CAAF/2-WP/6
14/8/17
Revised
7/09/17

منظمة الطيران المدني الدولي

ورقة عمل

مؤتمر الطيران وأنواع الوقود البديل

مدينة مكسيكو، المكسيك، من ١١ إلى ٢٠١٧/١٠/١٣

البند ٤ من جدول الأعمال: تحديد رؤية الإيكاو بشأن أنواع وقود الطيران البديل والأهداف المقبلة

الاتجاهات والسيناريوهات بشأن أنواع الوقود البديل

(ورقة مقدمة من الأمانة العامة للإيكاو)

الموجز التنفيذي

تقدم ورقة العمل هذه الاتجاهات البيئية التي اعتمدتها الدورة التاسعة والثلاثون لجمعية الإيكاو العمومية إلى جانب عرض مزيد من التفاصيل بشأن دور أنواع الوقود المستدامة، وذلك من أجل المساعدة في توضيح المناقشات لتحديد رؤية الإيكاو بخصوص أنواع الوقود البديل المستخدمة في الطيران.

ويرد الإجراء المعروض على المؤتمر في الفقرة ٤.

١- المقدمة

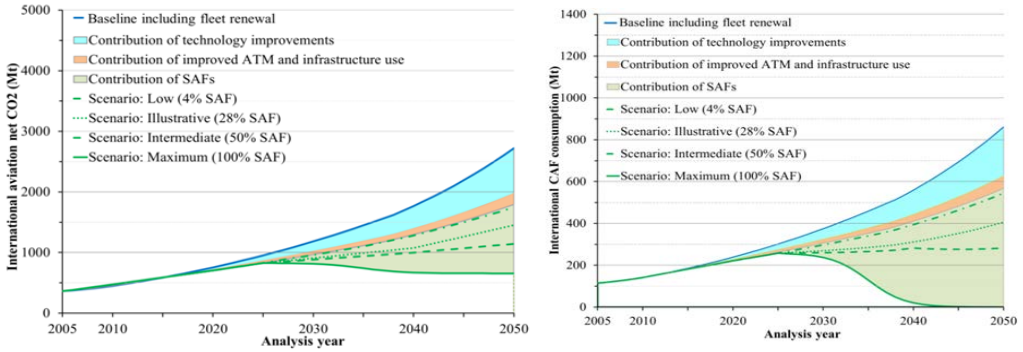
١-١ طلبت الجمعية العمومية في القرار ٣٨-١٧ من مجلس الإيكاو أن يقيم بانتظام الأثر الحالي والمقبل للانبعاثات الصادرة عن محركات الطائرات. وتلبيةً لهذا الطلب، درست الدورة التاسعة والثلاثون للجمعية العمومية[١] معلومات محدثة عن الاتجاهات والأثار البيئية واعتمدتها كأساس لاتخاذ القرارات بخصوص الشؤون البيئية.

١-٢ وتتضمن الاتجاهات شرحاً لكيفية إسهام أربعة من العناصر المحددة في سلة تدابير معالجة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أجل تحقيق الهدف المنشود المتمثل في نمو الطيران الدولي على نحو محايد من حيث أثر الكربون ابتداءً من عام ٢٠٢٠. وترد العناصر الأربعة كالتالي: التحسينات التكنولوجية وإدارة الحركة الجوية (ATM) وتحسين استخدام البنية الأساسية ووقود الطيران المستدام والتدابير العالمية القائمة على آليات السوق وخطة التعويض عن الكربون وخفضه في مجال الطيران الدولي "كورسيا" (CORSIA). وقامت لجنة الإيكاو لحماية البيئة في مجال الطيران (CAEP) بتحليل السيناريوهات الخاصة بنشر استخدام وقود الطيران المستدام (SAF). ويرد توثيق كامل للاتجاهات البيئية والسيناريوهات الخاصة بوقود الطيران المستدام (SAF) في وثيقة الإيكاو Doc 10069، "تقرير الاجتماع العاشر للجنة حماية البيئة في مجال الطيران". وتم تخصيص مقدار الوقود المستدام وما يرتبط به من خفض في انبعاثات غازات الدفيئة بطريقة متناسبة فيما بين الاستخدام الدولي والاستخدام المحلي، وذلك على أساس الطلب المتوقع على الوقود في كلتا الحالتين. وتلخص هذه الورقة السيناريوهات الخاصة بوقود الطيران المستدام (SAF) التي تم تقييمها لتحديد القدرة على إنتاج هذا النوع من الوقود على الصعيد العالمي، مع التركيز على الطيران الدولي.

[١] https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/WP/wp_055_en.pdf

٢- الاتجاهات والسيناريوهات الخاصة بحرق وقود الطائرات وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن نشاطات الطيران الدولي

٢-١ يبين الشكل ١ الاتجاهات في حجم استهلاك وقود الطيران التقليدي (CAF) الناتج عن نشاطات الطيران الدولي لغاية عام ٢٠٥٠، مع ما يقترن به من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى سيناريوهات خاصة بإسهام عناصر سلة التدابير المقترحة.



الشكل ١- الاتجاهات المتوقعة في استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الطائرات في مجال الطيران الدولي مع إظهار التحسينات التي تطرأ على تكنولوجيا الطائرات وإدارة الحركة الجوية واستخدام البنية الأساسية وإمكانية الاستعاضة عن الوقود الحالي بأنواع الوقود المستدام في الفترة من عام ٢٠٠٥ إلى ٢٠٥٠

٢-٢ يبين الشكل ١ أن الطيران الدولي قد استخدم حوالى١٤٢ طناً متريا من الوقود التقليدي في عام ٢٠١٠. وبحلول ٢٠٥٠، يُتوقع أن يرتفع مستوى استهلاك الوقود التقليدي ليصل إلى ٨٦٠ طناً متريا، وذلك مع مراعاة فقط الطلب على السفر الجوي والتجديد الطبيعي للأساطيل لا غير. وإذا ما أدخلنا في الحسبان الإسهام المحتمل للتحسينات التي قد تطرأ على التكنولوجيا وإدارة الحركة الجوية واستخدام البنية الأساسية، فيمكن أن تنخفض هذه المستويات المتوقعة لاستهلاك الوقود في عام ٢٠٥٠ إلى ٥٧٠ طنا متريا، وهو ما يمثل نسبة ٧١ في المائة من حجم احتراق وقود الطائرات المتوقع عالمياً، أي بجمع الرحلات الدولية والرحلات المحلية معا. وتستند التحاليل التالية إلى أن مستوى الطلب المتوقع على وقود الطيران الدولي سيكون في مستوى ٥٧٠ طنا متريا في عام ٢٠٥٠.

٢-٣ وتظهر جوانب عدم اليقين بشكل بارز في التنبؤات في إسهام أنواع وقود الطيران المستدام على المدى الطويل. لذلك، قيمت لجنة CAEP ١٢٠ من سيناريوهات نشر أنواع وقود الطيران المستدام (SAF) لعام ٢٠٥٠. وتُحتسب لكل سيناريو العناصر التالية: التوافر العالمي للموارد والظروف الاقتصادية والاستثمارات المالية وقرارات السياسات المطلوبة للتوصل إلى تحقيق المستويات المقدرة للإنتاج العالمي للوقود المستدام للطيران (SAF) ومستويات خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذات الصلة.

٢-٤ وعلى أساس السيناريوهات التي قيمتها لجنة CAEP، من الممكن أن يتم الوفاء بنسبة تصل إلى حد المائة في المائة من احتياجات الطيران الدولي من الوقود التقليدي، وذلك باستخدام أنواع الوقود المستدام للطيران (SAF) في عام ٢٠٥٠. وتظهر هذه الإمكانية في السيناريو المعروف بسيناريو "الحد الأقصى" في الشكل ١. ولكن الاستعاضة الكاملة عن الوقود التقليدي (CAF) بوقود الطيران المستدام (SAF) يتطلب سنوياً بناء ما يناهز ١٧٠ من المصافي الإحيائية من عام ٢٠٢٠ إلى عام ٢٠٥٠، مع كلفة تتراوح تقريباً بين ١٥ مليارا و ٦٠ مليارا من الدولارات الأمريكية سنوياً، شريطة أن يتم النمو على مسار خطي. وإذا ما بدأ الاستثمار والنمو بوتيرة بطيئة ثم تعززا مع مرور الزمن، ستظهر الحاجة الى بناء أكثر من ٥٠٠ مصفاة إحيائية جديدة سنوياً في نهاية الأربعينات من الألفية الحالية، بالإضافة الى ضرورة بناء ما يناهز ألف مصفاة إحيائية جديدة في عام ٢٠٥٠، مما سيتطلب استثمارات رأسمالية تتراوح بين مليار وثلاثة مليارات من الدولارات سنوياً في عام ٢٠٢٥، وبين٨٠ مليار و٣٤٠ مليار سنوياً في عام ٢٠٥٠.

٢-٥ وعلى سبيل المقارنة، ازداد في السنوات الأخيرة حجم الإنتاج العالمي للوقود الإحيائي بمعدل حوالي ٧٠ مصفاة إحيائية في السنة، وكان ذلك نتيجة للحوافز الإنتاجية أو الاستهلاكية التي طُبقت في بعض الأقاليم في العالم. غير أن تطوير المصافي الإحيائية والتكاليف المرتبطة بها لا يعالج سوى جانباً واحداً من سلسلة إمدادات وقود الطيران المستدام، لذا من الضروري

تحقيق عملية تطوير هامة مشابهة في إنتاج المواد الأولية والجوانب اللوجستية للنقل المتعلقة بسلسلة الإمدادات. ولم يكن واضحاً في تحاليل لجنة CAEP أي جانب من تلك الجوانب المذكورة قد تحد من اعتماد وقود الطيران المستدام في عام ٢٠٥٠.

٢-٦ وعلى سبيل المقارنة، تخطت الاستثمارات الأصلية المبلغ عنها عالمياً في مجال النفط والغاز بين الشركات التي تمثل تقريبا ٣٩ في المائة من الإنتاج النفطي من خارج الأوبك الـ ٦٠٠ مليار من الدولارات الأمريكية سنوياً من ٢٠١٠ إلى ٢٠١٣[٢]. وعلى الرغم من أن هذا الرقم يمثل استثمارات في كامل سلسلة إمدادات النفط والغاز لجميع قطاعات الصناعة ولا يقتصر فقط على بناء المصافي لإنتاج وقود الطيران، فإنه يبين أن رأس المال التقديري المطلوب لبناء المصافي في سيناريوهات نشر أنواع الوقود المستدام للطيران لا تخرج عن نطاق الاستثمارات الحالية لقطاع الطاقة.

٢-٧ أما في سيناريو الاستعاضة عن الوقود التقليدي في "المستوى المنخفض" والذي يغطي ٤ في المائة من احتياجات الطيران الدولي من وقود الطيران المستدام، فينبغي إنتاج حوالي ٢٠ طنا متريا سنوياً من أنواع الوقود المستدام للطيران في عام ٢٠٥٠. وبالإضافة إلى سيناريو المستويين الأقصى والمنخفض، يقدم الشكل ١ أحد "السيناريوهات الإرشادية" التي طرحتها لجنة حماية البيئة، حيث أن ٢٨ في المائة من حجم استهلاك الطيران لأنواع الوقود التقليدي يستعاض عنها باستخدام أنواع الوقود المستدام. وبالإضافة إلى ذلك، يُعرض، للعلم، سيناريو" للحد المتوسط" حيث يُستعاض عن الوقود التقليدي بنسبة ٥٠ في المائة. وتفترض هذه السيناريوهات حدوث تحسينات في كفاءة إنتاج الوقود وتوافر كبير في حجم المواد الأولية المتعلقة بالطاقة الإحيائية والتي يعتمد إنتاجها الى حد كبير على توافر ما يناسب من أسواق أو آليات السياسة العامة.

٢-٨ وتراعي تقديرات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المعروضة في الشكل١ لسيناريوهات الاستعاضة بأنواع وقود الطيران المستدام عامل انبعاثات تقييم دورة الحياة الخاصة بأنواع الوقود المستدام الذي يساهم في تحديد حجم الوقود في كل من السيناريوهات التي وضعتها لجنة CAEP. وتؤخذ في الحسبان أيضا انبعاثات دورة حياة الوقود الناتجة عن التغيير المباشر في استخدام الأراضي.

٢-٩ وعلى أساس تلك الافتراضات، إذا تم إنتاج ما يكفي من أنواع وقود الطيران المستدام بحلول عام ٢٠٥٠ للاستعاضة بشكل كامل عن الوقود التقليدي (سيناريو الحد الأقصى)، فيمكن خفض صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٦٣ في المائة تقريباً. وإن بلوغ هذا المستوى من خفض الانبعاثات يتطلب تحقيق أعلى زيادة ممكنة ومفترضة في الإنتاجية الزراعية وأكبر حجم من الأراضي المتوفرة لزرع المواد الأولية وأعلى معدلات لإزالة الرواسب وأعلى مستويات تحسينات كفاءة التحويل وأوسع حجم للانخفاضات في انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن المنشآت إلى جانب توافر الأسواق الصلبة أو تركيز السياسات على الطاقة الإحيائية بشكل عام وعلى أنواع وقود الطيران المستدام بشكل خاص. ويتطلب ذلك تسخير حصة كبيرة من الموارد المتوافرة للطاقة الإحيائية عالميا لإنتاج الوقود الخاص بالطيران مقارنة مع الاستخدامات الأخرى.

٣- زيادة الإنتاج إلى غاية حلول عام٢٠٥٠

٣-١ لم تحدد لجنة CAEP دالة معينة للربط فيما بين الإنتاج التقديري لأنواع وقود الطيران المستدام (SAF) في عامي ٢٠٢٠ و٢٠٥٠. ولكن عادة ما يتبع نمو أي قطاع صناعي جديد، مثل قطاع أنواع وقود الطيران المستدام، منحى ملتوياً. ومن غير الواضح متى سيرتفع حجم الاستثمارات مع ما يترتب عليها من نمو للقدرات الإنتاجية في هذا القطاع. ويُتوقع أن يزيد حجم إنتاج أنواع وقود الطيران المستدام في عام ٢٠٥٠ على نحو خطي ويليه نمو مطرد سريع، أي يلتقي الحد الأدنى من المنحى الملتوي مع الحد الأعلى منه الآخر في فترة لاحقة، مثلاً حوالي عام ٢١٠٠. لذلك، فإن القيم المقدمة في المرفق للعامين ٢٠٤٠ و٢٠٥٠ ضمن سيناريوهات وقود الطيران المستدام ينبغي أن تُعتبر قيما ارشادية فقط.

٣-٢ وبالنسبة للقيم المحددة للأجل القصير في عام ٢٠٢٥، قدمت كل السيناريوهات على أساس أن يكون إنتاج الوقود المستدام للطيران الدولي في مستوى ٥ أطنان مترية للسنة. وكأساس مرجعي، تمثل الاتفاقات الحالية للشراء ٠,٩ من الأطنان المترية للسنة (انظر ورقة العمل CAAF/2-WP/10). وبالإضافة إلى ذلك، فإن متطلبات السياسة العامة في تحليلات لجنة CAEP لم تراع احتمال

[٢] https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=16011

اعتماد سياسات مُعطّلة مشابهة لتلك التي أعلنت عنها كل من النرويج وهند وفرنسا[٣] والمملكة المتحدة[٤] والرامية الى وقف بيع السيارات التي تستخدم الغازولين والديزل بحلول ٢٠٤٠ عام أو قبل ذلك التاريخ. ومن شأن هذه السياسات أن تحول كميات كبيرة من الديزل الأخضر المراعي للبيئة "HEFA-diesel" والمخصص للنقل البري إلى الطيران شريطة الحصول على الترخيص المتوقع من الجمعية الأمريكية الدولية للاختبار والمواد (ASTM). وتبلغ القدرة العالمية الحالية لمرافق HEFA-diesel حوالي ٤,٣ بليون لتر (٣,٤٥ من الأطنان المترية في السنة)[٥].

٣-٣ وعلى صعيد تقييم الاتجاهات، يفترض حساب عدد المصافي الإحيائية والاستثمارات الرأسمالية المطلوبة أن هذا النمو سيحصل من خلال بناء مرافق جديدة معروفة بـ"الميادين الخضراء". ولكن كما تم تحديده في ورقة العمل CAAF/2-WP/08، فإن استخدام المرافق "المهملة والمهجورة" أي البنية الأساسية الحالية التي لا تُستخدم البتة أو لا تُستخدم بما فيه الكفاية، يمكن أن يخفض الى حد كبير من حجم رأس المال المطلوب. وبالإضافة إلى ذلك، ومع استخدام الطاقة الكهربائية في النقل البري، سينخفض الطلب على الوقود المستخدم للنقل البري المستخلص من البترول. وبالتالي، ستتاح إمكانية إعادة تجهيز مصافي البترول وصقلها لكي تقوم بمعالجة النواتج المستخلصة من المواد الإحيائية. وإن هذه العملية للمعالجة الثنائية أو لإدماج قدرات التصفية غير المستخدمة بما فيه الكفاية يمكن أن تتيح الفرص لزيادة إنتاج أنواع وقود الطيران المستدام مع خفض حجم الاستثمارات المطلوبة الى حد كبير. ولكن قد تظهر تحديات إضافية إذا ما كانت مصافي البترول الحالية تقع بعيداً عن أماكن إنتاج المواد الأولية لأنواع وقود الطيران المستدام.

٤-٣ ويتم التركيز أيضا على أن التحليلات تراعي فقط التكنولوجيات التي أثبتت جدواها على مستوى المختبرات أو على المستوى التجريبي، والتي يمكن أن تكون قد أوشكت على بلوغ مرحلة التطوير التجاري. ولكن استحداث تكنولوجيا كاسحة لإنتاج الوقود يمكن أن تحقق زيادة هائلة في إمكانيات وقود الطيران المستدام لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الطيران. فمثلاً، يمكن أن تظهر تكنولوجيا جديدة بالكامل، على غرار التكنولوجيا المعروفة بتحويل الطاقة إلى السوائل (PtL)، مما سيؤدي إلى زيادة إمكانيات وقود الطيران المستدام في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الطيران.

٥-٣ ومع مراعاة هذه المعايير، ترد في المرفق الشروط الممكنة لتسهيل تطبيق السيناريوهات الأربعة لنشر أنواع وقود الطيران المستدام فضلاً عن بعض الافتراضات المستخدمة من أجل توفير معلومات للمؤتمر بشأن الاستثمارات والتكنولوجيات ومبادرات السياسة الممكنة لتحقيق السيناريوهات التي تم وصفها آنفاً بغرض نشر أنواع وقود الطيران المستدام.

٤- الإجراء المعروض على المؤتمر الطيران وأنواع الوقود البديل الثاني (CAAF/2):

٤-١ يرجى من المؤتمر الثاني أن يقوم بما يلي:

أ) أن ينظر في المعلومات بشأن المبادرات التي يمكن اعتمادها في مجال الاستثمارات والتكنولوجيات والسياسات لتحقيق السيناريوهات الأربعة الموصوفة آنفاً بشأن نشر أنواع وقود الطيران المستدام عند مناقشة رؤية الإيكاو بخصوص الطيران وأنواع الوقود البديلة؛

ب) أن يوافق على اعتبار إنتاج ٥ أطنان مترية بالسنة من وقود الطيران المستدام لأغراض الطيران الدولي من الافتراضات المعقولة لنشر هذا النوع من الوقود على المدى القصير في عام ٢٠٢٥؛

ج) أن ينظر في السيناريوهات الأربعة لنشر أنواع وقود الطيران المستدام (٤ في المائة و٢٨ في المائة و٥٠ في المائة و١٠٠ في المائة) والافتراضات المرتبطة بها المعروضة في هذه الورقة عند مناقشة رؤية الإيكاو بخصوص الطيران وأنواع الوقود البديلة.

---

[٣] https://www.nytimes.com/2017/07/06/business/energy-environment/france-cars-ban-gas-diesel.html

[٤] https://www.nytimes.com/2017/07/26/world/europe/uk-diesel-petrol-emissions.html

[٥] IRENA (2017), *Biofuels for aviation: Technology brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

APPENDIX

POSSIBLE FACILITATION CONDITIONS FOR FOUR SAF DEPLOYMENT SCENARIOS

Assumptions:

- average production facility size of 5000 barrels per day (bpd) with a 50% SAF output share and 365 production days per year; and
- annual capital investment lower bound of $175 million U.S. Dollars per facility, corresponding to a petroleum refinery[6], and an upper bound of $700 million U.S. Dollars per facility based on techno-economic studies of biorefineries in literature.

Analysis year	Key indicators on 4% SAF replacement (Scenario: Low)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO_2 reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	$5 to $15		
2040	400	11	2.8%	1.3%	100	$10 to $35		
2050	570	20	4.0%	2.0%	200	$20 to $70		

Analysis year	Key indicators on 28% SAF replacement (Scenario: Illustrative)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO_2 reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	$5 to $15	- Improvements in fuel production efficiencies	- Bioenergy production incentivized by policies
2040	400	89	22%	15%	800	$70 to $280		- Bioenergy resource allocation to all end-usages in proportion to share in final energy demands
2050	570	160	28%	19%	1400	$100 to $500		

[6] Gary, J.H., Handwerk, G.E. & Kaiser, M.J. 2007. *Petroleum Refining: Technology and Economics*, 5th edn. (Taylor & Francis, Basel, Switzerland).

Analysis year	Key indicators on 50% SAF replacement (Scenario: Intermediate)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO_2 reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	$5 to $15	- Improvements in fuel production efficiencies	- Bioenergy production strongly incentivized by policies
2040	400	128	32%	12%	1100	$100 to $400	- Increased agricultural yields and arable land availability	- Bioenergy resource allocation to all end-uses in proportion to share of final energy demands
2050	570	285	50%	33%	2400	$200 to $850	- Significant agricultural and forestry residue removal	

Analysis year	Key indicators on 100% SAF replacement (Scenario: Maximum)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO_2 reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	$5 to $15	- Highest agricultural yield growth rates and highest land availability	- Bioenergy production strongly incentivized by policies
2040	400	342	86%	49%	2900	$250 to $1000	- Highest agricultural and forestry residue removal rates	- Alternative jet fuel production prioritized over all other uses of bioenergy
2050	570	>570	100%	63%	5200	$450 to $1800	- Improvements in fuel production efficiencies	

— END —