من ضوء الشمس إلى الهيدروجين النظيف:

تعاون بحثي بين دولة قطر وسلطنة عُمان لتعزيز الطاقة المستدامة

أ.د. ماجدة خريشة،

أستاذ الهندسة الكيميائية، قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة – جامعة قطر

الباحث المتعاون: أ.د. رينغاراج سيلفاراج،

أستاذ الكيمياء التحليلية والبيئية التطبيقية، قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة السلطان قابوس، مسقط، سلطنة عُمان





يشهد العالم في الوقت الحاضر زيادة كبيرة في الطلب على الطاقة نتيجة للنمو السكاني والتطوُّر الاقتصادي المتسارع. وفي الوقت نفسه، تزداد المخاوف المرتبطة بتغير المناخ والتأثيرات البيئية الناتجة عن الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري. لذلك أصبح البحث عن مصادر طاقة نظيفة ومستدامة أحد أهم التحديات العلمية التي تواجه المجتمع الدولي اليوم.

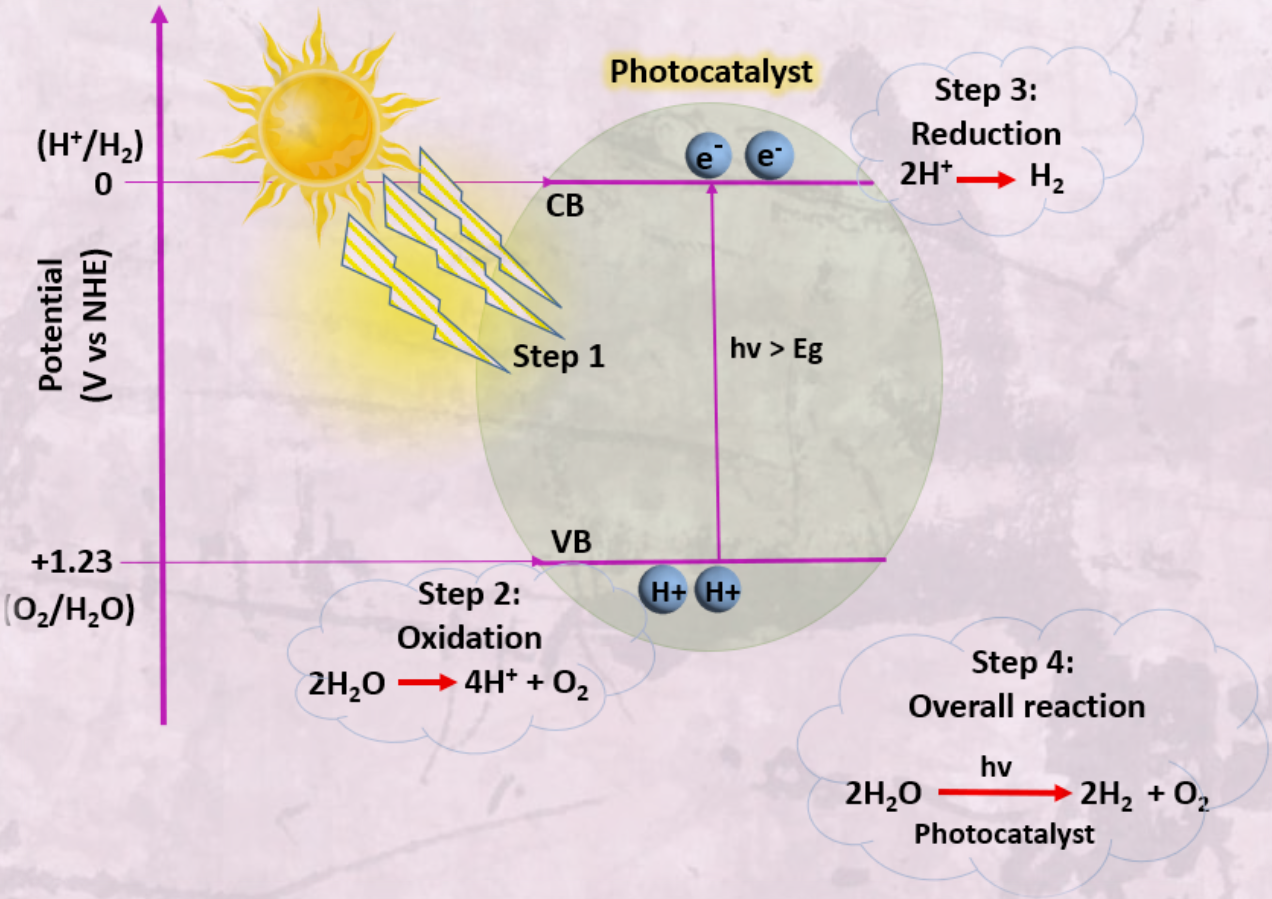
من بين الحلول المطروحة لمستقبل الطاقة يبرز الهيدروجين كأحد أكثر الخيارات الواعدة. ويُعرف الهيدروجين غالبًا بأنه وقود نظيف لأن استخدامه في إنتاج الطاقة لا ينتج عنه سوى الماء كمنتج ثانوي. إضافة إلى ذلك، يتميز الهيدروجين بكثافة طاقة مرتفعة، ما يعني قدرته على تخزين كميات كبيرة من الطاقة ونقلها بكفاءة عالية. ولهذه الأسباب يمكن استخدام الهيدروجين في العديد من التطبيقات مثل النقل وإنتاج الكهرباء وتخزين الطاقة.

على الرغم من هذه المزايا، فإن معظم إنتاج الهيدروجين في الوقت الحالي يعتمد على عمليات صناعية تستخدم الوقود الأحفوري، مثل إعادة تشكيل الغاز الطبيعي بالبخار. وتؤدي هذه العمليات إلى انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، مما يتعارض مع الهدف الأساسي المتمثل في تقليل الانبعاثات الكربونية. لذلك يعمل العلماء حول العالم على تطوير

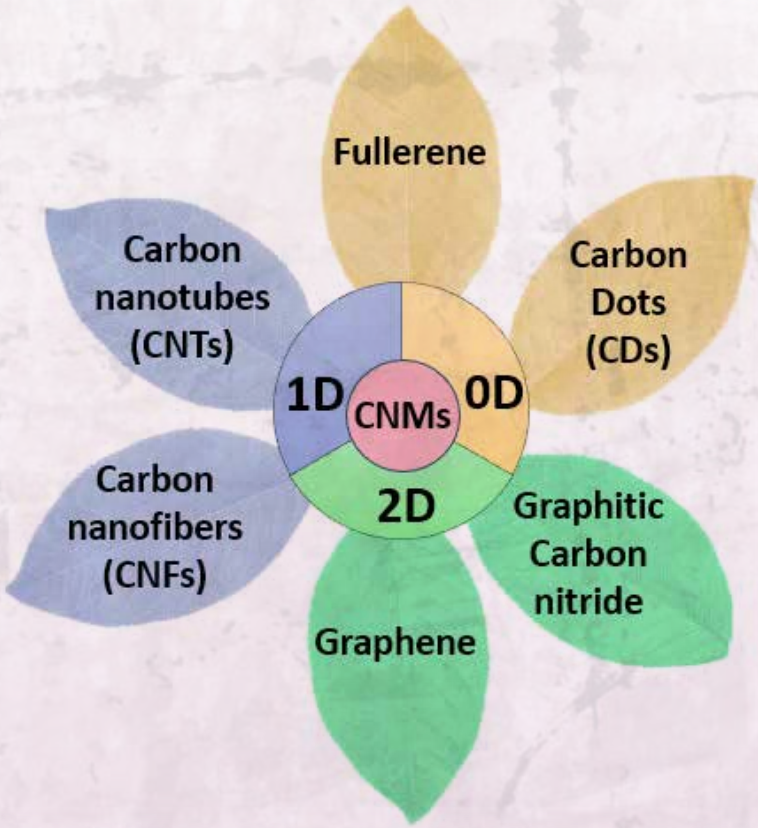
طرق جديدة لإنتاج الهيدروجين بطريقة صديقة للبيئة.

إحدى أكثر الطرق الواعدة في هذا المجال هي التحفيز الضوئي باستخدام ضوء الشمس. وتعتمد هذه التقنية على استخدام مواد خاصة تسمى المحفزات الضوئية، والتي تمتلك القدرة على امتصاص ضوء الشمس واستخدام طاقته لتحفيز تفاعلات كيميائية معينة (الشكل 1). وعندما يمتص المحفز الضوئي الضوء، تنتقل الإلكترونات داخل المادة إلى مستويات طاقة أعلى، مما يسمح بحدوث تفاعلات كيميائية يمكن من خلالها فصل جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين.

تحظى المواد النانوية المعتمدة على الكربون باهتمام كبير في مجالات الطاقة والبيئة بسبب خصائصها الكهربائية والبصرية والتحفيزية المميزة. ويمكن تصنيف هذه المواد وفقًا لبنيتها البُعدية إلى مواد نانوية صفرية الأبعاد (0D)، وأحادية البُعد (1D)، وثنائية الأبعاد (2D). وكما يوضح الشكل 2، تشمل هذه المواد نقاط الكربون والفوليرينات ضمن فئة (0D)، والأنابيب النانوية الكربونية والألياف النانوية الكربونية ضمن فئة (1D)، بينما تشمل فئة (2D) مواد مثل الجرافين ونيتريد الكربون الجرافيتي. وتتميز كل فئة بخصائص بنيوية مختلفة تؤثر في حركة الإلكترونات داخل المادة وقدرتها على امتصاص الضوء والمشاركة في التفاعلات التحفيزية الضوئية. ولذلك تُعد هذه المواد من أهم المواد المستخدمة في تطبيقات تحويل الطاقة الشمسية وإنتاج الهيدروجين ومعالجة الملوثات البيئية.



الشكل (1): رسم تخطيطي يوضح آلية إنتاج الهيدروجين باستخدام التحليل الضوئي الحفزي للماء.



الشكل (2): التصنيف البُعدي للمواد النانوية الكربونية.

تُعد هذه العملية جذابة للغاية لأنها تعتمد على مصدرين طبيعيين ومتوافرين بكثرة، وهما الماء وضوء الشمس. ومع ذلك، فإن تطوير محفزات ضوئية عالية الكفاءة يمثل تحديًا علميًا كبيرًا، حيث إن العديد من المواد المستخدمة حاليًا تمتص جزءًا محدودًا فقط من طيف ضوء الشمس، أو تفقد الطاقة بسرعة نتيجة إعادة اتحاد الشحنات داخل المادة قبل حدوث التفاعل الكيميائي المطلوب.

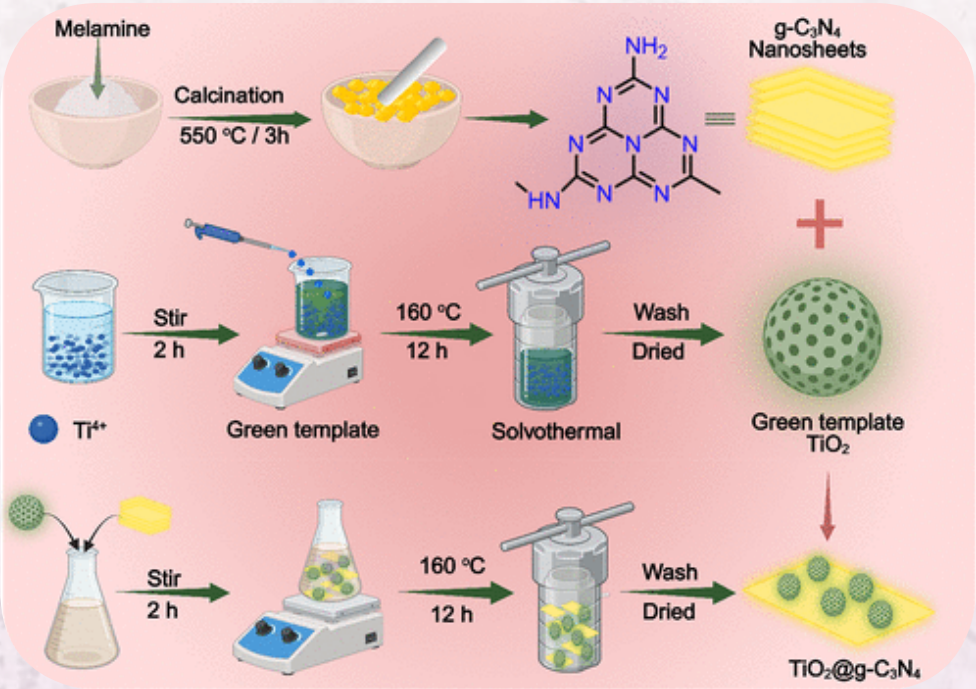
في هذا الإطار، تعاون فريق بحثي من جامعة قطر وجامعة السلطان قابوس في سلطنة عُمان لتطوير مواد محفزة ضوئيًا أكثر كفاءة لإنتاج الهيدروجين باستخدام ضوء الشمس. وقد تم دعم هذا المشروع من خلال برنامج منح التعاون البحثي الداخلية في جامعة قطر، والذي يهدف إلى تعزيز التعاون العلمي بين جامعة قطر والمؤسسات البحثية الدولية.

ركزت الدراسة على دمج مادتين شبه موصلتين معروفتين في مجال التحفيز الضوئي، وهما ثاني أكسيد التيتانيوم ونيتريد الكربون الجرافيتي. ويُعد ثاني أكسيد التيتانيوم من أكثر المواد استخدامًا في هذا المجال بسبب استقراره الكيميائي وتكلفته المنخفضة وصداقة البيئة. إلا أن قدرته على امتصاص الضوء تقتصر بشكلٍ أساسي على الأشعة فوق البنفسجية، وهي تمثل نسبة صغيرة فقط من ضوء الشمس.

أما نيتريد الكربون الجرافيتي فيمتلك القدرة على امتصاص الضوء المرئي بشكلٍ أفضل، لكنه يعاني من مشكلة إعادة اتحاد الشحنات بسرعة داخل المادة، مما يقلل من كفاءته التحفيزية. وللتغلب على هذه التحديات قام الباحثون بتصميم بُنية هجينة تعرف باسم البُنية غير المتجانسة، حيث يتم تثبيت جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم على صفائح رقيقة من نيتريد الكربون الجرافيتي.

يسمح هذا التصميم للمادتين بالعمل معًا بطريقة تكاملية، حيث تتحرك الإلكترونات الناتجة عن امتصاص الضوء بشكلٍ أكثر كفاءة بين المادتين، مما يقلل من فقدان الطاقة ويعزز كفاءة التفاعل التحفيزي الضوئي.

كما تميزت الدراسة باستخدام طريقة تصنيع صديقة للبيئة لإنتاج جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية. فقد استخدم الباحثون مستخلصًا نباتيًا من أوراق نبات المورينجا كمادة طبيعية تساعد في عملية التصنيع (الشكل 3). وتساعد هذه الطريقة على تقليل استخدام المواد الكيميائية الضارة، كما تساهم في التحكم في حجم الجسيمات وتوزيعها داخل المادة المحفزة.



الشكل (3): رسم توضيحي تخطيطي لتخليق نيتريد الكربون الجرافيتي ($g\text{-}C_3N_4$)، وثاني أكسيد التيتانيوم الأخضر (Green TiO_2)، والمحفز الضوئي ذي الوصلة النانوية غير المتجانسة $TiO_2@g\text{-}C_3N_4$.

أظهرت التجارب التي أجريت باستخدام ضوء الشمس الطبيعي أن المادة الجديدة التي تم تطويرها حققت تحسنًا ملحوظًا في إنتاج الهيدروجين مقارنة باستخدام كل مادة على حدة. ويعود هذا التحسُّن إلى التفاعل القوي بين المادتين داخل البُنية النانوية المشتركة، والذي يساعد على امتصاص الضوء بكفاءة أعلى ويعزز فصل الشحنات الناتجة عن التفاعل الضوئي.

ومن الجوانب المهمة في هذا البحث أيضًا استقرار المادة المحفزة خلال الاستخدام المتكرر. إذ يجب أن تحافظ المواد المستخدمة في إنتاج الطاقة على كفاءتها لفترات طويلة حتى تكون مناسبة للتطبيقات العملية. وقد أظهرت النتائج أن المادة المطوَّرة تحافظ على أدائها خلال عدة دورات من التفاعل، مما يشير إلى إمكانية استخدامها في أنظمة إنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية.

إلى جانب النتائج العلمية، يبرز هذا المشروع أهمية التعاون البحثي الدولي في مواجهة التحديات العالمية المتعلقة بالطاقة والبيئة. فقد ساهم التعاون بين جامعة قطر وجامعة السلطان قابوس في جمع خبرات علمية متنوعة في مجالات علم المواد والتقنيات النانوية والهندسة الكيميائية.

كما يعكس هذا البحث التزام جامعة قطر بدعم الأبحاث المتقدمة التي تسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة على المستوى العالمي. ومن خلال الاستثمار في التقنيات المبتكرة وتعزيز التعاون العلمي، تسهم الجامعة في تطوير حلول جديدة لمستقبل الطاقة.

وفي المستقبل، سيواصل الباحثون العمل على تحسين كفاءة المواد المحفزة الضوئية وتطوير تقنيات يمكن تطبيقها على نطاق صناعي. وعلى الرغم من التحديات المتبقية، فإن التقدم المستمر في علوم المواد والتقنيات النانوية يقربنا خطوة إضافية نحو تحقيق إنتاج الهيدروجين باستخدام ضوء الشمس.

إن تسخير طاقة الشمس لإنتاج وقود نظيف مثل الهيدروجين يمثل فرصة كبيرة لإحداث تحول في نظام الطاقة العالمي. ومن خلال الابتكار العلمي والتعاون الدولي، يمكن لمثل هذه الأبحاث أن تسهم في بناء مستقبل طاقة أكثر استدامة وصداقة للبيئة.