منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول (أوابك)

تقرير حول دراسة نتائج ورقة فنية لمعهد أكسفورد لدراسات الطاقة

"تنافسية إمدادات الأمونيا منخفضة الانبعاثات إلى شمال غرب أوروبا" وتحليلها في ضوء دراسة أوابك

نوفمبر 2026

إعداد / د. ياسر بغدادي
خبير أول صناعات نفطية - إدارة الشؤون الفنية

المقال صدر في الموقع الإلكتروني لمعهد أكسفورد لدراسات الطاقة وقد تم ترجمته إلى اللغة العربية بإذن من المعهد

تقرير حول
دراسة نتائج ورقة فنية لمعهد أكسفورد لدراسات الطاقة
بعنوان
"تنافسية إمدادات الأمونيا منخفضة الانبعاثات إلى شمال غرب أوروبا"
وتحليلها في ضوء دراسة أوابك

مقدمة

تشهد صناعة الأمونيا العالمية تحولات متسارعة مع تشديد الاشتراطات البيئية في إطار سياسات المناخ الرامية إلى خفض الانبعاثات، إلى جانب تقلب أسعار الغاز الطبيعي والكهرباء وتأثيره في تكاليف الإنتاج. ويتزامن ذلك مع تزايد الاهتمام باستخدامات الأمونيا التي تتجاوز دورها التقليدي في صناعة الأسمدة، لتشمل استخدامها كوقود بحري منخفض الانبعاثات وحامل للهيدروجين. وتطرح هذه التحولات تساؤلات بشأن اقتصاديات إنتاج الأمونيا واختيار مواقع الإنتاج، ومدى قدرة المصانع القائمة على الحفاظ على تنافسيتها مع الانتقال إلى مسارات إنتاج أقل كثافة في الانبعاثات.

وتبرز أوروبا في هذا السياق بوصفها حالة ذات أهمية خاصة؛ إذ تمتلك قاعدة صناعية لإنتاج الأمونيا، لكنها تواجه ارتفاعا في تكاليف الغاز الطبيعي والطاقة مقارنة ببعض مناطق الإنتاج المنافسة، إلى جانب متطلبات خفض الانبعاثات وسياسات تسعير الكربون. وقد أظهرت أزمة أسعار الغاز خلال الفترة 2021–2023 مدى حساسية إنتاج الأمونيا في أوروبا لهذه التكاليف، حيث اضطر بعض المنتجين إلى خفض الإنتاج أو إيقافه مؤقتا، مما زاد اعتماد السوق على الواردات.

ومع التوجه نحو إنتاج الأمونيا منخفضة الانبعاثات، اتسع نطاق المفاضلة ليشمل إعادة تأهيل المصانع القائمة، وإنشاء مصانع جديدة داخل أوروبا، أو استيراد الأمونيا من مناطق تتمتع بتكاليف أقل للغاز الطبيعي أو الكهرباء المنتجة من مصادر متجددة. ويتطلب تقييم هذه الخيارات احتساب التكلفة الإجمالية لوصول الأمونيا إلى السوق، بما يشمل الإنتاج والتخزين والمناولة والنقل، فضلا عن الأعباء المرتبطة بالانبعاثات الكربونية.

تناولت دراسة معهد أكسفورد لدراسات الطاقة، الصادرة في أغسطس 2026 بعنوان "إمدادات الأمونيا منزوعة الكربون في شمال غرب أوروبا: تقييم تقني واقتصادي" (Decarbonised Ammonia Supply in Northwest Europe: A Techno-Economic Assessment)، هذه المفاضلة في أسواق دول شمال غرب أوروبا. وقارنت الدراسة بين إعادة تأهيل المصانع القائمة في أوروبا(Retrofit) ، وإنشاء مصانع جديدة لإنتاج الأمونيا منخفضة الانبعاثات(New-Build) ، واستيراد الأمونيا من الولايات المتحدة أو المغرب. واستندت المقارنة إلى تكلفة الأمونيا المسلمة إلى السوق(Delivered Cost) ، بدلا من الاقتصار على تكلفة الإنتاج عند بوابة المصنع، مع تقييم أثر تسعير الكربون والحوافز والسياسات التجارية في تنافسية كل خيار.

تعرض الفقرات التالية كل من نطاق دراسة أكسفورد ومنهجيتها وأبرز نتائجها، ثم تقارنها بنتائج دراسة أوابك حول الأمونيا منخفضة الانبعاثات، بهدف توضيح ما توصلت إليه كل دراسة، مع مراعاة اختلاف النطاق الجغرافي والافتراضات ونوع التكلفة المعتمد في كل منهما.

الفصل الأول: نطاق الدراسة ومنهجية التقييم الفني والاقتصادي

قدمت دراسة معهد أكسفورد لدراسات الطاقة إطارا فنيا واقتصاديا لمقارنة خيارات إمداد دول شمال غرب أوروبا بالأمونيا المنتجة محليا أو المستوردة من الولايات المتحدة والمغرب. وطورت لهذا الغرض نموذجا متكاملا يراعي تقنيات الإنتاج، وموقع المصنع، وحالة الأصول القائمة، وتكاليف الطاقة واللقيم، إلى جانب تكاليف التخزين والمناولة، والنقل، وأثر السياسات، والحوافز.

وشملت المقارنة تشغيل المصانع القائمة، وإعادة تأهيلها، وإنشاء مصانع جديدة، ضمن مسارات تقنية متعددة تضم الأمونيا الرمادية المنتجة من الوقود الأحفوري دون احتجاز الكربون، والأمونيا الزرقاء التي تعتمد على الغاز الطبيعي مع احتجاز وتخزين الكربون، والأمونيا الخضراء التي تستخدم الهيدروجين المنتج بالتحليل الكهربائي للماء باستخدام الكهرباء المتجددة. كما تناولت إنتاج الأمونيا بتقنيات تغويز الكتلة الحيوية ضمن خيارات المصانع الجديدة.

ويرتبط تقييم هذه المسارات بمدى إمكانية الاستفادة من الأصول الصناعية المتاحة. فإضافة وحدات احتجاز الكربون إلى مصنع قائم تسمح باستخدام جانب كبير من معداته ومرافقه وبنيته التحتية، مع تحمل تكاليف الوحدات الإضافية والتعديلات اللازمة لدمجها في عمليات الإنتاج. أما إنشاء مصنع جديد للأمونيا الخضراء، فيتطلب استثمارات في وحدات تصنيع الأمونيا والمحللات الكهربائية والمرافق المساندة، فضلا عن توفير إمدادات الكهرباء المتجددة. ومن ثم، قد تكون إعادة التأهيل أقل تكلفة من إنشاء مصنع جديد، بحسب حالة المعدات ومدى ملاءمتها لمسار الإنتاج المستهدف.

وللمقارنة بين الإنتاج المحلي والواردات، اعتمدت الدراسة تكلفة الأمونيا المسلمة إلى السوق (Delivered Cost)، بدلا من الاقتصار على تكلفة الإنتاج عند بوابة المصنع (Plant-Gate Cost). فالمنتج المستورد يتحمل تكاليف التخزين والمناولة والنقل البحري قبل وصوله إلى أسواق أوروبا، لكنه قد يحتفظ بميزة اقتصادية إذا كان انخفاض تكاليف الغاز الطبيعي أو الكهرباء في دولة التصدير كافيا لتعويض هذه الأعباء. وبذلك، يتحدد الخيار الأكثر تنافسية على أساس التكلفة الإجمالية للإمداد، وليس تكلفة الإنتاج وحدها.

كما يشمل التقييم أثر السياسات والحوافز في تكلفة إمداد السوق بالأمونيا، ومنها تسعير الكربون في أوروبا، الذي يحمل المنتج تكلفة مالية مقابل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وآلية تعديل الكربون على الحدود، التي

تربط الأعباء المفروضة عند استيراد بعض المنتجات إلى الاتحاد الأوروبي بالانبعاثات الناتجة عن تصنيعها في بلد المنشأ، بهدف تقارب تكلفة الكربون بين الإنتاج المحلي والواردات.

تتناول الدراسة كذلك الحوافز الضريبية في الولايات المتحدة، التي تخفض تكلفة بعض مشروعات الإنتاج منخفض الانبعاثات. وتتيح مقارنة السيناريوهات تحديد مدى تأثير هذه التدابير في تنافسية الإنتاج المحلي في شمال غرب أوروبا مقارنة بالأمونيا المستوردة.

ولاختبار مدى ثبات نتائج المقارنة، استخدمت الدراسة تحليل الحساسية ومحاكاة مونت كارلو. ويقيس تحليل الحساسية أثر تغيير افتراض محدد، مثل سعر الغاز الطبيعي أو الكهرباء، في تكلفة كل خيار وترتيبه مقارنة بالخيارات الأخرى. أما محاكاة مونت كارلو فتكرر حسابات النموذج باستخدام مجموعات مختلفة من القيم المحتملة لعدة متغيرات، بدلا من الاعتماد على مجموعة واحدة من الافتراضات. ويساعد ذلك على معرفة ما إذا كان الخيار الأقل تكلفة يحتفظ بميزته عند تغير الظروف، وتحديد الحالات التي قد يصبح فيها خيار آخر أكثر تنافسية.

الفصل الثاني: مسارات إنتاج الأمونيا وهيكل التكلفة

قارنت دراسة معهد أكسفورد مسارات إنتاج الأمونيا التي يمكن أن تسهم في تلبية احتياجات شمال غرب أوروبا مع التمييز بين تشغيل المصانع القائمة(Existing Plants) ، وإعادة تأهيلها(Retrofit Plants) ، وإنشاء مصانع جديدة(New-Build Plants) .وراعت المقارنة أن تكلفة الإنتاج تتأثر، إلى جانب التكنولوجيا المستخدمة، بأسعار اللقيم والطاقة، وحجم الاستثمارات المطلوبة، وإمكانية الاستفادة من الأصول القائمة، وتكاليف خفض الانبعاثات. وشملت المسارات الأمونيا الرمادية والزرقاء والخضراء، إضافة إلى إنتاج الأمونيا بتقنيات تغويز الكتلة الحيوية ضمن خيارات المصانع الجديدة.

وتمثل الأمونيا الرمادية خط الأساس للمقارنة مع مسارات الإنتاج منخفضة الانبعاثات. ويعتمد إنتاجها في شمال غرب أوروبا بصورة رئيسية على الغاز الطبيعي، الذي يستخدم كوقود ولقيم لإنتاج الهيدروجين عبر عملية إصلاح الميثان بالبخار(Steam Methane Reforming – SMR) ، ثم يتفاعل الهيدروجين مع النيتروجين لإنتاج الأمونيا باستخدام عملية هابر–بوش (Haber–Bosch Process) وتستفيد المصانع العاملة بهذا المسار من تقنيات ناضجة ومعدات ومرافق قائمة، مما يقلل الحاجة إلى استثمارات إضافية.

غير أن هذه الميزة لا تضمن استمرار الأمونيا الرمادية بوصفها الخيار الأقل تكلفة؛ فارتفاع سعر الغاز الطبيعي يزيد تكاليف الوقود واللقيم معا، كما يفرض نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي على المصانع المشمولة به توفير تصاريح تغطي انبعاثاتها من غازات الدفيئة، مما قد يضيف تكلفة لشراء التصاريح

المطلوبة. ومن ثم، قد يصبح الاستثمار في خفض الانبعاثات أكثر جاذبية اقتصاديا، إذا كانت الوفورات في تكلفة هذه التصاريح تعوض تكاليف الاستثمار والتشغيل الإضافية.

تعتمد الأمونيا الزرقاء على إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي، مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية الإنتاج وتخزينه باستخدام تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه – (Carbon Capture and Storage CCS). ويضيف هذا المسار تكاليف للاحتجاز والضغط والنقل والتخزين، كما يزيد استهلاك الطاقة. وتختلف الاستثمارات المطلوبة بحسب ما إذا كان المشروع يتضمن إعادة تأهيل مصنع قائم أو إنشاء مصنع جديد؛ إذ تتيح إعادة التأهيل الاستفادة من وحدات الإنتاج والمرافق والبنية التحتية الموجودة. وتشير نتائج الدراسة، في ظل الافتراضات التي اعتمدتها، إلى أن إضافة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه إلى المصانع القائمة في شمال غرب أوروبا التي تستخدم إصلاح الميثان بالبخار تمثل، بصفة عامة، الخيار الأقل تكلفة لخفض انبعاثات الإنتاج المحلي بين الخيارات التي شملتها المقارنة.

أما الأمونيا الخضراء، فتعتمد على إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربائي للماء باستخدام الكهرباء المتجددة، ثم استخدامه في تصنيع الأمونيا. وبذلك، تصبح تكلفة الكهرباء وأجهزة التحليل الكهربائي والمرافق المساندة، إلى جانب عدد ساعات تشغيل المعدات سنويا، من أهم العوامل المحددة لتكلفة الإنتاج. وأظهرت الدراسة أن ارتفاع تكلفة الكهرباء وحجم الاستثمارات المطلوبة يحدان من تنافسية هذا المسار مقارنة ببعض البدائل الأخرى في شمال غرب أوروبا، في ظل الظروف التي تناولتها.

وتبرز في المشروعات الجديدة أهمية تكلفة التمويل والحوافز المالية، نظرا إلى حجم الإنفاق المطلوب لإنشاء وحدات الإنتاج والمرافق من البداية. كما يؤثر الموقع الجغرافي في اقتصاديات الأمونيا الخضراء؛ فتوافر الكهرباء المتجددة بتكلفة منخفضة وإمكانية تشغيل أجهزة التحليل الكهربائي لساعات أطول يساعدان على خفض تكلفة إنتاج الهيدروجين والأمونيا. ولذلك، قد يكون إنتاج الأمونيا الخضراء خارج شمال غرب أوروبا وتصديرها إلى هذه السوق أكثر جاذبية من إنتاجها محليا، إذا كانت الوفورات في تكلفة الإنتاج كافية لتعويض تكاليف التخزين والمناولة والنقل.

وإلى جانب هذه المسارات، أظهرت الدراسة أن تغويز الكتلة الحيوية (Biomass Gasification) قد يكون أكثر خيارات المصانع الجديدة منخفضة الانبعاثات تنافسية من حيث التكلفة، عندما تتوافر الكتلة الحيوية بأسعار مناسبة. وتوسع هذه النتيجة نطاق المفاضلة ليشمل بديلا إضافيا للأمونيا الزرقاء والخضراء، لكنها تظل مرتبطة بتكلفة اللقيم وتوافره بصورة مستدامة. كما يتطلب تقييم الأثر البيئي لهذا المسار مراعاة

الانبعاثات على امتداد دورة حياة الكتلة الحيوية، بما يشمل مصدرها وإنتاجها ونقلها، إلى جانب الانبعاثات المباشرة للمصنع.

الفصل الثالث: تنافسية الإنتاج المحلي أمام الواردات

بعد عرض مسارات الإنتاج، قارنت دراسة أكسفورد تكلفة إمداد سوق شمال غرب أوروبا بالأمونيا المنتجة محليا أو المستوردة من الولايات المتحدة والمغرب، مع احتساب تكاليف الإنتاج والتخزين والمناولة والنقل حتى وصولها إلى السوق.

وأظهرت النتائج أن الواردات من الولايات المتحدة تظل أقل تكلفة في ظروف السوق التي تناولتها الدراسة، إذ تكفي الوفورات الناتجة عن انخفاض تكلفة اللقيم لتعويض تكاليف النقل والتسليم، مع الاحتفاظ بميزة اقتصادية مقارنة بالإنتاج داخل شمال غرب أوروبا. كما اختبرت الدراسة مدى اعتماد هذه الميزة على الحوافز الضريبية المقدمة في الولايات المتحدة لمشروعات الإنتاج منخفض الانبعاثات، وهي تسهيلات تخفض الأعباء الضريبية على المشروعات وتساعد على تقليل تكلفتها. ولهذا قارنت تكلفة الإمداد في حالتي وجود هذه الحوافز وغيابها، فوجدت أن استبعادها من الحسابات لا يضعف الميزة التنافسية للواردات إلا بدرجة محدودة، مما يشير إلى أن انخفاض تكلفة اللقيم يمثل أساس هذه الميزة.

ولتقييم مدى ثبات النتائج عند تغير الظروف، استخدمت الدراسة تحليل الحساسية ومحاكاة مونت كارلو، من خلال تكرار حسابات النموذج بقيم مختلفة لأسعار الطاقة وغيرها من الافتراضات الأساسية. وأظهرت النتائج أن أسعار الغاز الطبيعي والتكلفة التي يتحملها المصنع مقابل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أهم العوامل المؤثرة في تنافسية خيارات الإمداد. فارتفاع تكلفة الانبعاثات يزيد تكلفة إنتاج الأمونيا بالمسارات الأعلى انبعاثات، ويجعل خيارات الإنتاج الأقل انبعاثات أكثر جاذبية اقتصاديا. كما بين تحليل السياسات أن الفروق في أسعار الطاقة بين مناطق الإنتاج كانت أكثر تأثيرا من الحوافز المالية الحالية في عدد من السيناريوهات المدروسة، إذ بقيت بعض خيارات الإمداد أقل تكلفة حتى عند استبعاد هذه الحوافز من الحسابات.

وفيما يتعلق بالإنتاج داخل شمال غرب أوروبا، أظهرت المقارنة أن إعادة تأهيل وحدات إصلاح الميثان بالبخار القائمة بإضافة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه (SMR Retrofit with CCS) تعد، بصفة عامة، أقل خيارات خفض الانبعاثات تكلفة. ويرجع ذلك إلى الاستفادة من المعدات والمرافق والبنية التحتية المتاحة، مما يقلل الاستثمارات المطلوبة مقارنة بإنشاء مصانع جديدة. وبذلك، تميز الدراسة بين الخيار الأقل تكلفة لإمداد السوق، والذي قد يعتمد على الواردات، والخيار الأقل تكلفة لخفض انبعاثات الإنتاج المحلي.

الفصل الرابع: أثر سياسات الكربون والحوافز

بعد مقارنة تكلفة الإنتاج المحلي والواردات، تناولت دراسة أكسفورد أثر السياسات المناخية والحوافز الاقتصادية في تنافسية خيارات إمداد شمال غرب أوروبا بالأمونيا. وشمل التحليل تكلفة الانبعاثات المفروضة على الإنتاج، وآلية تعديل الكربون على الحدود، والحوافز الضريبية في الولايات المتحدة، إلى جانب سيناريوهات تفترض تحميل الواردات تكاليف مالية إضافية. واستهدف التحليل تحديد مدى قدرة هذه التدابير على تغيير ترتيب خيارات الإمداد من حيث التكلفة، وتقليل الميزة الناتجة عن انخفاض أسعار الغاز الطبيعي والكهرباء في بعض الدول المصدرة.

وتضمنت متغيرات النموذج سعر الكربون، أي القيمة المالية المستخدمة لحساب تكلفة كل طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ولا تمثل هذه التكلفة غرامة، وإنما تكلفة مرتبطة بالانبعاثات ضمن السياسات المناخية المطبقة. وأظهرت نتائج تحليل الحساسية أن ارتفاعها، إلى جانب ارتفاع سعر الغاز الطبيعي، قد يزيد تكلفة مسارات الإنتاج القائمة على الوقود الأحفوري ويؤثر في قدرتها على المنافسة.

وبالنسبة للواردات، تربط آلية تعديل الكربون على الحدود التكلفة المفروضة على المنتجات المشمولة بها بالانبعاثات الناتجة عن تصنيعها خارج دول الاتحاد الأوروبي، بهدف تقارب تكلفة الكربون بين الإنتاج المحلي والواردات. واختبرت الدراسة مدى تأثير هذه الآلية في تنافسية الأمونيا المستوردة، كما اختبرت سيناريوهات منفصلة تفترض إضافة تكاليف أخرى على الواردات، لمعرفة ما إذا كانت كافية لتقليل ميزتها مقارنة بالإنتاج داخل شمال غرب أوروبا.

وأظهرت النتائج أن الفروق في أسعار الطاقة بين مناطق الإنتاج، المرتبطة بتوافر الموارد وتكاليف إنتاجها وإمدادها، كان لها أثر في التنافسية يفوق أثر السياسات والحوافز الحالية في عدد من السيناريوهات المدروسة. ولذلك، قد تقلل هذه الأدوات الفارق في التكلفة دون أن تزيله، إذا ظلت الوفورات الناتجة عن انخفاض تكلفة الغاز الطبيعي والكهرباء في الدول المصدرة أكبر من الأعباء الإضافية المفروضة على الواردات.

كما بينت الدراسة أن أثر الحوافز يختلف بحسب حالة الأصول الصناعية، إذ تتأثر المشروعات الجديدة (New-Build Plants) بدرجة أكبر بتكلفة تمويل الاستثمارات ومدى توافر الدعم المالي، نظرا إلى حجم الإنفاق المطلوب لإنشاء وحدات الإنتاج والمرافق، بينما تستفيد المصانع القائمة من الأصول المتاحة. وتبرز أهمية ذلك في إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربائي للماء باستخدام الكهرباء المتجددة، حيث يجتمع ارتفاع تكلفة الكهرباء مع الحاجة إلى استثمارات كبيرة، مما يحد من تنافسية الأمونيا المنتجة بهذا المسار في الظروف التي تناولتها الدراسة.

وتخلص الدراسة إلى أن تعزيز تنافسية صناعة الأمونيا في أوروبا يتطلب تقليل الفجوة في تكاليف الطاقة مقارنة بمناطق الإنتاج المنافسة، ودعم مسارات خفض الانبعاثات الأقل تكلفة، وتطوير البنية التحتية بما يتيح الاستفادة من الإنتاج المحلي والواردات وفقا لظروف السوق. وتظل هذه الاستنتاجات مرتبطة بالأسعار والافتراضات والسيناريوهات التي اختبرتها الدراسة.

الفصل الخامس: تحليل الحساسية وعدم اليقين

استخدمت دراسة أكسفورد تحليل الحساسية ومحاكاة مونت كارلو لتحديد مدى استمرار الميزة الاقتصادية لكل خيار عند تغير الافتراضات الأساسية. وأظهرت النتائج أن سعر الغاز الطبيعي والتكلفة المرتبطة بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أهم العوامل المؤثرة في ترتيب خيارات إمداد شمال غرب أوروبا بالأمونيا، بينما تزداد أهمية تكلفة الكهرباء والاستثمارات والتمويل في مسارات الإنتاج المعتمدة على التحليل الكهربائي.

وتوضح هذه النتائج أن ترتيب الخيارات يرتبط بالظروف التي يجري تقييمها؛ فقد تصبح بعض البدائل أكثر تنافسية مع انخفاض تكلفة الكهرباء أو التمويل، أو مع ارتفاع تكلفة الانبعاثات في المسارات التقليدية. ولذلك، ينبغي قراءة نتائج المقارنة في ضوء نطاق الأسعار والافتراضات التي اختبرتها الدراسة، مع مراعاة احتمال تغير ترتيب الخيارات عند تغير هذه الظروف.

الفصل السادس: الانبعاثات المرتبطة بمسارات الإنتاج

إلى جانب التكلفة والقدرة التنافسية، تناولت دراسة أكسفورد كثافة الانبعاثات الكربونية (Carbon Intensity)بوصفها عنصرا أساسيا في تقييم مسارات إنتاج الأمونيا. وأوضحت أن قياس الأداء البيئي لا يقتصر على كمية ثاني أكسيد الكربون المحتجزة داخل المصنع، بل يشمل الانبعاثات المرتبطة بمراحل سلسلة القيمة، بدءا من إنتاج الغاز الطبيعي وإمداده، مرورا بإنتاج الهيدروجين والأمونيا، وصولا إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه.

فقد يحقق المصنع الذي يعتمد على الغاز الطبيعي مع احتجاز الكربون وتخزينه (Carbon Capture and Storage – CCS)نسبة احتجاز مرتفعة داخل حدوده، بينما تحد الانبعاثات المصاحبة لإمدادات الغاز، بما فيها انبعاثات الميثان، من حجم الخفض الكلي المحقق. ولذلك، تؤكد الدراسة أهمية تقييم كثافة الانبعاثات على أساس دورة الحياة(Life-Cycle Carbon Intensity) ، بدلا من الاعتماد على نسبة الاحتجاز داخل المصنع وحدها.

ويتيح هذا النهج مقارنة الأمونيا الزرقاء بالأمونيا الخضراء على أساس الانخفاض الفعلي في الانبعاثات، إلى جانب تكلفة الإنتاج، مع ضرورة إثبات هذا الانخفاض وفق منهجية قياس واضحة وحدود متسقة للتقييم. كما تكتسب كثافة الانبعاثات أهمية اقتصادية عند احتساب الأعباء المرتبطة بتسعير الكربون أو تطبيق متطلبات الاستيراد؛ إذ تتوقف هذه الأعباء على الانبعاثات المشمولة بالقواعد المعتمدة، وليس على تسمية مسار الإنتاج وحدها.

الفصل السابع: البنية التحتية وسلسلة الإمداد

تؤكد دراسة أكسفورد أن تقييم تنافسية الأمونيا يعتمد على التكلفة الكاملة لإيصالها إلى سوق شمال غرب أوروبا، بما يشمل الإنتاج والتخزين والمناولة والنقل، مع احتساب أثر الأعباء المرتبطة بالكربون والحوافز والسياسات التجارية. وبذلك، تمثل البنية التحتية جزءا أساسيا من التقييم الاقتصادي لخيارات الإمداد، لما تضيفه من تكاليف وما تتيحه من إمكانات للإنتاج والتجارة.

وتبرز أهميتها في حالة الواردات، التي تتطلب مرافق للتخزين، والمناولة، والشحن، والاستقبال. ومع ذلك، قد تظل الأمونيا المستوردة أقل تكلفة من الإنتاج المحلي إذا كانت الوفورات في الطاقة واللقيم ببلد المنشأ كافية لتعويض تكاليف إيصالها إلى السوق. وتوضح الدراسة أن انخفاض تكلفة الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة يمنح إنتاج الهيدروجين والأمونيا ميزة اقتصادية تستمر، في عدد من السيناريوهات المدروسة، حتى بعد إضافة تكاليف النقل البحري والتخزين والمناولة إلى شمال غرب أوروبا.

وتمتد أهمية البنية التحتية أيضا إلى خفض انبعاثات الإنتاج داخل أوروبا. فإعادة تأهيل المصانع القائمة بإضافة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه تتطلب منظومة متكاملة تشمل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وضغطه ونقله وحقنه في موقع تخزين مناسب. ولذلك، قد يحد غياب مرافق النقل والتخزين من جدوى هذا المسار وإمكانية تنفيذه، حتى مع توافر القدرة الفنية على تركيب وحدات الاحتجاز داخل المصنع.

ومن ثم، تؤثر البنية التحتية في تنافسية الأمونيا من خلال تكاليفها على امتداد سلسلة الإمداد، وكذلك من خلال توافر المرافق اللازمة لتنفيذ مسارات الإنتاج منخفضة الانبعاثات وربط مواقع الإنتاج بأسواق الاستهلاك.

وتشير هذه النتائج إلى أن فروق تكلفة الإمداد قد تؤثر في اختيار مواقع مشروعات الأمونيا الجديدة، وتزيد أهمية تنويع مصادر الإمداد وتطوير مرافق استقبال الواردات في شمال غرب أوروبا. وتظل هذه دلالات محتملة للمقارنة الاقتصادية، وليست توقعات كمية لحجم التجارة أو حصص الدول المصدرة.

القسم الثاني التحليل المقارن مع دراسة أوابك

تناولت دراسة منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، المعنونة **"الأمونيا منخفضة الانبعاثات ودورها في دعم التحول الطاقي وتعزيز استدامة إنتاج الأسمدة"**، والصادرة في مايو 2026، مسارات إنتاج الأمونيا وتكاليفها، وتطور أسواقها واستخداماتها في صناعة الأسمدة والتحول الطاقي، إلى جانب الفرص المتاحة للدول العربية في هذا المجال.

أما دراسة معهد أكسفورد لدراسات الطاقة، فتركز على تكلفة إمداد سوق شمال غرب أوروبا بالأمونيا من خلال مقارنة الإنتاج المحلي بالواردات من الولايات المتحدة والمغرب. وتختلف الدراستان في نطاقهما الجغرافي وافتراضاتهما وحدود احتساب التكلفة؛ إذ تعرض دراسة أوابك نطاقات لتكلفة الإنتاج، بينما تحتسب دراسة أكسفورد تكلفة وصول الأمونيا إلى السوق، بما يشمل الإنتاج والتخزين والمناولة والنقل، إلى جانب أثر سياسات الكربون والحوافز. ولذلك، تركز المقارنة على الاتجاهات والعوامل المؤثرة في التنافسية، مع مراعاة هذه الاختلافات عند تفسير الأرقام الواردة في الدراستين.

وفي هذا الإطار، تبرز الدراستان أهمية تكلفة الطاقة واللقيم في تحديد تنافسية الأمونيا. فقد قدرت دراسة أوابك تكلفة إنتاج الأمونيا الرمادية بنحو **290-400 دولار للطن**، والأمونيا الزرقاء بنحو **320-820 دولار للطن**، والأمونيا الخضراء بنحو **400-1240 دولار للطن** .وتعكس هذه النطاقات اختلاف أسعار الغاز الطبيعي والكهرباء، وتكلفة إنتاج الهيدروجين، وكفاءة التقنيات، وحجم الاستثمارات المطلوبة، وتكاليف احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه في المسارات التي تعتمد عليه.

كما أشارت دراسة أوابك إلى أن أزمة أسعار الغاز في أوروبا خلال الفترة 2021–2023 أدت إلى خفض الإنتاج أو توقفه مؤقتا في مصانع تراوحت طاقتها الإنتاجية الإجمالية بين نحو **4.5-7 ملايين طن سنويا**، وأن نسبة القدرة الإنتاجية المتوقفة مؤقتا تجاوزت **70%** في بعض الفترات، ضمن النطاق الذي تناولته الدراسة. وتوضح هذه التطورات مدى تأثر صناعة الأمونيا بتكلفة الغاز الطبيعي، وتتسق مع نتائج أكسفورد التي أبرزت انخفاض تكلفة اللقيم بوصفه عاملا أساسيا في تنافسية الواردات من الولايات المتحدة. غير أن تقييم فرص الدول الأعضاء في أوابك يتطلب حساب تكلفة الإنتاج والإمداد لكل دولة ومشروع، بما يشمل تكاليف الوصول إلى السوق المستهدفة.

ويمتد التقاطع بين الدراستين إلى دور الأمونيا الزرقاء في خفض الانبعاثات على المدى القريب. فدراسة أوابك تقدمها بوصفها مسارا انتقاليا، بالتوازي مع التوسع التدريجي في الأمونيا الخضراء، بينما تظهر دراسة أكسفورد أن إضافة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه إلى المصانع القائمة قد تكون من أقل خيارات خفض

انبعاثات الإنتاج المحلي تكلفة. وتبرز هذه النتيجة القيمة الاقتصادية للاستفادة من المعدات والمرافق المتاحة، مع بقاء الجدوى مرتبطة بكفاءة الاحتجاز وتوافر وسائل نقل ثاني أكسيد الكربون ومواقع تخزينه وتكلفتها.

أما الأمونيا الخضراء، فتطرحها دراسة أوابك بوصفها مسارا استراتيجيا طويل الأجل، تتحسن تنافسيته مع انخفاض تكلفة الكهرباء المتجددة وتطور تقنيات التحليل الكهربائي وتراجع تكلفة المعدات والاستثمارات المطلوبة. وتتسق نتائج أكسفورد مع هذا الاتجاه، إذ تبرز أثر تكلفة الكهرباء وأجهزة التحليل الكهربائي والتمويل وعدد ساعات التشغيل في تكلفة الإنتاج. ومن ثم، تختلف فرص هذا المسار بين المناطق والمشروعات بحسب موارد الطاقة المتجددة وظروف الاستثمار. وتؤكد المقارنة أهمية اختيار المسار الملائم لظروف كل دولة ومشروع، بما يتفق مع توصية أوابك بمواءمة الاستراتيجيات مع المزايا النسبية للدول العربية وتعزيز التكامل بين الدول الغنية بالغاز الطبيعي وتلك التي تتمتع بإمكانات كبيرة للطاقة المتجددة.

وإلى جانب العوامل الفنية والاقتصادية، تؤكد دراسة أوابك دور السياسات والأطر التنظيمية في دعم استثمارات الأمونيا منخفضة الانبعاثات، بينما تختبر دراسة أكسفورد مدى قدرة هذه الأدوات على تغيير تنافسية خيارات الإمداد. وقد أظهرت نتائج أكسفورد أن فروق أسعار الطاقة بين مناطق الإنتاج كانت أكثر تأثيرا من بعض الحوافز الحالية في السيناريوهات المدروسة. ويكمل الاستنتاجان بعضهما؛ فالحوافز قد تساعد على تنفيذ المشروعات وخفض تكلفتها، بينما تتوقف قدرتها على تعويض فروق كبيرة ومستمرة في تكلفة الطاقة على حجمها ومدتها وظروف السوق.

وتتقاطع الدراستان كذلك في أهمية الأداء البيئي للمنتج. فدراسة أوابك تربط التنافسية في الأسواق الكبرى بكثافة الانبعاثات، أي كمية غازات الدفيئة المرتبطة بإنتاج كل طن من الأمونيا، بينما تؤكد دراسة أكسفورد أهمية تقييم الانبعاثات على امتداد سلسلة القيمة، بما يشمل المراحل السابقة للإنتاج، وعدم الاكتفاء بنسبة احتجاز ثاني أكسيد الكربون داخل المصنع. ولذلك، يتطلب تقييم فرص الوصول إلى الأسواق بيانات موثقة عن الانبعاثات ومنهجية قياسها والمراحل المشمولة بالحساب، إلى جانب تكلفة المنتج؛ فتسمية الأمونيا بالرمادية أو الزرقاء أو الخضراء وحدها لا تثبت استيفاءها متطلبات السوق المستوردة.

وتكتمل المقارنة بدور البنية التحتية في تحويل مزايا الإنتاج إلى فرص تجارية. فدراسة أكسفورد تحتسب تكاليف التخزين والمناولة والنقل ضمن تكلفة إمداد السوق، بينما تؤكد دراسة أوابك أهمية الموانئ ومحطات التصدير ومرافق تداول الأمونيا في توسع تجارتها. ومن ثم، تعتمد الاستفادة من انخفاض تكلفة الإنتاج على

توافر سلسلة إمداد قادرة على إيصال المنتج إلى السوق بتكلفة تنافسية، إلى جانب مرافق نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عند الاعتماد على مسار الأمونيا الزرقاء.

الفرص والتحديات للدول الأعضاء في أوابك

تشير المقارنة بين الدراستين إلى وجود فرص أمام الدول الأعضاء في أوابك لتطوير إنتاج الأمونيا منخفضة الانبعاثات وتصديرها، بالاستفادة من مزايا نسبية تتفاوت بين دولة وأخرى. وتشمل هذه المزايا موارد الغاز الطبيعي، وإمكانات الطاقة المتجددة، والقدرات الصناعية والبنية التحتية القائمة، والخبرة في تجارة الطاقة، والقرب الجغرافي من بعض أسواق الاستهلاك الرئيسية. وتعتمد الاستفادة منها على تطوير مسارات إنتاج ملائمة، وسلاسل إمداد موثوقة، وأطر تنظيمية وتجارية تدعم الاستثمار والوصول إلى الأسواق.

وتتمثل أبرز التحديات في تحويل هذه المقومات إلى تكلفة إمداد تنافسية، مع استيفاء متطلبات السوق المستهدفة بشأن الانبعاثات. ويشمل ذلك تأمين الطاقة واللقيم بتكلفة مناسبة، وتوفير التمويل والتقنيات والبنية التحتية اللازمة للإنتاج والتصدير، إضافة إلى مرافق نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عند اختيار مسار الأمونيا الزرقاء.

ولا توفر الدراستان أساساً كافياً لتحديد تنافسية دولة عضو أو مشروع بعينه؛ فدراسة أكسفورد لم تحسب تكلفة الإمداد من الدول الأعضاء في أوابك، بينما تعرض دراسة أوابك نطاقات عامة لتكلفة الإنتاج. ولذلك، يتطلب تقييم الفرص دراسة تفصيلية لكل مشروع تشمل تكاليف الإنتاج والتخزين والمناولة والشحن، والأعباء المرتبطة بالانبعاثات، وأثر السياسات والحوافز، مع اختبار مدى تغير النتائج عند تغير الأسعار والافتراضات الأساسية.

وعلى هذا الأساس، يتمثل المعيار العملي في القدرة على إنتاج أمونيا تستوفي متطلبات السوق المستهدفة من حيث كثافة الانبعاثات، وإيصالها إلى المشتري بتكلفة نهائية تنافسية. ويساعد هذا المعيار على تحديد المشروعات والأسواق الأنسب لظروف كل دولة، وتوجيه الاستثمارات نحو مسارات الإنتاج والبنية التحتية التي تدعم جدواها.