الكيمياء الخضراء

أصبحت التنمية المستدامة الآن من الأمور المسلم بها من قبل الحكومات، ورجالات الصناعة، والجمهور؛ لكونها وسيلة ضرورية لتحقيق الأهداف الاقتصادية والبيئية للمجتمعات البشرية. وفي هذا الإطار، فإن للكيمياء دورا مهمّا في الحفاظ على نوعية الحياة وتحسين مستوى المعيشة والبيئة الطبيعية، فضلا عن دورها في تحقيق القدرة التنافسية للصناعات الكيميائية. ومن المؤسف أن هذا الدور الذي تلعبه الكيمياء في حياتنا المعاصرة لم يتم التعرف عليه أو تقديره - بوجه عام - من قبل الحكومات أو عامة الناس؛ حيث ينظر الكثيرون للكيمياء والمواد الكيميائية والكيميائيين باعتبارهم سببا للمشكلات البيئية[1] التي نعاني من آثارها حاليا، كالتلوث، واستنزاف الموارد، وفقدان التنوع الأحيائي، والاحتباس الحراري.

إن الكيمياء شأنها شأن أي اختراع علمي يمكن أن تكون مفيدة أو أن تكون ضارة، ويرجع ذلك إلى الإنسان نفسه، الذي يمكن له أن يوظّفها فيما ينفع أو يؤذي. وقد أسهمت الكيمياء الحديثة في تغيير أنماط حياتنا، بما وفرته لنا من منتجات عديدة أسهمت بدور حيوي في توفير الغذاء والكساء والدواء ومتطلبات المعيشة الأخرى من مساكن وأماكن ترويح وغيرها. كما أن بعضها أسهم في حدوث التلوث البيئي بسبب أخطاء بشرية في التعامل مع المواد الكيميائية، إما بوضعها في غير مكانها المناسب، أو لاستخدامها بقدر غير مناسب، أو لعدم استخدام ما هو مناسب منها.

وفي الواقع، فإنه لا توجد مواد كيميائية غير ضارة بالبيئة، ولكن توجد مواد معروفة بأنها أكثر سمية للإنسان وأكثر ضررا بالبيئة عن مواد أخرى. وباستخدام المعلومات الكثيرة المتاحة لنا عن المركّبات الكيميائية المتنوعة، التي لها تأثير على صحة الإنسان، ولها تأثير بيئي ضار، يستطيع الكيميائيون أن يختاروا المركبات الملائمة للاستخدام في

(1) James H. Clark, **Green Chemistry: Challenges and Opportunities**, Green Chemistry, February 1999, Page 1.

عمليات التخليق الصناعي[1]. وقد كان ذلك وراء تبنّي ما عُرِف باسم الكيمياء الخضراء.

• ما هي الكيمياء الخضراء؟

الكيمياء الخضراء هي فرع حديث من فروع علم الكيمياء، يعنى بالبحث عن وسائل نظيفة وصديقة للبيئة؛ للحيلولة دون زيادة تردي الوضع البيئي. وإن المنتظر من هذا العلم حاليًا أن يعمل على توفير هذه الاحتياجات دون الإضرار بالبيئة والإنسان. ولهذا، فإن علم الكيمياء الخضراء يهدف إلى:

1 - تقليل الانبعاثات الناتجة عن عمليات التصنيع الكيميائي الأخرى إلى أقل مدى ممكن.

2 - ابتكار مواد كيميائية جديدة مفيدة للبيئة.

3 - إنتاج مواد كيميائية تعمل كبدائل للمواد الكيميائية الأخرى التي تعود عمليات تصنيعها بنتائج سلبية على البيئة، أو تعمل كبدائل للمواد الكيميائية المستخلصة من الأنواع الحية المهددة بالانقراض مثل زيت كبد الحوت التي تنذر عمليات استخلاصه من الحيتان وأسماك القرش بانقراض تلك الأنواع بشكل تام خلال عقود قليلة[2].

وتعرّف الكيمياء الخضراء بأنها "تصميم العمليات والمنتجات الكيميائية التي تتصف بكونها أكثر أمانا بطبيعتها وأكثر استدامة". كما عرّفها الكيميائيان بول أنستاس Paul Anastas وجون وارنر John Warner في كتابهما المنشور عام 1998م تحت عنوان (الكيمياء الخضراء: النظرية والتطبيق Green Chemistry: Theory and Practice) على أنها "استخدام مجموعة من المبادئ التي تقلل أو تلغي استخدام أو توليد المواد

(1) مركز الأمن والسلامة البيئية، **الكيمياء الخضراء**، كلية التربية، جامعة عين شمس، مشروع تطوير الوعي البيئي من خلال مدرسي المستقبل بمصر، بدون تاريخ، صفحة 12.

(2) https://ar.wikipedia.org/wiki/ %D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D8%AE%D8%B6%D8%B1%D8%A7%D8%A1

الخطرة في أي من عمليات تصميم، أو تصنيع، أو استخدام المنتجات الكيميائية"[1]. ويمكننا القول بأن الكيمياء الخضراء، هي تصميم الطرق الكيميائية وتنفيذها لإنتاج المُركّبات والمواد الكيميائية بشكل يخفف أو يمنع استخدام مواد خطرة أو إنتاجها. أي أن الكيمياء الخضراء تسعى لجعل علم الكيمياء علما متكاملا عن طريق تقليل ما يسببه التصنيع الكيمائي للصناعات الصيدلانية والدوائية وصناعات البترول والبلاستيك من تلوث، وذلك بمنع تكون هذا التلوث في المقام الأول[2].

• نبذة تاريخية عن الكيمياء الخضراء

مرّت الكيمياء الخضراء تاريخيا بمراحل عديدة، حتى ظهرت إلى حيز الوجود فعليا في تسعينيات القرن الماضي. ولأن لا شيء في مجال العلم يبزغ فجأة؛ فقد سبقها الكثير من الدراسات التي شكّلت الأسس المتينة التي بُني عليها هذا العلم الجديد، والتي نرى بأنها كانت البدايات المبكّرة للكيمياء الخضراء. وقد كان صدور كتاب (الربيع الصامت Silent Spring) لعالمة الأحياء الأمريكية (راشيل كارسون Rachel Carson) في عام 1962 بمنزلة أول جرَس إنذار مبكّر للمجتمع الكيميائي؛ حيث عرضت مؤلفته فيه ما حدث من دمار للأنظمة البيئية المحلية من جراء استخدام بعض المواد الكيميائية (مثل مادة د. د. ت DDT). وقد دعت (كارسون) في كتابها إلى أن نأخذ بعين الاعتبار سُمِّيَّة المركبات الكيميائية التي تستخدم في حياتنا، وأن نبذل ما في وسعنا للحدّ من خطرها على الإنسان وعلى الأنظمة البيئية. تقول في هذا الكتاب: «إن المخاطرة بالكثير في إطار جهودنا المبذولة لإخضاع الطبيعة لرضانا، والإخفاق في تحقيق هدفنا، سيكون هو السخرية الأخيرة. ومع ذلك، يبدو أن هذا هو وضعنا. وهذه هي الحقيقة التي نادرًا ما تُذكر ولكنها موجودة، هي أن الطبيعة لا يمكن إخضاعها»[3].

وقد كان كتاب (كارسون) وراء ظهور الحركة البيئية الحديثة ونشوء المنظمات المنادية بحماية البيئة. ففي عام 1969، اعترف الكونجرس الأمريكي بأهمية هذه القضية، ومن ثم أصدر قانون السياسة البيئية الوطنية National Environmental Policy Act (NEPA)، بهدف خلق وتهيئة الظروف التي تجعل الإنسان في وئام

(1) Melissa Coffin, Amy Cannon and Claudie Grout, **Worker and Environmentalist Green Chemistry Awareness**, The New England Consortium, University of Massachusetts Lowell, Lowell, MA, USA, 2013, Page 7.

(2) https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D8%AE%D8%B6%D8%B1%D8%A7%D8%A1

(3) Joel Hagen, Douglas Allchin & Fred Singer, **Doing Biology**, Benjamin Cummings, San Francisco, USA, 1997, Pages 185: 195 .

مع الطبيعة. وفي عام 1970، أنشأ الرئيس الأمريكي ريتشارد نيكسون وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)، بهدف اتخاذ التدابير اللازمة لحماية صحة الإنسان والبيئة. وكان أول قرار كبير اتخذته هذه الوكالة هو حظر استخدام مادة د. د. ت DDT والمبيدات الكيميائية الأخرى. وفي عام 1974م، أقر الكونجرس الأمريكي سلسلة من القوانين التنظيمية للحد من الأثر البيئي للتلوث، مثل قانون المياه الصالحة للشرب. Safe Drinking Water Act وفي أواخر عقد السبعينيات، ومع اكتشاف تسرب المواد الكيميائية السامة إلى التربة والمياه الجوفية من براميل النفايات الخطرة التي ألقيت على مدى عدة عقود سابقة في (لاف كنال Love Canal) بمنطقة شلالات نياجرا، ازدادت حدة الهجوم على الصناعات الكيميائية التقليدية.

وحتى عقد الثمانينيات، تركّزت جهود وكالة حماية البيئة الأمريكية والصناعات الكيميائية أساسا على تنظيف البيئة من الملوثات والسموم (التوكسينات toxins) الواضحة. ثم كان التحول الكبير الذي حدث بين الكيميائيين، الذين عاصروا فترة نمو الوعي البيئي، فبدأوا يبحثون عن السبل الكفيلة بمنع التلوث في المقام الأول. كما بدأت الحكومات ومسئولو الصناعات الكيميائية في إجراء محادثات دولية بشأن معالجة مشكلة المواد والنفايات الخطرة، والبحث عن حلول وقائية لها.

وعقدت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، وهي هيئة دولية تضم في عضويتها أكثر من 30 بلدا صناعيا، عدة اجتماعات في عِقد الثمانينيات لمعالجة المشكلات البيئية الناجمة عن الصناعات الكيميائية البنية (أي الملوثة للبيئة)، وأصدرت هذه المنظمة سلسلة من التوصيات الدولية التي تركّز على إحداث تغيير في العمليات الكيميائية لمنع التلوث، ومن ثم أخذ الكيميائيون يتطلعون إلى التحول من معالجة التلوث إلى منع التلوث. وفي عام 1988 أنشئ مكتب منع التلوث والمواد السامة Office of Pollution Prevention and Toxics في وكالة حماية البيئة الأمريكية لتيسير تحقيق هذه الأهداف البيئية[1]. ومع ذلك، فإن كل الجهود والطرق المقترحة لعلاج مشكلة النفايات الخطرة لم تكن كافية للحد من الوضع الكارثيّ الذي يُنذر بأن الأرض لن تكون مكانًا آمنًا للعيش خلال الألفية الجديدة. فالفجوة العميقة الموجودة بين الوضع البيئي والوضع الصناعي والاقتصادي، لا يمكن الحدّ منها وتقليصها إلا من خلال تطوُّر وتبنّي علم جديد سُمِّي بـ"الكيمياء الخضراء"[2].

ويُعتبر (قانون منع التلوث)، الذي صدر بالولايات المتحدة الأمريكية سنة 1990،

(1) http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html

(2) Joel Hagen, Douglas Allchin & Fred Singer, **Doing Biology**, Op. Cit., Pages 185: 195 .

نقطة انطلاق للكيمياء الخضراء وتطبيقاتها. فقد استهدف هذا القانون حماية البيئة عن طريق تخفيض الانبعاثات الضارة من المصدر نفسه[1]، أي القضاء على التلوث خلال أو بعد تشكُّلِه في أول ظهور له قبل انتقاله إلى البيئة؛ حيث يصبح من الصعب آنذاك القضاء عليه. وبموجب القانون المذكور قامت حكومة الولايات المتحدة بتقديم منح لتطوير المنتجات الكيميائية من خلال المعاهد والجامعات المختلفة لتقليل مخاطر تلك المواد. وتطورت أهداف المنح المقدمة لإنتاج مواد كيميائية تعمل على معادلة المواد الضارة وتقليل التلوث ووضع بدائل للمواد الكيميائية التي تؤدي عمليات استخلاصها إلى تلويث البيئة[2]. ومن ثم بدأ اعتماد برنامج وسياسات الكيمياء الخضراء في الولايات المتحدة الأمريكية، وتبعتها في ذلك بعض الدول الأوروبية واليابان. وشهدت فكرة منع التلوث قبولا سريعا، وارتفعت أصوات المنادين بإنشاء الكيمياء الخضراء كحقل علمي شرعي. والجدير بالذكر أن الكيميائي بول أنستاس Paul Anastas هو أول من وضع مصطلح الكيمياء الخضراء، وكان ذلك في عام 1991 م؛ حيث كان يعمل وقتذاك في وكالة حماية البيئة الأمريكية[3].

وفي وقت مبكر من عقد التسعينيات، نشر مجلس الكيمياء الأوروبي عدة بحوث عن هذا الموضوع، مثل: (الكيمياء من أجل عالم نظيف Chemistry for a Clean World). وبناء على هذه الأفكار، عُقِدت في عام 1994 ندوة عن الكيمياء الخضراء في شيكاغو، برعاية شعبة الكيمياء البيئية في الجمعية الكيميائية الأمريكية. وفي عام 1995، تلقت وكالة حماية البيئة الأمريكية دعماً من الرئيس بيل كلينتون لإنشاء برنامج الجوائز السنوية لتسليط الضوء على الابتكارات العلمية في الأوساط الأكاديمية والصناعية في مجال الكيمياء الخضراء. وأسهم ذلك في إثراء عملية البحث العلمي في الكيمياء الخضراء. وفي عام 1997 أنشأت جامعة ماساتشوستس في بوسطن أول برنامج للدكتوراه في حقل الكيمياء الخضراء. وفي العام نفسه، وبالتعاون مع وكالة حماية البيئة الأمريكية، قام الدكتور جو برين Joe Breen والكيميائي دينيس هيرسين Dennis Hjeresen بتأسيس معهد الكيمياء الخضراء (GCI) كمنظمة مستقلة غير ربحية. وفي عام 1997، بدأ هذا المعهد في عقد مؤتمر الكيمياء الخضراء والهندسة بصورة سنوية. وفي عام 1998 قام بول أنستاس Paul Anastas وجون وارنر John C.

(1) J. A. Linthorst, **An Overview: Origins and Development of Green Chemistry**, Springer, New York, USA, October 2009, Page 4 .

(2) https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D8%AE%D8%B6%D8%B1%D8%A7%D8%A1

(3) Paul T. Anastas and Julie B. Zimmerman (editors), **Innovations in Green Chemistry and Green Engineering**, Springer, New York, USA, 2013, Page 2.

Warner بتأليف كتاب (الكيمياء الخضراء: النظرية والتطبيق)، الذي كان فتحا علميا في هذا المجال، لاسيما وأنه تضمّن المبادئ الاثني عشر للكيمياء الخضراء، وقد كان هذا الكتاب في ذلك الوقت دافعا ومحركا للعلماء والأكاديميين والصناعيين للبحث والتطوير في مجال الكيمياء الخضراء .

وفي عام 2001، أصبح معهد الكيمياء الخضراء جزءا من الجمعية الكيميائية الأمريكية، أكبر تنظيم علمي للكيميائيين في العالم. كما فاز بعض الباحثين في الكيمياء الخضراء بجائزة نوبل في الكيمياء في عامي 2001 (وهم: نولز Knowles، ونويوري Noyori، وشاربلس Sharpless) و 2005 (وهم: شوفين Chauvin، وجرابز Grubbs، وشروك Schrock). وساعدت جوائز نوبل هذه على ترسيخ أهمية البحث في الكيمياء الخضراء، وأسهمت في خلق وعي أكبر لدى العلماء بأن الكيمياء الخضراء هي المستقبل. وإثر ذلك، انتشرت في جميع أنحاء العالم جمعيات ومجلات ومؤتمرات التي تعنى ببحث قضايا الكيمياء الخضراء، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:

1. شبكة دول البحر المتوسط للكيمياء الخضراء (MEGREC).
2. مجلة الكيمياء الخضراء بالمملكة المتحدة.
3. شبكة الكيمياء الخضراء والمستدامة في اليابان.
4. مركز الكيمياء الخضراء في جامعة موناش Monash University باستراليا.

وفي السنوات الأخيرة، نجحت عدة شركات في تطبيق مبادئ الكيمياء الخضراء، وأصبحت تبيع كل منتج أخضر، أو تقدم حلولا مستدامة لقضايا بيئية اعتمادا على هندسة الكيمياء الخضراء[1].

وعلى الرغم من أن تاريخ الكيمياء عريق، فإننا نلاحظ أن تبني مشروعات الكيمياء الخضراء وسياساتها قد تأخر كثيرا، حتى العقد الأخير من القرن العشرين الميلادي. والتفسير الوحيد لذلك هو أنّ التشريعات والقوانين التي وُضعت لاستخدامات المواد الكيميائية لم تكن موجودة قبل ستينيات القرن الماضي، وكذلك المعرفة الدقيقة ببنية المركبات الكيميائية وسُمِّيّتها، وإمكانية تصميم طرق وجزئيّات كيميائية خضراء صديقة للبيئة، لم تكن مكتملة كما هي اليوم؛ حيث أصبح علم الكيمياء بكل فروعه علمًا ناضجًا، والمكتبات العلمية اليوم تتوفر على عدد كبير من المراجع والأبحاث العلمية التي تَدْرس سُمِّية المركبات الكيميائية مما يجعل تجنُّب استخداماتها ممكنًا. كما أن توجُّه المجتمع الكيميائي نحو إيجاد طرق كيميائية لمعالجة النفايات وتخفيف

(1) http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html

الأثر البيئي للملوثات لم يكن دائمًا الحلّ الأقل تكلفة من الناحية الاقتصادية. وقد رجّحت هذه الإشكالية كثيرًا الكفّةَ لصالح الكيمياء الخضراء ومبادئها، التي بإمكانها تحقيق "تصنيع كيميائي مثالي"[1].

● أهمية الكيمياء الخضراء

مع وجود ما يقرب من مائة ألف مادة كيميائية سامة معروفة تستخدم في الإنتاج اليوم، هناك حاجة إلى اتباع نهج شامل للحدّ من استعمال هذه المواد أو منع إنتاجها وحظر استعمالها. فالكيمياء الخضراء هي حماية للبيئة على المدى الطويل. وهي تشجع على تحسين مستوى الصحة العامة، وتساعد على المحافظة على البيئة من أجل الأجيال القادمة. كما أنها تشجع العمليات الصناعية الأنظف والأقل تلويثا، وتضمن تحمّل المصنعين مسئولية المواد التي ينتجونها[2].

● الهدف من الكيمياء الخضراء

إن الهدف من الكيمياء الخضراء هو الحد من المخاطر طوال دورة حياة المادة الكيميائية، من خلال التركيز على مراعاة منع وقوع هذه المخاطر، اعتبارا من مرحلة التصميم، بدلا من السيطرة عليها أو معالجة المشكلات التي تنجم عنها لاحقا[3].

● مبادئ الكيمياء الخضراء

إن الحاجة الملحة لتحقيق تفاعلات وطرائق كيميائية أكثر أمانًا وأقل كُلْفة من الناحية الاقتصادية وصديقة للبيئة في آن واحد، أخضعَت الكيمياء - بمختلف فروعها - لتحسينات وتعديلات لم تطرأ عليها من قبلُ على مدى تاريخها الحافل، فاتجه المجتمع الكيميائي إلى تبنّي مبادئ الكيمياء الخضراء، والتي لخّصها الكيميائي (بول أناستاس) في 12 مبدأ في كتابه (الكيمياء الخضراء: النظرية والتطبيق)[4]:

1 - من الأفضل منع أو تقليل المخلّفات، بدلا من معالجتها والتخلص منها بعد تكوينها.

---

(1) Alan Harrison and James Clark, **Closed Loop Chemistry Closed Loop Chemistry: From Waste to Wealth Using Green Chemistry**, Green Chemistry Centre of Excellence, University of York, UK, 2007, Page 15.

(2) marshal Hall, Green Chemistry Initiative, California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA, USA,, 2009, Page 1.

(3) Melissa Coffin, Amy Cannon and Claudie Grout, **Worker and Environmentalist Green Chemistry Awareness**, Op. Cit., Pages 8: 9.

(4) Paul T. Anastas and John C. Warner, **Green Chemistry: Theory and Practice**, Oxford University Press, Oxford, UK: 1998, Page 30.

2 - من الأفضل تصميم طرق تحضير أو تصنيع المنتجات الكيميائية بصورة تجعل جميع المواد المتفاعلة تدخل في تركيب الناتج المراد تحضيره، وهو ما يعرف باسم اقتصاد الذرّات والفاعلية الذرِّيّة.

3 - يجب تصميم طرق تحضير أو تصنيع آمنة، بحيث تكون المواد المستخدمة أو المخلّفة منخفضة السُّمِّيّة أو غير سامّة بالنسبة للإنسان والبيئة.

4 - يجب أن يكون المركّب الكيميائي الناتج ذا كفاءة عالية، وذا سُمِّية منخفضة.

5 - يجب الاستغناء عن مواد مثل المذيبات العضويّة، أو استخدام مواد أخرى أقل سُمِّيّة بدلا منها.

6 - يجب أن يراعى في استخدام الطاقة الجانب البيئي والاقتصادي. ويجب أن يُقلّل منه، أو القيام بالتفاعلات في درجات الحرارة الاعتيادية.

7 - يُفضّل استخدام المادة الأوّليّة القابلة للتجديد على استخدام مواد غير مُتجدِّدة.

8 - يجب التقليل من عمليات الاشتقاق على الجزئيّات والتغييرات في الطرائق الفيزيائية والكيميائية؛ لأن ذلك يُنتج مُخلّفات ضارّة.

9 - يجب أن يكون عامل الحفز catalyst اختياريًّا selective ومتخصِّصًا بشكل كبير، أفضل من استخدام كميّات متكافئة للمتفاعلات.

10 - يجب أن تُصمَّم المركّبات المُنتجة بحيث لا تتراكم في البيئة بعد أداء وظيفتها، وتتفكّك إلى مواد بسيطة غير مضرّة بالبيئة.

11 - يجب تطوير طرائق التحليل الكيميائي؛ لمراقبة التفاعلات لحظيًّا، والتحكُّم بها قبل تشكُّل أيّ مادّة سامّة أو خطِرة.

12 - يجب ألا تكون المواد المستخدمة أو المُخلّفة خلال العملية الكيميائية خطِرة أو يَنجم عنها حوادث كالانفجار أو الحرائق[1].

• مستقبل وتحدّيات الكيمياء الخضراء

حقّقت الكيمياء الخضراء تقدُّمًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة؛ حيث أصبح من الممكن استبدال المذيبات العضوية التقليديّة في التصنيع وطُرُق الفصْل الكيميائي بمذيبات خضراء صديقة للبيئة. ومن الأعمال المتميِّزة في هذا المجال:

1. استخدام ثاني أكسيد الكربون في الحالة المائعة fluidity عند درجة الحرارة فوق

(1) Paul T. Anastas and John C. Warner, **Green Chemistry: Theory and Practice**, Oxford University Press, Oxford, UK, 1998, Page 30.

الحرجة في التصنيع والفصل الكيميائيِّ. فمن أهم مُميِّزاته أنه لا يتأكسد في هذه الظروف؛ مما يجعل استخدامه في تفاعلات الأكسدة ذا قيمة كبيرة.

2. استخدام المخلفات النباتية لإنتاج مادة الليجنين Lignin المستخدمة في العديد من تطبيقات الكيمياء، وبذلك نجعل مخلَّفات اليوم مصادر لمواد أوليَّة آمنة لصناعات الغد.
3. تطوير طرق كيميائية نظيفة، كتقنية الميكروويف، والموجات فوق الصوتية لاستخدامها في التصنيع الكيميائي. وتعمل هذه التقنيات على تحقيق مبدأ اقتصاد الذرَّات والفاعلية الذرِّيَّة. كما أن التفاعلات تتمُّ في وقت قصير - أو يمكن القول في مدة خيالية (من دقيقة إلى عشر دقائق)، ويكون مردود التفاعل كبيرًا بالمقارنة مع الطرق التقليدية.
4. التأسيس لسياسة تعليمية لتعليم الكيمياء الخضراء في الجامعات، وإدخالها في البحوث العلمية الأكاديمية، وربط هذه الأخيرة مع الاقتصاد ومتطلبات الصناعة والسوق، بالإضافة إلى إيجاد بدائل صديقة للبيئة ذات كفاءة عالية، تساعد على التخلُّص النهائي من المواد الكيميائية الخطرة، وتراعي - في الوقت نفسه - الجانب الاقتصادي، وهذا كله يُعد من أهم التحدِّيات التي يواجهها الكيميائيون في هذا المجال.
5. إعادة النظر في الطرق الكيميائية، وجعلها أكثر تواؤمًا مع البيئة وأكثر أمانا لها، ومعقولة من ناحية تكلفة المواد الأوليَّة والطاقة المستخدمة.

ويعلِّق المجتمع الكيميائي آمالًا كبيرة على الكيمياء الخضراء، باعتبارها ورقة رابحة يراهن عليها الكيميائيون اليوم لضمان بيئة أكثر أمانًا للعيش، فمن خلالها يمكن تغيير النظرة التقليدية للكيمياء على أنها مصدرٌ للتلوث[1].

كما أن الكيمياء الخضراء تسهم بشكل كبير في تعزيز وتنفيذ مبادرات الاقتصاد الأخضر، لدورها في اختيار المواد الكيميائية المأمونة بيئيا، ولكونها تطويرا لطرق الإنتاج الأنظف، ولإسهاماتها في خلق الفرص الاقتصادية الخضراء، وتوفير الوظائف الخضراء، والقضاء أو الحد من استخدام المواد الكيميائية الخطرة في الصناعة التحويلية[2].

وبوجه عام، فإن في استخدام الكيمياء الخضراء فوائد كثيرة لصالح البيئة والاقتصاد.

---

(1) إيمان أحمد، **الكيمياء الخضراء حتمية القرن الواحد والعشرين**، مجلة حراء، السنة التاسعة، العدد 43، يوليو - أغسطس 2014 م، صفحة 16: 19.

(2) Jeff Burke, Mellissa Coffin and Richard Cottrell, **Growing the Green Economy Through Green Chemistry and Design for the Environment**, Lowell Center for Sustainable Production, University of Massachusetts Lowell, Lowell, USA, 2009, Page 8.