إيكاو

منظمة الطيران المدني الدولي

تقرير عن الجدوى
من وضع هدف طموح طويل الأجل
لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون
في مجال الطيران المدني الدولي

لجنة الإيكاو لحماية البيئة في مجال الطيران
مارس/٢٠٢٢

تقرير عن الجدوى
من وضع هدف طموح طويل الأجل
لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون
في مجال الطيران المدني الدولي

لجنة الإيكاو لحماية البيئة في مجال الطيران

مارس ٢٠٢٢

جدول المحتويات

	الصفحة
الموجز التنفيذي	iii
١- المقدمة	1
٢- ملخص النتائج وبعض الملاحظات الرفيعة المستوى	2
٣- المنهجية	3
٤- ملخص النتائج	5
٥- اعتبارات تتعلق بالخيارات	14
٦- اعتبارات أخرى	15
٧- المرفقات الملحقة بالتقرير النهائي	17
المرفق R1: البيانات الموجزة	R1-1
المرفق R2: مقارنة بتحليل الاتجاهات	R2-1
المرفق R3: فهم النتائج في سياقها	R3-1
المرفقات التي تتناول المنهجية	
المرفق M1: المرفق M1: نظرة عامة على مقاربات النمذجة المستخدمة في إعداد النتائج	M1-1
المرفق M2: التنبؤات	M2-1
المرفق M3: التكنولوجيات	M3-1
المرفق M4: العمليات	M4-1
المرفق M5: أنواع الوقود	M5-1
المرفق S1: سياق علوم المناخ	S1-1
المرفق B1: لمحة عامة	B1-1

الموجز التنفيذي

خلال الدورة الأربعين للجمعية العمومية للإيكاو، طلبت الدول الأعضاء في الإيكاو من المجلس مواصلة استكشاف جدوى اتخاذ هدف عالمي طموح طويل الأجل للطيران المدني الدولي، من خلال إجراء دراسات تفصيلية لتقييم إمكانية تحقيق أي أهداف يجري اقتراحها وآثار تلك الأهداف، بما في ذلك تأثيرها على النمو إلى جانب تكلفتها في جميع البلدان، ولا سيما البلدان النامية، على أن يُعرض التقدم المحرز في هذا الصدد على الجمعية العمومية للإيكاو في دورتها الحادية والأربعين.

قامت فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل (LTAG-TG) التابعة للجنة حماية البيئة، بالتنسيق مع مجموعات العمل الأخرى التابعة للجنة (مثل مجموعة الدعم المعنية بالتنبؤات والتحليل الاقتصادي (FESG) وفريق وضع النماذج وقواعد البيانات (MDG)) بجمع البيانات من المصادر الداخلية والخارجية، ووضع سيناريوهات قطاعية متكاملة وذلك استناداً إلى مجموعة فرعية من السيناريوهات التي تتعلق كل منها بالتكنولوجيا والوقود والعمليات، والتي تمثّل نطاقاً لمختلف مستويات الجاهزية وإمكانية التحقيق. وجرى تحليل السيناريوهات لفهم الآثار المترتبة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتكاليف والاستثمارات، علاوة على الآثار التي قد تنعكس على نمو الطيران والضوضاء وجودة الهواء. وقامت فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل (LTAG-TG) أيضاً بتوثيق البيانات التي استند إليها تحليل التأثير في جميع البلدان وخاصة البلدان النامية. وأخيراً، روعي عند وضع السيناريوهات أن تكون في سياق أحدث المعلومات العلمية المتفق عليها.

ملاحظات رفيعة المستوى

بينما تُظهر السيناريوهات المتكاملة إمكانية الحد بشكل كبير من ثاني أكسيد الكربون، فإن أياً من السيناريوهات لا يصل إلى مستوى الصفر من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون باستخدام التدابير داخل القطاع (مثل التكنولوجيا والعمليات والوقود). ويرجع ذلك إلى الجانب المتعلق بانبعاثات دورة حياة الوقود ويحدث على الرغم من استبدال وقود الطائرات النفاثة التقليدي بنسبة ١٠٠٪ بأنواع جديدة من الوقود، مثل وقود الطيران المستدام (SAF)، كالوقود المعتمد على الكتلة الحيوية أو المخلفات أو ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أو الهيدروجين. ومن المفيد ملاحظة أنه نظراً لأن الجوانب الأخرى للاقتصادات تعمل على خفض انبعاثاتها، يجب أن تنخفض قيمة دورة الحياة أيضاً. وبالنظر إلى أن نطاق اختصاصات فرقة العمل يقتصر على النظر في التدابير المطبَّقة داخل القطاع فقط، فإن التحليل الذي أجرته لم ينظر في التدابير المطبقة "خارج القطاع".

كذلك إن معدل نمو الحركة الإجمالي له تأثير مهم على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية بحلول عام ٢٠٥٠ وما بعده.

ويتمتع الوقود سهل الإحلال، بمختلف أنواعه، بأكبر تأثير على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية إذ إنه يأتي على رأس مسبّبات إجمالي خفض الانبعاثات بحلول عام ٢٠٥٠. ويُعد ذلك مستقلاً إلى حد ما عن سيناريوهات التكنولوجيا والعمليات. ولا يُتوقع أن يكون للهيدروجين مساهمة كبيرة بحلول عام ٢٠٥٠ (حيث لن تزيد حصته من مجمل الطاقة عن ١,٩٪ فقط في عام ٢٠٥٠) ولكن هذه النسبة قد ترتفع في خمسينيات وستينيات القرن الحادي والعشرين إذا كان ذلك ممكناً تقنياً ومجدياً تجارياً.

تمتلك الطائرات الأنبوبية والجناحية المتقدّمة إمكانيات واضحة لتحسين كفاءة الوقود (الطاقة) في منظومة الطيران الدولي، بإسهامات تزداد تدريجياً مقارنةً بالطائرات ذات التصميمات غير التقليدية. وتتسم الطائرات التي تعمل بالهيدروجين بكفاءة أسوأ من حيث استهلاك الطاقة مقارنة بالطائرات التي تعمل بالوقود السائل، مع ملاحظة أن الخفض في الانبعاثات يتحقق من الخفض في انبعاثات دورة حياة الهيدروجين.

ويوضح التحليل أن هناك فرصاً لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مجال العمليات من خلال تحسين أداء الرحلات عبر جميع مراحلها، بما في ذلك التدابير غير التقليدية مثل الطيران في تشكيلات.

وتتحدد التكاليف والاستثمارات المرتبطة بالسيناريوهات إلى حد كبير بناء على الوقود (مثل وقود الطيران المستدام)، مع الاعتراف بأن أي تكاليف إضافية للوقود (أي السعر الأدنى لبيع وقود الطيران المستدام مقارنة بوقود الطائرات النفاثة التقليدي) تحفز بشكل أكبر على تحسين كفاءة الوقود (الطاقة) من خلال تكنولوجيا الطائرات والعمليات. وسيتطلب ذلك أيضاً بعض الاستثمارات من الحكومات والصناعة.

وستستمر تكنولوجيا الطائرات، وما يرتبط بها من قرارات تتعلق بالتصميم، في تلبية احتياجات الأسواق العالمية، ولن تكون هناك تفاوتات فيما بين الأقاليم. وسيُقبل مشغّلو الطائرات في مختلف الأقاليم أو الدول على شراء أفضل الطائرات المتاحة بما يفي باحتياجاتهم. ويُتوقع أيضاً أن تكون هناك اختلافات فيما بين الأقاليم من حيث تنفيذ التدابير التشغيلية. ويُنتظر أن تظهر أبرز الاختلافات في إنتاج أنواع الوقود الجديدة والإقبال على استخدامها. ويُعزى ذلك إلى عدد من العوامل منها توافر بعض المقومات على المستوى الإقليمي، كالمواد الخام من المخلفات والكتلة الحيوية، وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين المُبرد والطاقة المتجددة وآليات السوق والبُنى الأساسية.

في حين أن فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل لم تضع سوى عدداً محدوداً من السيناريوهات استجابة للتطلعات المتزايدة في قطاعات التكنولوجيا، والعمليات والوقود، هناك مسارات متعددة قد تؤدي إلى مستويات مماثلة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتُظهر تحليلات فرقة العمل أن هذه السيناريوهات والتحليلات تتسم بقدر كبير من القوة، كما تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من أن مختلف السيناريوهات قد تؤدي إلى مستويات مماثلة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، قد تكون هناك اختلافات من حيث بعض التبعات، أي مثلاُ من حيث التكلفة (الاستثمارات المطلوبة) والتداعيات على المستوى الإقليمي.

هذا التقرير هو محصلة ما يقرب من عامين من العمل المكثف الذي قامت به لجنة حماية البيئة في مجال الطيران. وتقدم الأقسام التالية الخلفية والمنهجيات والنتائج والتفسيرات الخاصة بدراسة فرقة العمل. وهناك أيضاً مجموعة من المرفقات الداعمة التي تعرض المقاربات المتبعة للنمذجة والمنهجيات والنماذج والافتراضات وشرح النتائج، وذلك مراعاةً لاعتبارات الشفافية والشمول.

١- المقدمة

١-١ خلال الدورة الأربعين للجمعية العمومية للإيكاو (المنعقدة في الفترة من ٢٠١٩/٩/٢٤ إلى ٤/١٠/ ٢٠١٩)، طلبت الدول الأعضاء في الإيكاو من المجلس مواصلة استكشاف جدوى اتخاذ هدف عالمي طموح طويل الأجل للطيران المدني الدولي، من خلال إجراء دراسات تفصيلية لتقييم إمكانية تحقيق أي أهداف يجري اقتراحها وآثار تلك الأهداف، بما في ذلك تأثيرها على النمو إلى جانب تكلفتها على جميع البلدان، ولا سيما البلدان النامية، تمهيداً لتقديم عرض مرحلي للتقدم المحرَز في العمل للدورة الحادية والأربعين للجمعية العمومية للإيكاو (راجع قرار الجمعية العمومية ٤٠-١٨ ، الفقرة ٩ من المنطوق)

١-٢ وفي الدورة ٢١٩ للمجلس، المنعقدة في ٢٠٢٠/٣/١٣، وافق المجلس على تنظيم العمل لتقييم جدوى هدف طموح طويل الأجل على النحو المبيَّن في اختصاصات فرقة العمل التابعة للجنة حماية البيئة والمعنية بالهدف الطموح طويل الأجل (LTAG-TG).

١-٣ وبناءً على موافقة المجلس ، قامت فرقة العمل المذكورة بما يلي: (١) جمع البيانات من المصادر الداخلية والخارجية بطريقة شفافة وشاملة، (٢) وضع سيناريوهات قطاعية مشتركة للتكنولوجيا والوقود والعمليات، تمثّل طائفة من مختلف درجات الجاهزية وإمكانية التحقيق استناداً إلى البيانات التي يجري جمعها، (٣) تحليل السيناريوهات لفهم الآثار المترتبة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتكاليف المرتبطة بالسيناريوهات والتأثيرات الاقتصادية على نمو الطيران والضوضاء وجودة الهواء في جميع البلدان وخاصة البلدان النامية، وقد عُرضت النتائج في سياق أحدث المعارف العلمية المتفق عليها.

١-٤ وقد جرى الاضطلاع بالمهام من قِبل مجموعات فرعية مخصصة منها المجموعة الفرعية للخبراء في تكنولوجيا الطائرات (TECH-SG)، والمجموعة الفرعية لتحسينات الإجراءات التشغيلية (OPS-SG)، والمجموعة الفرعية لإنتاج الوقود (FUEL-SG)، بالإضافة إلى مجموعة فرعية معنية بوضع السيناريوهات (SD –SG) تتولى تنسيق العمل بين مختلف المجموعات الفرعية الأخرى وبالتعاون مع مجموعات خارج إطار فرقة العمل مثل فريق وضع النماذج وقواعد البيانات (MDG) ومجموعة الدعم المعنية بالتنبؤات والتحليل الاقتصادي (FESG). وتم أيضاً تشكيل فريق مخصَّص لتقدير التكلفة في إطار فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل بغرض فحص جانبي التكلفة/الاستثمار للتحليل على وجه التحديد. ويضم هذا التقرير النهائي بين دفتيه الجهود التراكمية لأكثر من ٢٨٠ خبيراً أجروا أكثر من ٢٠٠ مكالمة ويقدم تقييماً فنياً لجدوى اتخاذ أهداف طموحة طويلة الأجل، يتضمن توصية يُقترح أن تقدمها لجنة حماية البيئة للمجلس تتناول كذلك الخيارات وخرائط الطريق المتوخاة لتحقيق الأهداف.

٢- ملخص النتائج وبعض الملاحظات الرفيعة المستوى

٢-١ بناءً على التحليلات المعقدة والمتعمقة التي أجرتها لجنة حماية البيئة في مجال الطيران، تم الإدلاء ببعض الملاحظات الرفيعة المستوى:

أ) بينما تُظهر السيناريوهات إمكانية الحد بشكل كبير من ثاني أكسيد الكربون، من خلال استخدام التدابير داخل القطاع (مثل التكنولوجيا والعمليات والوقود) فإن أياً من السيناريوهات لا يصل بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى مستوى الصفر. ويرجع ذلك إلى الجانب المتعلق بانبعاثات دورة حياة الوقود، وعلى الرغم من استبدال وقود الطائرات النفاثة التقليدي بنسبة ١٠٠٪ بأنواع جديدة من الوقود، مثل وقود الطيران المستدام (SAF) كالوقود المعتمد على الكتلة الحيوية أو المخلفات أو ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أو الهيدروجين. ومن المفيد ملاحظة أنه نظراً لأن المجالات الأخرى في الاقتصادات تعمل على خفض انبعاثاتها، يجب أن تنخفض قيمة دورة الحياة هي الأخرى. وبالنظر إلى أن نطاق فرقة العمل يقتصر على النظر في التدابير داخل القطاع فقط، فإن تحليل فرقة العمل لم ينظر في التدابير "خارج القطاع".

ب) إن معدل نمو الحركة الإجمالي له تأثير مهم على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية بحلول عام ٢٠٥٠ وما بعده.

ج) ويتمتع الوقود سهل الإحلال، بمختلف أنواعه، بأكبر تأثير على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية إذ إنه يأتي على رأس مسببات إجمالي خفض الانبعاثات بحلول عام ٢٠٥٠. ويُعد ذلك عاملاً مستقلاً إلى حد ما عن سيناريوهات التكنولوجيا والعمليات. ولا يُتوقع أن يكون للهيدروجين الموجود على متن الطائرة مساهمة كبيرة بحلول عام ٢٠٥٠ (حيث لن تزيد حصته من مجمل الطاقة عن ١,٩٪ فقط في عام ٢٠٥٠) ولكن هذه النسبة قد ترتفع في خمسينيات وستينيات القرن الحادي والعشرين إذا كان ذلك ممكناً تقنياً ومجدياً تجارياً.

د) تمتلك الطائرات الأنبوبية والجناحية المتقدمة إمكانيات واضحة لتحسين كفاءة الوقود (الطاقة) في منظومة الطيران الدولي، على غرار الطائرات ذات التصميمات غير التقليدية، الأمر الذي سيسهم تدريجياً في تحسين مستوى الكفاءة. وستستمر الهوة التكنولوجية في الاتساع بعد عام ٢٠٥٠ بعد ضم هذه الأنواع من الطائرات إلى الأساطيل. بيد أنه يجب توخي الحذر عند تفسير المستويات المطلقة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب افتراضات النمذجة، فعلى سبيل المثال، تواصل الطائرات الانضمام إلى الأسطول، إلا أن تقنيتها تجمدت عند مستوى ٢٠٥٠ (على افتراض عدم وجود تحسينات تقنية أخرى بعد عام ٢٠٥٠)، الأمر الذي سيُظهر أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بعد عام ٢٠٥٠ ستكون أعلى مما كان متوقعاً). وستُظهر الطائرات التي تعمل بالهيدروجين مستويات أسوأ من حيث استهلاك الطاقة أثناء الطيران، مقارنةً بالطائرات التي تعمل بالوقود سهل الإحلال، مع ملاحظة أن ما تحققه هذه الطائرات من خفض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يعتمد على دورة حياة الهيدروجين المستخدم، ويمكن أن يُظهر إنتاج الوقود سهل الإحلال كفاءة أسوأ في استهلاك الطاقة مقارنة بإنتاج الهيدروجين السائل، من منظور دورة الحياة.

هـ) يوضح التحليل أن هناك فرصاً لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مجال العمليات من خلال تحسين أداء الرحلات عبر جميع مراحلها، بما في ذلك التدابير غير التقليدية مثل الطيران في تشكيلات.

و) التكاليف والاستثمارات المرتبطة بالسيناريوهات تعتمد إلى حد كبير على الوقود (مثل وقود الطيران المستدام)، مما يعني الاعتراف بأن أي تكاليف إضافية للوقود (أي السعر الأدنى لبيع وقود الطيران المستدام مقارنة بوقود الطائرات النفاثة التقليدي) يحفز بشكل أكبر على تحسين كفاءة الوقود (الطاقة) من خلال تكنولوجيا الطائرات والعمليات. وسيتطلب ذلك أيضاً بعض الاستثمارات من الحكومات والصناعة.

ز) في حين أن فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل لم تضع سوى عددٍ محدودٍ من السيناريوهات استجابة للتطلعات المتزايدة في قطاعات التكنولوجيا والعمليات والوقود، إلا أن هناك مسارات متعددة قد تؤدي إلى مستويات مماثلة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتُظهر تحليلات فرقة العمل أن هذه السيناريوهات والتحليلات تتسم بقدر كبير من القوة.

٣- المنهجية

٣-١ **السيناريوهات المتكاملة:** وُضعت ثلاثة سيناريوهات متكاملة لتحقيق الهدف الطموح طويل الأجل، بحيث تغطي نطاقاً لمختلف مستويات الجاهزية وإمكانية التحقيق والطموح.

٣-١-١ **السيناريو المتكامل ١ (IS1)** يعكس "درجة عالية من الجاهزية/إمكانية التحقيق ودرجة منخفضة من الطموحات". وهذا السيناريو المنخفض أو الشكلي يمثل المستوى الحالي (في ٢٠٢١) من التوقعات المنتظرة من التكنولوجيات التي ستكون متاحة مستقبلاً ومستويات الكفاءة التشغيلية وتوافر الوقود. ويشمل هذا السيناريو أيضاً إضافة بعض العوامل المساعدة على مستوى السياسات فيما يخص التكنولوجيا والعمليات والوقود، وقدراً منخفضاً من التغيير في الأنظمة، أي مثلاً لا يلزم إجراء تغييرات ملموسة في البُنى الأساسية. ومن بين السيناريوهات الثلاثة، لا يتطلب هذا السيناريو سوى أدنى مجهود لتنفيذه، وإن كان ذلك قد يظل يشكل خطوةً كبيرةً لبعض الجهات.

٣-١-٢ **السيناريو المتكامل ٢ (IS2)** يعكس "درجة متوسطة من الجاهزية/إمكانية الوصول ودرجة متوسطة من الطموحات". وهذا السيناريو القائم على قدر أكبر من الطموح يمثل حلاً وسطاً بين السيناريوهين الآخرين، حيث يشمل وتيرةً أسرع في طرح التكنولوجيات الحديثة وزيادةً في مستويات الكفاءة التشغيلية ومستوى أعلى من توافر الوقود. ويفترض هذا السيناريو إضافة قدر أكبر من العوامل المساعدة على مستوى السياسات فيما يخص التكنولوجيا والعمليات والوقود، ومزيد من التغييرات في الأنظمة، أي مثلاً إجراء تغييرات محدودة في البُنى الأساسية. ومن بين السيناريوهات الثلاثة، يتطلب هذا السيناريو جهداً متوسطاً لتنفيذه.

٣-١-٣ **السيناريو المتكامل ٣ (IS3)** يعكس "درجة منخفضة من الجاهزية/إمكانية الوصول ودرجة مرتفعة من الطموحات". وهذا السيناريو العنيف القائم على قدر عالٍ من الطموح يمثل الدرجة القصوى من الجهد الذي يمكن بذله، من حيث وتيرة إدخال التكنولوجيات الحديثة ومستويات الكفاءة التشغيلية وتوافر الوقود. ويفترض هذا السيناريو إضافة أقصى كم من العوامل المساعدة على مستوى السياسات فيما يخص التكنولوجيا والعمليات والوقود، وإدخال تغييرات ضخمة ومنسقة دولياً على الأنظمة، أي مثلاً

إجراء تغييرات هائلة وواسعة النطاق في البُنى الأساسية بالمطارات والبُنى الأساسية للطاقة. ومن بين السيناريوهات الثلاثة، يتطلب هذا السيناريو أقصى جهد ممكن لتنفيذه.

٣-١-٤ أُعدَّت جميع السيناريوهات على أساس السيناريو المتكامل (IS0) الذي يمثّل خفضاً في الانبعاثات فقط من خلال تطوير أساطيل الطائرات على أساس تكنولوجيا الطائرات التي تم تثبيتها عند مستوى ٢٠١٨، دون إدخال أي تحسينات أخرى لا من ناحية العمليات ولا من ناحية الوقود. وهذا السيناريو، المطابق لسيناريو خط الأساس لقياس الاتجاهات والذي قُدم للجنة حماية البيئة في اجتماعها الثاني عشر، يشمل مزايا تجديد أساطيل الطائرات، بمعنى أن تقوم شركات الطيران بضخ استثمارات كبيرة لشراء طائرات جديدة (حتى ولو ظلت التكنولوجيا ثابتة عند مستوى ٢٠١٨). ولم تقم لجنة حماية البيئة بوضع نموذج لسيناريو "كفاءة الوقود الثابتة عند مستوى ٢٠١٨" في تحليل الاتجاهات الذي أجرته اللجنة أو في تحليل فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل. فمثل هذا السيناريو الإضافي سيكشف عن اتجاهات في مستويات حرق الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون أعلى من تلك الواردة في سيناريو خط الأساس **(IS0)**، إلا أنه سيتضمن المساهمة المتزايدة المتحققة بفعل تجديد شركات الطيران لأساطيلها. إلا أن ذلك لم يكن ليغير بأي حال من الأحوال نتائج الدراسة التي أجرتها فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح.

٣-٢ **الإطار العام لنمذجة البيانات:** إقراراً بأن مهمة فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل هي تقييم الجدوى من مختلف السيناريوهات المستقبلية الممكنة، اعتمدت الفرقة على الأدوات والمنهجيات التي أعدتها كل من مجموعة الدعم المعنية بالتنبؤات والتحليل الاقتصادي (FESG) وفريق وضع النماذج وقواعد البيانات (MDG) لأغراض تحليل الاتجاهات الذي أجرته لجنة حماية البيئة. وقد شمل ذلك الاستفادة من أحدث تحليل للاتجاهات أُجري لأغراض الاجتماع الثاني عشر للجنة. وفي هذا السياق، اختير عام ٢٠١٨ ليكون سنة الأساس في تحليل الهدف الطموح طويل الأجل، مع تمديد الإطار الزمني للهدف حتى ٢٠٧٠ كي يتسنى ملاحظة أثر التكنولوجيات الجديدة التي ستدخل على الأسطول في ٢٠٥٠. ووَضعت مجموعة الدعم المعنية بالتنبؤات والتحليل الاقتصادي التوقعات التي مثلت مستوى منخفضاً ومتوسطاً ومرتفعاً لحركة الطيران الدولي بعد انتهاء الجائحة، بما يتوافق مع الاتجاهات.

٣-٣ تقدير **التكلفة (الاستثمارات):** التكاليف والاستثمارات (كالتكاليف غير المتكررة وتكلفة الوقود والنفقات الرأسمالية) المرتبطة بسيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل قد جرى تقييمها كمياً لوضع توزيع إجمالي وزمني للتكاليف والاستثمارات على مختلف فئات الجهات المعنية. ومتى كانت هناك تكاليف أو استثمارات وآثار اقتصادية محتملة يتعذر تقديرها كمياً، فقد أُدرج لها وصف نوعيّ لطبيعتها.

٤- ملخص النتائج

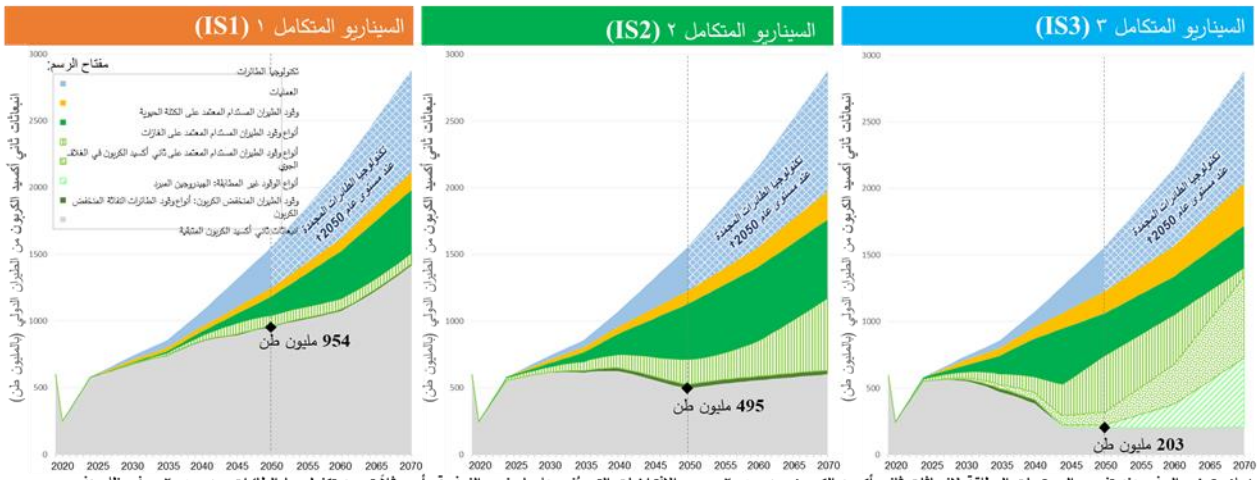
٤-١ المقدمة

٤-١-١ أُعد الملخص التالي للنتائج بحيث يتناول المسائل الآتية:

- كيف يمكن للتدابير القطاعية (أي المتعلقة بالتكنولوجيا والعمليات والوقود) أن تسهم في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الطيران الدولي حتى عام ٢٠٥٠ وما بعده؟ (القسم ٤-٢)
- في ضوء اتجاهات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في كل سيناريو، كم تبلغ الانبعاثات التراكمية من الطيران الدولي؟ وما وجه المقارنة بين هذه الانبعاثات التراكمية ومقتضيات الحد من زيادة درجة الحرارة عالمياً إلى ١,٥ وإلى ٢ درجة مئوية؟ (القسم ٤-٣)
- ما هي الاستثمارات اللازمة لدعم تنفيذ التدابير القطاعية المرتبطة بكل سيناريو؟ وما هي التكاليف التي ستتحملها الجهات المعنية في قطاع الطيران؟ (القسم ٤-٤)
- ما هي الآثار التي ستترتب على مختلف مستويات الحركة الجوية مستقبلاً؟ (القسم ٤-٥)
- ما مدى حساسية النتائج من حيث تأثرها بالافتراضات الواردة في السيناريوهات؟ (القسم ٤-٦)

٤-٢ اتجاهات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الطيران الدولي

٤-٢-١ باستخدام الإطار العام للنمذجة الوارد ذكره في القسم ٣-٢، قامت لجنة حماية البيئة في مجال الطيران بتقييم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن الطيران الدولي في كل سيناريو من السيناريوهات الثلاثة IS1 وIS2 وIS3. وقد أوردت النتائج التالية بافتراض توقعات متوسطة للحركة الجوية، ما لم يُشر إلى خلاف ذلك.



† يلزم توخي الحذر عند تفسير المستويات المطلقة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بعد ٢٠٥٠ بسبب الافتراضات التي بُني عليها منهج النمذجة، أي مثلاً تجميد تكنولوجيا الطائرات بعد ٢٠٥٠. وفي ظل هذه الافتراضات، تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أعلى من أي سيناريو بديل (ومن منهج النمذجة) حيث تستمر تكنولوجيا الطائرات في التحسن بعد ٢٠٥٠.

الشكل ١. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الطيران الدولي والمرتبطة بالسيناريوهات المتكاملة للهدف الطموح طويل الأجل

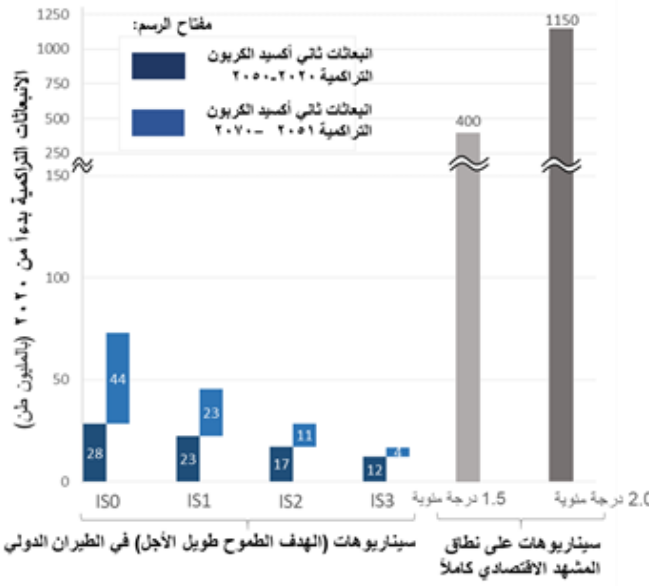
٤-٢-٢ بحسب السيناريو الأول (IS1)، وبعد حساب الخفض في الانبعاثات بفعل تدابير تكنولوجيا الطائرات والعمليات والوقود، يمكن أن تصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى حوالي ٩٥٠ مليون طن في ٢٠٥٠ (بزيادة قدرها ١,٦ ضعفاً عن مستويات عام ٢٠١٩) وإلى ١٤٢٠ مليون طن في ٢٠٧٠ (بزيادة قدرها ٢,٣ ضعفاً). وفي ظل هذا السيناريو المنخفض أو الشكلي، ستنخفض الانبعاثات في ٢٠٥٠ بمعدل ٣٩% عن سيناريو خط الأساس (IS0)، وذلك بمعدل ٢٠% من تكنولوجيات الطائرات و٤% من العمليات و١٥% من الوقود. وبحلول ٢٠٧٠، سيكون بالإمكان أن تسهم تكنولوجيات الطائرات والعمليات والوقود في خفض الانبعاثات بمعدل ٢٦% و٥% و٢٠% على التوالي. وفي ظل هذا السيناريو، لن تستقر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية، بل ستواصل الزيادة متجاوزةً مستويات الانبعاثات في ٢٠١٩ (الذي يُتخذ كمؤشر عام على مستويات ما قبل عام ٢٠٢٠ حين وقعت الجائحة). ومن الآن وحتى ٢٠٥٠، فإن كفاءة الوقود عالمياً المقيسة بنسبة الوقود/طن كيلومتري إيرادي ستتحسن بمعدل ١,٢٠-١,٣١% سنوياً (بدلاً من ٢% وهو الهدف الطموح الذي حددته الإيكاو لكفاءة الوقود).

٤-٢-٣ ووفقاً للسيناريو الثاني (IS2)، يمكن أن تصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى حوالي ٥٠٠ مليون طن في ٢٠٥٠ (بزيادة قدرها ٠,٨ ضعفاً عن مستويات عام ٢٠١٩) وتستقر تقريباً عند مستويات عام ٢٠١٩. وتشكل الانبعاثات في ٢٠٥٠ انخفاضاً بنسبة ٦٨% عن سيناريو خط الأساس، وذلك بمعدل ٢١% من تكنولوجيات الطائرات و٦% من العمليات و٤١% من الوقود. ومن الآن وحتى ٢٠٥٠، فإن كفاءة الوقود عالمياً المقيسة بنسبة الوقود/طن كيلومتري إيرادي ستتحسن بمعدل ١,٣٥ إلى ١,٤٧% سنوياً (بدلاً من ٢% وهو الهدف الطموح الذي حددته الإيكاو لكفاءة الوقود).

٤-٢-٤ وبالانتقال إلى السيناريو الثالث (IS3)، فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية يمكن أن تصل إلى حوالي ٢٠٠ مليون طن في ٢٠٥٠ (أي ثلث مستوى انبعاثات عام ٢٠١٩) و٢١٠ مليون طن في ٢٠٧٠. وتشكل الانبعاثات في ٢٠٥٠ انخفاضاً بنسبة ٨٧% عن سيناريو خط الأساس، وذلك بمعدل ٢١% من تكنولوجيات الطائرات و١١% من العمليات و٥٥% من الوقود. ومن الآن وحتى ٢٠٣٥، فإن كفاءة الوقود عالمياً المقيسة بنسبة الوقود/طن كيلومتري إيرادي ستتحسن بمعدل ١,٤٢ إلى ١,٦٠% سنوياً. وفي ظل هذا السيناريو القائم على استخدام أنواع الوقود الغير متطابق (مع وقود الطائرات النفاثة التقليدي) مثل الهيدروجين، فإن الهدف الطموح الذي حددته الإيكاو لكفاءة الوقود وهو ٢% يصبح هدفاً متقادماً (على أساس نسبة وقود الطائرات النفاثة/طن كيلومتري إيرادي)، ولابد من تعديله. ومن الآن وحتى ٢٠٥٠، فإن كفاءة الوقود عالمياً المقيسة بنسبة ميغا جول/طن كيلومتري إيرادي ستتحسن بمعدل ١,٥٥ إلى ١,٦٧% سنوياً.

٤-٣ فهم انبعاثات الطيران الدولي المستقبلية في سياقها

٤-٣-١ استناداً إلى اتجاهات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الوارد بيانها في القسم ٤-٢، قامت لجنة حماية البيئة في مجال الطيران بحساب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية التي تسبب فيها الطيران الدولي في الفترة من ٢٠٥٠ إلى ٢٠٧٠ (انظر الشكل ٢). ووفقاً للسيناريو ١ (IS1)، تبلغ الانبعاثات المتبقية التراكمية الناشئة عن الطيران الدولي ٢٣ غيغا طن وذلك في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠، و٢٣ غيغا طن في الفترة من ٢٠٥١ إلى ٢٠٧٠. وبالانتقال إلى السيناريو ٢ (IS2)، تصل الانبعاثات إلى ١٧ غيغا طن في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠، و١١ غيغا طن في الفترة من ٢٠٥١ إلى ٢٠٧٠. وبحسب السيناريو ٣ (IS3)، تبلغ ١٢ غيغا طن وذلك في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠، و٤ غيغا طن في الفترة من ٢٠٥١ إلى ٢٠٧٠.



الشكل ٢. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية من الطيران الدولي مقابل حدّي الاحترار البالغين ١,٥ و ٢ درجة مئوية

٤-٣-٢ بعد ذلك قامت لجنة حماية البيئة بوضع هذه النتائج في سياق ميزانيات الكربون العالمية التي وُضعت للحد من الاحترار العالمي إلى ما دون ١,٥ و ٢ درجة مئوية، استناداً إلى بيانات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ (IPCC). وقد أجرت كل من الهيئة المذكورة ولجنة حماية البيئة تحليلين بتطبيق منهجيات مختلفة، كما شاب كل تحليل منهما قدر من عدم اليقين، على النحو الوارد ذكره في المرفق R3، إلا أن ذلك لا يقلل من قيمة المقارنة بينهما.

٤-٣ فهم انبعاثات الطيران الدولي المستقبلية في سياقها

٤-٣-٣ وبالنظر إلى السياق العام، فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية التراكمية الناشئة عن النشاط البشري عالمياً تُقدر بنحو ٤٠٠ غيغا طن بدءاً من ٢٠٢٠ وذلك باستهداف الحد من الاحترار العالمي إلى ما دون ١,٥ درجة مئوية وبافتراض احتمالية تبلغ ٦٧%. وقد يكون الطيران الدولي مسؤولاً عن ٤,١ إلى ١١,٣% من هذا الكم من الانبعاثات، بحسب السيناريوهات المختلفة. أما للإبقاء على الاحترار العالمي دون ٢ درجة مئوية، فإن انبعاثات الكربون المسموح بها المتبقية تُقدّر بنحو ١١٥٠ غيغا طن بافتراض احتمالية تبلغ ٦٧%. وقد يكون الطيران الدولي مسؤولاً عن ١,٤ إلى ٣,٩% من هذا الكم من الانبعاثات، بحسب السيناريوهات المختلفة. ويورد الملحق (أ) بالمرفق R3 مقارنات تقوم على أساس احتمال بلوغ أهداف درجات الحرارة بنسبة ٥٠%.

٤-٤ التكاليف والاستثمارات المرتبطة بالسيناريوهات المتكاملة

٤-٤-١ قامت لجنة حماية البيئة بتقييم التكاليف والاستثمارات المرتبطة بكل سيناريو من سيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل (انظر الشكل ٣ للاطلاع على موجز عن ذلك، وانظر المرفقات للاطلاع على تفاصيل هذه التكاليف وتوزيعها الزمني، إلخ). ومن المهم الإشارة إلى أن التكاليف والاستثمارات المرتبطة بكل سيناريو لا يُفترض أن تُضاف إلى مجموع التكلفة التراكمية.

فبعض الاستثمارات الواقعة على عاتق هيئات صناعات المنبع تُرحل إلى هيئات صناعات المصب في صورة زيادة تدريجية في أسعار المنتجات (أي مثلاً تحويل الاستثمارات التي يتحملها موردو الوقود إلى المشغّلين بحيث تدخل ضمن السعر الأدنى للبيع). وهكذا تظهر التكاليف والاستثمارات على امتداد سلسلة من الجهات المعنية.

٤-٤-٢ **الاستثمارات من جانب الدول (أي الحكومات):** لدعم عمليات تطوير تكنولوجيا الطائرات، قد يكون على الدول الاستثمار في أنشطة البحث والتطوير. وبموجب السيناريو ١، يمكن أن تتراوح هذه الاستثمارات ما بين ١٥ و١٨٠ مليار دولار من الآن وحتى ٢٠٥٠. ولدعم تطوير النماذج المتقدمة من الطائرات و/أو نُظُم الوقود (أي الطائرات التي تعمل بالهيدروجين) بموجب السيناريو ٢ والسيناريو ٣، يمكن أن تزداد قيمة هذه الاستثمارات فتتراوح ما بين ٧٥ إلى ٨٧٠ مليار دولار.

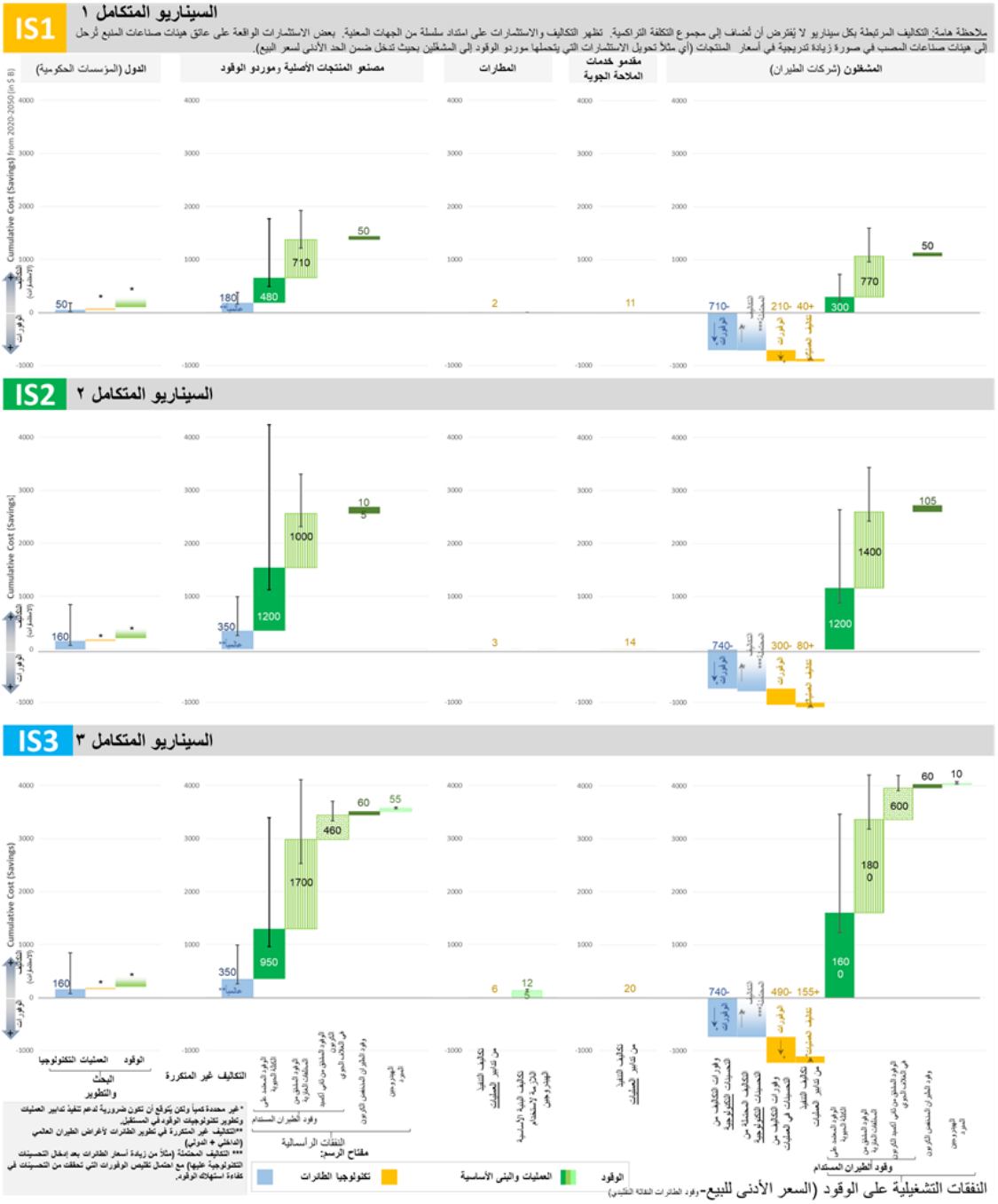
٤-٤-٣ **الاستثمارات من جانب مصنّعي الطائرات:** لإدخال التحسينات على تكنولوجيا الطائرات بحسب ما جاء في السيناريو ١، سيكون على مصنّعي الطائرات توفير استثمارات في حدود ١٨٠ مليار دولار (من ١٥٠ إلى ٣٨٠ مليار دولار) في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠. أي بمعدل ٦ مليار دولار سنوياً. أما تطوير طائرات ذات نماذج غير تقليدية (كما جاء في السيناريو ٢) وطائرات تعمل بالهيدروجين (كما في السيناريو ٣) فيتطلب زيادة بالغة في الاستثمارات في حدود ٣٥٠ مليار دولار (من ٢٦٠ إلى ١٠٠٠ مليار دولار) في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠.

٤-٤-٤ **الاستثمارات من جانب مورّدي الوقود:** للبدء في زيادة سعة إنتاج الوقود وفقاً للسيناريو ١، سيكون على موردي الوقود ضخ استثمارات بقيمة ١٣٠٠ مليار دولار تقريباً من الآن وحتى ٢٠٥٠، مقسّمة إلى ٤٨٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المعتمد على الكتلة الحيوية (لتغطية ١٩% من استهلاك الطاقة في الطيران الدولي في ٢٠٥٠) و٧١٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المشتق من المخلفات الغازية (٨%) و٥٠ مليار دولار لإنتاج وقود الطيران المنخفض الكربون وفقاً للهدف الطموح طويل الأجل (٧%). ووفقاً للسيناريو ٢، تتطلب زيادة سعة إنتاج الوقود استثمارات بقيمة ٢٣٠٠ مليار دولار تقريباً من الآن وحتى ٢٠٥٠. وأخيراً، وفي ظل السيناريو ٣، تبلغ الاستثمارات المطلوبة ٣٢٠٠ دولار، مقسمة إلى ٩٥٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المعتمد على الكتلة الحيوية بحلول ٢٠٥٠ (لتغطية ٤٢% من استهلاك الطاقة في الطيران الدولي في ٢٠٥٠) و١٧٠٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المشتق من المخلفات الغازية (٤٦%) و٤٦٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المشتق من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (١٠%)، و٦٠ مليار دولار لإنتاج وقود الطيران المنخفض الكربون وفقاً للهدف الطموح طويل الأجل (٠%) و٥٥ مليار دولار لإنتاج الهيدروجين (٢%). وتُخصص هذه النفقات الرأسمالية لمصانع إنتاج الوقود الجديدة، ولا تنخفض بالاستثمارات التي تُضخ في قطاع الوقود التقليدي والتي تلزم في سيناريو خط الأساس (IS0). علاوة على ذلك، فإن الاستثمارات الواردة في تحليلات لجنة حماية البيئة في مجال الطيران ستؤدي كذلك إلى تطوير اقتصادي في البيئات المحلية (فمثلاً معامل التكرير التي تستخدم المواد الأولية المتجددة أو المشتقة من المخلفات لإنتاج وقود الطيران المستدام سينشأ عنها تطور اقتصادي وفرص اقتصادية في المجتمعات الريفية).

٤-٤-٥ **التكاليف والاستثمارات التي تتحملها المطارات:** سعياً لتطبيق تدابير العمليات، قد يتعين على المطارات إنفاق أو توفير استثمارات بقيمة ٢ إلى ٦ مليار دولار في مختلف سيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل. وبالإضافة إلى ذلك، وبموجب السيناريو ٣ الذي يفترض دخول الطائرات العاملة بالهيدروجين إلى الخدمة من بعد عام ٢٠٣٥، قد يكون لزاماً على المطارات الاستثمار في البُنى الأساسية بقيمة تتراوح من ١٠٠ إلى ١٥٠ مليار دولار بحلول ٢٠٥٠.

٤-٤-٦ **التكاليف والاستثمارات التي يتحملها مقدّمو خدمات الملاحة الجوية (ANSPs):** تدابير العمليات المرتبطة تحديداً بالهدف الطموح طويل الأجل تستلزم أن يوفر مقدّمو خدمات الملاحة الجوية استثمارات بقيمة تتراوح من ١١ إلى ٢٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠٥٠.

٤-٤-٧ **التكاليف والاستثمارات التي يتحملها المشغّلون:** عند ضم الطائرات التي أُدخلت عليها التحسينات التكنولوجية إلى أساطيل الطائرات العاملة، ستستفيد شركات الطيران من انخفاض استهلاك الوقود وتراجع تكاليف وقود التشغيل بقيم تتراوح من حوالي ٧١٠ إلى ٧٤٠ مليار دولار حتى عام ٢٠٥٠. وقد تنشأ الحاجة إلى ضخ استثمارات متزايدة لتغطية الزيادة التدريجية في أسعار الطائرات (بعد إدخال التحسينات التكنولوجية عليها)، الأمر الذي يؤدي إلى تقليص الوفورات التي حققتها شركات الطيران بفضل تحسين تكنولوجيا الطائرت. أما تنفيذ تدابير العمليات فمن الممكن أن يؤدي إلى خفض تكاليف الوقود التي يتحملها المشغّلون بنحو ٢١٠ إلى ٤٩٠ مليار دولار حتى عام ٢٠٥٠، إلا أن تلك التدابير تتطلب بدورها توفير تكاليف واستثمارات إضافية تتراوح ما بين ٤٠ إلى ١٥٥ مليار دولار. لذا فالتكاليف المتعلقة بالوقود في صورة زيادة تدريجية في سعر الوقود (السعر الأدنى للبيع) مقابل سعر وقود الطائرات النفاثة التقليدي في سيناريو خط الأساس سيكون لها أبلغ الأثر على المشغّلين. وفي السيناريو الأول (IS1)، قد يؤدي شراء شركات الطيران للوقود إلى زيادة تدريجية في التكاليف، مقارنةً بشراء وقود الطائرات النفاثة التقليدي، بقيمة تصل إلى ١١٠٠ مليار دولار، مقسمة إلى ٣٠٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المعتمد على الكتلة الحيوية و٧٧٠ مليار دولار لوقود الطيران المستدام المشتق من المخلفات و٥٠ مليار دولار لوقود الطيران المنخفض الكربون. وتزداد تكلفة الوقود تدريجياً في ظل السيناريو الثاني (IS2) لتصل إلى ٢٧٠٠ مليار دولار تقريباً. أخيراً وفي ظل السيناريو الثالث (IS3) حيث يستبدل ١٠٠% من وقود الطائرات النفاثة التقليدي بأنواع الوقود الجديدة في ٢٠٤٠، ستصل التكلفة التي تتحملها شركات الطيران ٤٠٠٠ مليار دولار من الآن وحتى عام ٢٠٥٠ (مقسمة إلى ١٦٠٠ مليار لوقود الطيران المستدام المعتمد على الكتلة الحيوية و١٨٠٠ مليار لوقود الطيران المستدام المشتق من المخلفات و٦٠٠ مليار لوقود الطيران المستدام المشتق من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي و١٠ مليار لوقود الطيران المنخفض الكربون).

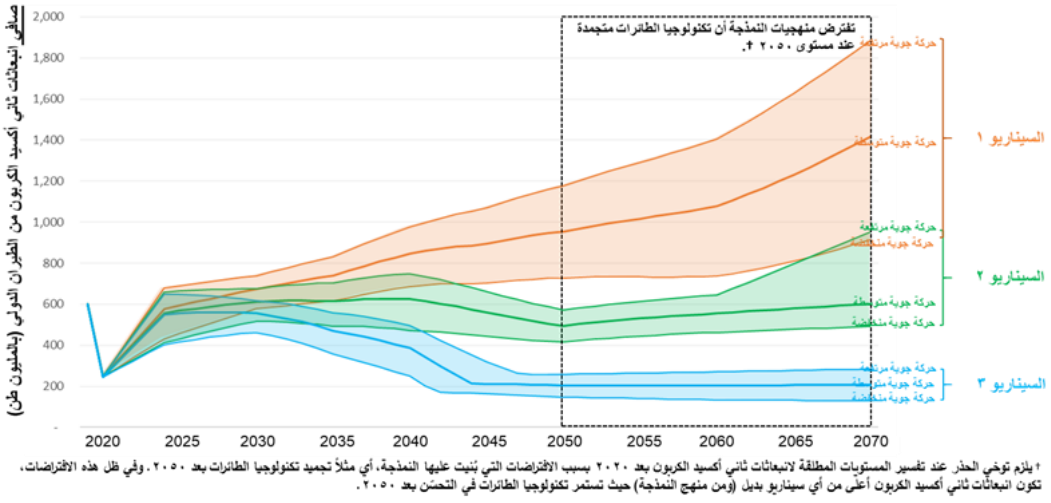


الشكل ٣. مجمل التكاليف والاستثمارات المرتبطة بسيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل

٤-٥ أثر تنبؤات الحركة الجوية

٤-٥-١ وُضعت السيناريوهات الوارد بيانها أعلاه على أساس التنبؤ بحركة جوية متوسطة. كذلك قامت لجنة حماية البيئة في مجال الطيران بتقييم التبعات الممكنة في حالة التنبؤ بحركة جوية مرتفعة ومنخفضة. ويظهر الشكل ٤ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية والناجمة عن الطيران الدولي (بعد التحسينات على تكنولوجيا الطائرات وعلى العمليات وخفض الانبعاثات بفضل استخدام وقود الطيران المستدام ووقود الطيران المنخفض الكربون وأنواع الوقود الغير متطابقة كالهيدروجين مثلاً، حسب الاقتضاء) في مختلف سيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل وعند مختلف مستويات الحركة الجوية.

٤-٥-٢ بحسب السيناريو الأول، قد تتراوح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ٢٠٥٠ ما بين ٧٣٠ و١١٦٠ مليون طن (أو +/- ٢٣% بافتراض حركة جوية متوسطة)، وما بين ٩٢٠ و١٨٨٠ مليون طن (+/- ٣٥% بافتراض حركة جوية متوسطة) في ٢٠٧٠. وفي ظل السيناريو الثاني، قد تتراوح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ٢٠٥٠ ما بين ٤٢٠ و٥٩٠ مليون طن (أو +/- ١٦% بافتراض حركة جوية متوسطة)، وما بين ٤٩٠ و٩٥٠ مليون طن (+٥٨% إلى -١٨% بافتراض حركة جوية متوسطة) في ٢٠٧٠. وأخيراً، ووفقاً للسيناريو الثالث، قد تؤثر تنبؤات الحركة الجوية على مستويات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية في ٢٠٥٠ بحيث تتراوح ما بين ١٥٠ و٢٦٠ مليون طن (أو +/- ٢٧% بافتراض حركة جوية متوسطة)، وما بين ١٣٠ و٢٨٠ مليون طن (+/- ٣٨% بافتراض حركة جوية متوسطة) في ٢٠٧٠.



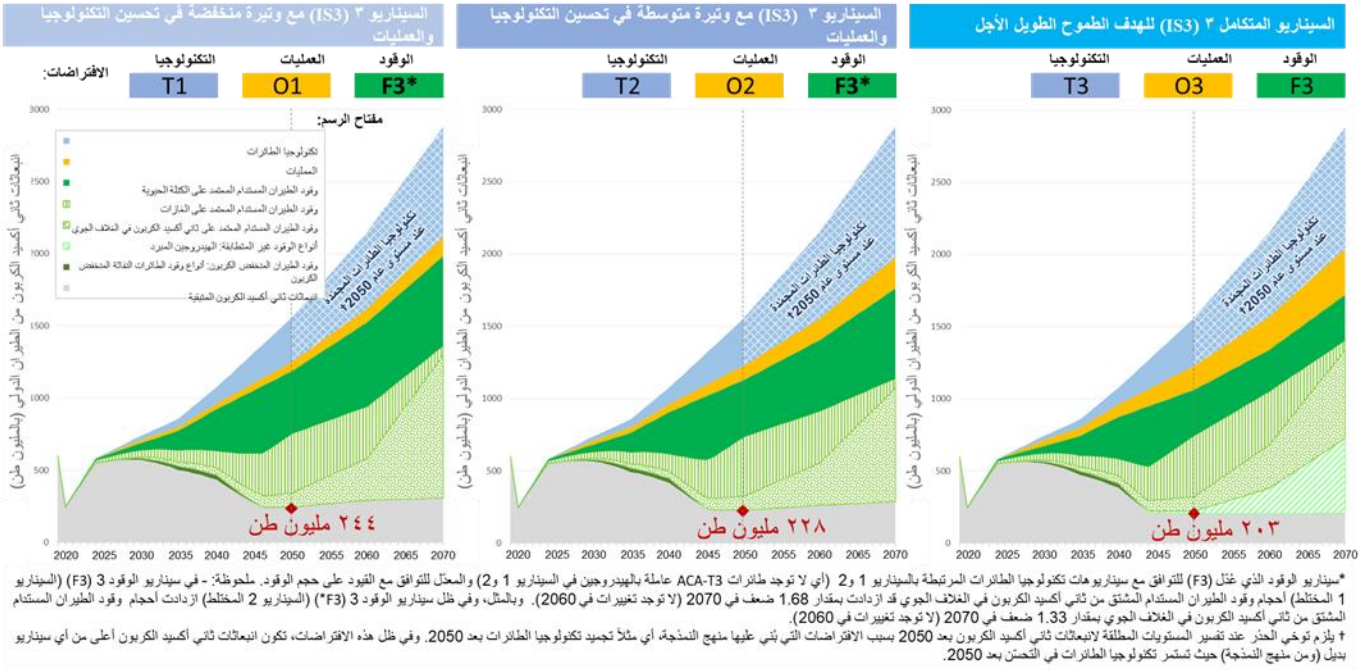
4

الشكل ٤. آثار سيناريوهات الحركة الجوية على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مختلف السيناريوهات المتكاملة للهدف الطموح طويل الأجل

٤-٦ اختبار الحساسية في السيناريو ٣ لفحص أهمية الوقود

٤-٦-١ كما ورد في الفقرة ٣-١ بشأن "السيناريوهات المتكاملة" وكما اتضح في الفقرة ٤-٢ "اتجاهات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الطيران الدولي"، قامت فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل بوضع ٣ سيناريوهات متكاملة تتناول نطاقاً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتبقية بعد تطبيق تدابير التكنولوجيا والعمليات والوقود. وأثناء المداولات التي أجرتها الفرقة بخصوص السيناريوهات المتكاملة، أقرّت الفرقة بوجود صورة عديدة للجمع بين سيناريوهات التكنولوجيا والعمليات والوقود بما يفضي إلى وضع "سيناريوهات متكاملة بديلة" وإن كانت لم تخضع لدراسات وافية كما هي الحال في "السيناريوهات المتكاملة". علاوة على ذلك، قامت المجموعات الفرعية المعنية بالتكنولوجيا والعمليات وأنواع الوقود بوضع نطاقات للتقديرات المستندة إلى سيناريوهات قائمة على تدابير بعينها. على سبيل المثال، وضعت المجموعة الفرعية التابعة للفرقة والمكلفة بالتكنولوجيا بوضع تقديرات لوتيرات منخفضة ومتوسطة ومرتفعة للتقدم في تحسين تكنولوجيا الطائرات (انظر المرفق M5 للاطلاع على التفاصيل). وبالمثل، وضعت المجموعة الفرعية التابعة للفرقة والمكلَّفة بالعمليات بوضع تقديرات لوتيرات منخفضة ومتوسطة ومرتفعة للتقدم في تحسين العمليات. وهذه الصور المختلفة للجمع بين سيناريوهات قائمة على تدابير بعينها ونطاقات من التقديرات شكلت الأساس لإجراء تحليلات معتمدة على السيناريوهات وتحليلات للحساسية.

٤-٦-٢ يورد الشكل ٥ تحليلات الحساسية الموضّحة لسيناريوهات الوتيرة المنخفضة في تحسين التكنولوجيا والعمليات ضمن السيناريو ٣ (IS3). هناك وجه شبه بين الرسم الأيمن والشكل ١. ويعرض الرسم الأوسط حالة الوتيرة المتوسطة في تحسين التكنولوجيا والعمليات حيث تقوم الطائرات الأنبوبية والجناحية والطائرات ذات النماذج غير التقليدية باستخدام أنواع الوقود سهلة الإحلال وفقاً لسيناريو الوقود ٣، مما يؤدي إلى انبعاثات تبلغ ٢٢٨ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون بحلول ٢٠٥٠. وبالمثل، في السيناريو الذي يفترض وتيرة منخفضة لتحسين التكنولوجيا والعمليات وسيناريو الوقود ٣ بعد تعديله لضمان الاتساق الداخلي في السيناريو، قد تصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى ٢٤٤ مليون طن بحلول ٢٠٥٠. وتثبت هذه النتائج أن هناك مسارات عديدة تؤدي في النهاية إلى مستويات مماثلة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. كما تكشف أيضاً عن جوانب القوة في سيناريوهات وتحليلات الهدف الطموح طويل الأجل وفي المساهمة الهامة التي يقدمها الوقود بأنواعه في فصل الارتباط بين نمو حركة الطيران الدولي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناشئة عنه.



سيناريو الوقود الذي يُمثل (F3) للتوافق مع سيناريوهات تكنولوجيا الطائرات المرتبطة بالسيناريو 1 و2 (أي لا توجد طائرات ACA-T3 عاملة بالهيدروجين في السيناريو 1 و2) والمعدّل للتوافق مع القيود على حجم الوقود. ملحوظة: - في سيناريو الوقود 3 (F3) (السيناريو 1 المختلط) أحجام وقود الطيران المستدام المشتق من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد ازدادت بمقدار 1.68 ضعف في 2070 (لا توجد تغييرات في 2060). وبالمثل، وفي ظل سيناريو الوقود 3 (F3) (السيناريو 2 المختلط) ازدادت أحجام وقود الطيران المستدام المشتق من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمقدار 1.33 ضعف في 2070 (لا توجد تغييرات في 2060).
† يلزم توخي الحذر عند تفسير المستويات المطلقة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بعد 2050 بسبب الافتراضات التي بُني عليها منهج النمذجة، أي مثلاً تجميد تكنولوجيا الطائرات بعد 2050. وفي ظل هذه الافتراضات، تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أعلى من أي سيناريو بديل (ومن منهج النمذجة) حيث تستمر تكنولوجيا الطائرات في التحسّن بعد 2050.

الشكل ٥. تحليل الحساسية

٤-٦-٣ لا يُظهر الرسم تحليلات الحساسية بالنسبة للتكنولوجيات لأن الخفض في الانبعاثات لا يختلف اختلافاً ملموساً فيما بين سيناريوهات التكنولوجيا الثلاثة. كذلك لا تُجرى تحليلات الحساسية بالنسبة للعمليات نظراً لأن مساهمتها في خفض الانبعاثات متواضعة بالنسبة لمساهمات التكنولوجيا والوقود.

٥- اعتبارات تتعلق بالخيارات

٥-١ في ضوء نتائج دراسة الجدوى التي أجرتها الفرقة المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل، تم تحديد الخيارات الفنية التالية فيما يتعلق بالقياسيات، وهي خيارات من شأنها أن تيسر النقاشات بشأن الجدوى من وضع هدف طموح طويل الأجل. إلا أن القائمة التالية ليست وافية، ويجوز بالطبع النظر في صور أخرى.

أ) **المستوى السنوي للانبعاثات** الذي يُحتمل تحقيقه بواسطة التدابير، أي مثلاً ٩٥٠ أو ٥٠٠ أو ٢٠٠ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في ٢٠٥٠ (استناداً إلى السيناريوهات المتكاملة التي تم تقييمها). استخدام سنة مرجعية قبل عام ٢٠٥٠ قد لا يعطي درجة اليقين المتوقعة بالنسبة للمدى الطويل فيما يخص الجدوى من اعتماد الهدف الطموح طويل الأجل. كذلك فإن استخدام سنة مرجعية بعد عام ٢٠٧٠ سيفتح المجال أمام قدر كبير من عدم اليقين من حيث التنبؤات التي يستند إليها السيناريو ومن حيث وتيرة نشر التكنولوجيات المتقدمة في أساطيل الطائرات حول العالم، وفي ضوء هذا التحليل، قد لا يسمح ذلك بالضرورة باستهداف طموحات أعلى على مستوى القطاع.

ب) تحديد **محطات متوسطة** في السنوات المرجعية الرئيسية من الممكن أن يضيف مساراً إلى الصورة العامة للانبعاثات في بعض الأحيان.

ج) **إجمالي الانبعاثات التراكمية من قطاع الطيران الدولي أثناء فترة محددة**، أي مثلاً ٢٣ أو ١٧ أو ١٢ غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون في الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٥٠ (استناداً إلى السيناريوهات المتكاملة التي تم تقييمها). سيُترجم إجمالي الانبعاثات التراكمية مباشرةً إلى استجابة من حيث درجة حرارة الغلاف الجوي وسيسمح ذلك برصد التقدم المحرز دون الحاجة إلى تحديد محطات متوسطة. عدا ذلك، تسري اعتبارات مشابهة لما ذُكر أعلاه.

٥-٢ نظراً لأن نطاق اختصاصات الفرقة المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل يقتصر فقط على التدابير القطاعية، لم يتطرق التحليل الذي أجرته الفرقة إلى التدابير المطبَّقة خارج القطاع.

٦- اعتبارات أخرى

٦-١ **الآثار المترتبة على نمو الطيران:** نظرت لجنة حماية البيئة في الآثار التي يُحتمل أن تترتب على نمو الطيران نتيجة التكاليف (والاستثمارات) الإجمالية المتعلقة بالتدابير التي تقوم على أساسها سيناريوهات الهدف الطموح طويل الأجل. وعلى الرغم من صعوبة وضع تقييم كمي لهذه الآثار التي يُنتظر أن تحدث بعد سنوات بعيدة في المستقبل، أوضحت اللجنة أنه في حين قد يؤدي الهدف الطموح طويل الأجل إلى زيادة التكاليف التشغيلية، قد يتحمل جمهور المسافرين بعض هذه التكاليف. ولأن الطيران الدولي يتسم بقدر محدود نسبياً من المرونة في الأسعار (ونظراً لقلة البدائل المتاحة للرحلات الطويلة)، فإن الآثار المترتبة على نمو الطيران قد تكون محدودة. وأظهرت دراسة جرى استعراضها أن هناك فروقاً إحصائية بارزة بين أسواق السفر الجوي في مختلف الأقاليم الجغرافية. ووُجد أن العوامل الرئيسية التي يُحتمل أن تسهم في زيادة المرونة في الأسعار هي حداثة السوق وكثرة الرحلات ذات المسافات القصيرة ونشوء شركات الطيران المنخفضة التكلفة ووجود شركات للطيران العارض (التشارتر) وظهور الطبقة المتوسطة ووجود لوائح تنظيمية لتحرير الأسعار. علاوة على ذلك، يُتوقع أن يستمر الطيران في تقديم فوائد للاقتصاد على المستوى الوطني والإقليمي والعالمي.

٦-٢ **ملخص الآثار الإقليمية:** ستستمر تكنولوجيا الطائرات، وما يرتبط بها من قرارات تتعلق بالتصميم، في تلبية احتياجات الأسواق العالمية، ولن تكون هناك تفاوتات فيما بين الأقاليم. وسيُقبل مشغّلو الطائرات في مختلف الأقاليم أو الدول على شراء أفضل الطائرات المتاحة بما يفي باحتياجاتهم. ويُتوقع أيضاً أن تكون هناك اختلافات فيما بين الأقاليم من حيث تنفيذ التدابير التشغيلية. ويُنتظر أن تظهر أبرز الاختلافات في إنتاج أنواع الوقود الجديدة والإقبال على استخدامها. ويُعزى ذلك إلى عدد من العوامل منها توافر بعض المقومات على المستوى الإقليمي، كالمواد الخام من المخلفات والكتلة الحيوية، وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين المُبرد والطاقة المتجددة وآليات السوق والبُنى الأساسية.

٦-٣ **الآثار المترتبة على مستويات الضوضاء ونوعية الهواء:** في جميع السيناريوهات الثلاثة، تؤدي الزيادة في الحركة الجوية إلى زيادة في إجمالي الضوضاء وانبعاثات أكاسيد النيتروجين. ومع ذلك سيظل موضوعا الضوضاء ونوعية الهواء المحلي يحظيا بالأولوية، لا سيما حول مطارات بعينها حيث تستمر القواعد والرسوم المحلية في التأثير على بعض تصاميم الطائرات. وفي المعتاد يسهم التقدم في تكنولوجيا الطائرات في خفض مستويات الضوضاء والانبعاثات، تماماً كما يسهم في خفض معدلات حرق الوقود. أما الكفاءة في العمليات فمن الممكن أن تعود بالنفع على مستويات الضوضاء، إلا أنها لا يُتوقع أن يكون لها تأثير على نوعية الهواء. كذلك فإن وقود الطيران المستدام المستخدم في الهدف الطموح طويل الأجل والهيدروجين المبرد تصدر عنهما مستويات أقل من انبعاثات الجزئيات، ولا يتسببان في خروج أي انبعاثات من الكبريتات ولا تكوّن خطوط التكثّف، ولكن لا يتوقع أن يكون هناك أثر على الضوضاء.

٦-٤ **مقارنة بالاتجاهات التي عُرضت في الاجتماع الثاني عشر للجنة حماية البيئة في مجال الطيران (CAEP/12):** قورنت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في السيناريوهات الثلاثة التي وضعتها الفرقة بالانبعاثات التي تم حسابها في ظل سيناريو الوقود الرابع ضمن تحليل الاتجاهات البيئية حتى عام ٢٠٥٠ والذي قُدم إلى لجنة حماية البيئة في اجتماعها الثاني عشر. وقد كانت خطوط الأساس (التي أطلقت عليها فرقة الهدف الطموح اسم السيناريو صفر (IS0)) متطابقة في مجموعتي التحليلات. فالانبعاثات القطاعية المتبقية في ظل السيناريو الثاني لفرقة الهدف الطموح جاءت مقاربة جداً للانبعاثات في سيناريو الوقود الرابع ضمن تحليل الاتجاهات المُعدّ للاجتماع الثاني عشر. أما السيناريو المتكامل ١ (IS1) فقد طرح انبعاثات أعلى من

سيناريوهات تحليل الاتجاهات بالنسبة لعام ٢٠٥٠، والسيناريو المتكامل ٣ (IS3) فقد طرح انبعاثات أقل. ويورد المرفق R2 تفاصيل عن هذه المسألة.

٦-٥ **خارطة طريق التنفيذ:** سيستلزم إدخال التحسينات على تكنولوجيا الطائرات والعمليات وتطوير أنواع الوقود الجديدة وتوسيع سعات إنتاجها توافر سلسلة من العوامل والظروف المساعدة من الآن وحتى سنة ٢٠٥٠ وما بعدها. ويرد شرح ذلك في المرفق R1، ويمكن الاطلاع على تفاصيل أخرى في المرفق الذي يتناول المنهجية المطبّقة.

٦-٦ **رصد التقدم نحو بلوغ هدف ما:** يُتوقع وضع عملية لرصد التقدم المحرز نحو بلوغ أي هدف يجري إقراره في نهاية المطاف. ومن المستحب عدم تكرار العمليات القائمة بالفعل أو توقع قيام الجهات غير الحكومية بالإبلاغ. كذلك فإن خطط العمل الوطنية، التي تقدمها الدول طوعاً بموجب المادة ١٠ من قرار الجمعية العمومية رقم ٤٠-١٨، يمكن أن تكون بمثابة آلية تتيح للدول إمكانية الكشف عن التقدم الذي حققته لبلوغ هدف ما. وفي حالة إقرار هدف ما، وبمجرد إقراره، يمكن للجنة حماية البيئة أن تضطلع بمزيد من العمل من أجل وضع توصيات بشأن أساليب القياس وآليات الإبلاغ، إلخ، من خلال الاستفادة من الخبرات المكتسبة من عملية إنشاء آليات الإبلاغ عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، على النحو الوارد في المجلد الرابع من الملحق السادس عشر.

٦-٧ **عمليات الاستعراض:** قد يكون على الإيكاو استعراض أي هدف يجري إقراره في نهاية المطاف كي تضمن أن الهدف لا يزال ملائماً، وذلك بالنظر إلى بعض المعلومات مثل: التقدم نحو بلوغ الهدف، والتطور التكنولوجي، وما حققته القطاعات الأخرى من تقدم، والتكاليف والتبعات الأخرى التي ستتحملها الدول والجهات المختصة في قطاع الطيران، وأحدث المعلومات العلمية. وفي حالة النظر في عملية استعراض تُجرى كل ثلاث سنوات، سيتوافق ذلك مع اجتماعات لجنة حماية البيئة ومع دورات الجمعية العمومية، بقصد استعراض التقدم المحرز والإدلاء بتوصيات أو اتخاذ قرارات بشأن أي تعديلات، وذلك على غرار الاستعراض الدوري لخطة كورسيا.

٦-٨ **بناء القدرات:** يُحتمل أن تكون هناك أيضاً حاجة لأنشطة بناء القدرات والمساعدة من أجل تنفيذ السيناريوهات، وهو ما قد يشمل عقد حلقات عمل حول الحلول التي يمكن للدول تنفيذها لبلوغ الأهداف المحددة، بما في ذلك فهم التكاليف المتوقعة، وتوفير أنشطة المساعدة في رصد وقياس انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الطيران الدولي، وذلك في سياق برنامج شامل للتدريب، على غرار برنامج المساعدة وبناء القدرات والتدريب في إطار خطة كورسيا (ICAO ACT) الذي لاقى نجاحاً.

٧- المرفقات الملحقة بالتقرير النهائي

٧-١ هذا الملخص لدراسة فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل هو محصلة عامين من العمل الذي قامت به لجنة حماية البيئة في مجال الطيران. ومراعاةً لاعتبارات الشفافية والشمول، ثمة مجموعة من المستندات الداعمة التي تبين المقاربات المتبعة في النمذجة والمنهجيات والنماذج والافتراضات والنتائج.

٧-٢ وتتضمن البيانات الموجزة (المرفق R1) في التقرير النهائي معلومات إضافية عن النتائج وشرحها وخرائط الطريق لتنفيذ تدابير التكنولوجيا والعمليات والوقود. ويعرض المرفق R2 مقارنة بين تحليل اتجاهات فرقة العمل (فيما يخص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون) وتحليل اتجاهات غازات الدفيئة (انبعاثات ثاني أكسيد الكربون) المقدم للاجتماع الثاني عشر للجنة حماية البيئة. ويضع المرفق R3 نتائج دراسة فرقة العمل المعنية بالهدف الطموح في سياق الانبعاثات التراكمية للحد من ارتفاع درجات الحرارة إلى أقل من ١,٥ درجة مئوية و٢ درجة مئوية. وأخيراً، يوفر المرفق M1 تفاصيل بشأن النُهج المتبعة لوضع السيناريوهات بالإضافة إلى مقاربات تقدير التكاليف (الاستثمارات) والمنهجيات والنتائج. وتقدم المرفقات M2 وM3 و M4 و M5 تفاصيل عن السيناريوهات الخاصة بالتنبؤات والتكنولوجيا والعمليات والوقود على التوالي. ويرد أيضاً المرفق S1 الخاص بسياق علوم المناخ والذي يتضمن تقرير مجموعة التأثيرات والعلوم (ISG) المقدم إلى فرقة العمل والمرفق B1 الذي يقدم لمحة عامة لوصف الأنشطة وأساليب العمل الخاصة بفرقة العمل المعنية بالهدف الطموح طويل الأجل.

المرفق R1: البيانات الموجزة	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR1.pdf
المرفق R2: مقارنة بتحليل الاتجاهات	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR2.pdf
المرفق R3: فهم النتائج في سياقها	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR3.pdf

المرفقات التي تتناول المنهجية

المرفق M1: نظرة عامة على مقاربات النمذجة المستخدمة في إعداد النتائج	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf
المرفق M2: التنبؤات	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM2.pdf
المرفق M3: التكنولوجيات	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf
المرفق M4: العمليات	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf
المرفق M5: أنواع الوقود	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM5.pdf

المرفق S1: سياق علوم المناخ	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixS1.pdf
المرفق B1: لمحة عامة	https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixB1.pdf

— — — — — — — —