

هل بإمكان مصافي النفط التكيّف مع زيادة المعروض من النفط الصخريّ؟

وليد مطر ورامي شبانة

شكر وتقدير

يزجي المؤلفون أسمى آيات الشكر والتقدير لمارك فينلي وألفريدو توريس على تعليقاتهم البناءة التي ساهمت في تحسين هذا البحث.

عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

إشعار قانوني

© حقوق النشر 2020 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبه بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية –سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند –أو أي جزء منه- أو أن يفسر كنصيحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدي الدراسة، ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.

رغم أن إنتاج النفط الصخري الخفيف (LTO) في الولايات المتحدة الأمريكية قد شهد نموًا ملحوظًا في العقد الماضي، إلا أن السؤال السائد المطروح في قطاع تكرير النفط يبقى مائلًا: هل بإمكان مصافي النفط التكيف مع زيادة المعروض من النفط الخام الخفيف؟ يتناول هذا البحث الإجابة عن هذا السؤال باستخدام نمذجة الأمثلية طويلة المدى لصناعة تكرير النفط العالمية، حيث نقوم بتشغيل هذا النموذج للفترة ما بين الأعوام 2017 حتى عام 2030، آخذين في الاعتبار توقعات شركة ريستاد (Rystad¹) لإمدادات النفط الخام بعد فيروس كورونا. فيما كان مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة حسب مقياس معهد النفط الأمريكي² (API) لتوريد النفط الصخري الخفيف هو 46. كذلك تم إدراج توقعات الطلب على المنتجات المأخوذة من الوكالة الدولية للطاقة وتعديلها لخفض الطلب الأخير بسبب جائحة كوفيد-19. وقد تمثلت النتائج الأساسية التي توصلنا إليها فيما يلي:

تستجيب مصافي النفط للنمو المستقبلي المتوقع من قبل شركة ريستاد (Rystad) للمعروض من النفط الصخري الخفيف من خلال الاستثمار بشكل أساسي في تقطير النفط الخام بالضغط الجوي وقدرة التكسير المهدرج. يزيح النفط الصخري الخفيف أصناف الخام الأخف درجة والأكثر تكلفة ويمتزج مع أصناف الخام الأثقل قليلة التكلفة.

ستؤدي زيادة عرض النفط الصخري الخفيف بدون قيود رأس المال، بنسبة 10% في توقعات ريستاد (Rystad) إلى تقليل أخذ تكرير النفط الخام في الفترة ما بين عامي 2020 و2030. وتشير هذه النتيجة إلى أن عائدات منتجات النفط الصخري الخفيف تتوافق بشكل أفضل مع المنتجات المطلوبة. وبالتالي، ينبغي تقليل الاستثمار في وحدات التقطير الجوي.

أما مع قيود رأس المال، فتؤدي الزيادة في العرض طويل الأمد إلى زيادة إجمالي تكاليف التكرير العالمية لتفوق الكمية المذكورة في الحالة المرجعية، ويحدث هذا النمو بسبب خلط أصناف النفط الخام الأكثر تكلفة مع النفط الصخري الخفيف الإضافي.

لا تواجه مصافي النفط في الحالة المرجعية، مشاكل في التعامل مع الإمدادات الإضافية من النفط الخام الأمريكي الخفيف. بل تستجيب مصافي النفط في بعض المناطق، للعرض الإضافي من خلال الاستثمار في تقطير النفط الخام بالضغط الجوي وقدرة التكسير المهدرج لزيادة حصصها من كمية الزيت الصخري الخفيف (LTO). فيما يزيح النفط الصخري الخفيف أصناف النفط الخام الأثقل والأكثر تكلفة ويمتزج مع الأصناف الأثقل غير المكلفة. أما في الحالة التي يكون فيها عرض النفط الصخري الخفيف أكبر بنسبة 10% من توقعات ريستاد (Rystad)، فإن مقدار تكرير النفط الخام في الفترة ما بين عامي 2020 و2030 يكون أقل. تشير هذه الاستجابة إلى أن المردود الإنتاجي للنفط الصخري الخفيف (LTO) تتوافق بشكل أفضل مع المنتجات المطلوبة. وبالتالي، يجب أن يكون الاستثمار في تقطير النفط الخام بالضغط الجوي أقل. أما عندما يكون لمصافي النفط وصول محدود إلى رأس المال، فإن ارتفاع المعروض من النفط الصخري الخفيف يؤدي إلى ارتفاع إجمالي تكاليف التكرير العالمية مقارنة بالحالة المرجعية. تحدث هذه النتيجة بسبب مزج أصناف النفط الخام الأكثر تكلفة مع الإمداد الإضافي من النفط الصخري الخفيف (LTO).

أثار ظهور النفط الصخري الأمريكي وتوقعات استمرار نمو إنتاجه المخاوف بشأن ما إذا كانت مصافي النفط قادرة على التعامل مع الإمدادات المتزايدة للنفط الخام الأثقل. ولتقديم منظور حول هذه المسألة، فإننا ندير نموذجًا عالميًا لتكرير النفط لفترة الأعوام ما بين 2017 إلى 2030، إذ يهدف هذا النموذج إلى زيادة أرباح قطاع التكرير إلى أقصى حد في ثماني مناطق عالمية، مع الأخذ في الاعتبار حوالي 100 صنف من أصناف النفط الخام. ويضمّن النموذج أسعار أصناف النفط الخام على أنها عامل خارجي. ورغم ذلك، يتم تعريف أسعار المنتجات النفطية على أنها التكاليف الحدية الإقليمية للإنتاج التي يحددها النموذج. كما يتم تعديل سلسلة العرض والطلب لمراعاة تراجع ما بعد فيروس كورونا.

كما نقوم بدراسة أربعة سيناريوهات، وتتضمن حالتنا المرجعية توقعات العرض والطلب على النحو المحدد. أما في الحالة البديلة، فإننا نضع في الاعتبار زيادة بنسبة 10% في إنتاج النفط الصخري الخفيف من الولايات المتحدة الأمريكية في الحالتين البديلتين الأخريين، كذلك نضع مستويات متفاوتة من قيود رأس المال على استثمارات مصافي النفط ونفترض ازدياد ناتج النفط الصخري الخفيف (LTO).

ستستقبل الخام الخفيف ليس كمُخرجات حمل أساسية، وإنما كأحجام هامشية لعمليات التعبئة (Sheppard 2018). وفي المقابل، فإنّ للوكالة الدولية للطاقة (IEA) رأيًا مخالفًا في هذا الصدد. إذ تعتقد أنه سينظر للاستثمارات في تحسينات المصافي على مدار العقدين الماضيين على أنها تكاليف باهظة، ولن يتم أخذها في الاعتبار عند تحسين مآخذ الخام اليومية (Petrosyan 2018). وقد دعم هذا المنظور محللين آخرين يعتقدون أن المصافي ستستمر في معالجة النفط الصخري الخفيف إذا كان السعر مناسبًا. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ السياسات الأكثر صرامة بشأن ملوثات الهواء، مثل قرار المنظمة البحرية الدولية الذي يحد من انبعاثات الكبريت من السفن، وتفضيل استخدام النفط منخفض الكبريت وهو النفط الصخري الخفيف بحكم طبيعته.

بالتالي، فإنّ هذه الدراسة تهدف إلى دراسة العواقب المحتملة لزيادة المعروض من النفط الصخري الأمريكي على صناعة تكرير النفط العالمية. ونقوم من أجل تحقيق هذه الغاية، بتطوير ومعايرة نموذج تكرير النفط لتمثيل العمليات العالمية. حيث يعمل هذا النموذج على زيادة إجمالي أرباح صناعة تكرير النفط العالمية إلى أقصى حد، ويتم تحديد أسعار المنتجات داخليًا. كما يتعين أن تحاكي النتائج قدرة نظام التكرير على التكيف مع زيادة المعروض من النفط الصخري الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية ومستويات الاستثمارات الضرورية في ظل افتراضات مختلفة.

ندرس تحقيقًا لهذه الغاية، أربعة سيناريوهات. الأول منها هو سيناريو حالة مرجعية يستند إلى توقعات ريستاد (Rystad) لإمدادات النفط اعتبارًا من ربيع عام 2020. ويعتبر هذا السيناريو الحالة الأساسية التي تتم مقارنتها بثلاث حالات بديلة. تتضمن هذه الحالات البديلة سيناريو مع المزيد من النفط الصخري الأمريكي وسيناريو هين مع المزيد من النفط الصخري الأمريكي ومستويات متفاوتة من قيود رأس المال. إذ تستكشف هذه السيناريوهات البديلة إمكانية تغيير قرارات تكرير النفط

كان النمو في إنتاج النفط الصخري الخفيف من التكوينات الصخرية في الولايات المتحدة أحد أهم أحداث صناعة الطاقة على مدار العقد الماضي. وقد شهد إنتاج الولايات المتحدة من النفط الخام للفترة ما بين عامي 2009 و2019، نموًا ملحوظًا من 5.4 إلى حوالي 12.1 مليون برميل في اليوم. كما شكّل النفط الصخري الخفيف (LTO) وحده حوالي ثلثي حجم الإنتاج الأمريكي في عام 2019. فيما تراجع خلال نفس الفترة الزمنية صافي واردات الولايات المتحدة من النفط الخام من 9.1 إلى 3.8 مليون برميل في اليوم. تم إحلال الواردات وزادت الصادرات بدرجة ملحوظة. ومع ذلك، فإنّ النمو في حجم النفط الصخري الخفيف لم يكن التأثير الوحيد الجدير بالملاحظة لهذا التغيير في الإنتاج الأمريكي، إذ أضافت جودة النفط الخام من التكوينات الصخرية بعدًا آخر إلى السرد الذي قد يمثل تحديًا لكل من المنتجين ومصافي التكرير.

غير أنّ لدى المحللين والمشاركين في السوق آراء مختلفة حول تأثيرات معدلات الارتفاع الوشيك للنفط الصخري الخفيف في الولايات المتحدة على وجه الخصوص، فهم يختلفون بشأن مسألة جودة النفط الخام. بينما تنبع تكهنات الخبراء في هذا الصدد من محورين رئيسيين للمناقشة. يعالج المحور الأول: أوجه التفاوت بين النمو المتوقع في الطلب على نواتج التقطير المتوسطة والنفط الصخري الخفيف للمنتجات الموزونة بالنافتا. أما المحور الثاني، فيتعلق بالأسطول الحالي لمصفاة التكرير الذي تم تكوينه لعقود، لمعالجة أصناف مقياس الكثافة الكتلية المتوسطة والثقيلة. لذلك فإنّ التعامل مع التلقيم الأخف وزنًا بشكل فعال من حيث التكلفة يمثل تحديًا. وقد وصلت مصافي التكرير الأمريكية بالفعل إلى حدودها القصوى في معالجة النفط الصخري الخفيف المحلي. وبالتالي، يعتقد بعض المحللين أننا: "سنصطدم بجدار التكرير العالمي، في ظل وجود محطات غير مناسبة لاستيعاب الخام الخفيف" (Alhajji 2018). إلّا أنّ بعض شركات النفط المتكاملة تزعم أنّ المصافي المصممة لمعالجة الخام الثقيل

تم تنظيم هذا البحث على النحو التالي: يستعرض القسم التالي مراجعة متعمقة للنفط الصخري وجودة النفط الخام في الولايات المتحدة الأمريكية، ومن ثم نقوم بمراجعة الأدوات الموجودة في المؤلفات العلمية لتحليل عمليات تكرير النفط على المدى الطويل. ونصف بعد ذلك الإطار الرياضي المستخدم لهذه الدراسة في سياق هذه الأدوات الحالية ووصف السيناريوهات التي تم أخذها في الاعتبار في هذه الدراسة. وناقش أخيرًا، النتائج التي تم التوصل إليها إلى جانب تقديمنا للملاحظات الختامية.

إذا كان المعروض من النفط الصخري الخفيف أكبر، أو كانت النفقات الرأسمالية أقل. فيما يسمح النموذج للمصافي بدون قيود رأس المال، بإجراء استثمارات غير محدودة. وبالتالي، تسمح قيود رأس المال بوجود سيناريوهات أكثر واقعية.

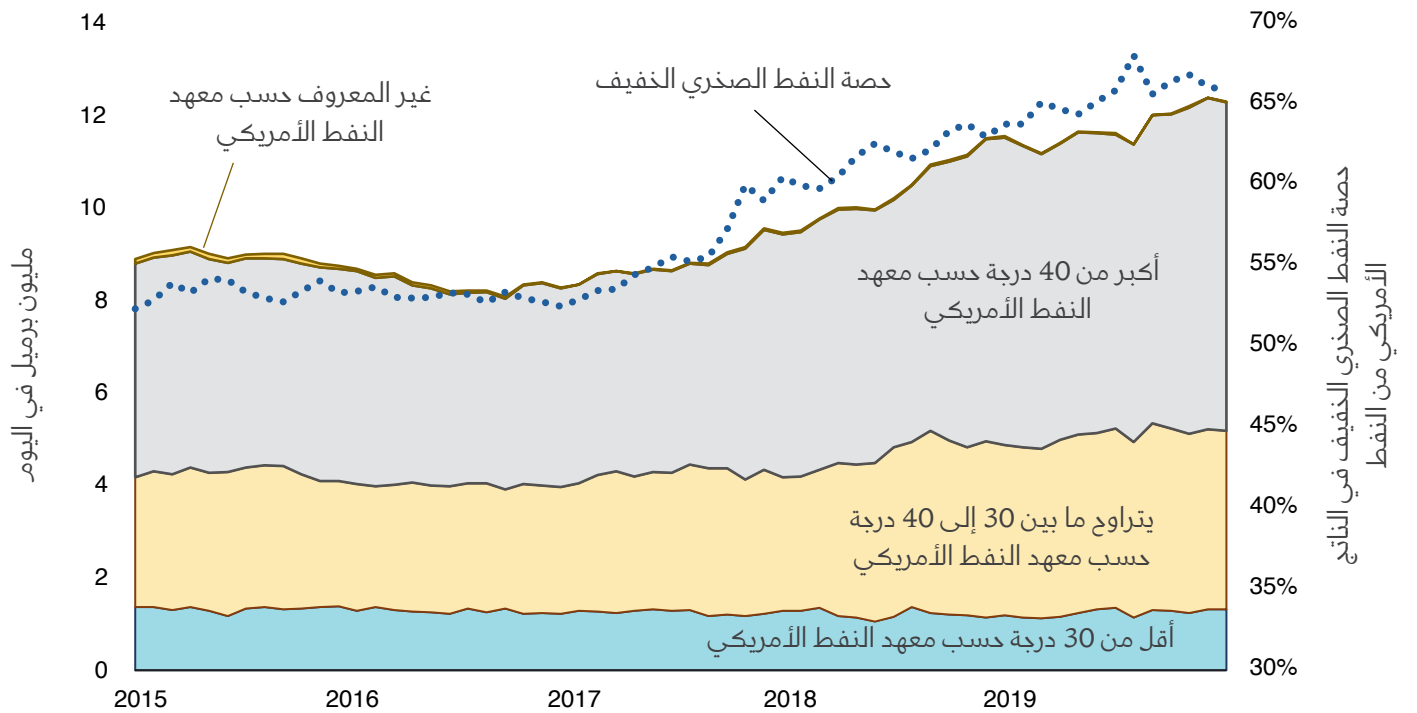
إلا أن الأمر الأهم من ذلك، أن التراجع في أسعار النفط بسبب تدابير مكافحة انتشار جائحة كوفيد-19 قد أدى إلى تباطؤ الاستثمارات العالمية الأولية بدرجة كبيرة. حيث تقدر الوكالة الدولية للطاقة (2020) أن الاستثمارات الأولية في قطاع النفط والغاز ستنخفض بنسبة 32% في عام 2020 مقارنة بعام 2019. وقد أثر هذا التباطؤ على منتجي النفط الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية نظرًا لطبيعة إنتاج الزيت الصخري على المدى القصير، إذ تقلصت كمياته بدرجة ملحوظة. ورغم ذلك، ووفقًا لشركة ريستاد للطاقة (Rystad Energy)، فإن من المتوقع أن ينتعش إنتاج النفط الأمريكي في عام 2022 أو 2023 وأن يستمر على طول مسار نموه حتى نهاية العقد.

إنتاج النفط الصخري الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية وتطور أنماط جودة النفط الخام

تكون الكثافة الكتلية للخامات الثقيلة أقل من 26 درجة. يتميز النفط الصخري الخفيف كما يوحي الاسم، بأنه خام خفيف. ورغم ذلك، فإنه يقع في الطرف العلوي من طيف الخام الخفيف. وعادةً ما يكون مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة أعلى من 40 درجة، وتكون في بعض الحالات، أعلى من 50 درجة مع خصائص التكثيف. وبالتالي، فقد أدت الزيادة في إنتاج الولايات المتحدة الأمريكية من النفط الخام الخفيف إلى حدوث تغيير في الجودة الإجمالية للنفط الخام الأمريكي بمرور الوقت. إذ ازدادت على وجه التحديد، حصة الأصناف الخفيفة الإضافية من النفط الخام. يوضح الشكل (1) أن حجم الزيت الخفيف الإضافي والنفط مع مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة حسب مقياس معهد النفط الأمريكي أعلى من 40 درجة، قد زاد بنسبة تزيد عن 45%، أو أكثر من 2 مليون برميل في اليوم، وذلك في الفترة ما بين عامي 2015 و2019. وتتوافق هذه الفترة الزمنية مع زيادة نسبة النفط الصخري الخفيف (LTO).

تعتمد جودة النفط الخام بصفة أساسية على كثافته ومحتواه من الكبريت. إذ تشير هذه الخصائص إلى مستوى المعالجة الذي تتطلبه المصافي لإنتاج المنتجات المطلوبة على النحو الأمثل. كما أنها تحدد قيمة النفط الخام، التي يمكن بدورها أن تؤثر على اقتصاديات المصافي. وعادة ما تُقاس كثافة النفط باستخدام مؤشر طوره معهد البترول الأمريكي (API) يُسمى مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة، الذي يعكس كثافة النفط الخام بالنسبة إلى الماء. تشير قيمة مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة حسب مقياس معهد النفط الأمريكي إلى زيت خام أخف (أقل كثافة). ويختلف تصنيف النفط الخام حسب الكثافة الكتلية المتوقعة الخاصة به بحسب المنطقة. إذ تحتوي الخامات الخفيفة والحلوة بشكل عام، على الكثافة الكتلية التي تزيد عن 35 درجة وتحتوي على نسبة كبريت أقل من 0.5% (Eni 2020). بينما تحتوي الأصناف المتوسطة عموماً على كثافة كتلية تتراوح ما بين 26 و35 درجة، فيما

الشكل 1. إنتاج النفط الخام الأمريكي وفقاً لمقياس الكثافة الكتلية المتوقعة حسب مقياس معهد النفط الأمريكي للفترة من 1 يناير 2015 إلى 31 ديسمبر 2019.



المصدر: إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA).

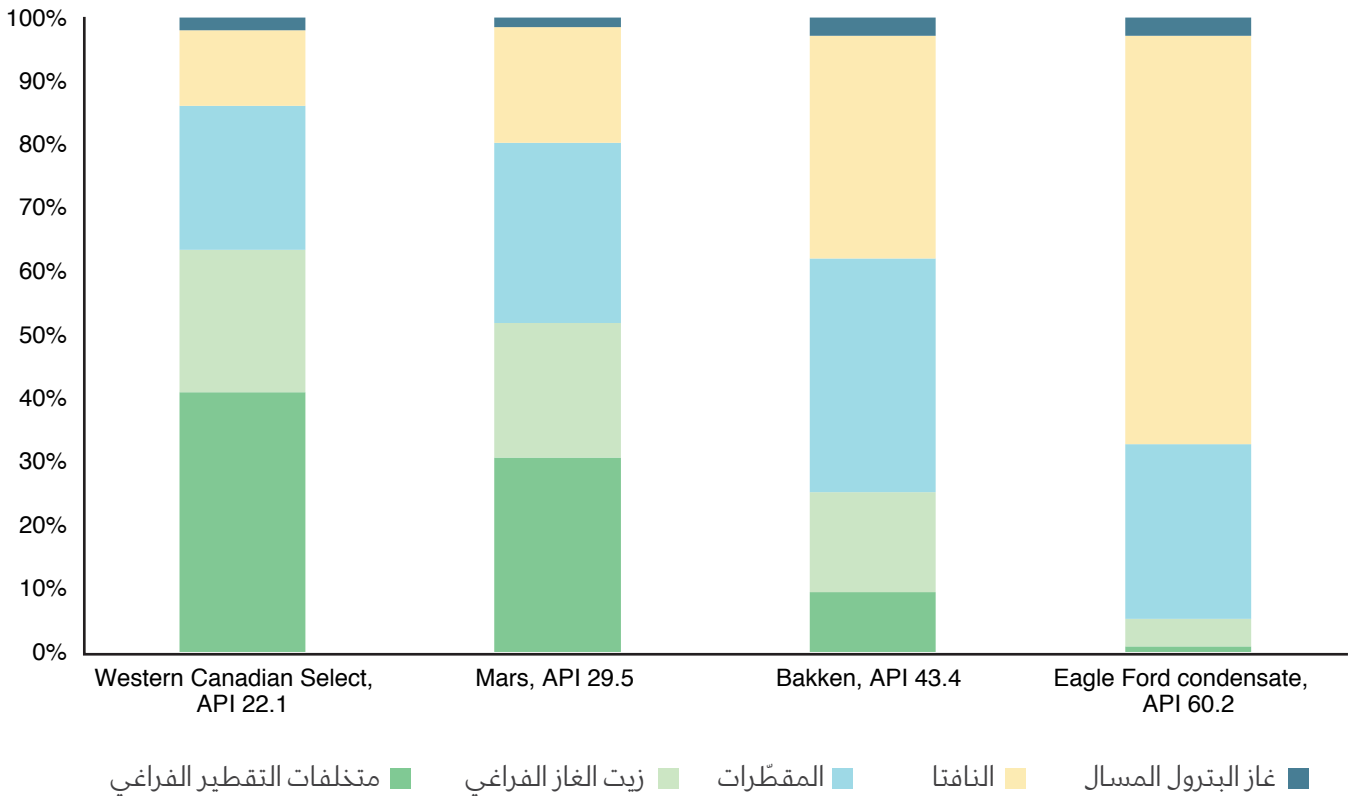
إنتاج النفط الصخري الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية وتطور أنماط جودة النفط الخام

منتجاتها تميل أكثر نحو النافتا. ويمكن بالتالي، أن يمثل تحديات للمصافي المصممة لمعالجة الخام الوسيط إلى الثقيل.

تم خلال حقبة التسعينيات والعقد الأول من القرن الحالي استثمار موارد ضخمة لتحديث المصافي في الولايات المتحدة الأمريكية وذلك تحسباً لهيمنة الزيوت الثقيلة على العرض. إذ تم على وجه الخصوص، تركيب وحدات التحويل العميق لتحويل مخلفات النفط إلى بنزين وديزل (Kemp 2014). وبالتالي، فإن تشغيل النفط الصخري الخفيف (LTO) يكون دون المستوى الأمثل، لأنه يقلل من استخدام هذه الوحدات الجديدة، مما يؤثر على اقتصاديات المصفاة. كذلك قد تواجه بعض مصافي التكرير قيوداً مادية في معالجة النفط الصخري الخفيف (LTO)، نظراً لمحدودية قدرتها على التعامل مع المَقَطَّرَات الخفيفة.

يوضح الشكل (2) اختبارات فحص³ معهد البترول الأمريكي للزيوت الخام ذات الكثافة المتفاوتة، التي تعكس أنماط إنتاج المنتجات المكررة المختلفة. تنتج الخامات الثقيلة ذات الكثافة المنخفضة من معهد البترول الأمريكي بشكل عام مكونات هيدروكربونية تعتبر أثقل كثيراً، مثل متخلفات التقطير الفراغي وزيت الغاز الفراغي، عند تمريرها عبر مصفاة. وتحتاج هذه المكونات إلى مزيد من التفصيل لتحويلها إلى منتجات مرغوبة. تنتج الخامات الخفيفة في المقابل، كميات أكبر من التخفيضات الأخف، مثل نواتج المقطرات والنافتا. تقدر المصافي الزيوت الخفيفة بدرجة أعلى من النفط الخام الثقيل لأن الزيوت الخفيفة تتطلب الحد الأدنى من المعالجة لإنتاج المنتجات الممتازة. ومع ذلك، فإن النفط الصخري الخفيف الأمريكي يعد أخف بكثير من الزيوت الخفيفة التقليدية، مما يجعل مجموعة

الشكل 2. اختبارات فحص الأنواع المختلفة للنفط الخام باختلاف مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة بحسب مقياس معهد النفط الأمريكي (بالكتلة).



المصادر: Equinor (2019) ; Crudemonitor.ca

إنتاج النفط الصخري الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية وتطور أنماط جودة النفط الخام

من ناحية أخرى، كان إلغاء الحظر المفروض على التصدير في عام 2015 بمثابة صمام تنفيس لمشغلي النفط الأمريكيين سمح بتصدير فائض النفط الصخري الأمريكي الخفيف. كما سمح تضيق فوارق أسعار خام غرب تكساس الوسيط وخام برنت للمصافي الأمريكية بالعودة إلى تشغيل الخام الذي صممت من أجله على النحو الأمثل. ومع ذلك، لا تزال آثار الفائض من النفط الصخري الخفيف على استثمارات مصافي التكرير العالمية في المستقبل غير مرئية. وبالتالي، فأنا سنحدد في الأقسام التالية من هذا البحث، الاستثمارات المطلوبة من مصافي النفط لتلبية الطلب المتوقع على المنتجات النفطية في ظل سيناريوهات مختلفة لنمو العرض من النفط الصخري الخفيف (LTO).

تعرض سعر النفط في أمريكا الشمالية – نفط غرب تكساس الوسيط (WTI) - لتخفيض كبير مقارنةً بنفط خام برنت، وذلك بعد الارتفاع الكبير في إنتاج النفط الصخري الخفيف الأمريكي (LTO) وقبل رفع حظر تصدير النفط الخام في أواخر عام 2015. حيث اختارت بعض مصافي التكرير الأمريكية تشغيل المزيد من النفط الصخري الخفيف المحلي (LTO) وتقليل واردات الزيوت الخفيفة من الأسواق العالمية. كما تم استبدال واردات الخامات متوسطة الدرجة جزئيًا بمزيج وسيط “شبيه” ابتكرته المصافي عن طريق مزج النفط الصخري الخفيف (LTO) مع النفط الخام الثقيل (EIA 2015). كما شجعت التخفيضات في أسعار النفط الصخري الخفيف (LTO) والخامات الثقيلة المستوردة بعض المصافي على الاستثمار في اتباع هذه الممارسة. ومع ذلك، فإن قيود المزج تتطلب وجود استثمارات للحد من الاختناقات في مصافي التكرير القائمة وبناء سعة إضافية من خلال وحدات التكرير أو مقسمات المكثفات.

مراجعة نماذج تكرير النفط العالمية طويلة المدى

الأسعار، لأنه يقوم بحلها بنحو متكرر. وبدلاً من تحديد النموذج للسعر المساوي لمتغير التكلفة الحدية في دالة الهدف، فإنه يحل أولاً ثم يحدد بعد ذلك معلمة السعر تساوي التكلفة الحدية للتشغيل السابق.

بالإضافة إلى ذلك، قام الباحثون (Lantz et al. (2012) بتطوير نموذجًا لتكرير النفط لاستخدامه مع التوقعات المستقبلية لأنظمة الطاقة طويلة الأجل، وهو نموذج طاقة عالمي تستخدمه المفوضية الأوروبية. ويعتمد هذا النموذج على توازن الكتلة بين وحدات التكرير. كذلك يعمل النموذج على تقليل تكاليف المصافي إلى أدنى حد، لكنه يأخذ أسعار التكلفة الحدية في الاعتبار. وأخيرًا، يوجد نموذج آخر لتكرير النفط يُستخدم للتحليلات العالمية طويلة المدى وهو نموذج الطاقة العالمي (WEM) التابع للوكالة الدولية للطاقة (IEA 2018a)، حيث يصوغ هذا النموذج تكرير النفط من خلال التركيز على فرادى الدول بدلاً من المناطق المجمعّة. كما لا يهدف هذا النموذج إلى تقليل التكاليف أو تعظيم الأرباح على عكس النموذجين السابقين، كما أن هيكل التكرير الخاص به يعد أكثر بساطة.

تركز معظم الدراسات السابقة حول نماذج تكرير النفط على التحليلات قصيرة المدى وتتناول دراسة المجالات المكانية الصغيرة، وعادةً ما تحتوي هذه النماذج على قيود مادية وتوصيف متعمق للعمليات (Castillo Castillo, Castro, and Mahalec 2017; Karuppiah, Furman, and Grossmann 2008). نماذج تكرير النفط للتخطيط متعددة الأقاليم وطويلة الأجل دُمجت بشكل أساسي في نماذج أنظمة الطاقة متعددة القطاعات، والتي هي خطية بطبيعتها. وتطبق هذه النماذج بعض المعلمات المادية، مثل إنتاج وحدة المعالجة لكل مدخل ومعلومات النفط الخام، مثل كثافة الكتلة؛ ومواصفات الخصائص المادية للمنتجات.

يعد أحد هذه النماذج جزءاً من نظام نمذجة الطاقة الوطنية (NEMS) الذي طورته إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA 2018)، ويتضمن نموذج تكرير النفط الذي يقلل جزئياً من الأرباح السلبية لمصافي التكرير الأمريكية. كذلك يقوم هذا النموذج بدمج الأرباح المتأثية من الكميات المصدرة مع الحفاظ على ثبات الطلب على المنتج داخل الولايات المتحدة الأمريكية. ونفترض أن النموذج يحافظ على الخطية بتكاليف حدية تساوي

العديد من التكرارات التي يتم فيها تحديد المتغيرات المزدوجة لقيود طلب المنتجات النهائية على أسعار الأسعار. وبمكنا بالتالي، ملاحظة التغيرات في أسعار المنتجات الفردية بالتزامن مع زيادة المعروض من النفط الصخري. فيما تتمثل معايير التقارب في أنه ينبغي أن يكون الحد الأقصى للانحرافات في الأسعار وتكاليف الإنتاج الهامشية أقل من 1% بالنسبة للتكرار⁵ السابق. أخيرًا، وكما يوضح الشكل (3)، فإننا نقوم بالتعديل الطفيف لهيكل التكرار الأساسي لمراعاة التيارات المدمجة لوقود الديزل ووقود الطائرات الإضافي.

نقوم بتشغيل النموذج بشكل معاود باستخدام فترات تمتد لعامين في الفترة ما بين عام 2017 حتى عام 2030. وبعبارة أخرى، فإننا نقوم بإيجاد الحل الأمثل من خلال مراعاة المعلومات المتاحة حول السنوات الحالية والتالية. كما تم التعامل مع سعر النفط والمعلومات الأخرى في السنة الثانية على أنها مزايا طويلة المدى. وعندما يتم التوصل إلى حل، تتخذ القرارات المتخذة في العام الحالي على أنها ثابتة، فيما يتم تغيير القرارات التي يتم اتخاذها في العام التالي في التشغيل المعاود التالي. ويتم على سبيل المثال، ترحيل القدرات التي تم بناؤها في العام الحالي كقدرات ثابتة في العام التالي. يعد اختيار هذا النطاق أمرًا منطقيًا لأن استثمارات المصفاة تتم بتنبؤات معقولة على المدى القصير، غير أن المعلومات طويلة الأجل لا تعد مؤكدة بشكل فعال. وقد تم تفصيل المعايير الأولية للنموذج ليعكس بيانات عام 2017 في الملحق.

نظرًا للنطاق الزمني البالغ 14 عامًا والحيز المكاني العالمي، فإننا نستخدم المتغيرات المستمرة في كافة أنحاء النموذج. بينما نستخدم التحليلات السابقة ذات النطاق الأقصر والنطاقات المكانية الأصغر كمتغيرات منفصلة (على سبيل المثال: Castillo Castillo, e.g., Castro, and Mahalec 2017; Karuppiyah, Furman, and Grossmann 2008). ومع ذلك، غالبًا ما يتطلب استخدام مثل هذه المزايا وقتًا أطول للتوصل إلى حل.

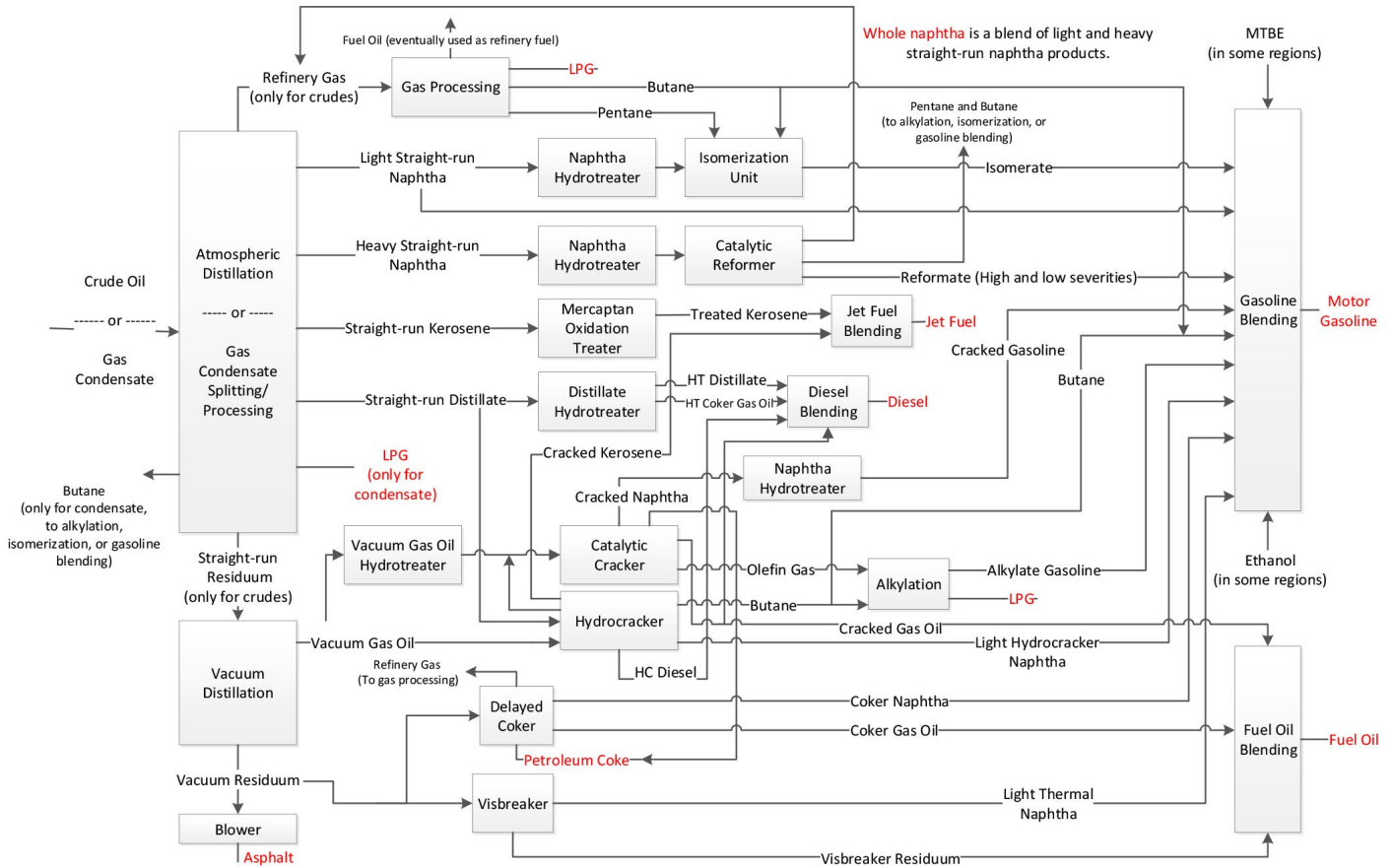
نقوم بتطوير ومعايرة نموذج تكرير النفط لتمثيل عمليات التكرير العالمية، ويعد هذا النموذج نسخة معدلة من مكون تكرير النفط لنموذج كابسارك للطاقة. ويستخدم النموذج الرياضي لدعم اللدعاءات الواردة في هذه الورقة فقط. ويقصد به تحديد ما إذا كان بإمكان صناعة التكرير أن تتكيف مع ارتفاع إمدادات النفط الصخري من خلال الاستثمار وتوضيح الربحية الناتجة عن ذلك.

تم بناء النموذج لتعظيم إجمالي أرباح القطاع مع اعتبار الطلب على المنتج خارجي المنشأ، وأسعار المنتجات داخلية المنشأ، ويمثل النموذج سوقًا تنافسية تمامًا. كما نستخدم نظام المعادلات الخطية وأوجه عدم المساواة التي وصفها مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية "كابسارك" (2016)، لكننا نضيف أو نعدل بعض مزايا هذا النظام لأغراض هذا التحليل. يشتمل النموذج على حوالي 100 صنف من أصناف النفط الخام ومكثفات الغاز الأكثر استخدامًا. يُقطر الزيت الخام ونقسم مكثفات الغاز. ويقسم النموذج العالم إلى ثماني مناطق تشغيل تتكون من 30 دولة منتجة على النحو المحدد في الملحق. يتم تجميع الدول الأخرى في فئة عامة لكل منطقة. يتضمن النموذج قدرات التكرير والطلب على المنتجات النفطية في كل منطقة.

كذلك يشمل النموذج قيدًا يسمح لنا بفرض حدود الإنفاق الرأسمالي السنوي بحسب المنطقة، كما أنه بالمثل، يغير معدلات الخصم بحسب المنطقة ليعكس الاختلافات الإقليمية في أقساط التأمين على المخاطر⁴ (Egli, Steffen, and Schmidt 2019). ثم نقوم بإضافة قيد آخر لوضع حدود أقل لاستخدام نوع النفط الخام داخل فرادى الدول. وقد يجد النموذج أن استخدام درجة معينة في بلد معين لا تتوافق مع البيانات المتاحة مما قد يؤدي إلى تحسين وظيفة الهدف بنحو طفيف.

نقوم بالإضافة إلى ذلك، بصياغة كل معادلة للإيرادات بضرب التكلفة الحدية الإقليمية للإنتاج في الكمية المنتجة. ونقوم بغية الحفاظ على صيغة خطية، بتشغيل

الشكل 3. مخطط تكرير النفط المستخدم في النموذج، تمت معايرته بالقدرات الإقليمية.



المصدر: تحليل كابسارك.

ملاحظات: LPG: غاز البترول المسال، MTBE: ثلاثي الميثيل ديكلوريد بوتيل الأثير، HT: المعالجة بالهيدروجين، HC: التكسير المهدرج.

نقوم لكل سيناريو من السيناريوهات موضع الدراسة، بالتحقق من أرباح القطاع وتكاليف الاستثمار وأسعار المنتجات للفترة ما بين عام 2017 إلى عام 2030. ونظرًا لأن الطلب على المنتج خارجي المنشأ، فإن أسعار المنتجات تتكيف بحرية مع التكلفة الحدية المتغيرة للإنتاج بالتزامن مع تغير المعروض من الزيت الصخري. غير أنه ومن الناحية العملية، قد يؤدي انخفاض سعر منتج معين إلى زيادة الطلب. وبالتالي، فإن الأسعار التي يقترحها النموذج هي مجرد أسعار تأشيريه فقط وليست فعلاً مناقصة سوقية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد ما إذا كان ارتفاع المعروض من النفط الصخري سيخلق عدم توافق بين قدرات المصافي والطلب على المنتجات النفطية أم لا. ونستخدم خام (Eagle Ford) كعامل لمتوسط برميل النفط الصخري، والذي توصف كثافته الكتلية بـ 46 درجة من معهد البترول الأمريكي، ثم يوضع منتجات (Eagle Ford) المقدره لهذا الصنف في الملحق. ونقوم بغرض الإجابة على سؤالنا المحوري بتشغيل أربعة سيناريوهات:

التوقعات المرجعية لإمدادات النفط حتى عام 2030، كما تم أخذها من (Rystad UCube) الموضحة في الملحق.

زيادة المعروض من النفط الصخري الأمريكي بنسبة 10% في الفترة ما بين عام 2020 حتى 2030، وهو ما يمثله ارتفاع المعروض من النفط الصخري من الإقليم الذي يسمى "برميان"، دون قيود على رأس المال. ويسمى هذا السيناريو "النفط الصخري الإضافي (MS)"

سيناريو هان+ يكون فيهما توريد النفط الصخري من البرميان للأسواق العالمية أعلى بنسبة 10% في الفترة ما بين عام 2020 حتى عام 2030 وتواجه مصافي التكرير قيودًا على رأس المال. يفترض هذان السيناريوهان على وجه التحديد، أن مصافي التكرير تواجه قيودًا رأسمالية تعادل 50% و90%، على التوالي، من الاستثمارات السنوية الإقليمية المنجزة في سيناريو النفط الصخري الإضافي ابتداءً من عام 2021. وتسمى هذه السيناريوهات بسيناريوهات النفط الصخري الإضافي (MS) والسيناريو المقيد برأس المال-50 (MSCC-50) وسيناريو النفط الصخري الإضافي المقيد برأس المال-90 (MSCC-90)، على التوالي.

النتائج والمناقشة

وفي المقابل، فإنّ من المتوقع ارتفاع الطلب على الديزل والبنزين والنافتا. يفضي اختبار النفط الصخري الخفيف الموضوع في الشكل (A2)، إلى هذا التغيير في الطلب على المنتج.

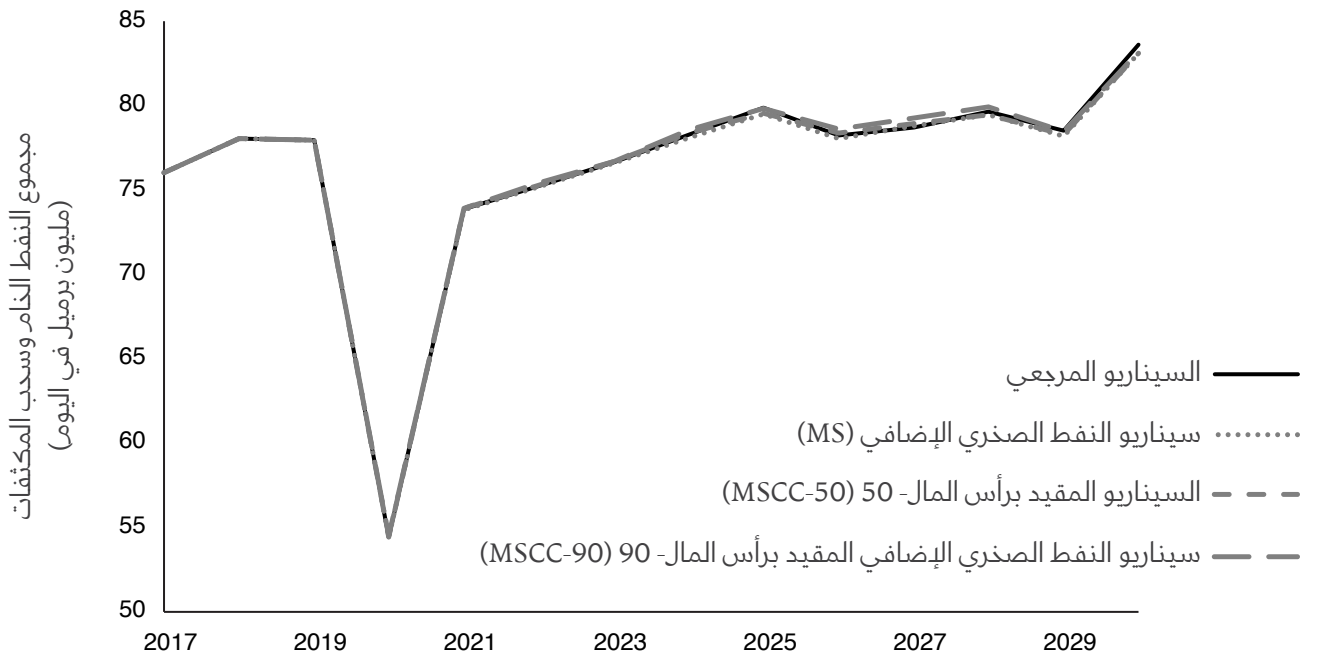
ومع ذلك، فثمة حاجة إلى استثمارات في السعة لإعادة تجهيز المصافي الموجودة، إذ لا تستطيع المصافي في ظل وجود القيود الشديدة على رأس المال في السيناريو المرجعي، التعامل مع الكمية المتزايدة من النفط الصخري الخام. ويدعم هذا الاستنتاج السيناريوهات (MSCC-50 و MSCC-90)، حيث تؤدي قيود الاستثمار الإضافية إلى ارتفاع إجمالي كمية النفط الخام المعالج. إلا أنّ فرض قيود رأس المال على سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS) يؤدي في نهاية المطاف إلى انخفاض نفقات الاستثمار مقارنة بالسيناريو المرجعي. وبالتالي، فإنّ كمية النفط الخام في سيناريو النفط الصخري الإضافي المقيد برأس المال-90 (MSCC-90) تكون أكبر مما كانت عليه في الحالة المرجعية في معظم عشرينيات القرن العشرين.

تستند النتائج الكمية الواردة في هذا القسم إلى العديد من الافتراضات المستخدمة في النموذج. إلا أنها توفر بعض الرؤى النوعية فيما يتعلق بالآثار المحتملة لزيادة المعروض من النفط الصخري الخفيف على قطاع تكرير النفط.

سحب الزيت الخام وتكاليف التكرير

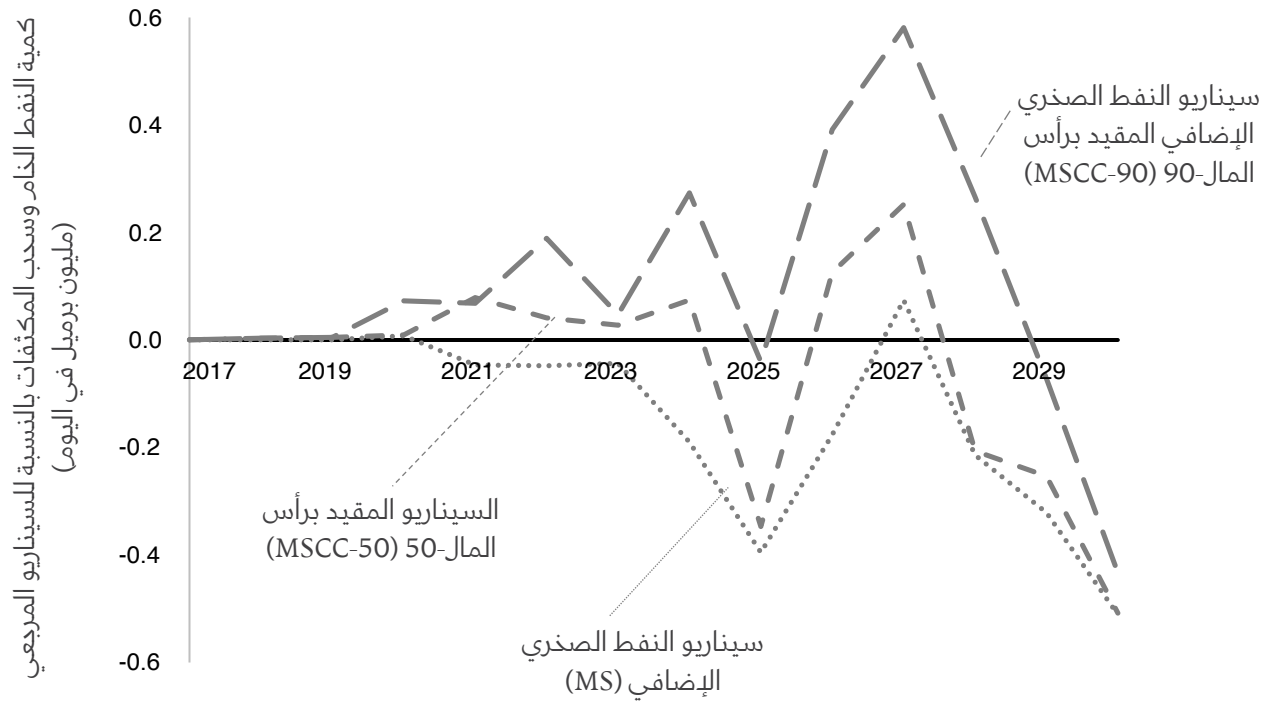
يوضح الشكل (4) كميات النفط الخام التي عالجتها مصافي النفط العالمية في كل سيناريو. كذلك يوضح الشكل (5) انحرافات سحبوبات النفط هذه في السيناريوهات الثلاثة البديلة المتعلقة بالسيناريو المرجعي. إذ تؤدي الزيادة في المعروض من الزيت الصخري الأثقل في ظل عدم وجود قيود رأس المال إلى تقليل كمية المواد الأولية المطلوبة لتلبية الطلب على المنتجات. وبالتالي، يفضل الطلب المتوقع على المنتجات أصناف خام أخف. وكما يوضح الشكل (A1) في الملحق، فإنّ من المتوقع استقرار الطلب على زيت الوقود أو انخفاضه بشكل طفيف بحلول عام 2030.

الشكل 4. سحبوبات المصافي السنوية العالمية من النفط الخام لكل سيناريو.



المصدر: نتائج النموذج.

الشكل 5. التغيير في استهلاك النفط الخام في السيناريو المرجعي.

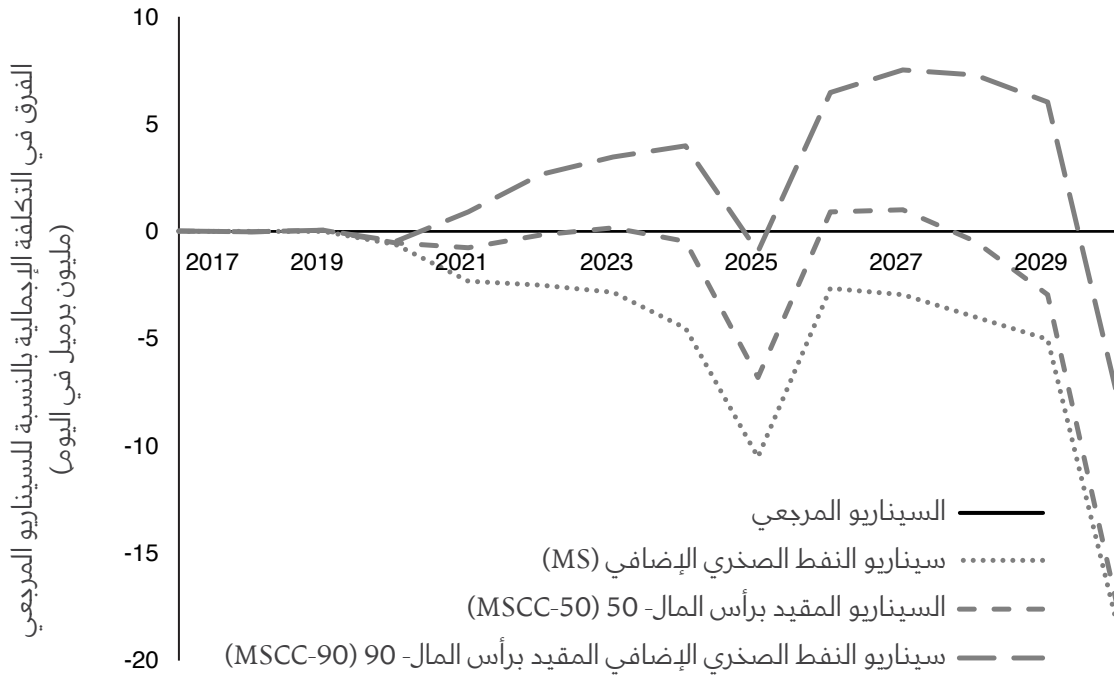


المصدر: نتائج النموذج.

يوضح الشكل (6)، أنه ونظرًا للقيود التدريجية المفروضة على رأس المال، فإن إجمالي التكاليف السنوية يصبح في نهاية المطاف أعلى من تلك الواردة في السيناريو المرجعي. تحدث هذه النتيجة لأن قيود رأس المال تغير مدى استخدام أصناف النفط الخام الأخرى الأكثر تكلفة. فعلى سبيل المثال، شهد عام 2027 انحرافات كبيرة نسبيًا في سحبوبات النفط الخام بين السيناريوهات، كما يوضح الشكل (5). بينما نتج عن الإمداد الإضافي من النفط الصخري الأمريكي الخفيف (API:) (LTO) 46 في سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS)، تراجع سحبوبات كونسورتيوم خط أنابيب بحر قزوين (CPC) من كازاخستان (API: 46.6) ومكثفات الغاز الإيراني (API: 50) في عام 2027. أما في سيناريو (MSCC-90) على النقيض من ذلك، فيتم استخدام المزيد من النفط الخام الإجمالي في عام 2027. إذ يتم استخدام الحجم الأكبر من النفط الصخري الأمريكي الخفيف (LTO) مع اتحاد خطوط أنابيب بحر قزوين ومكثفات الغاز الإيراني

تقلص التكلفة الإجمالية لمصافي النفط العالمية بدون قيود على رأس المال، بالتزامن مع زيادة المعروض من النفط الصخري مقارنة بالسيناريو المرجعي. كما يستخدم النفط الصخري بالكامل في جميع السيناريوهات، حتى تلك التي لها قيود على رأس المال. وفي هذا السياق، يكون سعر النفط الصخري الأمريكي الخفيف (LTO) أقل من العديد من أصناف الخام الأخرى في النموذج. فعلى وجه التحديد، فإنه دائمًا ما يُفترض أن يكون أقل تكلفة من خام برنت بمقدار 6.66 دولارًا للبرميل. ويعتمد هذا الافتراض على فروق الأسعار الأصلية. وعلى أية حال، فإن من المناسب استكشاف جدوى استخدام الزيت الصخري في التكرير. إذ من المفترض أنه في حالة ارتفاع معدل المعروض من النفط الصخري الخفيف، انخفاض سعره مقارنةً بنفط خام برنت. كما أننا نستكشف في الأقسام اللاحقة فروق أسعار النفط الصخري الأمريكي الخفيف (LTO) فيما يتعلق بنفط خام برنت.

الشكل 6. التغير السنوي في إجمالي تكلفة تكرير النفط العالمية بالنسبة للسيناريو المرجعي.



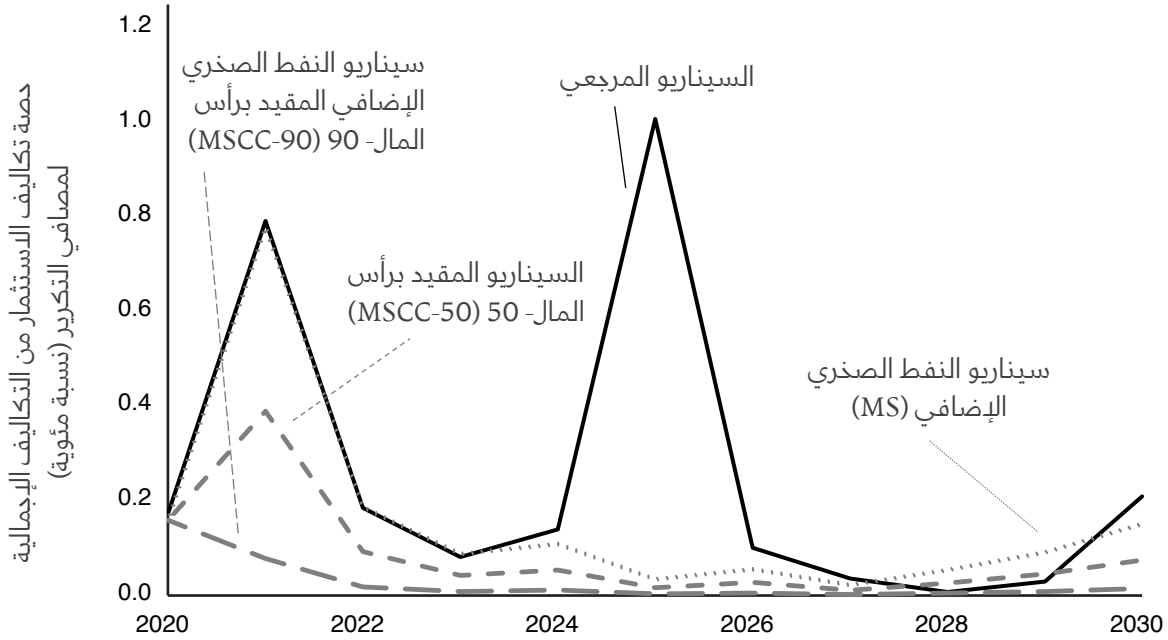
المصدر: نتائج النموذج.

اللازم لمعالجة المزيد من النفط الخام الخفيف. يوضح الشكل (7) أن حصة تكاليف الاستثمار في التكاليف الإجمالية أقل بوجه عام في السيناريوهات التي تنطوي على تقلص الإمدادات النفطية مقارنة بالحالة المرجعية. يتزامن الارتفاع الحاد للاستثمارات في السيناريو المرجعي مع ارتفاع التكاليف الحدية لإنتاج الديزل وزيت الوقود في عام 2025. وقد تم تخفيف وطأة هذه التكاليف المرتفعة في السنوات اللاحقة، حيث يتم في هذا السيناريو إجراء استثمارات ضخمة في قدرة التكسير المهدرج في الفترة ما بين عامي 2025 و2026.

بالتزامن مع كميات أقل بكثير من النفط الخام الكويتي الثقيل (API: 31). ينتج اتحاد خطوط أنابيب بحر قزوين والمكثفات الإيرانية كميات أكبر من الديزل وهي أكثر تكلفة في الاستخدام مقارنة بالنفط الخام الكويتي. إلا أن الأهم من ذلك، أن نتائج النموذج هذه تستند إلى مدخلات خارجية. إذ قد تحدد الأطراف التي لا يتم تداول نفطها في السوق من الناحية العملية، أسعار البيع الرسمية الخاصة بهم بقوة، إلا أن مثل هذا السلوك يقع خارج نطاق هذا التحليل.

تجعل التكلفة المنخفضة للنفط الخام الصخري من المجدي لمصافي التكرير الاستثمار في رأس المال

الشكل 7. الحصة السنوية لتكاليف الاستثمار في التكاليف الإجمالية لتكرير النفط على الصعيد العالمي حسب السيناريو.



المصدر: نتائج النموذج.

ارتفعت الاستثمارات في السيناريو المرجعي في غضون عامين ما بين 2021 و2025، وذلك بسبب انتعاش الطلب على المنتجات في عام 2021 وارتفاع التكاليف الحدية لإنتاج الديزل وزيت الوقود في عام 2025. وقد تمت إضافة قدرة التكسير بالوسيط الكيميائي في عام 2025، كما ازدادت قدرة وحدات التكسير المهدرج في الاتحاد السوفيتي السابق وأمريكا الشمالية وأمريكا اللاتينية والشرق الأوسط لتلبية الطلب المتزايد على الديزل. كذلك يوضح الشكل (3) أن أجهزة التكسير المهدرج تنتج بعض الديزل المخلوط مع نواتج التقطير الأخرى ضمن مساعي تطوير المنتج النهائي. بالإضافة إلى ذلك، تستثمر المصافي في استراليا أيضًا في قدرة التقطير الجوي، مما يساعد على تقليل التكاليف الحدية للديزل وزيت الوقود في عام 2025.

يلخص الجدول (1) النفقات الرأسمالية المطلوبة من جانب المصافي في كل سيناريو. تكون الاستثمارات في مصافي النفط على الصعيد العالمي عمومًا أقل في سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS) مقارنة بالسيناريو المرجعي الفترة ما بين الأعوام 2020 و2030. تنخفض النفقات الرأسمالية في الولايات المتحدة الأمريكية بمقدار مليار دولار في سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS). كما تنخفض أكثر في استراليا وتنخفض بدرجة أقل في كل من أوروبا وأمريكا اللاتينية. تكون الاستثمارات الضائعة في استراليا بصفة رئيسة في قدرات تقطير النفط الخام بالضغط الجوي والتقطير الفراغي، أما أوروبا فتقلل من استثماراتها في مقسمات مكثفات الغاز. بينما في سيناريوهات المتعلقة بالقيود الرأسمالية، تبدأ حدود النفقات الرأسمالية في عام 2021. ولا يتم الضغط على المصافي لتوسيع قدرتها لمواجهة الطلب لأن توقعات الطلب أقل.

بالتزامن مع إحكام القيود الرأسمالية مع زيادة المعروض من النفط الصخري الخفيف (LTO) - تستخدم كميات أكبر من الخامات الثقيلة لمزجها مع النفط الصخري الخفيف (LTO) وتستثمر أقل من السيناريو المرجعي.

كذلك كانت حصة الاستثمارات الرأسمالية في السيناريو المرجعي أقل مما كانت عليه حتى عندما يتم إحكام القيود المفروضة على رأس المال إلى 10٪، وتشكل عمليات شراء النفط الخام الحصة الأكبر من هذه التكاليف. وقد تحققت هذه النتيجة نظرًا لأن المصافي -

الجدول 1. متطلبات الاستثمار التراكمية للمصافي لمدة 10 سنوات في كل سيناريو.

السيناريو	الوصف	استثمارات التكرير التراكمية العالمية للفترة ما بين 2020 إلى 2030 (دولار أمريكي بالقيمة الحقيقية لعام 2017)
السيناريو المرجعي	استخدام توقعات ريستاد (Rystad) للعرض اعتبارًا من شهر أبريل عام 2020.	46 مليار دولار
سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS)	ارتفع إنتاج النفط الصخري الخفيف الأمريكي (LTO) بنسبة 10٪ مقارنة بسيناريو الحالة المرجعية	27 مليار دولار
السيناريو المقيد برأس المال-50 (MSCC-50)	الاستثمارات الرأسمالية للمصافي مقيدة بنسبة 50٪ بالنسبة لسيناريو النفط الصخري الإضافي (MS)	14 مليار دولار
السيناريو المقيد برأس المال-50 (MSCC-50)	الاستثمارات الرأسمالية للمصافي مقيدة بنسبة 90٪ بالنسبة لسيناريو النفط الصخري الإضافي (MS)	3.8 مليار دولار

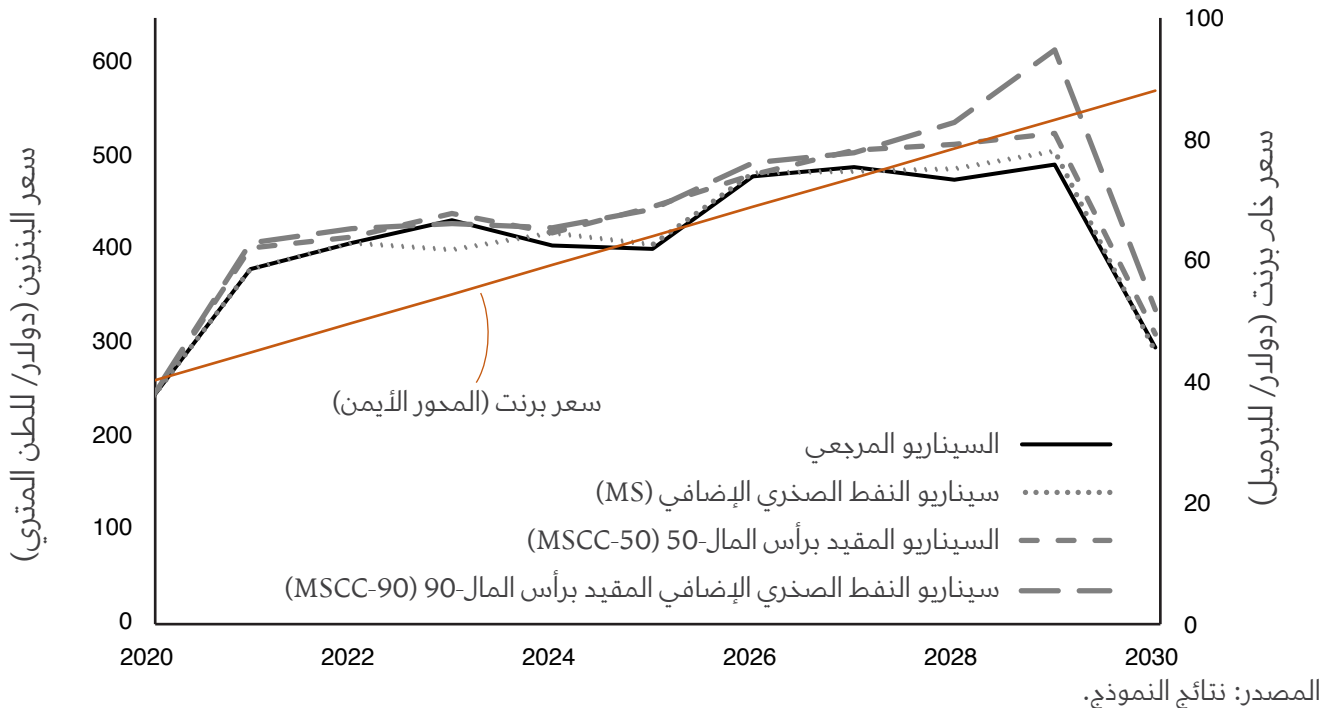
أسعار المنتجات

عام 2025 إلى ما يقرب من 3,100 دولار للطن. ورغم ذلك، لا يحدث هذا الارتفاع الحاد في هذا السيناريو إذا استخدمنا عرض النفط الخام وافتراضات الطلب على المنتج قبل جائحة كوفيد-19 باعتبارها مدخلات (أي، إذا حذفنا تراجع الطلب في عام 2020). قد لا تحدث هذه الزيادة في تكاليف الديزل بسبب العديد من العوامل المتجمعة التي تؤثر على أسواق النفط واستجابة مصافي التكرير للتخفيف شبه السنوية. ورغم ذلك، فإنه يشير ضمناً إلى أن انخفاض الاستثمارات في طاقة التكرير واستجابة الطلب بعد التعافي من جائحة كوفيد-19 يمكنه أن يؤدي إلى ارتفاع أسعار ناتج التقطير بعد خمس سنوات. كما يتسبب تراجع الطلب على المنتج في عام 2020 في قلة الاستثمارات في النموذج نظراً لفترة إيجاد الحل الأمثل التي مدتها عامين. ونعني هذه الفترة أن النموذج يأخذ في الاعتبار لكل عام المعلومات المتعلقة بالطلب على المنتج خلال العام المقبلين فقط. كذلك أدى تراجع معدلات الاستثمارات الناتجة إلى ارتفاع حاد في أسعار الديزل في عام 2025 بالتزامن مع زيادة وتيرة الطلب.

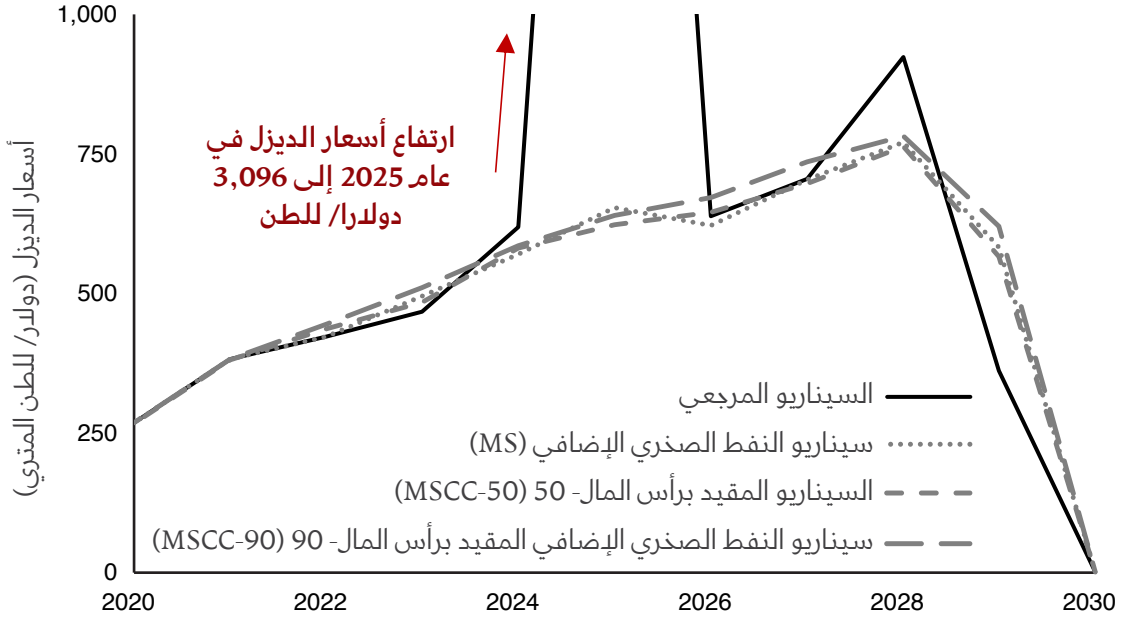
تم في هذا التحليل، تحديد أسعار المنتجات مساوية لتكاليفها الحدية للإنتاج والشحن، وتوضع الأشكال من (8 إلى 10) أن هذه الأسعار ترتفع مع مرور الوقت بالتزامن مع انتعاش الطلب بعد جائحة كوفيد-19، ويرجع ذلك بالأساس إلى الارتفاع التدريجي لأسعار النفط الخام حتى عام 2030. كذلك يوضح الشكل (8) أسعار خام برنت المتوقعة التي نستخدمها لإبراز تشابك العلاقة بين أسعار البنزين والنفط الخام. بالإضافة إلى ذلك، تُظهر الأرقام تأثير زيادة المعروض من الزيت الصخري على أسعار البنزين والديزل والنافتا في أمريكا الشمالية. إلا أن الاستخدام الأكثر شيوعاً للنفط الصخري الخفيف (LTO) ليس له تأثير هبوطي أو تصاعدي واضح على أسعار المنتجات عبر جميع المنتجات والأعوام. كما أن الأسعار تمثيلية في مناطق أخرى بحيث لا ينتج عن النموذج النقل بين المناطق.

ترتفع التكلفة الحدية للديزل في السيناريو المرجعي، في

الشكل 8. أسعار البنزين السنوية في أمريكا الشمالية حسب السيناريو

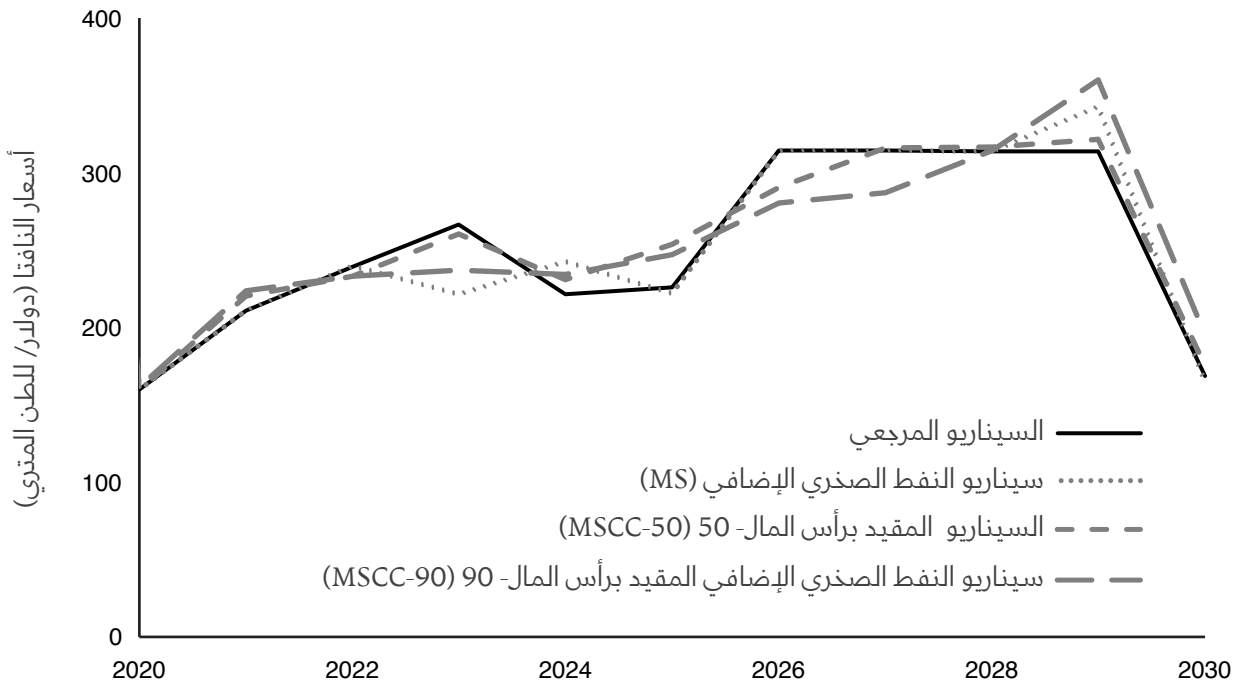


الشكل 9. أسعار الديزل السنوية في أمريكا الشمالية حسب السيناريو.



المصدر: نتائج النموذج.

الشكل 10. الأسعار التجارية السنوية للنافتا في أمريكا الشمالية حسب السيناريو.



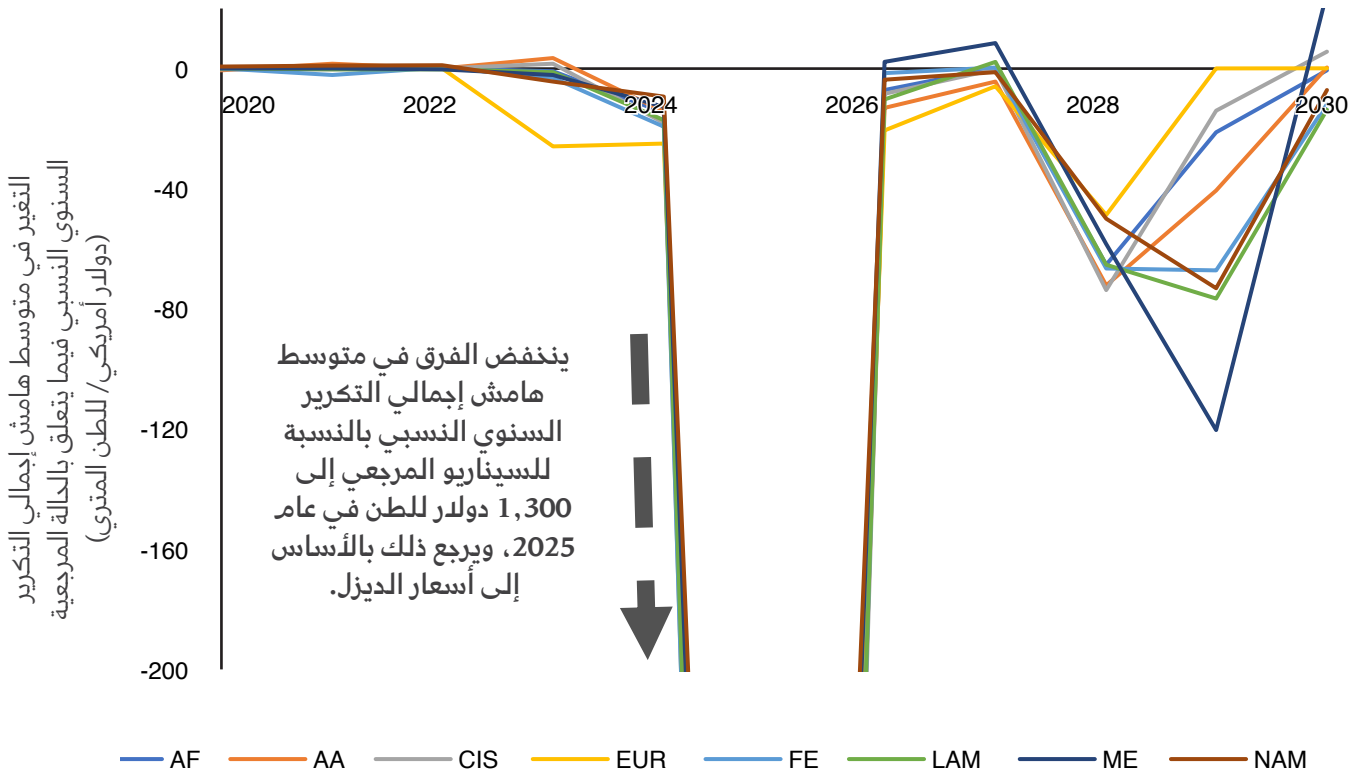
المصدر: نتائج النموذج.

بالنسبة للمصافي. يتم ترجيح المتوسطات بالكمية، ويتم التوصل إلى متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي بطرحه في السيناريو المرجعي من ذلك المتوسط المضمن في سيناريو النفط الصخري الإضافي (MS). إذ يشير متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي السلبي (الإيجابي) إلى أنّ للمصافي متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي أقلّ (أعلى) من ذلك المضمن في سيناريو الحالة المرجعية. كذلك يُفسّر الانخفاض الحاد في عام 2025 بالكامل من خلال ارتفاع سعر الديزل في تلك السنة في السيناريو المرجعي، كما يوضحه الشكل (9). تؤدي زيادة المعروض من النفط الصخري الخفيف بشكل عام إلى تقليل متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي. إلا أننا نلاحظ وجود استثناءات في بعض المناطق في بعض السنوات، مثل منطقة الشرق الأقصى في العامين 2026 و 2027 ومنطقة الشرق الأوسط في عام 2030.

تتراجع الأسعار في نهاية الفترة الزمنية المعنية بسبب الآثار المترتبة على نهاية هذه الفترة، لا سيما بالنسبة للديزل. ويتم تشغيل النموذج في عام 2030، باعتباره نموذج عام واحد طويل المدى بتكاليف استثمار إجمالية سنوية، بينما تم استخدام فترات إيجاد الحل الأمثل لمدة عامين في السنوات السابقة. وتستخدم السنة الثانية فقط من الأمثلة المعادة إجمالي تكاليف الاستثمار السنوية في هذه الحالة.

لإظهار تأثير زيادة المعروض من الزيت الصخري، فإنّ الشكل (11) يوضح متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي (GRM) في سيناريو "النفط الصخري الإضافي (MS)" بحسب المنطقة. ويتم تعريف متوسط هامش إجمالي التكرير السنوي النسبي ببساطة على أنه الفرق بين المتوسط المرجح لسعر الوقود المنتج ومتوسط التكلفة المرجحة للنفط الخام

الشكل 11. هامش التكرير الإجمالي حسب المنطقة في سيناريو النفط الصخري الإضافي فيما يتعلق بالسيناريو المرجعي.



المصدر: نتائج النموذج.

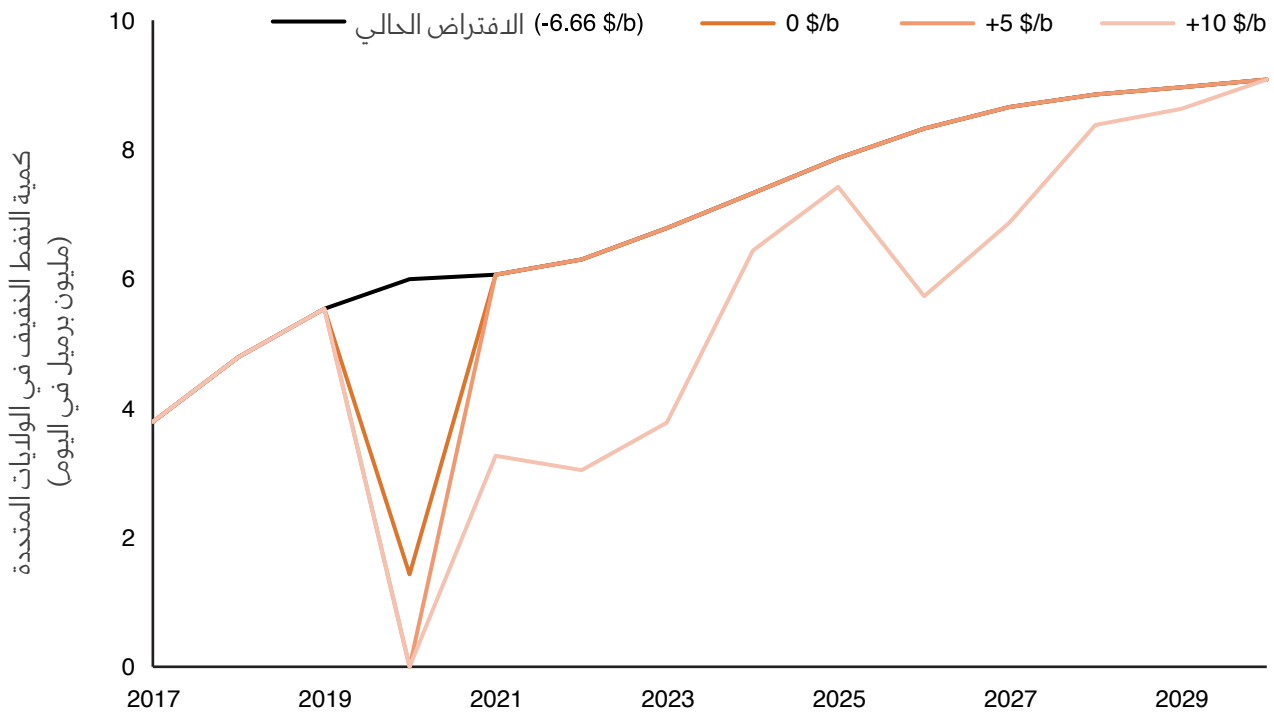
5 أو 10 دولارات للبرميل غير واقعية. ومع ذلك، يوردها الشكل (12) لتسليط الضوء على المدى الذي يجب أن يكلف فيه ثمن النفط الصخري الخفيف الأمريكي أكثر من نفط خام برنت لتحمل إزالته.

عندما يكون سعر النفط الصخري الخفيف مكافئاً لسعر نفط خام برنت، فإن استهلاك المصفاة ينخفض فقط في عام 2020 بسبب الانخفاض المفترض في الطلب على النفط بسبب جائحة كوفيد-19. يجب أن تتجاوز علاوة سعر النفط الصخري مقارنةً بنفط خام برنت (5) دولارات للبرميل لملاحظة بعض الانخفاض الملموس في استخدامه. وبالتالي، تعتبر تكاليف المواد الأولية قضية أكثر إلحاحاً من جودة الزيت الصخري. ومع ذلك، سيكون الطلب على المنتجات مرتفعاً بدرجة كافية بحلول عام 2030، بحيث يتم استخدام كل النفط الصخري المتاح بغض النظر عن العلاوة السعرية.

حساسية النتائج للأسعار المنخفضة للنفط الصخري الخفيف الأمريكي (الخصومات) مقارنةً بنفط خام برنت

تم في السيناريوهات الرئيسة كما ذكرنا آنفاً، تخفيض أسعار النفط الصخري الخفيف الأمريكي (LTO) بمقدار 6.66 دولاراً للبرميل مقارنةً بنفط خام برنت. نفترض هذا الافتراض لتشجيع استخدام زيادة إمدادات الزيت الصخري للإجابة على السؤال المحوري لهذه الدراسة. إلا أننا أيضاً بتخفيض سعر الخصم لدراسة آثار الخصومات المختلفة على النتائج الرئيسة. ويوضح الشكل (12) كمية النفط الصخري الخفيف (LTO) القادمة من الولايات المتحدة الأمريكية في سيناريو النفط الصخري الإضافي لمختلف أسعار النفط الصخري الخفيف. نقوم بتوضيح سيناريو النفط الصخري الإضافي من أجل ملاحظة الآثار المترتبة على ارتفاع أسعار النفط الصخري بالتزامن مع زيادة المعروض منه. وتبدو فروق الأسعار التي تزيد عن

الشكل 11. هامش التكرير الإجمالي حسب المنطقة في سيناريو النفط الصخري الإضافي فيما يتعلق بالسيناريو المرجعي.



المصدر: نتائج النموذج.

يشير هذا التحليل إلى أن الجودة مهمة إلى حد ما. ورغم ذلك، وإذا توفرت كميات كافية من أصناف الخام الثقيلة للمزج، فإن زيادة المعروض من الزيت الصخري لا تعد مشكلة. إلا أن تحديات فنية يمكن أن تنشأ في مزج النفط الخام الخفيف والثقيل. إذ يمكن أن تزيد هذه التحديات من تكاليف صيانة المصافي وتعويض الفوائد المتأتبة من شراء النفط الخام منخفض التكلفة. تنشأ هذه التحديات عندما يتم إنشاء خلطات غير متوافقة عن طريق مزج النفط الخام الثقيل الذي يحتوي على نسبة عالية من الإسفلتين⁶، مع النفط البرافيني الصخري الخفيف. يمكن أن يتسبب هذا المزج في عدم استقرار الأسفلتين، مما قد يؤدي إلى تراكم الحمأة (الرواسب) في خزانات النفط الخام وإتلاف معدات المعالجة النهائية (Garret et al. 2016). لا يأخذ نموذجنا في الحسبان تأثيرات هذه القيود المفروضة على مصافي التكرير التي تتكيف مع الكميات المتزايدة من النفط الصخري الأمريكي الخفيف. ويمكن أن يكون هذا الاعتبار مجالاً لإجراء المزيد من الأبحاث.

بغرض الكشف الكامل للمعلومات، قمنا كذلك باختبار توقعات تراجع الطلب على المنتجات النفطية بافتراض انتعاش أبطأ بكثير من جائحة كوفيد-19 من حيث استخدام الطاقة. ومع وضع هذه الافتراضات، فإن قدرة التكرير الأولية ستكون كافية لمعالجة إمدادات النفط الخام المتوقعة من دون الاستثمارات المجدية.

عندما ينخفض الخصم على البنزين وكذلك سعره إلى 3 دولارات للبرميل خلال الفترة فإن تكلفته الحدية تتضاعف بأكثر من الضعف. ومع ذلك، فإنه يستقر ابتداءً من تلك النقطة حتى يرتفع سعر النفط الصخري الخفيف الأمريكي بمقدار 10 دولارات للبرميل مقارنة بسعر خام برنت. غير أن أسعار الديزل وزيت الوقود لا تتغير، حيث إن فرق السعر بين النفط الصخري الخفيف ونفط خام برنت يتراوح ما بين 6.66 إلى + 5 دولارات للبرميل. ورغم ذلك، فإن التكاليف الحدية لكلا المنتجين تتضاعف تقريباً بالتزامن مع زيادة الفرق إلى + 10 دولارات للبرميل.

الاعتبارات الأخرى

تأخذ النتائج المذكورة أعلاه في الاعتبار زيادة متواضعة قدرها 10% في المعروض من النفط الصخري الخفيف بالتلازم مع وجود أصناف النفط الخام الأخرى. وللاختبار النموذجي لأقصى حدوده، فإننا نقوم أيضاً بدراسة مجموعة من المدخلات التي تراعي فقط إمدادات الزيت الصخري الناشئة من الولايات المتحدة الأمريكية. حيث يصل إمداد الزيت الصخري افتراضياً في هذا المثال القياسي، إلى أكثر من 100 مليون برميل في اليوم في الفترة ما بين الأعوام 2020 إلى 2030، ويتم ضبط الإمدادات من جميع أصناف الخام الأخرى على الصفر. ويصبح النموذج في هذه الحالة، غير عملي بدءاً من عام 2019، وهو العام الذي يتم فيه دمج بيانات عام 2020 في التحليل. تسلط هذه النتيجة الضوء على عدم كفاية استخدام الزيت الصخري فقط لتلبية قائمة المنتجات النفطية المكررة الموصوفة في الملحق.

لقد أخذنا في الاعتبار أيضًا السيناريوهات التي يكون فيها عرض النفط الصخري الخفيف أكبر من توقعات (Rystad) وتكون المصافي مقيدة بشدة برأس المال. تستخدم المصافي في هذه الحالة، كميات أكبر من الأصناف الأخرى التي تنتج نواتج تقطير مباشرة أقل لمزجها بالنفط الصخري الخفيف. وبالتالي فإن القيود الرأسمالية تزيد من تكاليف العمليات الناتجة عن شراء المزيد من المواد الأولية. كذلك تقلل المصافي من استثماراتها في هذه السيناريوهات مقارنة بالسيناريو المرجعي. وبالتالي فإن بإمكان مصافي النفط تحقيق مزيد من تخفيضات التكلفة من خلال خفض تكاليف شراء النفط الخام إذا كانت لديها إمكانية الوصول إلى رأس المال اللازم. غير أننا لم نلاحظ في سيناريوهاتنا الرئيسية وبصفة عامة، انحرافات كبيرة في أسعار المنتجات بسبب ظهور إمدادات أكبر من النفط الصخري.

تعتبر أسعار المواد الأولية النسبية هي العامل المحدد الرئيس لاستخدام النفط الصخري الخفيف. إذ يفترض نموذجنا أن سعر النفط الصخري الخفيف أقل من سعر نفط خام برنت. أما في حالة تكافؤ أسعار النفط الصخري الخفيف ونفط خام برنت، فإن استخدام النفط الصخري الخفيف سيكون أقل فقط في عام 2020، عندما يتراجع الطلب على هذا المنتج. وبالتالي، يجب أن تكون أسعار النفط الصخري الخفيف أعلى بكثير من نفط خام برنت ليتم إهمالها خلال فترة التحليل. وبطبيعة الحال، فإن النفط الصخري الخفيف وحده لن يكون كافيًا لتلبية الطلب على المنتجات النفطية المكررة. لذلك، يشير التحليل إلى أن الجودة تعد أمرًا بالغ الأهمية. ورغم ذلك، وإذا كانت أصناف الخام الثقيل متوفرة بشكل كافٍ للمزج، فإن زيادة المعروض من النفط الصخري لا تعد مشكلة.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد ما إذا كان بإمكان مصافي النفط التكيف مع زيادة المعروض من النفط الصخري الخفيف. وللقيام بذلك، قمنا بتعديل برنامج خطي لتكرير النفط المدرج في نموذج كابسارك للطاقة. حيث قمنا بتشغيل نموذج التكرير للفترة ما بين عام 2017 حتى عام 2030 باستخدام فترة إيجاد الحل الأمثل لمدة عامين. وهكذا، استندت قرارات الاستثمار والتشغيل إلى مدخلات النموذج خلال العامين المقبلين. ويأخذ هذا الافتراض في الاعتبار عنصر العقلانية المحدودة. كما تضمن النموذج حوالي 100 صنف من أصناف النفط الخام واختباراتهم المقابلة وقسم العالم إلى ثماني مناطق. تم السماح بالتجارة بين الأقاليم (الأقليمية) لكل من النفط الخام والمنتجات النفطية.

تبين هذه الدراسة بوجه عام، أن بإمكان مصافي النفط التعامل مع جودة إمدادات أكبر من النفط الصخري الخفيف. أخذًا بعين الاعتبار التوقعات المستقبلية لإمدادات النفط الصخري الخفيف الخاصة بشركة ريستاد (Rystad)، فإن مصافي النفط ستتكيف من خلال الاستثمار في تقطير النفط الخام بالضغط الجوي وقدرة التكسير المهدرج بصفة أساسية. بلغ إجمالي الاستثمارات كاملة التكلفة في الفترة ما بين الأعوام 2020 إلى 2030 مبلغ 46 مليار دولار وفقًا للأسعار عام 2017. كما تؤدي الزيادة بنسبة 10% في إمدادات النفط الصخري الخفيف بدون القيود الرأسمالية، مقارنةً بتوقعات شركة ريستاد (Rystad) إلى تقليل استهلاك تكرير النفط الخام في الفترة ما بين الأعوام 2020 و2030. كذلك تشير هذه النتيجة إلى أن عائدات منتجات النفط الصخري الخفيف تتوافق بنحو أفضل مع المنتجات المطلوبة. وبالتالي، فثمة حاجة ملحة إلى وجود استثمارات أقل في تقطير النفط الخام بالضغط الجوي. ويقترب إجمالي تكاليف الاستثمار في الفترة ما بين الأعوام 2020 حتى عام 2030 في هذه الحالة، من 27 مليار دولار وفقًا للأسعار عام 2017.

¹ شركة طاقة مستقلة معنية بالبحوث في مجال الطاقة والمعلومات التجارية وتقديم البيانات والتحليلات والخدمات الاستشارية إلى كيانات الطاقة العالمية، يقع مقرها في اوسلو، النرويج.

² مقياس للكثافة الكتلية (أحياناً يدعى الوزن النوعي) حسب مقياس معهد النفط الأمريكي (API)، ويصنف النفط وفقاً لهذا المقياس إلى أصناف تتفاوت وفق الكثافة الكتلية بالنسبة إلى الماء إلى نطف ثقيل ومتوسط وخفيف. ويعدّ النفط الخام خفيفاً إذا كانت كثافته قليلة، بالمقابل يصنّف ثقيلًا إذا كانت كثافته كبيرة.

³ فحص أو اختبار النفط الخام هو في الأساس التقييم الكيميائي للمواد الوسيطة للنفط الخام الذي تجرّبه مختبرات اختبار البترول، إذ إن لكل نوع من أنواع النفط الخام خصائص جزيئية وكيميائية فريدة. ولا يوجد نوع نطف خام مطابق لغيره، فضلاً عن وجود اختلافات جوهريّة في جودة النفط الخام. وتوفر نتائج اختبار فحص النفط الخام بيانات تحليل هيدروكربونية مفصلة ومكثفة لمصافي التكرير وتجار النفط والمنتجين.

⁴ يوضع (Steffen Egli و Schmidt (2019) أن علاوة تحمل المخاطر تتراوح من 0% إلى 22.1% في جميع أنحاء العالم، مع أعلى القيم في البلدان الأفريقية.

⁵ على الرغم من أنه يمكننا حل النموذج كمشكلة تكامل مختلطة (MCP) دون معاودة، إلا أنّ مسار إيجاد الحل الأمثل يحل بسرعة أكبر بكثير من محاولة MCP واحدة.

⁶ الأسفلتين هو صنف من مكونات النفط الموجودة في القطفات الثقيلة منه والمستحصلة على شكل بقايا من أسفل برج التقطير؛ وذلك بالإضافة إلى المكونات الأخرى وهي الهيدروكربونات المشبعة والمركبات العطرية والراتنجات. يتألف الأسفلتين بشكل أساسي من عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت، بالإضافة إلى احتمال وجود كميات نزرّة من فلزات الحديد والفاناديوم.

- Alhajji, Anas. 2018. "An Energy Crisis Looms as Forecasts Ignore US Shale Quality." *Financial Times*, December 13. Accessed May 17, 2020. <https://www.ft.com/content/d4a8c0ea-f8ad-11e8-8b7c-6fa24bd5409c>.
- Alkathiri, Nader, Yazeed Al-Rashed, Tilak Doshi, and Frederic H. Murphy. 2017. "'Asian Premium' or 'North Atlantic Discount': Does Geographical Diversification in Oil Trade Always Impose Costs?" *Energy Economics* 66:411–20. DOI: [10.1016/j.eneco.2017.07.005](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.07.005)
- BP. 2018. BP Statistical Review of World Energy. Sheet in the Excel file: Oil Inter-area movements.
- . 2019. "Crude Assays." Accessed September 19. <https://www.bp.com/en/global/bp-global-energy-trading/features-and-updates/technical-downloads/crudes-assays.html>.
- Castillo Castillo, Pedro, Pedro M. Castro, and Vladimir Mahalec. 2017. "Global Optimization Algorithm for Large-Scale Refinery Planning Models with Bilinear Terms." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 56(2):530–48. DOI: [10.1021/acs.iecr.6b01350](https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b01350)
- Ceric, Emir. 2001. *Crude Oil Assay*. Emir Ceric. ISBN: 9539777046.
- Crude Oil Monitor. 2019. Accessed September 19, 2019: www.crudeoilmonitor.ca.
- Egli, Florian, Bjarne Steffen, and Tobias S. Schmidt. 2019. "Bias in Energy System Models with Uniform Cost of Capital Assumption." *Nature Communications* 10(1):1–3. DOI: [10.1038/s41467-019-12468-z](https://doi.org/10.1038/s41467-019-12468-z)
- Eni. 2020. "World Oil Review 2019." January 19. Accessed June 30, 2020. <https://www.eni.com/assets/documents/documents-en/WORLD-OIL-REVIEW-2019-Volume-1.pdf>.
- U.S. Energy Information Administration (EIA). 2015. "Technical Options for Processing Additional Light Tight Oil Volumes within the United States."
- . 2018. "Liquid Fuels Market Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2018." 7, 27-36.
- . 2020. "Annual Energy Outlook 2020: With Projections to 2050." 31, 48, 52.
- Equinor. 2019. "Crude Oil Assays." Accessed September 19, 2019. <https://www.equinor.com/en/what-we-do/crude-oil-and-condensate-assays.html>.
- ExxonMobil. 2019. "Assays Available for Download." Accessed September 24, 2019. <https://corporate.exxonmobil.com/Crude-oils/Crude-trading/Assays-available-for-download>.
- Garret, Thomas, Patrick Christensen, William Vukovich, and Thomas Yeung. 2016. "The Challenges of Crude Blending - Part 2." *Digital Refining*. Accessed May 13, 2020. https://www.digitalrefining.com/article/1001276,The_challenges_of_crude_blending___Part_2.html#.XrRh554zapp.
- Gary, James H., and Glenn E. Handwerk. 2001. "Petroleum Refining: Technology and Economics. Fourth Edition." New York: Marcel Dekker Inc., 85-86. DOI: [10.1201/9780824745172](https://doi.org/10.1201/9780824745172)
- International Energy Agency (IEA). 2018a. "World Energy Model Documentation: 2018 Version."

- . 2018b. “Oil Market Report: Annual Statistical Supplement with 2017 Data.” 9-11, 14.
- . 2019a. “World Energy Outlook 2019.” 132, 143. DOI: [10.1787/caf32f3b-en](https://doi.org/10.1787/caf32f3b-en)
- . 2019b. “World Energy Statistics.” <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Oil&indicator=CrudeImportsExports>
- . 2019c. “World Energy Prices: An Overview.” 10.
- . 2020. “World Energy Investment 2020.” May. Accessed June 7, 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.
- KAPSARC. 2016. “The KAPSARC Energy Model for Saudi Arabia: Documentation of the Model Build Called ‘KEM-SA_v9.16’.” Accessed October 28, 2020: https://www.kapsarc.org/wp-content/uploads/2016/11/KEM-SA_documentation_v9.16.pdf.
- Karuppiyah, Ramkumar, Kevin C. Furman, and Ignacio E. Grossmann. 2008. “Global Optimization for Scheduling Refinery Crude Oil Operations.” *Computers and Chemical Engineering* 32(11):2745–66. DOI: [10.1016/j.compchemeng.2007.11.008](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2007.11.008)
- Kemp, John. 2014. “U.S. Refiners Struggle with Too Much Light Crude.” *Reuters*. June 2. Accessed May 10, 2020. <https://www.reuters.com/article/usa-oil-exports-kemp/column-u-s-refiners-struggle-with-too-much-light-crude-kemp-idUSL6N0OJ3W520140602>.
- Lantz, Frédéric, Valérie Saint-Antonin, Jean-François Gruson, and Wojciech Suwala. 2012. “The OURSE Model: Simulating the World Refining Sector to 2030.” European Commission. JRC Scientific and Technical Reports.
- Petrosyan, Kristine. 2018. “Quality vs Quantity – Are Global Refiners Ready for US Shale Exports?” International Energy Agency. May 7. Accessed June 19, 2020. <https://www.iea.org/commentaries/quality-vs-quantity-are-global-refiners-ready-for-us-shale-exports>.
- Renewable Fuels Association (RFA). 2019. “2019 Ethanol Industry Outlook.” 11.
- Sheppard, David. 2018. “Will US Shale Give the Refining Industry Indigestion?” *Financial Times*. March 13. Accessed May 17, 2020. <https://www.ft.com/content/2e7f9964-21f8-11e8-add1-0e8958b189ea>.
- Thakur, Amit Kumar, and Ajay Kumar Kaviti. 2018. “Progress in Regulated Emissions of Ethanol-Gasoline Blends from a Spark Ignition Engine.” *Biofuels* 8(1):1-24. DOI: [10.1080/17597269.2018.1464875](https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1464875)
- Total Oil Trading SA. 2019. “Crude Assays.” Accessed September 19, 2019. http://www.totsa.com/pub/crude/crude_assays.php?rub=1.
- Treese, Steven A. 2015. “Selection of Crude Oil Assays for Petroleum Refining.” *Handbook of Petroleum Processing*, 1-33. DOI: [10.1007/978-3-319-05545-9_34-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05545-9_34-1)
- UN Conference on Trade and Development. 2010. “Oil Prices and Maritime Freight Rates: An Empirical Investigation.” UNCTAD/DTL/TLB/2009/2.

الملحق - مدخلات البيانات في نموذج تكرير النفط والتحقق من صحة النموذج

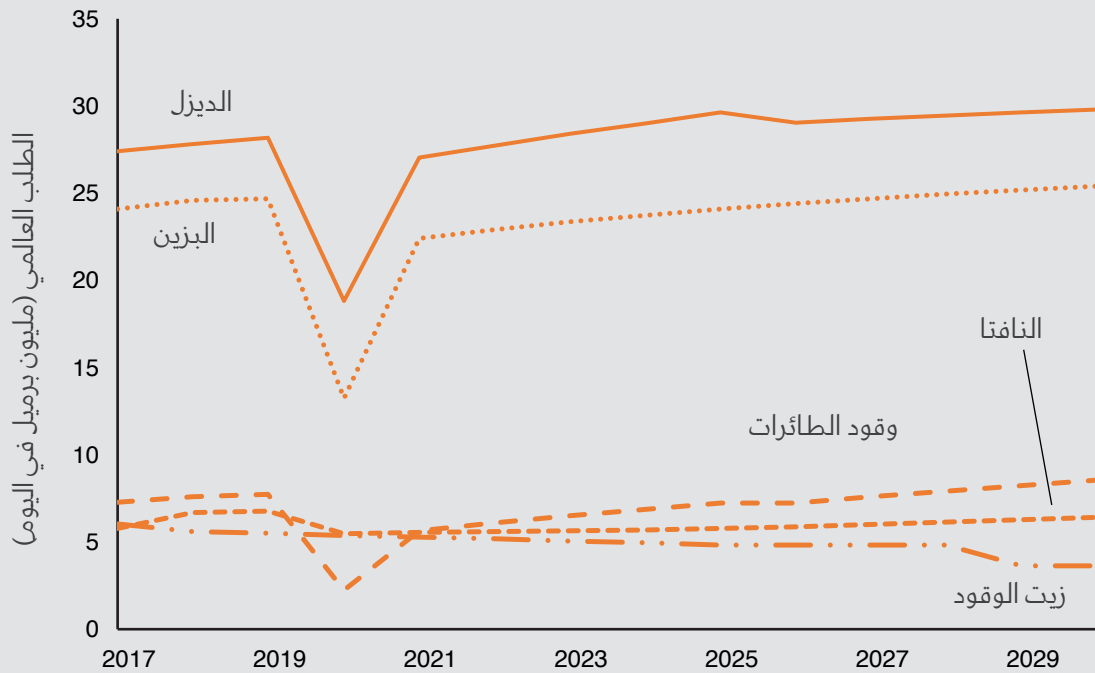
مدخلات البيانات

يوضح هذا القسم تفاصيل خطوات الحصول على البيانات والمعالجة المستخدمة لمعايرة النموذج حتى عام 2017. نحصل على قدرات وحدات التكرير الإقليمية من قاعدة بيانات (IHS Markit Midstream)، وقد اعتمدنا تقسيم (IHS) الإقليمي للعالم لمجموعات البيانات المتبقية. وهذا التقسيم كالتالي: أمريكا الشمالية وأمريكا اللاتينية والشرق الأقصى والاتحاد السوفياتي السابق وأستراليا وأوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا. ورغم ذلك، فإننا ننقل الهند وباكستان وإندونيسيا وبنغلاديش وفيتنام وتايلاند وسريلانكا وسنغافورة والفلبين وماليزيا من منطقة الشرق الأقصى إلى أستراليا. وبالتالي، يتم تضمين هذه الدول مع دول المحيط، كما تشكل الصين واليابان وشبه الجزيرة الكورية منطقة الشرق الأقصى. ولقد أجرينا هذا التغيير حتى تتوافق المناطق مع بيانات طلب الوكالة الدولية للطاقة.

نستخدم بالإضافة إلى ذلك، توقعات الطاقة العالمية (WEO) الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة (IEA 2019a) لتوقعات الطلب الإقليمي على منتجات النفط المكررة المختلفة. وتحتوي توقعات الطاقة العالمية على الطلب العالمي لسنوات معينة فقط. وبالتالي، لا بد لنا من إعداد افتراضين، أولاً، نفترض عدم تغير حصص الطلب الإقليمي على المنتجات المكررة في عام 2017 حتى عام 2030. يتيح لنا ملحق الإحصاءات السنوية التابع للوكالة الدولية للطاقة (2018 ب) الذي يتم نشره بالموازاة مع تقرير أسواق النفط، بتقدير الانهيار الإقليمي للطلب على المنتجات المكررة في عام 2017. ثانياً، نقوم بعمل استيفاءات خطية بين السنوات التي يوفر لها تقرير توقعات الطاقة العالمية توقعات إقليمية.

نظراً لتفشي جائحة كوفيد-19 على الصعيد العالمي في عام 2020، فإننا نقوم بتعديل توقعات الطلب الناجمة عن ذلك على النطاق العالمي كما هو موضح في الشكل (A1). إلا أن الشكل (A1) لا يبين توقعات الخاصة بالإسفلت أو فحم الكوك النفطية البترول أو غازات النفط المسيلة لتجنب الفوضى. وقد تلقى وقود الطائرات أكبر ضربة في عام 2020، يليه البنزين. بينما كانت المنتجات الأخرى أقل تأثراً بهذه الجائحة. ومن ثم، نقوم بخفض تعديلاتنا العامة باتجاه التخفيض على توقعات الوكالة الدولية للطاقة (2019 أ) بمرور الوقت بحيث ينتعش الطلب ليساوي هذه التوقعات بحلول عام 2030. ونعتقد أن توقعات الطلب المعدلة على وقود الطائرات والبنزين والديزل تخلق انتعاشاً مائلاً على شكل حرف "V".

الشكل أ1. توقعات الطلب العالمي على المنتجات حتى عام 2030.



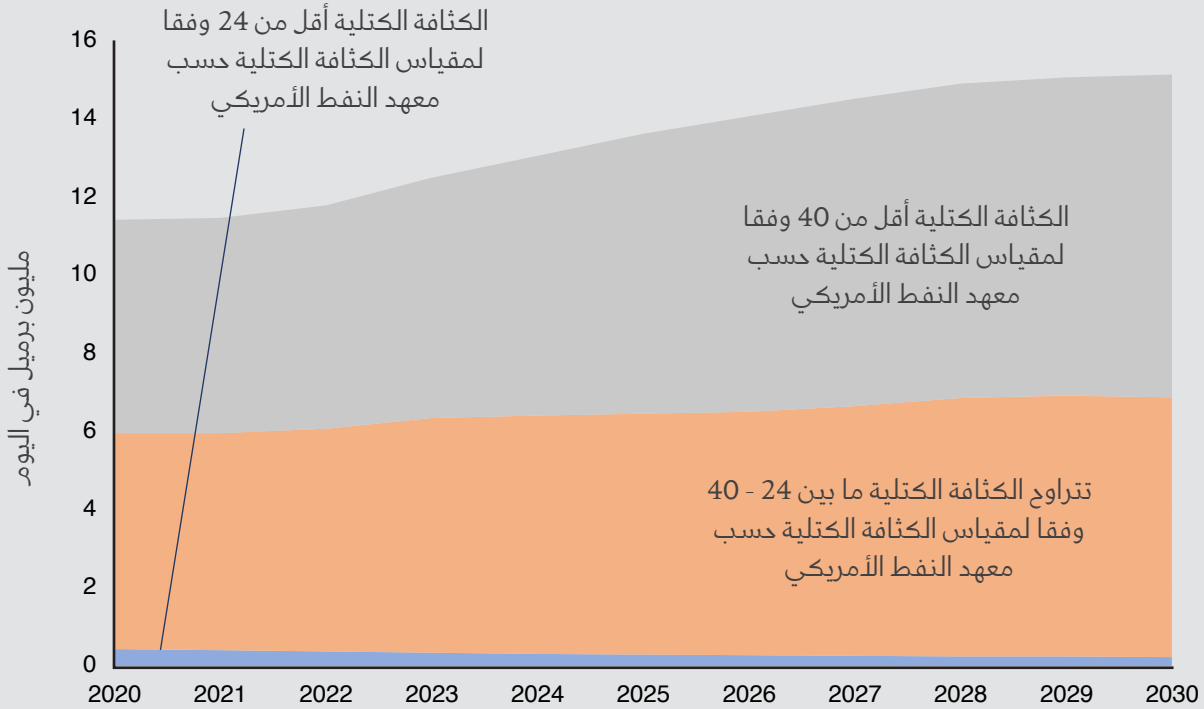
المصدر: تحليلات المؤلف.

أما بالنسبة لإمدادات النفط الخام، فإننا نستخدم بيانات الوكالة الدولية للطاقة (2019b) لتحديد الدول محل الاهتمام. وقد استحوذت الدول الثلاث ذات المستويات العالية من الإنتاج على أكثر من 94% من سوق النفط الخام في عام 2017. بينما يصنف الإنتاج المتبقي في كل منطقة على أنه "إنتاج آخر"، ويتم استخدام الأصناف التمثيلية. نقوم بإسناد أصناف لكل دولة من الدول الثلاث بناءً على مقاييس المعهد الأمريكي للبتترول باستخدام حزمة برمجيات شركة ريستاد (Rystad UCube). كما نستخدم ما مجموعه حوالي 100 صنف في النموذج. فيما تعد أصناف النفط الخام في الغالب نطف خام ممزوج بصفات مختلفة، مثل الكثافة الكتلية المتوقعة حسب مقاييس المعهد الأمريكي للبتترول ومحتوى الكبريت.

الملحق - مدخلات البيانات في نموذج تكرير النفط والتحقق من صحة النموذج

كذلك نستخدم توقعات العرض الخاصة بشركة ريستاد (Rystad) التي نُشرت في يوم 20 أبريل عام 2020 لدمج منظورهم لما بعد فيروس كورونا. وتشير بيانات توقعات ريستاد (Rystad) الموضحة في الشكل (A2) الذي يكمل الشكل (1)، إلى أن من المتوقع أن تكون الكثافة الكتلية لمعظم الإنتاج الجديد في الولايات المتحدة الأمريكية بعد عام 2019 وفقا لمقاييس المعهد الأمريكي للبترول أعلى من 40. فيما تنص توقعات الوكالة الدولية للطاقة على أن أكبر نمو في إمدادات النفط الخام سيحدث في منطقة يرميان بالولايات المتحدة الأمريكية وبالتالي، فإننا نعتبر النفط الخام من نوع (Eagle Ford (API: 46.6 أو West Texas Light (44 < API < 50 يمثل هذا النمو.

الشكل أ2. توقعات ريستاد (Rystad) لإمدادات النفط الخام الأمريكية بعد عام 2019 بواسطة مقياس الكثافة الكتلية المتوقعة حسب المعهد الأمريكي للبترول.



المصدر: Rystad UCube.

الملحق - مدخلات البيانات في نموذج تكرير النفط والتحقق من صحة النموذج

نقوم بعد ذلك، بجمع اختبارات فحص النفط الخام لكل درجة من عدة مصادر يمكن الوصول إليها مجاناً لتحديد مردود تقطير النفط الخام بالضغط الجوي. وتشمل هذه المصادر Total Oil Trading SA (2019)، Equinor (2019)، BP (2019)، ExxonMobil (2019)، Crude Oil Monitor (2019)، Ceric (2001)، (2019)، EcoPetrol (2015)، Treese (2015)، شعبة الطوارئ والعلوم والتكنولوجيا التابعة لوزارة البيئة في كندا. ونظراً لأهمية 0000 الزيت الصخري الأمريكي الخفيف، فإننا نوضح اختبار (Eagle Ford) في الشكل (A3).

الشكل 3. اختبار (Eagle Ford) لفحص النفط الخام (wt%).



المصدر: Equinor 2019.

تم بالإضافة إلى ذلك، تعديل وحدة التكسير المهدرج في النموذج لإنتاج كميات وسيطة من وقود الطائرات، أما مردود المنتجات الأخرى في وحدات التكرير والمعالجة لتقطير النفط الخام بالضغط الجوي فهي ذات القيم المستخدمة في كابسارك (2016). وتتوفر البيانات عند الطلب.

نظراً لأنّ لدى المملكة العربية السعودية أكبر عملية تكرير نفط في منطقة الشرق الأوسط، فإننا نستخدم مواصفات شركة أرامكو السعودية لمختلف منتجات هذه المنطقة في عام 2014. بينما نستمد مواصفات المنتجات الخاصة بأفريقيا من اتحاد المصافي الأفريقية. ونشتق مواصفات استراليا من المعيار الهندي لمصفاة مانغالور والبتروكيماويات المحدودة لمواصفات المنتجات البترولية. أما تلك الخاصة بأمريكا الشمالية وأوروبا فمأخوذة من وثائق إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (2018) لنظام نمذجة الطاقة الوطنية. فيما يتم تقدير المنتجات والمناطق المتبقية باستخدام المواصفات السعودية. كما نقوم بتضمين مزج الإيثانول في هذا الإصدار من النموذج، ونأخذ خصائص الوقود الخاصة به من (Thakur and Kaviti 2018).

الملحق - مدخلات البيانات في نموذج تكرير النفط والتحقق من صحة النموذج

تم الحصول على أسعار أصناف مختلفة من النفط الخام من نظام برمجيات "بلومبيرغ تيرمينال" الحاسوبي لعام 2017. يتم الاحتفاظ بفوارق جميع الأصناف فيما يتعلق ببنفط خام برنت بالقيمة الحقيقية حتى عام 2030. وعلى وجه التحديد، فإن فارق أسعار النفط الصخري الأمريكي الخفيف يفترض دائماً أن يكون - 6.66 دولاراً للبرميل مقارنة ببنفط خام برنت. نظراً لأن هذا الافتراض يعد بالغ الأهمية، فإننا نقوم بإجراء تحليل حساسية مع مجموعة واسعة من فروق الأسعار لدرجة النفط الصخري الخفيف. نعتقد أنه في حالة حدوث عرض أكبر للنفط الصخري الخفيف، فقد تحاول الدول المصدرة للنفط إما الحفاظ على أسعار النفط عن طريق خفض الإنتاج، أو الحفاظ على الإنتاج والسماح بخفض أسعار النفط. كذلك يتم الحصول على أسعار خام برنت التاريخية عبر تقييم الأثر البيئي، بينما يتم الحصول على الأسعار المتوقعة من الوكالة الدولية للطاقة (2019 أ)، أوضحنا هذه الأسعار في الجدول (A1) أدناه. وتم الحصول على أسعار ميثيل المؤكسج ثلاثي البيوتيل إيثر والإيثانول من جمعية الطاقة المتجددة (RFA 2019) التي تظل ثابتة حتى عام 2030. وأخيراً، يتم اعتبار أسعار منتجات النفط المكرر تكاليف حدية للإنتاج، على النحو الذي يحدده النموذج.

الجدول A1. أسعار نفط خام برنت المستخدمة في النموذج.

تقديرات 2020	تقديرات 2020	تقديرات 2020	تقديرات 2020	2017	العام
88.00	73.60	59.20	40.00	54.35	سعر برنت (دولار/ للبرميل)

المصدر: سعر عام 2017 إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، الوكالة الدولية للطاقة (2019a) للأسعار المتوقعة لعام 2030، تقديرات المؤلفين لعام 2020.

تم تقدير أسعار الكهرباء الصناعية الإقليمية لعام 2017 كمتوسطات مرجحة من خلال قدرة التكرير باستخدام بيانات من الوكالة الدولية للطاقة (2019c). كما تُقدّر أسعار الكهرباء في بعض المناطق على أنها أسعار الدولة المهيمنة في المنطقة. على سبيل المثال، يتم استخدام أسعار الولايات المتحدة لتقديرات أمريكا الشمالية.

أخذت تكاليف نقل النفط الخام عبر المناطق من دراسة الباحث (Alkathiri et al. (2017)، وتم تحديث بياناتهم ذات الصلة بعام 2012، حتى عام 2017. ونقوم بإجراء هذا التحديث باستخدام التغيير في أسعار نفط خام برنت ومرونة أسعار شحن البضائع النفطية المتعلقة بسعر النفط من مؤتمر الأمم المتحدة للتجارة والتنمية (الأونكتاد) (2010). ومن ثم نتوقع تكاليف الشحن باستخدام مرونة أسعار النفط هذه وأسعار خام برنت المتوقعة. كذلك تستخدم نفس التكاليف كبدل لتكاليف المنتجات النفطية المكررة. إلا أننا ندرك أن تكاليفها يجب أن تكون مختلفة، حيث يتم استخدام سفن أصغر لهذه المنتجات.

التحقق من صحة النموذج

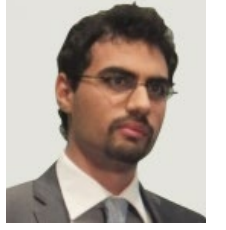
نتخذ عدة خطوات للتحقق من صحة مخرجات النموذج لعام 2017، ثم نقارن العديد من المعلمات بالبيانات الفعلية لعام 2017 ونستخدم الاجتهاد الشخصي لتقييم أسعار المنتجات.

- يكون سحب النفط الخام في مصافي النفط في حدود 0.01% من القيمة الفعلية (IEA 2019b).
 - بلغت الكميات التجارية من النفط الخام والمنتجات النفطية المكررة بين المناطق الثمانية في حدود 4.33% و3.45% على التوالي من القيم الفعلية (BP 2018).
 - تبني مصافي النفط أقل من 4% من قدرة تقطير النفط الخام بالضغط الجوي الحالية على المدى الطويل.
 - تتماشى القيم الهامشية لقيود الطلب على المنتجات في عام 2017، مع أسعار السوق العالمية.
- الجدير بالذكر أيضًا، أنه لا يوجد دليل على حدوث تغييرات كبيرة في النتائج إذا أخذنا في الاعتبار العمليات الموسمية. وبالتالي، فإننا نختار استخدام الفواصل الزمنية السنوية لضمان حجم نموذجي يمكن التحكم فيه.

نبذة عن الباحث

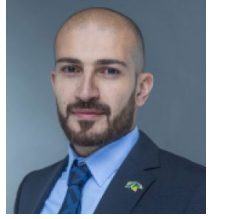
وليد مطر

زميل باحث في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) يعمل على تطوير نماذج أنظمة الطاقة، مثل نموذج كابسارك للطاقة ومشاريع الأقمار الصناعية مثل نموذج استخدام الكهرباء السكنية. حصل وليد على درجة الماجستير في العلوم في الهندسة الميكانيكية من جامعة ولاية كارولينا الشمالية، ودرجة البكالوريوس في العلوم في نفس المجال من جامعة ساوث كارولينا.



رامي ثببانة

باحث مشارك أول في كابسارك، يركز أبحاثه على أسواق الغاز والسوائل العالمية، يمتلك رامي أكثر من 10 سنوات في البحوث والصناعات، حيث يحلل أسواق وسياسات الطاقة. حاصل على درجة الماجستير في تنمية الطاقة المستدامة من جامعة كالغاري.



حول المشروع

تعد هذه الدراسة جزءاً من مشروع (مستقبل النفط الصخري في أمريكا الشمالية) وتتناول السؤال السائد الذي يطرحه المحللون حول ما إذا كانت الجودة الخفيفة للنفط الصخري الأمريكي ستتسبب في حدوث مشكلة لمصافي النفط في المستقبل.



مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

www.kapsarc.org