آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 4, الربيع · 🧱 الحاسبة المدمجة

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 10 وحدات و6 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه مقررًا اختياريًا للسنة الأخيرة عن الطيران والبيئة. ويستند إلى محاضرة العوامل البيئية في MIT 16.885J Aircraft Systems Engineering (مجانًا على MIT OpenCourseWare) وإلى مواد عامة من NASA وDOE وEIA وEPA نربطها حيث تفيد. لا يؤيد أي منها هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي مع مصدر عام موثق، وكل رقم في الصفحة يعاد حسابه بنص تحقق قبل النشر، وكل مختبر يعمل في جدول بيانات أو محاكاة مجانية.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

هذا المقرر بأكمله قسم عن الكوكب: يذكر Alternative Fuels Data Center لدى DOE أن الطيران ينتج نحو 2% من كل CO_2 في العالم و12% من CO_2 النقل، وتضيف آثار التكاثف احترارًا يتجاوز CO_2.

يعمل Sustainable Flight National Partnership لدى NASA نحو هدف قطاع الطيران بالوصول إلى صافي انبعاثات كربونية صفري بحلول 2050. تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق. القيم غير المأخوذة من مصدر موسومة بأنها قيم مثال أو قيم مرجعية.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 10 وحدات و6 مختبرات (AERO 470).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.
- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.

- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.
- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.
- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الدفع: الدفع والكفاءة وTSFC.
- أداء الطائرات: الرفع والسحب ومعادلة مدى بريغيه.
- الديناميكا الحرارية: الطاقة والقيم الحرارية وكفاءة الدورة.
- Capstone Design أو Avionics & Systems Engineering: المتطلبات والمفاضلات.

كيف تذاكر

- حافظ على اتساق الوحدات: kg والغالونات واللترات وMJ وWh.
- اسأل دائمًا «لكل ماذا؟»: لكل رحلة، لكل راكب-كم، لكل kg من الوقود.
- افصل CO_2 الاحتراق عن CO_2 دورة الحياة.
- تحقق من كل توفير مزعوم مقارنة بخط أساس.
- تذكر التأثيرات غير المتعلقة بـ CO_2 مثل آثار التكاثف.
- حل كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة، وأعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام.

ماذا تحتاج

- برنامج جداول بيانات (أي برنامج مجاني يفي بالغرض)، أو Python.
- حاسوب أو جهاز لوحي لمحاكاة PhET Greenhouse Effect المجانية.
- ملاحظات محاضرات MIT 16.885J المجانية في متصفح ويب.
- آلة حاسبة.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	الطيران والمناخ: حساب CO_2	حساب CO_2؛ المختبر A	EIA
2	مقاييس الكفاءة	مقاييس الكفاءة	NASA SFNP
3	الكفاءة الديناميكية الهوائية	L/D والسحب المستحث	MIT 16.885J
4	الكفاءة الديناميكية الهوائية	استهلاك الوقود وفق بريغيه؛ المختبر B	NASA SFNP
5	كفاءة المحركات	كفاءة المحركات؛ المختبر C	MIT 16.885J

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
6	وقود الطيران المستدام	أساسيات SAF	DOE AFDC
7	وقود الطيران المستدام	دورة حياة SAF؛ المختبر D؛ تدريب منتصف الفصل	DOE AFDC
8	آثار التكاثف والتأثيرات غير المتعلقة بـ CO_2	آثار التكاثف	NASA-DLR
9	الدفع الكهربائي والهجين	البطاريات والمدى الكهربائي	NASA SFNP
10	الدفع الكهربائي والهجين	الأنظمة الهجينة؛ المختبر E	NASA SFNP
11	طائرات الهيدروجين	طائرات الهيدروجين	MIT 16.885J
12	العمليات والضوضاء وجودة الهواء	العمليات	NASA SFNP
13	العمليات والضوضاء وجودة الهواء	الضوضاء وجودة الهواء	EPA
14	مسارات نحو صافي الصفر	السيناريوهات؛ المختبر F	DOE AFDC
15	مسارات نحو صافي الصفر	المراجعة؛ تدريب للامتحان النهائي	MIT 16.885J

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخص الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

الطيران والمناخ: حساب CO_2

مصادر انبعاثات الطيران، ومعاملات الانبعاث، وCO_2 الاحتراق مقابل دورة الحياة، وحصة الطيران من الإجمالي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام معامل انبعاث لحساب CO_2.
- التحويل بين الغالونات واللترات والكيلوغرامات.
- شرح CO_2 الاحتراق مقابل CO_2 دورة الحياة.
- ذكر حصة الطيران من CO_2 العالمي.

المفاهيم الأساسية

- يحوّل حرق وقود الطائرات الكربون إلى CO_2؛ وكتلة CO_2 نحو ثلاثة أضعاف كتلة الوقود لأن كل ذرة كربون تكتسب ذرتي أكسجين.
- تعطي EIA الأمريكية 21.50 lb (9.75 kg) من CO_2 لكل غالون من وقود الطائرات المحروق.
- يضيف CO_2 دورة الحياة إنتاج الوقود ونقله؛ وفي الوقود المستدام يمكن لزراعة المادة الأولية امتصاص CO_2.
- يذكر Alternative Fuels Data Center لدى DOE أن الطيران مسؤول عن 2% من كل CO_2 و12% من CO_2 النقل عالميًا.
- يسهم الطيران أيضًا في احترار المناخ عبر تأثيرات غير متعلقة بـ CO_2 مثل آثار التكاثف وNOx.

المعادلات الأساسية

$$m_{CO_2} = EF \times V_{fuel}$$

```
m_CO_2=EF× V_fuel
```

الانبعاثات من حجم الوقود

$$EF = 9.75\ \text{kg/gal}$$

```
EF=9.75\ kg/gal
```

معامل EIA لوقود الطائرات

$$1\ \text{gal} = 3.785\ \text{L}$$

```
1\ gal=3.785\ L
```

تحويل الحجم

$$\frac{44}{12} \approx 3.67$$

نسبة كتلة CO_2 إلى الكربون

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 رحلة تحرق 5000 غالون من وقود الطائرات. كم CO_2؟

1. 9.75×5000.

الإجابة: 48,750 kg (48.75 t).

مثال 1.2 تحقق من قيم EIA بالرطل والكيلوغرام.

1. 0.45359237×21.50.

الإجابة: 9.75 kg، متسقة.

مثال 1.3 كم لترًا في 5000 غالون؟

1. 3.785×5000.

الإجابة: 18,927 L.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. CO_2 من 1000 غالون؟

   9750 kg.

2. نسبة كتلة CO_2 إلى الكربون؟

   44/12 = 3.67.

3. حصة الطيران من CO_2 النقل (DOE)؟

   12%.

4. ماذا تضيف دورة الحياة؟

   تأثيرات الإنتاج والنقل والمادة الأولية.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يزن CO_2 أقل من الوقود.

في الحقيقة: يزن نحو ثلاثة أضعاف.

خرافة: الطيران لا يبعث إلا CO_2.

في الحقيقة: آثار التكاثف وNOx مهمة أيضًا.

خرافة: CO_2 دورة الحياة يساوي CO_2 الاحتراق.

في الحقيقة: يختلفان، لا سيما في SAF.

بطاقات تعليمية

معامل الانبعاث

CO_2 لكل وحدة وقود.

CO_2 الاحتراق

الناتج عن الحرق.

CO_2 دورة الحياة

الإجمالي من البئر إلى الأثر.

تأثيرات غير CO_2

آثار التكاثف وNOx والسخام.

Jet A

وقود الطائرات القياسي.

t CO_2

طن من CO_2.

اختبار ذاتي

1. CO_2 من 5000 gal...

48,750 kg

4875 kg

9750 kg

487,500 kg

48,750 kg. × 9.75.

2. معامل EIA...

9.75 kg/gal

3.16 kg/gal

21.5 kg/gal

1 kg/gal

.9.75 kg/gal. EIA

3. حصة الطيران من كل CO_2...

2%

12%

25%

0.2%

.2%. DOE

4. اللترات في 5000 gal...

18,927

1321

5000

37,854

.18,927. × 3.785

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر EIA الأمريكية (9.75 kg) 21.50 lb من CO_2 لكل غالون من وقود الطائرات.

يذكر Alternative Fuels Data Center لدى DOE أن الطيران مسؤول عن 2% من كل CO_2 في العالم و12% من كل CO_2 النقل.

على Saving Planets: الحلول · رصد الأرض

المصادر: · U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php)
U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel)

مصادر تعلّم مجانية

- U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php): جدول EIA.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

مقاييس الكفاءة

الوقود وCO_2 لكل راكب-كيلومتر، وكثافة الطاقة، وكيفية مقارنة الطائرات بإنصاف.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب الوقود لكل راكب-كم.
- حساب CO_2 لكل راكب-كم.
- تطبيق مكسب كفاءة بنسبة مئوية.
- المقارنة بين الطائرات بإنصاف.

المفاهيم الأساسية

- الانبعاثات الإجمالية مضللة؛ طبّعها حسب الركاب والمسافة.
- معامل الإشغال مهم: المقاعد الفارغة ترفع الانبعاثات لكل راكب.
- كثافة الطاقة (MJ لكل راكب-كم) تقارن أنواع الوقود المختلفة على مقياس واحد.
- مكسب الكفاءة يخفض الوقود لكل وحدة نقل، وليس بالضرورة إجمالي الوقود إذا نمت الحركة.
- يستهدف Sustainable Flight National Partnership لدى NASA تحسينات في كفاءة الطاقة بنسبة 25–30% في طائرات النقل من الجيل التالي.

المعادلات الأساسية

$$\frac{V_{fuel}}{n_{pax} d}$$

الوقود لكل راكب-كم

$$\frac{m_{CO_2}}{n_{pax} d}$$

CO_2 لكل راكب-كم

$$m' = m(1 - g)$$

`m^=m(1-g)`

بعد مكسب كسري g

$$LF = \frac{n_{pax}}{n_{seats}}$$

`LF=_paxn_seats`

معامل الحمل

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 تنقل 5000 غالون 180 راكبًا مسافة 2000 km (قيم مثال). كم لترًا لكل راكب-كم؟

1. (2000 × 180)/18,927.

الإجابة: 0.0526 L.

مثال 2.2 CO_2 لكل راكب-كم؟

1. 48,750/360,000.

الإجابة: 0.135 kg (135 g).

مثال 2.3 مكسب كفاءة 25% في الرحلة نفسها. ما CO_2 الجديد؟

1. 0.75 × 48,750.

الإجابة: 36,563 kg.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الرحلة نفسها مع 150 راكبًا: كم g من CO_2 لكل pkm؟

   162.5 g.

2. معامل الإشغال، 180 من 200 مقعد؟

   0.9.

3. مكسب 30% على 48750 kg؟

   34,125 kg.

4. لماذا التطبيع؟

   لمقارنة الرحلات والطائرات المختلفة بإنصاف.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الطائرات الأكبر تبعث دائمًا أكثر لكل راكب.

في الحقيقة: غالبًا أقل لكل راكب.

خرافة: الكفاءة تخفض إجمالي الانبعاثات.

في الحقيقة: فقط إذا لم تنمُ الحركة أسرع.

خرافة: المقاعد تساوي الركاب.

في الحقيقة: استخدم معامل الإشغال.

بطاقات تعليمية

راكب-كم

راكب واحد يُنقل كيلومترًا واحدًا.

معامل الحمل

الركاب مقسومًا على المقاعد.

كثافة الطاقة

MJ لكل pkm.

الارتداد

نمو يعوّض الكفاءة.

خط الأساس

الحالة المرجعية.

التطبيع

مقارنة لكل وحدة.

اختبار ذاتي

1. L لكل pkm…

0.0526

0.526

5.26

0.00526

0.0526. 18,927/360,000.

2. g من CO_2 لكل pkm…

135

13.5

1350

48.75

.135. 48,750/360,000

3. بعد مكسب 25%...

36,563 kg

12,188 kg

48,750 kg

60,938 kg

.36,563 kg. × 0.75

4. هدف SFNP...

25–30%

2–3%

50–70%

100%

.25–30%. NASA

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن Sustainable Flight National Partnership يهدف إلى تمكين تحسينات في كفاءة الطاقة بنسبة 25–30% في طائرات النقل من الجيل التالي القادرة على استخدام وقود طيران مستدام بنسبة 100% والطيران في مسارات مثلى.

مقاييس هذه الوحدة لكل راكب هي الطريقة التي تُقاس بها هذه المكاسب.

على Saving Planets: أداء الطائرات · الحلول

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

الكفاءة الديناميكية الهوائية

L/D والسحب المستحث ونسبة الباع، والأجنحة عالية نسبة الباع والأجنحة المدعمة بالدعامات، واستهلاك الوقود من معادلة بريغيه.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب كسر الوقود من بريغيه.
- إظهار كيف يخفض L/D الوقود.
- حساب معامل السحب المستحث.
- شرح لماذا توفر الأجنحة الطويلة النحيلة الوقود.

المفاهيم الأساسية

- وفق بريغيه، كسر الوقود هو 1 − exp(−Rc/(V·L/D)).
- L/D أعلى يعني وقودًا أقل للمدى نفسه.
- السحب المستحث C_Di = C_L²/(πeAR) ينخفض مع ارتفاع نسبة الباع.
- تحتاج الأجنحة النحيلة جدًا إلى دعامات (تصاميم مدعمة) لتبقى خفيفة وصلبة.
- محور شراكة NASA هو طائرة X-plane إيضاحية بالحجم الكامل تختبر تصميمًا ديناميكيًا هوائيًا فائق الكفاءة.

المعادلات الأساسية

$$\frac{W_f}{W_i} = 1 - e^{-Rc/(V\,L/D)}$$

```
(W_f)/(W_i)=1-e^-Rc/(V L/D)
```

كسر الوقود

$$C_{D_i} = \frac{C_L^2}{\pi e A R}$$

```
C_D_i=(C_L^2)/(π eAR)
```

السحب المستحث

$$AR = b^2/S$$

```
AR=b^2/S
```

نسبة الباع

$$L/D = C_L/C_D$$

L/D=C_L/C_D

نسبة الرفع إلى السحب

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 3000 km عند 230 m/s، و$c = 0.6$ /h، و$L/D = 17$ (قيم مرجعية). كسر الوقود؟

1. $Rc/(V\,L/D) = 3 \times 10^{6} \times 1.667 \times 10^{-4}/(230 \times 17) = 0.1279$.
2. $1 - e^{(-0.1279)}$.

الإجابة: 0.120.

مثال 3.2 الشيء نفسه مع $L/D = 20$.

1. $1 - e^{(-0.1087)}$.

الإجابة: 0.103: وقود أقل بنسبة 14.2%.

مثال 3.3 C_Di عند $C_L = 0.5$، و$e = 0.85$، و$AR = 9$؟

1. $0.25/(\pi \times 0.85 \times 9)$.

الإجابة: 0.0104.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. C_Di عند $AR = 12$؟

   0.0078.

2. عند $AR = 19$ (فئة الأجنحة المدعمة)؟

   0.0049.

3. نسبة الباع لـ $b = 36$ m و$S = 120$ m²؟

   10.8.

4. لماذا ندعم جناحًا نحيلًا؟

   لإبقائه خفيفًا وصلبًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: السحب كله احتكاك.

في الحقيقة: السحب المستحث كبير في التطواف.

خرافة: الأجنحة الأطول مجانية.

في الحقيقة: قيود الوزن وبوابات الصعود.

خرافة: يتناسب الوقود خطيًا مع L/D.

في الحقيقة: يتبع الدالة الأسية.

بطاقات تعليمية

L/D

نسبة الرفع إلى السحب.

السحب المستحث

السحب الناتج عن الرفع.

نسبة الباع

b^2/S.

معامل أوزوالد

كفاءة الباع e.

جناح مدعم بالدعامات

جناح نحيل بدعامات.

كسر الوقود

الوقود على وزن الإقلاع.

اختبار ذاتي

1. كسر الوقود، L/D 17...

0.120

0.103

0.128

0.017

0.120. بريغيه.

2. الوقود الموفّر عند L/D 20...

14.2%

17.6%

3%

30%

14.2%. قارن الكسور.

3. C_Di AR 9...

0.0104

0.104

0.00104

0.0078

.0.0104. C_L²/(πeAR)

4. AR أعلى...

يخفض السحب المستحث

يرفعه

بلا أثر

يرفع الاحتكاك فقط

يخفض السحب المستحث. صيغة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن محور Sustainable Flight National Partnership سيكون طائرة X-plane إيضاحية بالحجم الكامل صُممت لاختبار تصميم ديناميكي هوائي فائق الكفاءة، لتوجيه الجيل التالي من الطائرات ذات الممر الواحد.

تحدد NASA أول طيران للطائرة الإيضاحية في موعد لا يسبق أواخر 2026.

على Saving Planets: الديناميكا الهوائية 1 · أداء الطائرات

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

كفاءة المحركات

الكفاءة الحرارية والدفعية والإجمالية، ونسبة الالتفاف، ونوى المحركات المتقدمة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب كفاءة الدفع.
- اجمع بين الكفاءة الحرارية والكفاءة الدفعية.
- اشرح لماذا توفر نسبة الالتفاف العالية الوقود.
- ربط الكفاءة بـ TSFC.

المفاهيم الأساسية

- الكفاءة الإجمالية هي الكفاءة الحرارية مضروبة في الكفاءة الدفعية.
- الكفاءة الدفعية 2/(1 + V_e/V₀) ترتفع كلما اقتربت سرعة العادم من سرعة الطيران.
- المحركات التوربينية المروحية عالية الالتفاف تحرك هواءً أكثر بسرعة أقل، فترفع الكفاءة الدفعية.
- النوى الأسخن والأعلى ضغطًا والأصغر حجمًا ترفع الكفاءة الحرارية.
- يطور عمل Hybrid Thermally Efficient Core لدى NASA نوى توربينية عالية كثافة القدرة لطائرات النقل من الجيل التالي.

المعادلات الأساسية

$$\eta_p = \frac{2}{1 + V_e/V_0}$$

_p=(2)/(1+V_e/V_0)

كفاءة الدفع

$$\eta_o = \eta_{th}\eta_p$$

_o=_th_p

الكفاءة الكلية

$$TSFC \propto \frac{V_0}{\eta_o}$$

استهلاك الوقود لكل دفع

$$BPR = \dot{m}_{bypass}/\dot{m}_{core}$$

BPR= m_bypass/ m_core

نسبة التجاوز

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 $V_0 = 230$ m/s, $V_e = 400$ m/s. η_p؟

1. $2/(1 + 400/230)$.

الإجابة: 0.730.

مثال 4.2 اخفض V_e إلى 300 m/s (التفاف أعلى).

1. $2/(1 + 300/230)$.

الإجابة: 0.868.

مثال 4.3 مع $\eta_{th} = 0.5$، ما الكفاءة الإجمالية عند $V_e = 300$؟

1. 0.868×0.5.

الإجابة: 0.434.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. η_p عند $V_e = 350$ m/s؟

   0.793.

2. الإجمالية عند $V_e = 400$ و$\eta_{th} = 0.5$؟

   0.365.

3. توفير الوقود من 0.365 إلى 0.434 إجمالية؟

   وقود أقل بنسبة 15.9% للعمل نفسه.

4. ما نسبة الالتفاف؟

   تدفق الالتفاف الكتلي على تدفق النواة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: العادم الأسرع أكفأ.

في الحقيقة: يخفض الكفاءة الدفعية.

خرافة: الكفاءة الحرارية هي كل شيء.

في الحقيقة: الدفعية مهمة بالقدر نفسه.

خرافة: الالتفاف مجاني.

في الحقيقة: المراوح الأكبر تضيف وزنًا وسحبًا.

بطاقات تعليمية

كفاءة الدفع

الجزء المفيد من قدرة الدفع.

الكفاءة الحرارية

كفاءة الدورة.

الكفاءة الكلية

حاصل ضرب الاثنتين.

نسبة التجاوز

هواء المروحة على هواء النواة.

TSFC

الوقود لكل دفع لكل زمن.

نواة المحرك

الضاغط وغرفة الاحتراق والتوربين.

اختبار ذاتي

1. η_p عند 400...

0.730

0.868

0.575

1.0

.0.730. 2/(1 + 1.739)

2. η_p عند 300...

0.868

0.730

0.5

0.95

(1.304 + 1)/2 .0.868.

3. الإجمالية...

0.434

0.868

0.5

0.25

0.868 × 0.5 .0.434.

4. الالتفاف العالي...

يرفع η_p

يخفض η_p

يرفع V_e

بلا أثر

يرفع η_p. نفاث أبطأ.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن عمل Hybrid Thermally Efficient Core يسرّع تطوير وإيضاح تقنيات محركات توربينية متقدمة في نواة عالية كثافة القدرة لطائرات النقل التجارية من الجيل التالي.

كلتا الكفاءتين في هذه الوحدة تؤثران مباشرة في الوقود المحروق لكل راكب.

على Saving Planets: الدفع · الديناميكا الحرارية

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

وقود الطيران المستدام

ما هو SAF، ومسارات الإنتاج، وحدود الخلط، والتخفيضات على دورة الحياة، والأهداف الوطنية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- تعريف SAF.
- حساب توفير دورة الحياة للخليط.
- تقدير التوفير على مستوى الأهداف.
- شرح حدود الخلط.

المفاهيم الأساسية

- يعرّف DOE وقود SAF بأنه وقود بديل يُصنع من مواد أولية غير نفطية ويقلل تلوث الهواء الناتج عن النقل الجوي.
- يمكن خلط SAF بنسب بين 10% و50% حسب المادة الأولية ومسار الإنتاج (ASTM D7566).
- يعمل SAF المخلوط في الطائرات والبنية التحتية القائمة.
- يتناسب توفير دورة الحياة مع كسر الخلط مضروبًا في تخفيض SAF نفسه.
- يهدف SAF Grand Challenge إلى 3 مليارات غالون في 2030 و35 مليارًا في 2050 مع تخفيض لا يقل عن 50% على دورة الحياة.

المعادلات الأساسية

$$s = b \times r$$

```
s=b× r
```

توفير الخليط = الخليط × تخفيض SAF

$$m_{saved} = V \times EF \times r$$

```
m_saved=V× EF× r
```

CO_2 الموفَّر حسب حجم SAF

$$b \le 0.5$$

أقصى خلط (حسب المسار)

$$EF = 9.75 \ \text{kg/gal}$$

```
EF=9.75\ kg/gal
```

معامل EIA

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 خليط 50% من SAF بتخفيض 50% على دورة الحياة. التوفير الإجمالي؟

1. 0.5×0.5.

الإجابة: 25%.

مثال 5.2 3 مليارات غالون بتخفيض 50%، باستخدام معامل EIA خطّ أساس (تبسيط).

1. $3 \times 10^{9} \times 9.75 \times 0.5$.

الإجابة: نحو 14.6 مليون طن من CO_2 سنويًا.

مثال 5.3 الشيء نفسه لـ 35 مليار غالون.

1. $35 \times 10^{9} \times 9.75 \times 0.5$.

الإجابة: نحو 171 مليون طن.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. خليط 10% بتخفيض 80%؟

   8%.

2. الرحلات التي استخدمت SAF وفق ICAO عبر DOE؟

   أكثر من 360000 في 46 مطارًا.

3. لماذا حد الخلط؟

   يجب أن تستوفي خصائص الوقود مواصفات Jet A.

4. هل يحتاج SAF إلى محركات جديدة؟

   تعمل الخلائط في الطائرات القائمة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: SAF عديم الانبعاثات.

في الحقيقة: يحترق إلى CO_2؛ والتوفير على دورة الحياة.

خرافة: أي خليط يصلح.

في الحقيقة: الحدود تعتمد على المسار.

خرافة: يؤثر SAF في CO_2 فقط.

في الحقيقة: وجدت NASA وDLR بلورات جليد أقل في آثار التكاثف.

بطاقات تعليمية

SAF

وقود الطيران المستدام.

HEFA

مسار الإسترات والأحماض الدهنية المعالجة بالهيدروجين.

حد الخلط

أقصى حصة لـ SAF.

ASTM D7566

مواصفة وقود الطائرات الاصطناعي.

التخفيض على دورة الحياة

الخفض مقارنة بالوقود الأحفوري.

وقود بديل مباشر

يعمل في الأنظمة القائمة.

اختبار ذاتي

1. توفير الخليط...

25%

50%

100%

75%

.25%. 0.5 × 0.5

2. توفير 2030...

≈ 14.6 Mt

≈ 1.5 Mt

≈ 146 Mt

≈ 29 Mt

≈ 14.6 Mt. × 9.75 × 0.5.

3. نطاق الخلط...

10–50%

0–5%

90–100%

غير محدود

10–50%. DOE.

4. هدف 2050...

35 مليار gal

3 مليارات gal

360000 gal

46 مليار gal

35 مليار gal. DOE.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يذكر Alternative Fuels Data Center لدى DOE أن أكثر من 360000 رحلة تجارية استخدمت SAF في 46 مطارًا (وفق ICAO)، ويهدف SAF Grand Challenge إلى 3 مليارات غالون في 2030 و35 مليار غالون في 2050 مع تخفيض لا يقل عن 50% على دورة الحياة.

يشير DOE إلى أن المصانع الأمريكية الثلاثة القائمة كلها تستخدم مسار HEFA، مع توقع مصانع لتحويل الكحول إلى وقود طائرات.

على Saving Planets: الحلول · الكيمياء العامة I

المصادر: U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel)

مصادر تعلّم مجانية

- U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel): صفحة SAF لدى DOE.
- U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php): معاملات EIA.

أنهيت هذه الوحدة

آثار التكاثف والتأثيرات غير المتعلقة بـ CO_2

كيف تتكون آثار التكاثف، ولماذا تسبب الاحترار، والسخام وبلورات الجليد، وكيف يقللها الوقود وتوجيه المسارات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- شرح تكوّن آثار التكاثف.
- حساب تخفيضات بلورات الجليد.
- وصف الاحترار غير المتعلق بـ CO_2.
- ذكر خيارات التخفيف.

المفاهيم الأساسية

- تتكون آثار التكاثف عندما يختلط العادم الساخن الرطب بالهواء البارد فيتكثف الماء ويتجمد على جسيمات السخام.
- يمكن أن تنتشر آثار التكاثف المستمرة في سحب سمحاقية تحبس الحرارة الصادرة.
- جسيمات سخام أقل تعني بلورات جليد أقل عددًا وأكبر حجمًا تختفي أسرع.
- وجدت NASA وDLR أن أنواع الوقود المستدام الأنظف احتراقًا أنتجت بلورات جليد أقل بنسبة 50%–70% في التطواف.
- يمكن تجنب آثار التكاثف المستمرة بتوجيه المسار حول الهواء فوق المشبع بالجليد.

المعادلات الأساسية

$$N = EI \times m_f$$

N=EI× m_f

بلورات الجليد من مؤشر الانبعاث والوقود

$$N' = N(1 - r)$$

N^=N(1-r)

بعد تخفيض r

$$r \in [0.5, 0.7]$$

نطاق NASA-DLR

$$\Delta T \propto F$$

يتناسب الاحترار مع التأثير الإشعاعي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 مؤشر انبعاث مثالي قدره 10^{15} بلورة جليد لكل kg من الوقود. مع تخفيض 50%؟

.1 0.5×10^{15}.

الإجابة: 5×10^{14} لكل kg.

مثال 6.2 مع تخفيض 70%؟

.1 0.3×10^{15}.

الإجابة: 3×10^{14} لكل kg.

مثال 6.3 رحلة تحرق 15000 kg من الوقود في التطواف (مثال). البلورات عند تخفيض 70%؟

.1 $15{,}000 \times 10^{14} \times 3$.

الإجابة: 4.5×10^{18}.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. لماذا تسبب آثار التكاثف احترارًا ليلًا؟

   تحبس الأشعة تحت الحمراء الصادرة دون ضوء شمس تعكسه.

2. ما الذي يبذر جليد آثار التكاثف؟

   السخام وجسيمات أخرى.

3. التخفيض من 5×10^{14} إلى 3×10^{14}؟

   40%.

4. حل تشغيلي واحد؟

   توجيه المسار حول الهواء فوق المشبع بالجليد.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: آثار التكاثف مجرد ماء، لذا فهي غير ضارة.
في الحقيقة: يمكن أن تضيف احترارًا.

خرافة: كل آثار التكاثف تستمر.

في الحقيقة: فقط في الهواء فوق المشبع بالجليد.

خرافة: CO_2 وحده هو المهم.

في الحقيقة: التأثيرات غير المتعلقة بـ CO_2 كبيرة.

بطاقات تعليمية

أثر التكاثف

خط تكاثف.

سحب سمحاقية من آثار التكاثف

آثار تكاثف مستمرة منتشرة.

فوق التشبع بالجليد

هواء قادر على تنمية الجليد.

السخام

جسيمات كربونية.

مؤشر الانبعاث

الكمية لكل kg من الوقود.

التأثير الإشعاعي غير CO_2

احترار بخلاف CO_2.

اختبار ذاتي

1. تخفيض 50%...

5×10^{14}

5×10^{15}

10^{14}

0

0.5×10^{14}. $\times 5$.

2. نطاق NASA-DLR...

50%–70%

5%–7%

90%–100%

20%

.50%–70%. NASA

3. البلورات لكل رحلة...

4.5×10^{18}

4.5×10^{14}

3×10^{14}

1.5×10^{19}

.4.5×10^{18}. × 15,000

4. يتكون جليد آثار التكاثف على...

جسيمات السخام

CO_2

النيتروجين

الأوزون

جسيمات السخام. التنوّي.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تفيد NASA بأن وقود الطائرات الأنظف احتراقًا المصنوع من مصادر مستدامة يمكن أن ينتج آثار تكاثف من بلورات الجليد أقل بنسبة 50%–70% على ارتفاع التطواف، وفق أبحاث مشتركة بين NASA وDLR (المركز الألماني للطيران والفضاء).

تشير NASA إلى أن آثار تكاثف بلورات الجليد قد تبقى ساعات في الغلاف الجوي العلوي وتؤثر في طريقة تسخين الأرض وتبريدها.

على Saving Planets: رصد الأرض · انتقال الحرارة

المصادر: NASA: NASA-DLR study finds sustainable aviation fuel can reduce contrails (2021) (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-dlr-study-finds-sustainable-aviation-fuel-can-reduce-contrails/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA: NASA-DLR study finds sustainable aviation fuel can reduce contrails (2021) (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-dlr-study-finds-sustainable-aviation-fuel-can-reduce-contrails/): دراسة NASA.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

☐ أنهيت هذه الوحدة

الدفع الكهربائي والهجين

كثافة طاقة البطاريات، وكفاءة مجموعة نقل الحركة، والمدى الكهربائي، وأين تفيد الأنظمة الهجينة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- مقارنة كثافة طاقة البطاريات والوقود.
- مراعاة كفاءة مجموعة نقل الحركة.
- حساب مدى الطائرة الكهربائية.
- تحديد المهمات المناسبة.

المفاهيم الأساسية

- يخزن وقود الطائرات نحو 43 MJ/kg (11944 Wh/kg)؛ وتخزن البطاريات الحالية بضع مئات من Wh/kg (قيم مرجعية).
- تحوّل مجموعات نقل الحركة الكهربائية الطاقة بكفاءة أعلى بكثير (نحو 90%) من التوربينات (نحو 35%)، مما يقلص الفجوة (قيم مرجعية).
- مدى الطائرة الكهربائية بالبطارية هو R = (e η/g)(L/D)(m_b/m).
- لا تخف البطاريات عند تفريغها، بخلاف الوقود.
- تذكر NASA أن الدفع المكهرب يتيح إمكانات جديدة لخفض استهلاك الوقود والطاقة، من طائرات الركاب الصغيرة إلى الطائرات ذات الممر الواحد.

المعادلات الأساسية

$$R = \frac{e\eta}{g}\,\frac{L}{D}\,\frac{m_b}{m}$$

```
R=e/gL/D(m_b)/(m)
```

مدى الطائرة بالبطاريات

$$\frac{e_{fuel}}{e_{batt}}$$

نسبة كثافة الطاقة

$$e = 250\ \mathrm{Wh/kg} = 9\times10^{5}\ \mathrm{J/kg}$$

```
e=250\ Wh/kg=9×10^5\ J/kg
```

بطارية مثال

$$1\ \mathrm{Wh} = 3600\ \mathrm{J}$$

$$1\ Wh = 3600\ J$$

التحويل

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 وقود الطائرات عند 43 MJ/kg بوحدة Wh/kg، ونسبته إلى بطارية 250 Wh/kg؟

1. $43 \times 10^6 / 3600 = 11{,}944$ Wh/kg.
2. $11{,}944 / 250$.

الإجابة: 47.8 مرة.

مثال 7.2 عدّل حسب الكفاءة: التوربين 0.35، والكهربائي 0.9.

1. $47.8 \times 0.35 / 0.9$.

الإجابة: نحو 18.6 مرة.

مثال 7.3 المدى مع $e = 250$ Wh/kg، و$\eta = 0.8$، و$L/D = 15$، وكسر بطارية 0.3.

1. $0.3 \times 15 \times 0.8 / 9.80665 \times 10^5 \times 9$.

الإجابة: نحو 330 km.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. المدى إذا تضاعفت طاقة البطارية إلى 500 Wh/kg؟

   نحو 661 km.

2. 250 Wh/kg بوحدة J/kg؟

   9×10^5.

3. لماذا تفيد الأنظمة الهجينة؟

   تعزز القدرة الكهربائية الإقلاع والصعود بينما يوفر الوقود المدى.

4. أفضل المهمات الأولى؟

   الرحلات الإقليمية القصيرة ورحلات التدريب.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: ستعادل البطاريات وقود الطائرات قريبًا.
في الحقيقة: الفجوة كبيرة حتى بعد احتساب الكفاءة.

خرافة: الكهربائي يعني انعدام الانبعاثات.
في الحقيقة: يعتمد ذلك على الشبكة الكهربائية.

خرافة: ينخفض وزن البطارية أثناء الطيران.
في الحقيقة: يبقى ثابتًا.

بطاقات تعليمية

الطاقة النوعية

الطاقة لكل كتلة.

كفاءة مجموعة نقل الحركة

الكفاءة من البطارية إلى العمود.

هجين كهربائي

وقود مع قدرة كهربائية.

كسر البطارية

كتلة البطارية على كتلة الطائرة.

Wh/kg

وحدة الطاقة النوعية للبطاريات.

كثافة الشبكة الكربونية

CO_2 لكل kWh.

اختبار ذاتي

1. نسبة الطاقة...

47.8

4.78

478

18.6

11,944/250 .47.8.

2. معدلة حسب الكفاءة...

18.6

47.8

2.6

100

.18.6. × 0.35/0.9

3. المدى الكهربائي...

≈ 330 km

≈ 33 km

≈ 3300 km

≈ 660 km

≈ 330 km. صيغة.

4. المدى بطاقة مضاعفة...

≈ 661 km

≈ 330 km

≈ 1320 km

≈ 165 km

≈ 661 km. خطي.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن الدفع المكهرب يتيح إمكانات جديدة لخفض استهلاك الوقود والطاقة في الطيران، من طائرات الركاب الصغيرة إلى الطائرات ذات الممر الواحد، باستخدام تقنيات ومفاهيم وطائرات اختبار ومرافق أرضية جديدة.

تُظهر معادلة المدى في هذه الوحدة لماذا تطير الطائرات الكهربائية الأولى في مسارات قصيرة. كثافات الطاقة هنا قيم مرجعية.

على Saving Planets: الدوائر الكهربائية · الحلول

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

طائرات الهيدروجين

طاقة الهيدروجين لكل كتلة وحجم، وتحديد حجم الخزانات، وانبعاثات الماء، ومفاضلات التصميم.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- مقارنة الهيدروجين بوقود الطائرات حسب الكتلة والحجم.
- تحديد حجم خزان الهيدروجين.
- حساب الماء الناتج.
- شرح مفاضلات التصميم.

المفاهيم الأساسية

- يحمل الهيدروجين نحو 120 MJ/kg، أي 2.8 ضعف وقود الطائرات، لكن كثافة الهيدروجين السائل نحو 70.8 kg/m³ فقط (قيم مرجعية).
- لكل لتر، يحمل الهيدروجين السائل نحو 8.5 MJ مقابل نحو 34.4 MJ لوقود الطائرات، لذا تكون الخزانات أكبر بنحو أربعة أضعاف.
- حرق الهيدروجين أو استخدامه في خلية وقود ينتج ماءً، نحو 8.9 kg لكل kg من الهيدروجين، دون CO_2 عند الطائرة.
- الخزانات المبردة ضخمة وثقيلة، وتشكّل الطائرة بأكملها.
- يعتمد الهيدروجين الأخضر على كهرباء نظيفة للتحليل الكهربائي.

المعادلات الأساسية

$$e_v = \rho \, e_m$$

```
e_v=ρ e_m
```

الطاقة لكل حجم

$$V = \frac{E}{e_v}$$

```
V=(E)/(e_v)
```

حجم الخزان

$$m_{H_2O} = 8.94 \, m_{H_2}$$

```
m_H_20=8.94 m_H_2
```

الماء من الهيدروجين

$$\frac{e_{H_2}}{e_{jet}} = \frac{120}{43}$$

_H_2e_jet=120/43

نسبة الكتلة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 الهيدروجين مقابل وقود الطائرات حسب الكتلة؟

1. 120/43.

الإجابة: أكثر بـ 2.79 ضعف لكل kg.

مثال 8.2 الطاقة الحجمية للهيدروجين السائل؟

1. 120/1000 × 70.8.

الإجابة: 8.50 MJ/L.

مثال 8.3 نسبة حجم الخزان مقارنة بوقود الطائرات (0.8 kg/L، قيمة مرجعية)؟

1. 34.4/8.50.

الإجابة: أكبر بنحو 4.05 ضعف.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الماء من 100 kg من الهيدروجين؟

   نحو 894 kg.

2. الطاقة الحجمية لوقود الطائرات؟

   0.8 × 43 = 34.4 MJ/L.

3. لماذا خزانات الهيدروجين ثقيلة؟

   جدران مبردة معزولة.

4. متى يكون الهيدروجين منخفض الكربون؟

   عندما يُنتج بطاقة نظيفة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الهيدروجين خفيف، لذا الخزانات صغيرة.
في الحقيقة: الكثافة المنخفضة تعني خزانات كبيرة.

خرافة: طائرات الهيدروجين لا تبعث شيئًا.
في الحقيقة: تبعث بخار ماء قد يكوّن آثار تكاثف.

خرافة: كل الهيدروجين أخضر.
في الحقيقة: معظمه اليوم يُنتج من الغاز الأحفوري.

بطاقات تعليمية

LH_2

الهيدروجين السائل.

مبرد بالتبريد العميق

تخزين شديد البرودة.

خلية الوقود

مصدر قدرة كهروكيميائي.

التحليل الكهربائي

تفكيك الماء بالكهرباء.

الطاقة الحجمية

الطاقة لكل حجم.

الهيدروجين الأخضر

يُنتج بقدرة نظيفة.

اختبار ذاتي

1. نسبة الكتلة...

2.79

0.36

4.05

120

.2.79. 120/43

2. MJ/L من LH_2...

8.50

34.4

120

0.85

0.12 × 70.8 .8.50.

3. نسبة الخزانات...

≈ 4

≈ 0.25

≈ 1

≈ 40

≈ 4. 34.4/8.5.

4. الماء لكل kg من H_2...

≈ 8.9 kg

≈ 1 kg

≈ 18 kg

0

≈ 8.9 kg. 18.015/2.016.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يعمل Sustainable Flight National Partnership لدى NASA على تقنيات المركبات المتقدمة والعمليات الكفؤة ووقود الطيران المستدام؛ وتضيف هذه الوحدة الهيدروجين خيارًا إضافيًا، حيث يمثل حجم الخزان التحدي التصميمي الرئيسي.

قيم الهيدروجين في هذه الوحدة قيم مرجعية، وليست أرقامًا من NASA.

على Saving Planets: الكيمياء العامة I · الديناميكا الحرارية

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.
- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.

أنهيت هذه الوحدة

العمليات والضوضاء وجودة الهواء

الدرج والمسارات الكفؤة، وحساب الديسيبل، وضوضاء المطارات، وجودة الهواء المحلية، والبنزين الطيراني المحتوي على الرصاص.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- تقدير توفير الوقود أثناء الدرج.
- جمع مستويات الصوت بالديسيبل.
- تطبيق قانون التربيع العكسي.
- شرح مشكلة الوقود المحتوي على الرصاص.

المفاهيم الأساسية

- العمليات مهمة: الدرج بمحرك واحد والهبوط المتواصل والمسارات المثلى تخفض الوقود مع طائرات اليوم.
- تُجمع الديسيبلات لوغاريتميًا: مصدران متساويان أعلى بـ 3 dB، لا ضعف الرقم.
- في الهواء الطلق، ينخفض مستوى الصوت نحو 6 dB مع كل مضاعفة للمسافة.
- تؤثر NOx والجسيمات وCO من المحركات في جودة الهواء قرب المطارات.
- تذكر EPA أن معظم الطائرات التي تستخدم وقودًا محتويًا على الرصاص طائرات بمحركات مكبسية تحمل 10–2 ركاب؛ ولا تستخدم الطائرات النفاثة التجارية هذا الوقود.

المعادلات الأساسية

$$L = 10 \log_{10} \sum 10^{L_i/10}$$

`L=10_1010^L_i/10`

جمع مستويات الصوت

$$\Delta L = 20 \log_{10}(r_2/r_1)$$

`Δ L=20_10(r_2/r_1)`

الانتشار الكروي

$$m_f = \dot{m}_f t$$

`m_f= m_ft`

الوقود المستخدم

$$m_{CO_2} = 3.16\, m_f$$

`m_CO_2=3.16 m_f`

CO_2 لكل kg من الوقود (قيمة مرجعية)

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 مصدران بـ 80 dB معًا؟

1. $10 \log_{10}(2 \times 10^{8})$.

الإجابة: 83.0 dB.

مثال 9.2 انخفاض المستوى عند مضاعفة المسافة؟

1. $20 \log_{10} 2$.

الإجابة: 6.02 dB.

مثال 9.3 الدرج 10 دقائق بمحرك واحد بدل اثنين بمعدل 0.1 kg/s لكل منهما (مثال). الوقود وCO_2 الموفَّران؟

1. $600 \times 0.1 = 60$ kg.
2. 60×3.16.

الإجابة: 60 kg من الوقود، ونحو 190 kg من CO_2.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. عشرة مصادر متساوية بـ 70 dB؟

   80 dB.

2. الانخفاض عندما تتضاعف المسافة أربع مرات؟

   12.0 dB.

3. وقود محركين على مدى 10 دقائق؟

   120 kg.

4. أي الطائرات تستخدم الوقود المحتوي على الرصاص (EPA)؟

   الطائرات ذات المحركات المكبسية أساسًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: تُجمع الديسيبلات خطيًا.
في الحقيقة: تُجمع لوغاريتميًا.

خرافة: لا يمكن للعمليات خفض الانبعاثات.
في الحقيقة: إنها تخفض الوقود اليوم.

خرافة: تحرق طائرات الركاب وقودًا محتويًا على الرصاص.
في الحقيقة: تقول EPA إن النفاثات التجارية لا تفعل.

بطاقات تعليمية

الديسيبل

مقياس لوغاريتمي للصوت.

قانون التربيع العكسي

تنخفض الشدة مع r^2.

الدرج بمحرك واحد

الدرج على محرك واحد.

الهبوط المتواصل

هبوط بالخمول دون مراحل استواء.

NOx

أكاسيد النيتروجين.

Avgas

بنزين الطيران.

اختبار ذاتي

1. Two 80 dB...

83.0 dB

160 dB

80 dB

86 dB

+3 dB. 83.0 dB.

2. مضاعفة المسافة...

−6.02 dB

−3 dB

−10 dB

−20 dB

.−6.02 dB. 20 log 2

3. CO_2 الموفَّر أثناء الدرج...

≈ 190 kg

≈ 60 kg

≈ 19 kg

≈ 600 kg

.≈ 190 kg. 60 × 3.16

4. مستخدمو الوقود المحتوي على الرصاص...

الطائرات المكبسية

طائرات الركاب

الصواريخ

المروحيات فقط

الطائرات المكبسية. EPA.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر EPA أن غالبية الطائرات العاملة بالوقود المحتوي على الرصاص طائرات بمحركات مكبسية تحمل عادة 10–2 ركاب، وأن النفاثات المستخدمة في النقل التجاري لا تستخدم هذا الوقود.

أصدرت EPA قرارًا نهائيًا بأن انبعاثات الرصاص من بعض محركات الطائرات تعرّض الصحة العامة والرفاه للخطر، مما يُلزم EPA وFAA بوضع معايير.

على Saving Planets: الحلول · أداء الطائرات

المصادر: U.S. EPA: Regulations for lead emissions from aircraft (https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-lead-emissions-aircraft)

مصادر تعلّم مجانية

- U.S. EPA: Regulations for lead emissions from aircraft (https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-lead-emissions-aircraft): صفحة EPA.
- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): محاضرة مجانية من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

مسارات نحو صافي الصفر

نمو الحركة والكفاءة وSAF والطائرات الجديدة والتعويضات مجتمعة في سيناريوهات حتى 2050.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- إسقاط نمو الحركة.
- دمج التخفيضات ضربيًا.
- بناء سيناريو أسافين بسيط.
- مناقشة أدوات السياسات.

المفاهيم الأساسية

- الانبعاثات = الحركة × الطاقة لكل وحدة حركة × الكربون لكل وحدة طاقة.
- النمو مركّب: 3% سنويًا تضاعف الحركة في نحو 24 عامًا (معدل مثال).
- التخفيضات تتضاعف ضربيًا: (− 1 مكسب الكفاءة) × (− 1 توفير SAF على دورة الحياة).
- الانبعاثات المتبقية تتطلب طائرات جديدة أو مزيدًا من SAF أو إزالة الكربون.
- يشير DOE إلى أن مخطط CORSIA التابع لـ ICAO يحدّ صافي CO_2 من الطيران الدولي عند مستويات 2020 حتى 2035.

المعادلات الأساسية

$$E = T \times \frac{MJ}{T} \times \frac{CO_2}{MJ}$$

```
E=T×MJ/T×(CO_2)/(MJ)
```

متطابقة الانبعاثات

$$T_n = T_0(1+g)^n$$

```
T_n=T_0(1+g)^n
```

نمو الحركة

$$E' = E(1-a)(1-b)$$

```
E^=E(1-a)(1-b)
```

التخفيضات المجمّعة

$$n_2 = \frac{\ln 2}{\ln(1+g)}$$

```
n_2=(2)/((1+g))
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 تنمو الحركة 3% سنويًا من 2026 إلى 2050 (مثال). معامل النمو؟

1. 1.03^{24}.

الإجابة: 2.03.

مثال 10.2 مع مكسب كفاءة 25%، ما الانبعاثات مقارنة باليوم؟

1. 0.75×2.033.

الإجابة: 1.52.

مثال 10.3 أضف SAF بتوفير 50% على دورة الحياة على مستوى الأسطول.

1. 0.5×1.525.

الإجابة: 0.762، أي لا يزال 76% من مستوى اليوم.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. زمن التضاعف عند 3%؟

   23.4 عامًا.

2. التوفير اللازم للوصول من 0.762 إلى 0؟

   الباقي كله: طائرات جديدة ومزيد من SAF وإزالة الكربون.

3. عدد السنوات من 2026 إلى 2050؟

   24.

4. ماذا يحدّ CORSIA؟

   صافي CO_2 من الطيران الدولي عند مستويات 2020 حتى 2035.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: التخفيضات تُجمع.

في الحقيقة: تتضاعف ضربيًا.

خرافة: الكفاءة وحدها تبلغ صافي الصفر.

في الحقيقة: النمو يتجاوزها.

خرافة: التعويضات تخفض الانبعاثات عند المحرك.

في الحقيقة: تعوّض في مكان آخر.

بطاقات تعليمية

صافي الصفر

انبعاثات تقابلها عمليات إزالة.

إسفين

شريحة من خطة تخفيض.

CORSIA

مخطط التعويض التابع لـ ICAO.

نمو الحركة

ارتفاع الراكب-كم.

الإزالة

سحب CO_2 من الهواء.

السيناريو

مجموعة متسقة من الافتراضات.

اختبار ذاتي

1. معامل النمو...

2.03

1.72

1.03

3.0

1.03^{24} .2.03.

2. مع الكفاءة...

1.52

2.03

0.76

1.0

.1.52. × 0.75

3. مع SAF أيضًا...

0.762

0.25

1.52

0

.0.762. × 0.5

4. سنة هدف صافي الصفر...

2050

2030

2035

2100

.NASA .2050

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن Sustainable Flight National Partnership يعمل مع الصناعة والأوساط الأكاديمية والوكالات الأخرى نحو هدف قطاع الطيران بالوصول إلى صافي انبعاثات كربونية صفري بحلول 2050.

يشير DOE إلى أن مخطط CORSIA التابع لـ ICAO يحدّ صافي CO_2 من الطيران الدولي عند مستويات 2020 حتى 2035.

على Saving Planets: الحلول · Capstone Design

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/) · U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): NASA SFNP.
- U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel): صفحة SAF لدى DOE.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. الطيران والمناخ: حساب CO_2
   4 مسائل
2. مقاييس الكفاءة
   4 مسائل
3. الكفاءة الديناميكية الهوائية
   4 مسائل
4. كفاءة المحركات
   4 مسائل
5. وقود الطيران المستدام
   4 مسائل
6. آثار التكاثف والتأثيرات غير المتعلقة بـ CO_2
   4 مسائل
7. الدفع الكهربائي والهجين
   4 مسائل
8. طائرات الهيدروجين
   4 مسائل
9. العمليات والضوضاء وجودة الهواء
   4 مسائل
10. مسارات نحو صافي الصفر
    4 مسائل

المختبر (Sustainable aviation lab)

المختبر هو الجزء العملي من المقرر. وهو هنا مجاني وللتدريب فقط، دون ساعات معتمدة.

يُجرى كل مختبر في جدول بيانات أو محاكاة مجانية، فلا توجد مخاطر من الوقود أو البطاريات أو الهيدروجين. لا تتعامل مع الوقود أو البطاريات أو الغازات المضغوطة في هذا المقرر. خذ فترات راحة من الشاشة، واجلس بوضعية سليمة، وأبعد الكابلات عن الممرات.

مرجع السلامة: OSHA: Walking-working surfaces (slip, trip and fall hazards) (https://www.osha.gov/walking-working-surfaces)

المختبر A: حاسبة CO_2 للرحلة

الأسبوع 1

الهدف: ابنِ جدول بيانات يحوّل الوقود المحروق إلى CO_2 وإلى CO_2 لكل راكب-كم.

$$m = 9.75V$$

`m=9.75V`

معامل EIA

الإجراء

1. أدخل الوقود بالغالون لثلاث رحلات مثال.
2. احسب CO_2 بمعامل EIA البالغ 9.75 kg/gal.
3. اقسم على الركاب × km.
4. قارن الرحلات القصيرة والطويلة.

جدول البيانات

الوقود (gal)	CO_2 (kg)
1000	9750
5000	48,750
20,000	195,000

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 5000 × 9.75 = 48,750 kg.
2. 20,000 × 9.75 = 195,000 kg.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php)

الصلة بالكوكب: EIA: 9.75 kg من CO_2 لكل غالون من وقود الطائرات. U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر B: L/D واستهلاك الوقود

الأسبوع 4

الهدف: لاحظ كيف تغيّر نسبة الرفع إلى السحب الوقود لرحلة 3000 km.

$$W_f/W_i = 1 - e^{-Rc/(V\,L/D)}$$

```
W_f/W_i=1-e^-Rc/(V L/D)
```

كسر الوقود

الإجراء

1. أدخل R = 3000 km، وV = 230 m/s، وc = 0.6 /h.
2. احسب كسر الوقود لـ L/D = 15 و17 و20.
3. احسب التوفير مقارنة بـ L/D = 17.
4. أضف تأثيرات نسبة الباع على السحب المستحث.

جدول البيانات

L/D	كسر الوقود
15	0.135
17	0.120
20	0.103

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 1 − e^(−0.1449) = 0.135.
2. 1 − e^(−0.1087) = 0.103.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (/https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes)

الصلة بالكوكب: تختبر طائرة X-plane الإيضاحية لدى NASA تصميمًا ديناميكيًا هوائيًا فائق الكفاءة. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: مستكشف الكفاءة الدفعية

الأسبوع 5

الهدف: احسب الكفاءة الدفعية والإجمالية عبر سرعات عادم مختلفة.

$$\eta_p = 2/(1 + V_e/V_0)$$

```
_p=2/(1+V_e/V_0)
```

كفاءة الدفع

الإجراء

1. أدخل V_0 = 230 m/s وη_{th} = 0.5.
2. احسب η_p لـ V_e = 400 و350 و300 m/s.
3. احسب الكفاءة الإجمالية.
4. اربطها بنسبة الالتفاف.

جدول البيانات

V_e (m/s)	η_p	η_o
400	0.730	0.365
350	0.793	0.397
300	0.868	0.434

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. $2/(1 + 350/230) = 0.793$.
2. $0.793 \times 0.5 = 0.397$.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (/https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes)

الصلة بالكوكب: NASA: يطور Hybrid Thermally Efficient Core نوى توربينية عالية كثافة القدرة. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر D: حاسبة خلط SAF

الأسبوع 7

الهدف: احسب توفير دورة الحياة لخلائط وتخفيضات SAF مختلفة.

$$s = b \times r$$

s=b× r

توفير الخليط

الإجراء

1. أدخل خلائط بنسب 10% و30% و50%.
2. أدخل تخفيضًا لـ SAF على دورة الحياة قدره 50% ثم 80%.
3. احسب التوفير وCO_2 الموفَّر لكل 1000 غالون.
4. قارن بأهداف Grand Challenge.

جدول البيانات

الخليط	التوفير عند r = 50%	kg من CO_2 الموفَّر لكل 1000 gal
10%	5%	487.5
30%	15%	1462.5
50%	25%	2437.5

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 0.3 × 0.5 = 15%.
2. 0.25 × 9750 = 2437.5 kg.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel)

الصلة بالكوكب: DOE: يمكن خلط SAF بنسبة 10% إلى 50% حسب المسار. U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر E: مدى الطائرة الكهربائية

الأسبوع 10

الهدف: احسب مدى الطائرة الكهربائية بالبطارية لعدة كثافات طاقة.

$$R = (e\eta/g)(L/D)(m_b/m)$$

```
R=(e/g)(L/D)(m_b/m)
```

المدى الكهربائي

الإجراء

1. أدخل η = 0.8، وL/D = 15، وكسر بطارية 0.3.
2. احسب المدى لـ 250 و400 و500 Wh/kg.
3. قارن بمسار إقليمي طوله 300 km.
4. غيّر كسر البطارية.

جدول البيانات

e (Wh/kg)	المدى (km)
250	330
400	529
500	661

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 0.3 × 15 × 0.8/9.80665 × 3600 × 400 = 529 km.
2. 500 Wh/kg تضاعف مدى 250 Wh/kg.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (/https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes)

الصلة بالكوكب: NASA: يمكن للدفع المكهرب خفض استهلاك الوقود والطاقة. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر F: نموذج الأسافين نحو صافي الصفر

الأسبوع 14

الهدف: استكشف الاحترار في PhET Greenhouse Effect، ثم ابنِ سيناريو طيران للفترة 2026–2050.

$$E = (1+g)^{n}(1-a)(1-b)$$

```
E=(1+g)^n(1-a)(1-b)
```

انبعاثات السيناريو

الإجراء

1. في PhET Greenhouse Effect، أضف غازات الدفيئة ولاحظ استجابة درجة الحرارة.
2. أدخل نمو حركة 3% لمدة 24 عامًا.
3. طبّق مكسب كفاءة 25% وتوفير SAF بنسبة 50%.
4. أوجد معدل النمو الذي يُبقي عنده الإجراءان الانبعاثات ثابتة.

جدول البيانات

الحالة	الانبعاثات مقارنة باليوم
النمو فقط	2.03
+ الكفاءة	1.52
+ SAF	0.762

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. $1.03^{24} = 2.033$.
2. $2.033 \times 0.75 \times 0.5 = 0.762$.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

PhET: Greenhouse Effect (https://phet.colorado.edu/en/simulations/greenhouse-effect)

الصلة بالكوكب: NASA: هدف قطاع الطيران هو صافي انبعاثات كربونية صفري بحلول 2050. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnershi

p/)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 1–5)

1. CO_2 من 2000 غالون من وقود الطائرات؟

   .1 9.75 × 2000.

الإجابة: 19,500 kg.

2. g من CO_2 لكل راكب-كم لـ 19500 kg و150 راكبًا و1000 km؟

   .1 19,500,000/150,000.

الإجابة: 130 g.

3. كسر الوقود لـ 3000 km عند L/D = 15 (قيم الوحدة 3)؟

   .1 1 − e^(−0.1449).

الإجابة: 0.135.

4. η_p لـ V_0 = 250 وV_e = 350 m/s؟

   .1 2/(1 + 1.4).

الإجابة: 0.833.

5. التوفير من خليط 40% بتخفيض 70% على دورة الحياة؟

   .1 0.7 × 0.4.

الإجابة: 28%.

مجموعة التدريب النهائية (الوحدات 1–10)

1. بلورات الجليد بعد خفض 60% من 10^{15} لكل kg؟

   .1 0.4 × 10^{15}.

الإجابة: 4 × 10^{14} لكل kg.

2. المدى الكهربائي مع 300 Wh/kg (قيم الوحدة 7)؟

1. 1.2 × 330.4.

الإجابة: نحو 396 km.

3. حجم الهيدروجين السائل لـ 1000 MJ؟

1. 1000/8.50.

الإجابة: 118 L.

4. ثلاثة مصادر متساوية بـ 75 dB؟

1. 75 + 10 $\log_{10}$ 3.

الإجابة: 79.8 dB.

5. معامل النمو عند 2% لمدة 24 عامًا؟

1. 1.02^{24}.

الإجابة: 1.61.

6. الانبعاثات مقارنة باليوم مع نمو 2% وكفاءة 25% وSAF بنسبة 50%؟

1. 0.5 × 0.75 × 1.608.

الإجابة: 0.603.

ورقة الصيغ

$$m_{CO_2} = 9.75 V_{gal},\ m_{CO_2} = 3.16 m_f$$

$$\mathrm{CO_2/pkm} = m_{CO_2}/(n_{pax} d)$$

$$W_f/W_i = 1 - e^{-Rc/(V\,L/D)},\ C_{D_i} = C_L^2/(\pi e AR)$$

$$\eta_p = 2/(1 + V_e/V_0),\ \eta_o = \eta_{th}\eta_p$$

$$s = b\,r$$

$$N = EI\,m_f,\ N' = N(1 - r)$$

$$R = (e\eta/g)(L/D)(m_b/m)$$

$$e_v = \rho e_m,\ m_{H_2O} = 8.94 m_{H_2}$$

$$L = 10\log_{10}\sum 10^{L_i/10},\ \Delta L = 20\log_{10}(r_2/r_1)$$

$$E = (1 + g)^n (1 - a)(1 - b)$$

الثوابت

الثابت	القيمة
الجاذبية المعيارية	$g = 9.80665\ m/s^2$
CO_2 وقود الطائرات (EIA)	9.75 kg من CO_2 لكل غالون (21.50 lb)
القيمة الحرارية لوقود الطائرات (قيمة مرجعية)	43 MJ/kg
القيمة الحرارية للهيدروجين (قيمة مرجعية)	120 MJ/kg
كثافة الهيدروجين السائل (قيمة مرجعية)	$70.8\ kg/m^3$
الغالون	3.785411784 L

المصدر: NIST: CODATA value, standard acceleration of gravity (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn)

نصوص ومصادر مجانية

استخدم هذه المحاضرات وصفحات البيانات والمحاكاة المجانية إلى جانب المقرر.

- MIT OpenCourseWare 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2004), Lecture 8: Environmental Factors (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2004/pages/lecture-notes/): ملاحظات محاضرات MIT المجانية.
- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): برنامج NASA.
- U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Sustainable aviation fuel (https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel): بيانات SAF لدى DOE.
- U.S. EIA: Carbon dioxide emissions coefficients (https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php): معاملات الانبعاث لدى EIA.
- NASA: NASA-DLR study finds sustainable aviation fuel can reduce contrails (2021) (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-dlr-study-finds-sustainable-aviation-fuel-can-reduce-contrails/): دراسة NASA حول آثار التكاثف.
- PhET: Greenhouse Effect (https://phet.colorado.edu/en/simulations/greenhouse-effect): ميزان الإشعاع.

مسرد المصطلحات

نسبة الباع
مربع الباع على مساحة الجناح.

Avgas
بنزين الطيران للمحركات المكبسية.

حد الخلط
أقصى حصة لـ SAF في وقود الطائرات.

CORSIA
مخطط ICAO لتعويض الكربون.

أثر التكاثف

أثر تكاثف من بلورات الجليد.

الديسيبل
مقياس لوغاريتمي للصوت.

الدفع المكهرب
قدرة كهربائية أو هجينة للطائرات.

معامل الانبعاث
CO_2 لكل وحدة وقود.

كثافة الطاقة
الطاقة لكل راكب-كم.

السحب المستحث
السحب الناتج عن الرفع.

انبعاثات دورة الحياة
CO_2 من البئر إلى الأثر.

الهيدروجين السائل
وقود الهيدروجين المبرد.

معامل الحمل
الركاب مقسومًا على المقاعد.

صافي الصفر
انبعاثات تقابلها عمليات إزالة.

تأثيرات غير CO_2
احترار ناتج عن آثار التكاثف وNOx والجسيمات.

راكب-كم
راكب واحد يُنقل كيلومترًا واحدًا.

كفاءة الدفع
حصة قدرة النفاث التي تنتج الدفع.

SAF
وقود الطيران المستدام.

السخام
جسيمات كربونية في العادم.

الطاقة النوعية
الطاقة لكل وحدة كتلة.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يحتسب تأثيرات CO_2 وغير CO_2 بوحدات وخطوط أساس صحيحة، ويدمج التخفيضات بشكل صحيح، ويشرح المفاضلات بين الخيارات بكلمات بسيطة.
3 · متمكن	يحل مجموعات التمارين والاختبارات بأخطاء طفيفة ويتحقق من الوحدات.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يخلط بين CO_2 الاحتراق وCO_2 دورة الحياة أو يجمع التخفيضات بدل ضربها.
1 · مبتدئ	يذكر توفيرًا دون خطوط أساس أو وحدات؛ يحتاج إلى مراجعة الوحدات.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	20%
المختبرات	25%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- مشروع التخرج (طائرة أو CubeSat) AERO 490
- الدفع AERO 410
- ديناميكا الطيران والتحكم AERO 420
- كل الدورات