الكيمياء الخضراء والمواد النانوية الوظيفية: الابتكار المستدام في جامعة قطر

د. محمد ماضي

أستاذ مساعد في الكيمياء العضوية، قسم الكيمياء وعلوم الأرض، كلية الآداب والعلوم – جامعة قطر

المقدمة

أصبحت الاستدامة واحدة من أبرز التحديات العلمية في عصرنا الحالي، حيث تتجه الصناعات الحديثة بشكلٍ متزايد نحو تطوير مواد وتقنيات تجمع بين الكفاءة العالية والمسؤولية البيئية. فمن معالجة المياه وإنتاج الطاقة إلى الرعاية الصحية والعمليات الصناعية، يسعى الباحثون حول العالم إلى إيجاد حلول أكثر استدامة تقلل من النفايات والأثر البيئي وتدعم التنمية طويلة الأمد.



الشكل (1): نظرة عامة على المحاور البحثية الرئيسية في مختبر الكيمياء الخضراء بجامعة قطر.

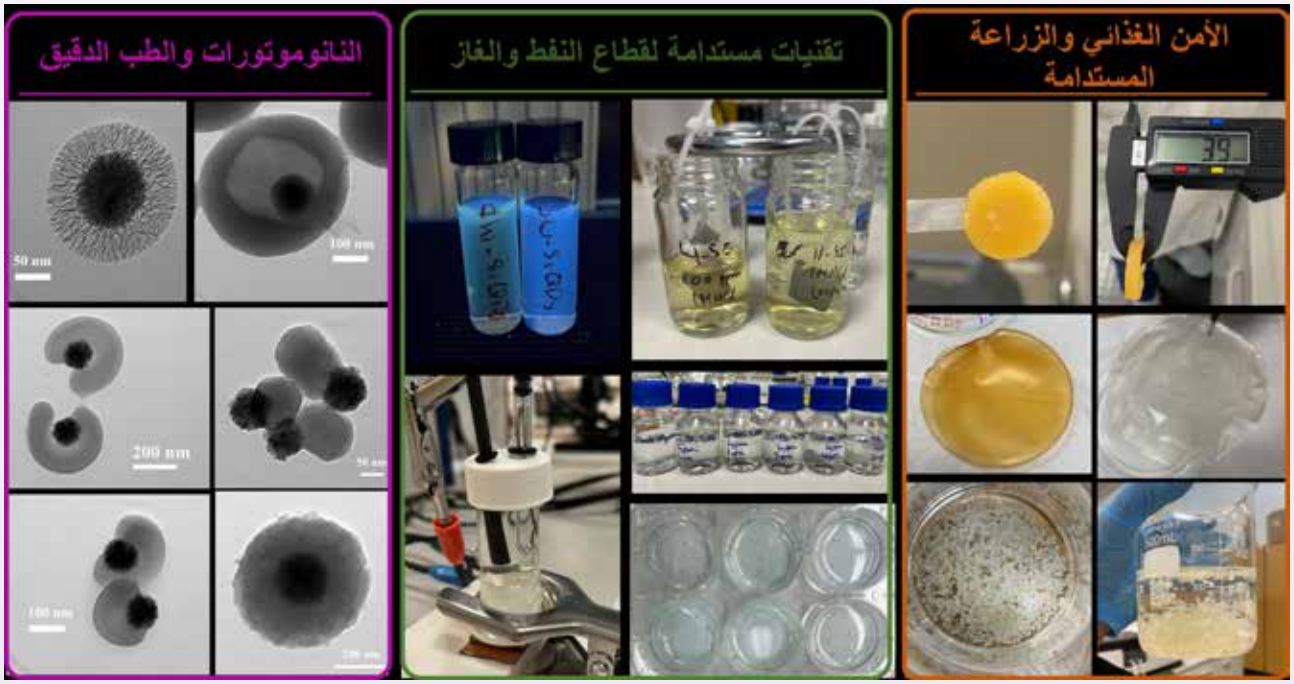
في جامعة قطر، يركز فريقنا البحثي على تطوير مواد وظيفية متقدمة وتقنيات كيميائية مستدامة مستوحاة من مبادئ الكيمياء الخضراء. ومن خلال دمج تقنيات النانو، وعلوم المواد، وكيمياء البوليمرات، وهندسة الأسطح، نعمل على تصميم أنظمة ذكية قادرة على معالجة تحديات واقعية في مجالات النفط والغاز، والمعالجة البيئية، وتنقية المياه، والأمن الغذائي، والطب الدقيق (الشكل 1).

دور المختبر في الكيمياء الخضراء والاستدامة

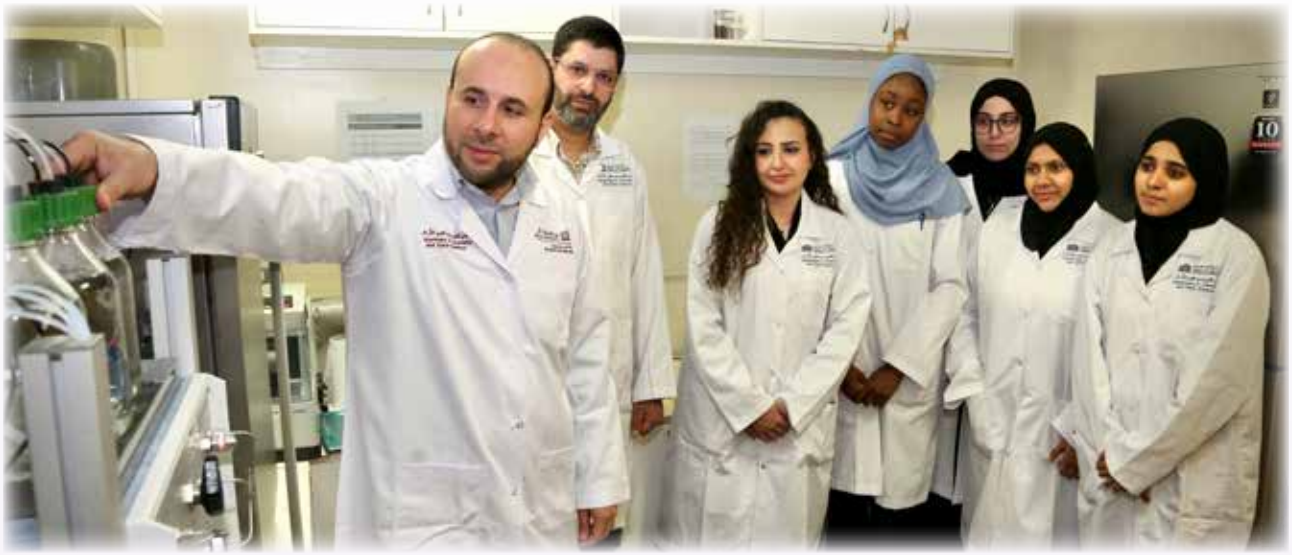
تركِّز أبحاثنا على تصميم مواد صديقة للبيئة تتميز بوظائف متقدمة وثبات عالٍ وقابلية لإعادة التدوير. وينصب جانب كبير من عملنا على تطوير بوليمرات قابلة للتحلل الحيوي، ومواد وظيفية تحتوي على مجموعات الفوسفونات، ومركبات نانوية مغناطيسية، وهياكل مسامية نانوية لتطبيقات صناعية وطبية مستدامة.

ويعمل الفريق بشكلٍ موسَّع على الجسيمات النانوية فائقة المغناطيسية لأكسيد الحديد (SPIONs)، وجسيمات السيليكا المسامية، والبوليمرات الفوسفونية، والمثبطات المعتمدة على الأحماض الأمينية، إضافة إلى البوليمرات الحيوية الطبيعية مثل حمض الألجينيك والإينولين. وتتميز هذه المواد بقدرتها على تعديل خواص الأسطح، وارتفاع كفاءة الامتزاز، والاستجابة المغناطيسية، والتوافق البيئي مقارنة بالعديد من الأنظمة الكيميائية التقليدية.

ومن خلال التعاون البحثي متعدد التخصصات، نسعى إلى ربط الأبحاث المتقدمة في علوم المواد بالتطبيقات العملية التي تُسهم في تطوير عمليات صناعية أكثر نظافة واستدامة. ويعرض الشكل 2 الأنشطة البحثية والمواد المطوَّرة داخل المختبر.



الشكل (2): صور تمثيلية تسلط الضوء على الأنشطة البحثية الجارية في المختبر، بما في ذلك الهياكل النانوية المسامية، وتقنيات النفط والغاز المستدامة، وتطبيقات الأمن الغذائي والزراعة المستدامة المطوَّرة في جامعة قطر.



أعضاء الفريق البحثي في جامعة قطر أثناء الأنشطة المخبرية.

من اليمين إلى اليسار: شانا فرحات، رنشا بشير، مها أبو سعده، عادلة بايرس، رنيم إياد، د. شوكت جاني، د. محمد ماضي.

تقنيات مستدامة لقطاع النفط والغاز

يُعد تطوير تقنيات صديقة للبيئة لقطاع النفط والغاز أحد أهم المحاور البحثية في مختبر الكيمياء الخضراء. فترسبات القشور المعدنية والتآكل من أبرز التحديات التشغيلية التي تؤثر على خطوط الأنابيب وأنظمة التحلية والمعدات الصناعية. كما أن العديد من المواد الكيميائية التقليدية المستخدمة في هذا المجال تتميز بمحدودية قابليتها للتحلل الحيوي واستمرارها في البيئة لفترات طويلة.

ولمعالجة هذه التحديات، طوَّر فريقنا عدة مواد قابلة للتحلل الحيوي وذات وظائف مزدوجة قادرة على الحد من تكوُّن القشور والتآكل في الوقت نفسه، مثل مشتقات الألجينيك والإينولين المعدلة، والمواد المحتوية على مجموعات الفوسفونات، والمثبطات المعتمدة على الأحماض الأمينية.

كما قام الفريق بتطوير أنظمة نانوية مغناطيسية قابلة لإعادة الاستخدام تعتمد على جسيمات أكسيد الحديد المغناطيسية المغلفة ببوليمرات صديقة للبيئة، حيث يمكن فصلها واستعادتها باستخدام المجالات المغناطيسية الخارجية، مما يقلل من التصريف الكيميائي ويدعم مفاهيم الاقتصاد الدائري.

وشملت أبحاثنا أيضًا جسيمات السيليكا والسيليكا المسامية المحملة بمثبطات قائمة على الفوسفونات لتحسين التحكم في ترسبات الجبس والكالسيت، مع إبراز أهمية تصميم البُنية النانوية وكيمياء السطح في تحسين الأداء والاستقرار طويل الأمد.

يقود هذا المحور البحثي الدكتور محمد فوزي ماضي، والدكتور شوكت علي جاني، بمساهمات من الطالبات: عادلة بايرس وزينب البلوشي، مع التركيز على كيمياء النفط المستدامة، والتحكم في الترسبات والتآكل، وتطوير أنظمة المثبطات الصديقة للبيئة.

مواد ذكية للاستدامة البيئية

إلى جانب تطبيقات النفط والغاز، تمتد أبحاث الفريق لتشمل تطوير مواد نانوية متعددة الوظائف لمعالجة التلوث وتنقية المياه بشكل مستدام. ونقوم بتطوير مركبات نانوية مغناطيسيةً قادرة على إزالة المعادن الثقيلة والملوثات من المياه عبر عمليات الامتزاز والفصل المغناطيسي.

وتجمع هذه المواد بين المساحة السطحية العالية، وإمكانية تعديل السطح، وقابلية الاسترجاع المغناطيسي، مما يسهم في إزالة الملوثات بكفاءة مع تقليل النفايات الثانوية. كما تشمل أبحاثنا دراسات لتقييم السُّمية البيئية والتوافق الحيوي للمواد النانوية المطوَّرة حديثًا.

كذلك طوَّر الفريق مواد مضادة للميكروبات مشتقة من مصادر حيوية تعتمد على السليلوز المعدل بمجموعات الأمونيوم الرباعية، والتي أظهرت نشاطًا مضادًا للميكروبات وثباتًا حراريًا وخواصًا مضادة للأكسدة، ما يجعلها واعدة لتطبيقات صناعية وطبية أكثر استدامة.

تتضمن الأبحاث في هذا المجال مساهمات من الطالبات رنشا بشير وشانا فرحات، مع التركيز على تقنيات النانو البيئية، والمواد الذكية، والأنظمة المعدلة بالبوليمرات.

الأمن الغذائي والزراعة المستدامة

يعمل المختبر أيضًا على تطوير مواد مستدامة لدعم الأمن الغذائي والزراعة، خاصة في البيئات التي تعاني من شح المياه. وتركّز أبحاثنا على تطوير أنظمة تربة صناعية خضراء تعتمد على الكيتوسان القابل للتحلل الحيوي، والطين النانوي القطري، والطلاءات الذكية لتحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه وزيادة إنتاجية المحاصيل.

وعمل الفريق على تطوير أنظمة نانوية صديقة للبيئة تعتمد على الطين النانوي والبوليمرات، وتتميز بتحسين الاحتفاظ بالرطوبة والثبات الميكانيكي، مع تطبيقات واعدة في مجالات الزراعة المستدامة والزراعة الدقيقة. كما تشمل أبحاثنا تطوير طلاءات ذكية تستجيب للرطوبة ومواد مركبة قابلة للتحلل الحيوي لتطبيقات زراعية وبيئية متقدمة.

تُسهم الباحثات زينب البلوشي والدكتورة فرح المقاتي، في تطوير الأنظمة النانوية الصديقة للبيئة والمواد الذكية المستخدمة في تطبيقات الزراعة المستدامة والأمن الغذائي.

النانوموتورات والطب الدقيق

يعمل مختبر الكيمياء الخضراء كذلك على تطوير الميكرو/نانوموتورات المعتمدة على السيليكا المسامية لتطبيقات الطب الحيوي والطب الدقيق. وتجمع هذه الأنظمة الذكية بين الحركة الموجهة، والقدرة على تحميل الأدوية، والهندسة السطحية متعددة الوظائف من أجل توصيل علاجي أكثر دقة.

وتتميز النانوموتورات المسامية بمساحات سطحية كبيرة وبُنية مسامية قابلة للتحكم، مما يسمح بتحميل الأدوية والجزيئات الوظيفية بكفاءة عالية. ومن خلال دمج المكونات المغناطيسية والتعديلات السطحية الذكية، يمكن لهذه الأنظمة أن تُسهم مستقبلاً في تطوير تقنيات العلاج النانوي الموجه. كما تمتد أبحاثنا إلى تصميم هياكل نانوية مسامية متقدمة ذات بُنى هندسية مصممة خصيصًا لتطبيقات متعددة في الرعاية الصحية، والتحفيز، وهندسة المواد المتقدمة.

تُنفذ الأبحاث المتعلقة بالنانوموتورات والهياكل النانوية المسامية بشكل تعاوني داخل المجموعة، بمساهمات من الدكتورة فرح المقاتي ورنيم إياد، في مجال المواد النانوية المتقدمة وتطبيقات الطب الدقيق.

إسهامات بحثية نحو المستقبل

يستعرض الشكل 3 مجموعة مختارة من الاتجاهات البحثية والإسهامات العلمية الحديثة للفريق البحثي. وتوفر رموز الاستجابة السريعة (QR codes) المرفقة وصولاً مباشرًا إلى مجموعة من الأبحاث والمنشورات العلمية التي يمكن للقارئ الاطلاع عليها بشكل تفصيلي. ومن خلال دمج الكيمياء الخضراء مع تقنيات النانو المتقدمة وهندسة المواد، تركز أبحاثنا على تطوير حلول مستدامة للتحديات المرتبطة بالطاقة، ومعالجة المياه، والرعاية الصحية، والأمن الغذائي، والاستدامة البيئية. وتعكس هذه الدراسات التزامنا المستمر في جامعة قطر بتطوير مواد وتقنيات مبتكرة وصديقة للبيئة تُسهم في بناء مستقبل أكثر استدامة وكفاءة في استخدام الموارد.



الشكل (3) مجموعة مختارة من أحدث المنشورات العلمية للفريق البحثي، مصنفة وفق المحاور البحثية الرئيسية، بما في ذلك تقنيات النفط والغاز المستدامة، والنانوموتورات والطب الدقيق، والمواد الذكية للاستدامة البيئية.