولها مبادئ الكيمياء المستدامة، وأن هذا العلم يجب أن يلقى العناية؛ لترسيخ مبادئه، ومفاهيمه في مناهج العلوم، وإكسابها للطلاب.

ويتضح من نتائج تحليل مناهج العلوم في المرحلة الإبتدائية أنها كانت الأعلى توافرًا في مؤشرات المعايير بنسبة (٢٣٪) عن المرحلة الإعدادية (٦٪) والثانوية (٣٪)، وذلك نظرًا لتطوير مناهج العلوم للصفوف (الرابع الإبتدائي: الفصلين الدراسيين الأول، والثاني، والصف الخامس: الفصل الدراسي الأول)، والتي ارتكزت في رؤيتها على العناية بأبعاد التنمية المستدامة – بوجه عام – في تناولها موضوعات كالتلوث، والموارد المتجددة.

كما نلاحظ من نتائج تحليل مناهج العلوم في المرحلة الإعدادية، والكيمياء في المرحلة الثانوية عدم وجود أي عنوان رئيس أو فرعي في محتواها؛ تضمن موضوعات كاملة تعكس مبادىء الكيمياء المستدامة، ومفاهيمها المرتبطة بشكل مباشر، وكل نسب التوافر للمؤشرات التي وُردت كانت إشارات ثانوية، أو مجرد أمثلة، وتطبيقات إثرائية لموضوعات أخرى.

وإجمالًا عكست نتائج تحليل أهداف مناهج العلوم، ومحتواها، وأنشطتها، وتدريباتها في صفوف مرحلة التعليم قبل الجامعي؛ أن هناك ضعفًا في تناول هذه المناهج مبادىء الكيمياء المستدامة، وهو ما استُدل عليه من انخفاض نسب توافر المعايير، وما تتضمنها من مؤشرات عن الحد الأدنى المقبول، وهذا يتفق بوجه عام مع دراسات كل من:

Armstrong (2021)؛ Linkwitz & Eilks (2022)؛ ومحمد (٢٠٢٠)؛ والبلطان (٢٠٢١).

وقد ينعكس هذا القصور بصورة سلبية في تعلم الطلاب لمجال علمي حديث من مجالات علم الكيمياء؛ نظرًا لأهمية مرحلة التعليم قبل الجامعي كمرحلة تأسيس للمفاهيم العلمية السليمة، وقد يعزو هذا التدني في تضمين مبادىء الكيمياء المستدامة في كتب العلوم إلى حداثة ظهور مجال الكيمياء المستدامة، ومبادئها على الساحة العالمية؛ مما أدى إلى أنها لم تأخذ الاهتمام الكافي – إلى الآن – من مخططي المناهج لتطبيقها بصورة ملائمة.

ومن ثم تستدعي تلك النتائج – بالضرورة – إعادة النظر في المناهج الحالية، وتطويرها في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة؛ ولذلك قدمت الدراسة تصورًا مقترحًا؛ لتطوير عناصرها التي تشمل: الأهداف، والمحتوى، واستراتيجيات التعليم، والتعلم، والأنشطة العلمية والتعليمية، وأساليب التقويم؛ حتى يمكن أن تؤدي دورها الفاعل في تنمية مبادئ الكيمياء المستدامة،

ومفاهيمها، وهو المتطلب الرئيس - كمجال علمى حديث فى علم الكيمياء - فضلاً عن دعم التنمية والاستدامة؛ وهى توجهات رئيسة على المستوى العالمى.

توصيات الدراسة:

في ضوء النتائج التى تم التوصل إليها؛ توصى الباحثة بما يلى:

- تطوير أهداف مناهج العلوم في مراحل التعليم قبل الجامعى في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، ومفاهيمها.
- تضمين المنهج موضوعات علمية خاصة بالكيمياء المستدامة، وحث الطلاب على المشاركة في الأنشطة الداعمة لها فى داخل المدرسة، وخارجها.
- تنويع مصادر التعليم، والتعلم المرتبطة بالكيمياء المستدامة.
- تطوير أنشطة التعليم، والتعلم التي تتيح فرص التعاون مع المؤسسات العلمية المختلفة فى مجال الكيمياء المستدامة؛ مثل: المشروعات، والبحوث، والندوات، وورش العمل.
- تطوير ممارسات المعلمين التدريسية، ودعمهم ممارسات الاستدامة؛ تطبيقًا لمبادئ الكيمياء المستدامة.
- تطوير أساليب التقييم الحالية، والعناية بالتقييم من أجل التعلم، والتقييم كتعلم، والتنويع في أدوات التقويم التى تركز على مختلف نواتج التعلم الملائمة لتنمية مبادىء الكيمياء المستدامة.
- عقد دورات للتنمية المهنية، تركز على الكيمياء المستدامة لمعلمي العلوم في المراحل المختلفة قبل الخدمة، وفي أثنائها.
- تطوير برامج محلية، وعالمية مناسبة للكيمياء المستدامة، وتحديد المفاهيم الأساسية، والأهداف، وطرق التدريس، وأساليب التقويم الملائمة.
- الإفادة من الممارسات العالمية للتعليم فى دمج الكيمياء المستدامة في مناهج الكيمياء، والمناهج الأخرى في المستويات التعليمية الثانوية، والجامعية، والتنمية المهنية.
- تضمين الكيمياء المستدامة؛ كعنصر أساسي في الجهود الأوسع؛ لتحويل التعليم في اتجاه اقتصادات ومجتمعات أكثر استدامة؛ من خلال التعاون الاستراتيجي مع البرامج؛ مثل: مبادرات اليونسكو للتعليم من أجل التنمية المستدامة، وغيرها من المنظمات العالمية.
- إشراك أصحاب المصلحة المحليين، والعالميين؛ بما في ذلك: القطاع الخاص، والأوساط الأكاديمية، والمجتمع المدني في تطوير، وتنفيذ استراتيجيات فعالة للكيمياء المستدامة.
- العناية بالأنشطة المعملية المستدامة، والتقنيات الحديثة لإجراء التفاعلات الكيميائية.
- العناية بإكساب الطلاب الاتجاهات، والسلوكيات البيئية المرغوبة، والمشاركة فى مناقشة قضايا البيئة، والمجتمع، والاقتصاد.

الدراسات، والبحوث المقترحة:

في ضوء نتائج الدراسة، والتوصيات التي طُرحت؛ تقترح الباحثة إجراء الدارسات الآتية:

- برنامج مقترح لدعم مبادئ الكيمياء المستدامة، ومفاهيمها لدى معلمى العلوم بالمراحل المختلفة.
- برنامج مقترح لتطوير تدريس العلوم بالمراحل المختلفة في ضوء مبادئ الكيمياء المستدامة، ومفاهيمها.
- تصميم وحدات من التصور المقترح، وتجريبها وبيان فاعليتها فى تنمية مفاهيم الكيمياء المستدامة، ومهارات التفكير المرتبطة بها، ومهارات القرن الحادى والعشرين؛ لدى طلاب المراحل المختلفة.
- تقويم مستوى وعى معلمى العلوم في المراحل المختلفة بمبادئ علم الكيمياء المستدامة، وتقنياته، ومستحدثاته.

المراجع

١. أبو الوفا، رباب. (٢٠١٨). فاعلية مقرر مقترح للكيمياء الخضراء قائم على مبادئ التربية من أجل التنمية المستدامة (ESD) في تنمية الثقافة الكيميائية لدى الطلاب المعلمين شعبة الكيمياء. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، ٢١(٢)، ١-٥٤. ١٠.٢١٦٠٨/MKTM.٢٠١٨.١١٣٥٤٦

٢. إسماعيل، ناريمان. (٢٠١٩). أثر وحدة مقترحة في الكيمياء الخضراء على تنمية الوعي الاقتصادي والاتجاه نحو دراستها لدى الطلاب المعلمين بكلية التربية. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، ٢٢(١)، ٩١-١٤٧. ١٠.٢١٦٠٨/MKTM.٢٠١٩.١١٣٧٩٨

٣. جامعة عين شمس. (٢٠١٩). *المؤتمر الدولي الثالث: "علم من أجل الحياة"*. ١٢-١٥ نوفمبر. https://www.asu.edu.eg/ar/130/event

٤. غانم، تفيدة. (٢٠١٥). وحدة مقترحة في التكنولوجيا الخضراء قائم على عملية التصميم التكنولوجي وفاعليتها في تنمية مهارات تصميم النماذج التكنولوجية واتخاذ القرار في مقرر العلوم البيئية لطلاب الصف الثالث الثانوي. *المجلة المصرية للتربية العلمية*، ١٨(١)، ١-٤١. ١٠.٢١٦٠٨/MKTM.٢٠١٥.١١٢٩٤٨

٥. البلطان، إبراهيم. (٢٠٢١). مستوى تضمنين موضوعات الكيمياء الخضراء محتوى كتب العلوم بالمرحلة المتوسطة فى المملكة العربية السعودية. *مجلة كلية التربية، جامعة المنوفية*، ٤(١). ٣٢٥-٣٧٥. ١٠.٢١٦٠٨/MUJA.٢٠٢١.٢١١٦١١

٦. الحربى، إيمان. (٢٠٢٠). فاعلية وحدة في الكيمياء الخضراء في تنمية الوعي بتطبيقاتها الحياتية ومهارات اتخاذ القرار لدى طالبات المرحلة الثانوية. *رسالة ماجستير غير منشورة*. كلية التربية، جامعة القصيم، السعودية.

٧. الشامى، سحر. (٢٠١٨). برنامج تنمية مهنية لمعلمي الكيمياء بالمرحلة الثانوية قائم على الكيمياء الخضراء وأثره على تنمية مهارات حل المشكلات واستيعاب مفاهيم البيئة. *رسالة دكتوراه غير منشورة*، كلية التربية، جامعة عين شمس.

٨. الشحرى، إيمان. (٢٠٢٠). وحدة مقترحة في" Bioplastics" في ضوء مبادئ الكيمياء الخضراء لتنمية مهارات المدافعة البيئية والاتجاه نحو الصحة الوقائية لدى طلاب المرحلة الثانوية. *مجلة كلية التربية، جامعة كفر الشيخ*، ١٩(٤). ٢٢٣-٢٨٠.

٩. الشناوى، نانيس. (٢٠٢٠). فاعلية برنامج مقترح في الكيمياء الخضراء في تنمية القيم البيئية لدى الطلاب المعلمين شعبة الكيمياء. *مجلة كلية التربية، جامعة بورسعيد*، العدد (٣٠)، ٢١١-٢٦١. ١٠.٢١٦٠٨/JFTP.٢٠٢٠.٢٦٥٨٦.١٠٣٧

١٠. محمد، كريمة. (٢٠٢٠). منهج مقترح فى العلوم قائم على مبادئ الكيمياء الخضراء وتطبيقاتها لتنمية الوعي بالاستدامة البيئية والتفكير الإيجابى لدى تلاميذ المرحلة الإعدادية. *مجلة كلية التربية فى العلوم التربوية*. ٤٤(٤)، ٢٠٩-٣١٤. ١٠.٢١٦٠٨/JFEES.٢٠٢٠.١٥٢٣٨٧.

11.Agbayewa, J., Oloruntegbe, K., Alake, E. (2013). Incorporating Green Chemistry Concepts into the Senior Secondary School Curriculum. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education* (IJCDSE), 3 (3), 1490-1494. DOI: 10.20533/ijcdse.2042.6364.2013.0209

12. Anastas, P. (2011). Twenty Years of Green Chemistry. *Chemical & Engineering News*, 89(26), 62–65. DOI: 10.1021/cen061611153356.

13.Anastas, P., & Beach, E. (2009). *Changing the Course of Chemistry*. In P. T. Anastas, I. J. Levy, & K. E. Parent (Eds.), Green Chemistry Education (pp. 1–18). American Chemical Society. DOI: 10.1021/bk-2009-1011.ch001.

14. *Anastas, N., & Maertens, A. (*2018*).* Integrating the principles of toxicology into a chemistry curriculum*. In B. Török, T. Dransfield (Eds), Green Chemistry: an inclusive approach (pp.* 91-108*). Elsevier. https://doi.org/*10.1016/*B*978-0-12-809270-5.00004-2.

15. Anastas, P., Warner, J. (1998). *In Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press. https:// global.oup.com/academic/product/green-chemistrytheory-and-practice-9780198506980?cc=ch&lang=en&.

16. Anastas, P., Zimmerman, J. (2018). The United Nations sustainability goals: how can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13:150–153. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.017

17. *Andraos, J., & Dicks, A. (2015*). The State of Green Chemistry Instruction at Canadian Universities*. In V. Zuin & L. Mammino (Eds.), Worldwide Trends in Green Chemistry Education (pp. 179–212). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781782621942-00179*.

18. Andraos, J., & Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: A review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 69–79. https://doi.org/10.1039/C1RP90065J.

19. Armstrong, L. (2021). *The green (chemistry) environment: Developing and assessing green chemistry curricula and student outcomes in the general chemistry laboratory.* PhD dissertation. University of California, Berkeley. ProQuest Number: 28499453. https://www.proquest.com/docview/2572620611

20. Armstrong, L., Rivas, M., Douskey, M., & Baranger, A. (2018). Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 61–67. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.003
21. Asveld L. (2019). Towards including social sustainability in green and sustainable chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 19, 61-65. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.06.001.
22. Blum C., Bunke D., Hungsberg M., Roelofs E., Joas A., Joas R., Blepp M., Stolzenberg H. (2017). The concept of sustainable chemistry: key drivers for the transition towards sustainable development. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 5,94–104. https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.01.001
23. Bodner, G. (2017). The quadruple bottom line: The advantages of incorporating Green Chemistry into the undergraduate chemistry major. *Physical Sciences Reviews,* 2(9), 1-3. https://doi.org/10.1515/psr-2017-0003.
24. Burmeister, M. & Eilks, I. (2012). An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to education for sustainable development in secondary school chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice, 13*, 93-102. https://doi.org/10.1039/C1RP90067F
25. Burmeister, M., Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice, 13,* 59-68. https://doi.org/10.1039/C1RP90060A
26. Caruana, M. (2015). *Greening the chemistry curriculum in maltese educational institutions: The reaction of pre-university students to the introduction of green chemistry: A case study from malta.* University of York.PhD dissertation. ProQuest Number: 10089786. https://www.proquest.com/docview/1779543344.
27. Centi, G., Perathoner, S. (2009). *From Green to Sustainable Industrial Chemistry*. In F. Cavani, G. Centi, S. Perathoner, F. Trifiro (Eds), Sustainable Industrial Chemistry (pp 1-72). Wiley-VCH: Weinheim, Germany. https://doi.org/10.1002/9783527629114.ch1
28. Constable, D. (2021). Green and sustainable chemistry - The case for a systems-based, interdisciplinary approach. *iScience*, 24(12): :103489. https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103489.

29. Eissen, M. (2012). Sustainable production of chemicals – an educational perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 103–111. https://doi.org/10.1039/C2RP90002E

30.Elschami, M. & Kümmerer, K. (*2020*). Design of a Master of Science Sustainable Chemistry. *Sustainable Chemistry and pharmacy*, *17*, *1-10*. **https://doi.org/***10.1016/*j.scp*.2020.100270*.

31.Elsevier. (2022). *7th Green & Sustainable Chemistry Conference*. 22-24 May. Available Online: https://www.elsevier.com/events/conferences/green-and-sustainable-chemistry-conference

32.Epicoco, M., Oltra, V., & Jean, M. (2014). Knowledge dynamics and sources of eco-innovation: Mapping the Green Chemistry community. *Technological Forecasting & Social Change*, 81, 388–402. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.006.

33.Etzkorn, F. & Ferguson, J. (2022). Integrating Green Chemistry into Chemistry Education. *Angewandt,* 62(2). https://doi.org/10.1002/anie.202209768

34.Ganarajan, S. & Ashok, K. (2021). Sprouting "sustainability" in chemical sciences curriculum. *Environment, Development and Sustainability,* 23, 11012–11024. https://doi.org/10.1007/s10668-020-01102-4 .

35.Goes, L., Leal, S., Corio, P. & Fernandez, C. (2014). *Pedagogical content knowledge aspects of green chemistry of organic chemistry university teachers*. In: C Constantinou, N Papadouris, A Hadjigeorgiou (Eds), E-Book Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research for Evidence-based Teaching and Coherence in Learning (pp. 2803-2813). European Science Education Research Association. https://www.academia.edu/53955821/Pedagogical_content_knowledge_aspects_of_green

36.Graham, K., Jones, T., Schaller, C., & McIntee, E. (2014). Implementing a Student-Designed Green Chemistry Laboratory Project in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1895–1900. https://doi.org/10.1021/ed5000394

37.Haack, J., & Hutchison, J. (2016). Green Chemistry Education: 25 Years of Progress and 25 Years Ahead. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(11), 5889–5896. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02069.

38.Holfelder, A. (2019). Towards a sustainable future with education? *Sustainability Science* 14, 943–952. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00682-z

39.Hutzinger, O. (1999). The greening of chemistry-Is it sustainable?. *Environmental Science and Pollution Research,* 6,123. https://doi.org/10.1007/BF02987605.

40.Karpudewan, M., Roth, W. & Ismail, Z. (2015). The Effects of "Green Chemistry" on Secondary School Students' Understanding and Motivation. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 24, 35–43. https://doi.org/10.1007/s40299-013-0156-z.

41.Karpudewan, M., Roth, W., & Sinniah, D. (2016). The role of green chemistry activities in fostering secondary school students' understanding of acid–base concepts and argumentation skill. *Chemistry Education Research and practice*, 17, 893-901. https://doi.org/10.1039/C6RP00079G

42.Khuong, K. (2017). Greener Oxidation of Benzhydrol: Evaluating Three Oxidation Procedures in the Organic Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 534–537. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00433

43.Koulougliotis, D., Antonoglou, L., & Salta, K. (2021). Probing Greek secondary school students' awareness of green chemistry principles infused in context-based projects related to socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 43(2), 298-313. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1867327

44.Kümmerer K. (2017). Sustainable chemistry: a future guiding principle. (2017). *Angewandte Chemie International edition,* 56(52), 16420 -16421. https://doi.org/10.1002/anie.201709949.

45.Kümmerer, K., Clark, J., & Zuin, V. (2020). Rethinking chemistry for a circular economy. *Science*, 367(6476), 369–370, DOI: 10.1126/science.aba4979.

46.Lee, N., Gurney, R., & Soltzberg, L. (2014). Using Green Chemistry Principles as a Framework To Incorporate Research into the Organic Laboratory Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 91(7), 1001–1008. https://doi.org/10.1021/ed300283y

47.Linkwitz, M., Eilks, I. (2020). *Greening the Senior High School Chemistry Curriculum: An Action Research Initiative*. In S. Obare, C. Middlecamp & K. Peterman (eds), Chemistry Education for a Sustainable Society. Volume 1: High School, Outreach, & Global Perspectives (pp 55-68). ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC,. DOI: 10.1021/bk-2020-1344.ch005.

48.Linkwitz, M.; Eilks, I. (2022). An Action Research Teacher's Journey while Integrating Green Chemistry into the High School Chemistry Curriculum. *Sustainability*, 14(17), 10621. https://doi.org/10.3390/su141710621.

49.Machado, A. (2015). *Holistic Green Chemistry Metrics for Use in Teaching Laboratories*. In V. Zuin & L. Mammino (Eds.), Worldwide Trends in Green Chemistry Education (pp. 111–136). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781782621942-00111

50.Manahan, S. (2011). *Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability*. 3rd ed. U. S.A: ChemChar Research, Inc. Publishers.

51.Marco, B., Rechelo, B., Tótoli, E, Kogawa, A., & Salgado,H. (2019). Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011.

52.Marteel-Parrish, A., & Newcity, K. (2017). Highlights of the Impacts of Green and Sustainable Chemistry on Industry, Academia and Society in the USA. *Johnson Matthey Technology Review*, 61(3), 207–221. https://doi.org/10.1595/205651317X695776

53.Matlin, S., Mehta, G., Hopf, H., & Krief, A. (2015). The Role of Chemistry in Inventing a Sustainable Future. *Nature Chemistry*, 7, 941–943. https://doi.org/10.1038/nchem.2389.

54.Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (1998). *Sustainable Chemistry*. Paris, France. (Accessed July 20, 2022). https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/29361016.pdf

55.Purcell, S., Pande, P., Lin, Y., Rivera, E., Paw, L., Smallwood, L., Kerstiens, G., Armstrong, L., Robak, M., Baranger, A., & Douskey, M. (2016). Extraction and Antibacterial Properties of Thyme Leaf Extracts: Authentic Practice of Green Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(8), 1422–1427. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00891

56.Rauch, F. (2015). Education for Sustainable Development and Chemistry Education. In V. Zuin & L. Mammino (Eds.), Worldwide Trends in Green Chemistry Education (pp. 16–26). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781782621942-00016

57.Rosa, R., Pini M., Cappucci, G. & Ferrari, A. (2022). Principles and indicators for assessing the environmental dimension of sustainability within green and sustainable chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 37, 100654. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100654

58. Saleh, H., Koller. M. (2018). *Introductory Chapter: Principles of Green Chemistry.* In H. Saleh & M. Koller (Eds.), Green Chemistry (PP: 3-13). INTECH. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71191

59.Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E.; Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S., de Vries, W., de Wit, C., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G., Persson, L., Ramanathan, V, Reyers, B, Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736–747. DOI:10.1126/science.125985.

60.UNESCO. (2005). *UN Decade of Education for Sustainable Development, 2005-2014: the DESD at a glance*. (Accessed October 25, 2022). https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141629

61.United Nations [UN]. (2015). *Transforming our world. The 2030 agenda for sustainable development*. (Accessed August 20, 2022). https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication.

62.United Nations Environment Programme [UNEP]. (2019). *Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions - Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*. (Accessed July 10, 2022). https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/policy-and-governance/global-chemicals-outlook

63.United Nations Environment Program [UNEP]. (2020). *UN environment program: Green and sustainable chemistry framework manual.* (Accessed July 15, 2022). https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34338

64.Zuin V., Eilks I., Elschami M., Kümmerer K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23, 1594–1608. https://doi.org/10.1039/D0GC03313H.

65.Zuin, V., Kümmerer, K. (2021). Towards more sustainable curricula. *Nature Reviews Chemistry,* 5, 76–77. https://doi.org/10.1038/s41570-021-00253-w