آخر تحديث: November 1, 2026

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 مشروعًا ختاميًا في هندسة الطيران والفضاء لفصل دراسي واحد في السنة الأخيرة. وهو مبني على نهج التصوّر-التصميم-التنفيذ-التشغيل في MIT 16.83X Space Systems Engineering (مجاني على MIT OpenCourseWare) وعلى NASA Systems Engineering Handbook، ونضع روابط لهما حيث يفيدان. لا يتبنى MIT ولا NASA هذه الصفحة.

ما نضيفه: مساران متوازيان (طائرة مسيّرة كهربائية صغيرة أو 3U CubeSat)، وكل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي مع مصدر عام موثق، وكل رقم في الصفحة يعاد حسابه بنص برمجي للتحقق قبل نشره، وكل مختبر في جدول بيانات مجاني.

اعمل عليه بالترتيب، وحدك أو مع فريق. لكل وحدة أهداف وأفكار رئيسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

تبني فرق المشاريع الختامية الأقمار الصناعية والطائرات التي تقيس الكوكب وتحميه: تطير أقمار CubeSat الطلابية عبر CubeSat Launch Initiative التابعة لـ NASA، وتدرس أقمار صغيرة مثل PREFIRE كيف يفقد القطب الشمالي حرارته.

على جانب الطائرات، تهدف Sustainable Flight National Partnership التابعة لـ NASA إلى مكاسب في كفاءة الطاقة بنسبة 25–30%. تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق المصادر. القيم التي ليست من مصدر مُعلَّمة بأنها قيم نموذجية أو 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 490).
- 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

- إلكترونيات الطيران وهندسة النظم: المتطلبات والموثوقية والتحقق.
- تصميم المركبات الفضائية: ميزانيات القدرة والحرارة والوصلة.
- أداء الطائرات: الرفع والسحب والمدى والصعود.
- الهياكل الجوية الفضائية: الإجهاد ومعاملات الأمان والهوامش.

كيف تذاكر

- احتفظ بدفتر تصميم واحد أو جدول بيانات واحد تنبع منه كل الأرقام.
- اربط كل قرار تصميمي بمتطلب.
- أغلق الميزانيات بهامش قبل إضافة التفاصيل.
- عقد مراجعات أسبوعية قصيرة، حتى لو كنت تعمل وحدك.
- اكتب أولًا بأول: كل وحدة تضيف قسمًا إلى تقريرك النهائي.
- 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.
- NASA Systems Engineering Handbook المجاني في متصفح الويب.
- برنامج عروض تقديمية مجاني لمراجعات التصميم.
- آلة حاسبة.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

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

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	المهمة وأصحاب المصلحة والمتطلبات	المهمة والمتطلبات؛ المختبر A	NASA SE Handbook
2	توليد المفاهيم واختيارها	اختيار المفهوم؛ المختبر B	MIT 16.83X
3	مسار الطائرة: تحجيم الوزن والمدى	تحجيم وزن الطائرة	NASA SFNP
4	مسار الطائرة: تحجيم الوزن والمدى	المدى وحلقة التحجيم؛ المختبر C	MIT 16.83X
5	مسار الطائرة: حمل الجناح والقدرة	حمل الجناح والقدرة	NASA SFNP

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
6	مسار CubeSat: التحجيم والمدار	تحجيم CubeSat ومداره؛ المختبر D	NASA PREFIRE
7	مسار CubeSat: ميزانيتا القدرة والوصلة	ميزانيتا القدرة والوصلة؛ المختبر E؛ تدريب منتصف الفصل	NASA SST SOA
8	الفحوص الإنشائية والحرارية	الفحوص الإنشائية والحرارية	MIT 16.83X
9	التكلفة والجدول الزمني والمخاطر	هيكل تجزئة العمل والجدول الزمني	NASA SE Handbook
10	التكلفة والجدول الزمني والمخاطر	القيمة المكتسبة والمخاطر؛ المختبر F	NASA SE Handbook
11	النموذج الأولي والاختبار والتحقق	تخطيط النموذج الأولي	MIT 16.83X
12	النموذج الأولي والاختبار والتحقق	الاختبار	NASA CSLI
13	النموذج الأولي والاختبار والتحقق	إغلاق التحقق	NASA SE Handbook
14	مراجعات التصميم والتقرير النهائي	مراجعة التصميم الحرج	MIT 16.83X
15	مراجعات التصميم والتقرير النهائي	التقرير النهائي؛ التدريب النهائي	NASA SE Handbook

تقدّمك

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

الوحدات

المهمة وأصحاب المصلحة والمتطلبات

اختيار مسار، وتحديد المهمة، وتعرّف أصحاب المصلحة، وكتابة متطلبات قابلة للتحقق، وتحديد المخصصات بهامش.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اكتب بيان مهمة في جملة واحدة.
- اذكر أصحاب المصلحة واحتياجاتهم.
- اكتب متطلبات قابلة للتحقق.
- احسب الهامش مقابل مخصص.

المفاهيم الأساسية

- اختر مسارًا: طائرة مسيّرة كهربائية صغيرة تحمل مستشعرًا، أو 3U CubeSat يرصد الأرض.
- بيان المهمة يقول من يحتاج ماذا ولماذا؛ والمتطلبات تجعله قابلًا للقياس.
- يشمل أصحاب المصلحة المستخدمين والممولين وسلطات الإطلاق أو المجال الجوي والفريق نفسه.
- لكل متطلب رقم ووحدة وطريقة تحقق (اختبار أو تحليل أو فحص أو عرض).
- تحمل المخصصات هامشًا مبكرًا، لأن التقديرات تنمو مع نضج التصميم.

المعادلات الأساسية

$$\text{Margin} = \frac{A - E}{E}$$

```
Margin=(A-E)/(E)
```

هامش المخصص فوق التقدير

$$m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

```
m_alloc=m_est(1+M)
```

التخصيص مع الهامش

$$m_{3U} \approx 3 \times 1.33\ \text{kg}$$

كتلة 3U المسموح بها (قيمة مرجعية)

$$\sum w_i = 1$$

```
w_i=1
```

مجموع الأوزان واحد

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 لـ 3U CubeSat مخصص قدره 4.0 kg (قيمة مرجعية) وتقدير قدره 3.4 kg. الهامش؟

1. (4.0 − 3.4)/3.4.

الإجابة: 17.6%.

مثال 1.2 يُقدَّر مستشعر طائرة مسيّرة بـ 0.8 kg. خصّص بهامش 25% (قيم نموذجية).

1. 0.8 × 1.25.

الإجابة: 1.0 kg.

مثال 1.3 اكتب متطلبًا قابلًا للتحقق لمدة تحليق الطائرة المسيّرة.

1. رقم، وحدة، طريقة.

الإجابة: «يجب أن تطير الطائرة المسيّرة 30 دقيقة على الأقل بسرعة 15 m/s، ويُتحقق من ذلك باختبار طيران.»

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الهامش إذا نما التقدير إلى 3.8 kg؟

   5.26%.

2. ثلاث وحدات كل منها 1.33 kg (قيمة مرجعية)؟

   3.99 kg، نحو 4 kg.

3. سمِّ أربعة من أصحاب المصلحة لقمر CubeSat طلابي.

   مثلًا: المستخدمون العلميون، والجامعة، ومزود الإطلاق، والجهة المنظمة للراديو.

4. هل «يجب أن يكون CubeSat موثوقًا» قابل للتحقق؟

   لا؛ أضف رقمًا وطريقة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المتطلبات تصف التصميم.

في الحقيقة: بل تعبّر عن الاحتياجات لا الحلول.

خرافة: يمكن إضافة الهامش لاحقًا.

في الحقيقة: الاحتفاظ به مبكرًا أرخص.

خرافة: صاحب مصلحة واحد يكفي.

في الحقيقة: أصحاب المصلحة المنسيّون يسببون مفاجآت متأخرة.

بطاقات تعليمية

بيان المهمة

من يحتاج ماذا ولماذا.

صاحب المصلحة

أي شخص لديه حاجة أو رأي.

المتطلب

حاجة قابلة للتحقق.

المخصص

حصة مدرجة في الميزانية.

الهامش

احتياطي فوق التقدير.

المسار

مسار مشروع طائرة مسيّرة أو CubeSat.

اختبار ذاتي

1. هامش الكتلة...

17.6%

15%

0.6%

85%

17.6%. (4.0 − 3.4)/3.4.

2. 0.8 kg + 25%...

1.0 kg

0.85 kg

1.25 kg

0.6 kg

1.0 kg. اضرب.

3. طرق التحقق...

اختبار، تحليل، فحص، عرض

تخمين، أمل، انتظار، شحن

التكلفة، الجدول الزمني، المخاطر، النطاق

PDR, CDR, TRR, FRR

اختبار، تحليل، فحص، عرض. أربع طرق.

4. بيان المهمة يقول...

من يحتاج ماذا ولماذا

مقاسات البراغي

الميزانية فقط

موعد الإطلاق فقط

من يحتاج ماذا ولماذا. الغاية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

توفر CubeSat Launch Initiative التابعة لـ NASA فرصًا لأقمار CubeSat التي تبنيها مؤسسات تعليمية ومنظمات غير ربحية أمريكية، ومنها المتاحف ومراكز العلوم، للطيران في عمليات إطلاق قادمة؛ وتقول NASA إنها أطلقت أكثر من 150 قمر CubeSat.

تقول NASA إن إعلان فرص الشراكة يصدر عادة كل أغسطس وتُقدَّم المقترحات في نوفمبر، لذا يمكن صياغة المشروع الختامي كمقترح حقيقي.

على Saving Planets: تصميم المركبات الفضائية · إلكترونيات الطيران وهندسة النظم

المصادر: NASA: CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/kennedy/launch-services-program/cubesat-launch-initiative/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.
- NASA: CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/kennedy/launch-services-program/cubesat-launch-initiative/): NASA CSLI.

أنهيت هذه الوحدة

توليد المفاهيم واختيارها

العصف الذهني، والمخططات المورفولوجية، ومصفوفات Pugh، ومصفوفات القرار المرجحة، والحساسية للأوزان.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ولّد عدة مفاهيم.
- ابنِ مخططًا مورفولوجيًا.
- قيّم المفاهيم في مصفوفة مرجحة.
- اختبر الحساسية للأوزان.

المفاهيم الأساسية

- ولّد مفاهيم كثيرة قبل الحكم على أي منها؛ الكمية أولًا والجودة لاحقًا.
- يسرد المخطط المورفولوجي الخيارات لكل وظيفة ويجمعها في مفاهيم.
- تقارن مصفوفة Pugh المفاهيم بمرجع باستخدام + و0 و−.
- تضرب مصفوفة القرار المرجحة الدرجات في الأوزان وتجمعها.
- إذا قلبت تغييرات صغيرة في الأوزان الفائز، فالقرار يحتاج إلى بيانات أكثر.

المعادلات الأساسية

$$S = \sum w_i s_i$$

S= w_is_i

الدرجة المرجحة

$$N = \prod n_i$$

N= n_i

التوليفات المورفولوجية

$$P = n_+ - n_-$$

P=n_+-n_-

صافي درجة Pugh

$$\sum w_i = 1$$

w_i=1

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 المفهوم A يحصل على 6 (التكلفة) و9 (الأداء) و5 (المخاطر)؛ وB على 8 و6 و8. الأوزان 0.3 و0.5 و0.2. الفائز؟

1. A = 1.8 + 4.5 + 1.0 = 7.3.
2. B = 2.4 + 3.0 + 1.6 = 7.0.

الإجابة: A، بنتيجة 7.3 مقابل 7.0.

مثال 2.2 غيّر الأوزان إلى 0.4 و0.3 و0.3.

1. A = 2.4 + 2.7 + 1.5 = 6.6.
2. B = 3.2 + 1.8 + 2.4 = 7.4.

الإجابة: يفوز B: الاختيار حساس للأوزان.

مثال 2.3 مخطط فيه 3 خيارات للقدرة و2 من الهياكل و4 مستشعرات. عدد التوليفات؟

1. 4 × 2 × 3.

الإجابة: 24.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. Pugh: 4 إشارات زائد و1 ناقص. الصافي؟

   +3.

2. التوليفات لـ 2 × 3 × 3 × 2؟

   36.

3. لماذا نختبر الحساسية للأوزان؟

   لنرى إن كان الفائز متينًا.

4. لماذا العصف الذهني قبل التقييم؟

   الحكم المبكر يقتل الأفكار الجيدة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الدرجة الأعلى صحيحة دائمًا.
في الحقيقة: تحقق من الحساسية والافتراضات.

خرافة: الأوزان موضوعية.
في الحقيقة: بل تجسّد حكمًا تقديريًا.

خرافة: مفهوم واحد يكفي.
في الحقيقة: قارن عدة مفاهيم.

بطاقات تعليمية

المخطط المورفولوجي

خيارات لكل وظيفة.

مصفوفة Pugh

المقارنة بمرجع.

المرجع

المفهوم المرجعي.

المصفوفة المرجحة

الدرجات مضروبة في الأوزان.

الحساسية

كيف تتغير النتائج مع المدخلات.

الانتقاء

اختيار مفهوم.

اختبار ذاتي

1. درجة A...

7.3

7.0

6.6

20

7.3. المجموع المرجح.

2. درجة B...

7.0

7.3

7.4

22

7.0. المجموع المرجح.

3. بعد إعادة الترجيح...

يفوز B

يفوز A

تعادل

لا شيء منهما

يفوز B. 7.4 > 6.6.

4. التوليفات...

24

9

12

48

4 × 2 × 3 .24.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تعمل Sustainable Flight National Partnership التابعة لـ NASA في ثلاثة مجالات: تقنيات المركبات المتقدمة، والعمليات الكفؤة لشركات الطيران، ووقود الطيران المستدام.

الموازنة بين الخيارات عبر مجالات كهذه مسألة اختيار مفاهيم: الأوزان الصحيحة تعتمد على ما يقدّره أصحاب المصلحة، بما في ذلك الانبعاثات.

على Saving Planets: الحلول · أداء الطائرات

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

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.
- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.

شاهد المحاضرة

Session 4: System Architecture and Concept Generation (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/resources/session-4-system-architecture-and-concept-generation/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

مسار الطائرة: تحجيم الوزن والمدى

تقدير وزن الإقلاع من كسور الوزن، ومعادلة بريغيه للمدى، وكيف تغيّر مكاسب الكفاءة المدى والوقود.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- قدّر وزن الإقلاع من الكسور.
- طبّق معادلة بريغيه للمدى.
- بيّن كيف يغيّر L/D المدى.
- كرر حلقة التحجيم.

المفاهيم الأساسية

- وزن الإقلاع يساوي الحمولة مقسومة على واحد ناقص كسري الوزن الفارغ والطاقة.
- إذا اقترب مجموع كسري الوزن الفارغ والطاقة من 1، فإن التصميم لا يُغلق.
- للطائرات النفاثة، مدى بريغيه هو (V/c)(L/D) ln(W_i/W_f).
- المدى يتناسب مع L/D، لذا يعطي تحسين L/D بنسبة 30% مدى أكبر بنسبة 30% عند كسر الوقود نفسه.
- التحجيم تكراري: قدّر، واحسب، وحدّث الكسور، وكرر حتى يتقارب الوزن.

المعادلات الأساسية

$$W_0 = \frac{W_{pay}}{1 - W_e/W_0 - W_f/W_0}$$

```
W_0=_pay1-W_e/W_0-W_f/W_0
```

وزن الإقلاع

$$R = \frac{V}{c}\frac{L}{D}\ln\frac{W_i}{W_f}$$

```
R=V/cL/D(W_i)/(W_f)
```

مدى بريغيه (نفاثة)

$$R \propto L/D$$

المدى يتناسب مع L/D

$$W = mg$$

```
W=mg
```

الوزن

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 تحمل طائرة مسيّرة حمولة 1 kg بكسر وزن فارغ 0.5 وكسر بطارية 0.3 (قيم نموذجية). كتلة الإقلاع؟

1. $1/(1 - 0.5 - 0.3)$.

الإجابة: 5 kg.

مثال 3.2 تطير طائرة نقل بسرعة 230 m/s مع $c = 0.6$ لكل ساعة، و$L/D = 17$، و$W_i/W_f = 1.25$ (قيم مرجعية). المدى؟

1. $c = 1.667 \times 10^{-4}\ s^{-1}$.
2. $R = (230/1.667 \times 10^{-4}) \times 17 \times \ln 1.25 = 1.38 \times 10^{6} \times 17 \times 0.2231$.

الإجابة: نحو 5235 km.

مثال 3.3 ارفع L/D بنسبة 30%.

1. المدى يتناسب مع L/D.

الإجابة: نحو 6805 km.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. كتلة الإقلاع إذا ارتفع كسر البطارية إلى 0.35؟

   6.67 kg.

2. وزن الطائرة المسيّرة ذات 5 kg؟

   49.0 N.

3. لماذا لا يمكن أن يبلغ مجموع الكسور 1؟

   لن يتبقى شيء للحمولة.

4. $\ln 1.25$؟

   0.223.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: بطارية أكبر تعني دائمًا مدى أكبر.

في الحقيقة: بل ترفع الوزن أيضًا؛ المهم هو الكسر.

خرافة: معادلة بريغيه تناسب الطائرات الكهربائية.

في الحقيقة: البطاريات لا تخف؛ استخدم صيغة طاقية.

خرافة: تمريرة واحدة تكفي.

في الحقيقة: كرر حتى يتقارب الوزن.

بطاقات تعليمية

كسر الوزن الفارغ

الوزن الفارغ على وزن الإقلاع.

كسر الوقود

الوقود على وزن الإقلاع.

بريغيه

معادلة المدى.

L/D

نسبة الرفع إلى السحب.

TSFC

استهلاك الوقود النوعي للدفع.

حلقة التحجيم

كرر حتى التقارب.

اختبار ذاتي

1. كتلة إقلاع الطائرة المسيّرة…

5 kg

2 kg

1.25 kg

10 kg

.5 kg. 1/0.2

2. مدى طائرة النقل…

≈ 5235 km

≈ 523 km

≈ 52,000 km

≈ 1380 km

≈ 5235 km. بريغيه.

3. مع زيادة L/D بنسبة 30%...

≈ 6805 km

≈ 5235 km

≈ 4027 km

≈ 10,470 km

≈ 6805 km. × 1.3.

4. المدى يتناسب مع...

L/D

c

W_f

السحب

L/D. بريغيه.

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.

محورها طائرة تجريبية X-plane بالحجم الكامل تختبر تصميمًا هوائيًا فائق الكفاءة، مع أول طيران في موعد لا يسبق أواخر 2026؛ ورفع L/D هو بالضبط الرافعة التي تكافئها معادلة بريغيه في هذه الوحدة.

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 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

مسار الطائرة: حمل الجناح والقدرة

التحجيم بالقيود: حمل الجناح من سرعة الانهيار، ومساحة الجناح، وقدرة الصعود لطائرة كهربائية صغيرة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أوجد حمل الجناح من سرعة الانهيار.
- حجّم مساحة الجناح.
- احسب قدرة الصعود.
- ارسم مخطط قيود بسيطًا.

المفاهيم الأساسية

- تحدد سرعة الانهيار أقصى حمل للجناح: W/S = ½ρV_s²C_Lmax.
- تنتج مساحة الجناح من الوزن مقسومًا على حمل الجناح.
- تغطي قدرة العمود في الصعود السحب (W V/(L/D)) إضافة إلى حد الصعود (× W معدل الصعود)، مقسومًا على كفاءة الدفع.
- يرسم كل متطلب خطًا على مخطط W/S مقابل نسبة القدرة إلى الوزن؛ وتقع نقطة التصميم في المنطقة التي تحقق جميعها.
- تطير الطائرات المسيّرة الصغيرة عند أعداد رينولدز منخفضة، لذا تحقق من بيانات المقاطع الجناحية للمقاييس الصغيرة.

المعادلات الأساسية

$$\frac{W}{S} = \tfrac{1}{2}\rho V_s^2 C_{L,max}$$

W/S=12ρ V_s^2C_L,max

حمل الجناح عند الانهيار

$$S = \frac{W}{W/S}$$

S=(W)/(W/S)

مساحة الجناح

$$P = \frac{W}{\eta}\left(\frac{V}{L/D} + RC\right)$$

P=(W)/()((V)/(L/D)+RC)

قدرة الصعود

$$q = \tfrac{1}{2}\rho V^2$$

$q = \frac{1}{2}\rho V^2$

الضغط الديناميكي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 الانهيار عند 12 m/s، $C_{Lmax} = 1.2$، عند مستوى سطح البحر. حمل الجناح؟

1. ½ × 1.225 × 144 × 1.2.

الإجابة: 105.8 N/m².

مثال 4.2 مساحة الجناح للطائرة المسيّرة ذات 5 kg؟

1. 49.03/105.84.

الإجابة: 0.463 m².

مثال 4.3 قدرة الصعود عند 15 m/s، $L/D = 10$، صعود 2 m/s، $\eta = 0.7$؟

1. 49.03 × (1.5 + 2) = 171.6 W.
2. 171.6/0.7.

الإجابة: 245 W.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. حمل الجناح لانهيار عند 10 m/s؟

   73.5 N/m².

2. القدرة دون حد الصعود؟

   105.1 W.

3. الضغط الديناميكي عند 15 m/s؟

   137.8 Pa.

4. لماذا يحدد الانهيار أقصى W/S؟

   W/S الأعلى يحتاج سرعة انهيار أعلى.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الأجنحة الأكبر أفضل دائمًا.

في الحقيقة: تضيف وزنًا وسحبًا.

خرافة: قدرة الصعود صغيرة.

في الحقيقة: قد تكون الغالبة في الطائرات المسيّرة الصغيرة.

خرافة: $\eta = 1$.

في الحقيقة: المراوح والمحركات تفقد طاقة.

بطاقات تعليمية

حمل الجناح

الوزن لكل مساحة جناح.

C_Lmax

أقصى معامل رفع.

مخطط القيود

المتطلبات على مخطط واحد.

معدل الصعود

السرعة الرأسية.

كفاءة الدفع

جزء القدرة المفيدة.

سرعة الانهيار

أدنى سرعة مستقرة.

اختبار ذاتي

W/S .1...

105.8 N/m²

88.2

1058

10.6

105.8 N/m². ½ρV²C_L.

2. مساحة الجناح...

0.463 m²

4.63 m²

0.0463 m²

1 m²

.0.463 m². W/(W/S)

3. قدرة الصعود...

245 W

171.6 W

49 W

490 W

245 W. اقسم على η.

4. تقع نقطة التصميم...

حيث تتحقق جميع القيود

على أي خط

عند نقطة الأصل

خارجها

حيث تتحقق جميع القيود. المنطقة الممكنة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تستهدف Sustainable Flight National Partnership التابعة لـ NASA أيضًا عمليات الطيران الكفؤة والمسارات المثلى، حيث تلتقي خيارات القدرة والصعود باستهلاك الوقود.

الطائرات المسيّرة الكهربائية الصغيرة المحجّمة جيدًا كما في هذه الوحدة تُستخدم بالفعل لمسح المحاصيل والغابات والسواحل. القيم في هذه الوحدة قيم نموذجية.

على Saving Planets: أداء الطائرات · الديناميكا الهوائية 1

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 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

مسار CubeSat: التحجيم والمدار

أشكال CubeSat، والكتلة المسموح بها، والدورة المدارية، وعدد المرور يوميًا، وكسر الكسوف في مدار أرضي منخفض.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حجّم ميزانية كتلة 3U CubeSat.
- احسب الدورة المدارية.
- احسب عدد المدارات يوميًا.
- احسب الكسوف في أسوأ الحالات.

المفاهيم الأساسية

- تأتي أقمار CubeSat بوحدات (U) من 10 cm؛ ويبلغ 3U نحو 34 cm × 10 × 10 (قيمة مرجعية).
- الكتلة المسموح بها نحو 1.33 kg لكل U (قيمة مرجعية)؛ تأكد منها مع مزود الإطلاق.
- الدورة المدارية تعتمد فقط على نصف المحور الأكبر: T = 2π√(a³/μ).
- في أسوأ الحالات (الشمس في مستوى المدار)، كسر الكسوف هو asin(R_E/a)/π.
- المدارات المنخفضة تتدهور أسرع بفعل السحب؛ ومعظم أقمار CubeSat الطلابية تعود إلى الغلاف الجوي خلال سنوات.

المعادلات الأساسية

$$T = 2\pi \sqrt{a^3/\mu}$$

T=2π^3/μ

الدور المداري

$$f_e = \frac{1}{\pi} \sin^{-1} \frac{R_E}{a}$$

f_e=(1)/(π)^-1(R_E)/(a)

كسر الكسوف في أسوأ الحالات

$$n = 1440/T$$

n=1440/T

المدارات يوميًا (T بالدقائق)

$$a = R_E + h$$

a=R_E+h

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 الدورة عند ارتفاع 500 km؟

.a = 6878.1 km .1
.T = 2π√(6878.1³/398,600.4) .2

الإجابة: 94.6 min.

مثال 5.2 المدارات يوميًا؟

.1440/94.6 .1

الإجابة: 15.2.

مثال 5.3 الكسوف في أسوأ الحالات؟

.asin(6378.1/6878.1)/π = 0.378 .1
.0.378 × 94.6 .2

الإجابة: 35.8 min.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الكتلة المسموح بها لـ 3U عند 1.33 kg/U؟

   3.99 kg.

2. زمن التعرض للشمس في كل مدار؟

   58.9 min.

3. هل تعتمد الدورة على كتلة CubeSat؟

   No.

4. لماذا تتدهور المدارات المنخفضة؟

   السحب الجوي.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الأقمار الأثقل تدور أبطأ.
في الحقيقة: الدورة تعتمد على a فقط.

خرافة: الكسوف دائمًا 50%.
في الحقيقة: يعتمد على الارتفاع وزاوية الشمس.

خرافة: استخدم الارتفاع في قانون كبلر.
في الحقيقة: استخدم a = R_E + h.

بطاقات تعليمية

CubeSat

قمر صغير قياسي بوحدات 10 cm.

3U

CubeSat من ثلاث وحدات.

الدورة

زمن المدار الواحد.

كسر الكسوف

حصة المدار في الظل.

نصف المحور الأكبر

R_E + h للمدارات الدائرية.

التدهور المداري

فقدان المدار بفعل السحب.

اختبار ذاتي

1. الدورة...

- 94.6 min
- 90 min
- 100 min
- 84.4 min

94.6 min. 2π√(a³/μ).

2. المدارات في اليوم...

15.2

14.5

16

24

.15.2. 1440/T

3. الكسوف...

35.8 min

47 min

20 min

0 min

.35.8 min. 0.378 × 94.6

4. كتلة 3U...

≈ 4 kg

≈ 1.33 kg

≈ 12 kg

≈ 40 kg

.≈ 4 kg. 3 × 1.33

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن PREFIRE يستخدم زوجًا من الأقمار الصناعية الصغيرة جدًا، أقمار CubeSat أُطلقت في مايو 2024، لقياس جزء قليل الدراسة من الطاقة الإشعاعية التي تبعثها الأرض، بحثًا عن أدلة على فقدان الجليد البحري وذوبان الصفائح الجليدية واحترار

القطب الشمالي.

تصف NASA القطب الشمالي بأنه المنطقة التي تعمل كمنظم حرارة لكوكبنا، إذ تصرف الطاقة الزائدة الواردة في المناطق المدارية، ولهذا يهم وجود زوج من الأقمار الصغيرة هناك.

على Saving Planets: رصد الأرض · ميكانيكا المدارات

المصادر: NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/): NASA PREFIRE.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): تقرير NASA مجاني.

أنهيت هذه الوحدة

مسار CubeSat: ميزانيتا القدرة والوصلة

خرج الألواح الشمسية، ومتوسط القدرة المدارية، وتحجيم البطارية للكسوف، وفقد مسار وصلة UHF، وحجم البيانات اليومي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب خرج الألواح في ضوء الشمس.
- احسب متوسط القدرة المدارية.
- حجّم بطارية للكسوف.
- قدّر فقد المسار والبيانات يوميًا.

المفاهيم الأساسية

- قدرة الألواح = الفيض الشمسي × كفاءة الخلايا × المساحة cos ×(الزاوية).
- يقل متوسط التوليد المداري بكسر الكسوف (وبالتوجيه عمليًا).
- تغطي البطارية الحمل أثناء الكسوف؛ وتقييد عمق التفريغ يطيل عمرها بالدورات.
- يزداد فقد المسار في الفضاء الحر مثل 20 log₁₀(4πd/λ)؛ ونطاقات UHF للهواة شائعة في أقمار CubeSat الطلابية.
- حجم البيانات اليومي = معدل البت × زمن المرور × عدد مرات المرور.

المعادلات الأساسية

$$P = S \eta A \cos\theta$$

```
P=S Aθ
```

خرج الألواح

$$\bar{P} = P(1 - f_e)$$

```
P=P(1-f_e)
```

متوسط التوليد المداري

$$E = \frac{P_e t_e}{DoD}$$

```
E=(P_et_e)/(DoD)
```

سعة البطارية

$$L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$$

```
L=20_10(4π d)/()
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 ألواح مساحتها 0.06 m² بخلايا كفاءتها 28% تواجه الشمس (قيم نموذجية). الخرج؟

1. 0.06 × 0.28 × 1361.

الإجابة: 22.9 W.

مثال 6.2 المتوسط المداري مع كسر الكسوف 0.378 من الوحدة 5؟

1. 0.622 × 22.86.

الإجابة: 14.2 W.

مثال 6.3 البطارية اللازمة لـ 8 W خلال كسوف مدته 35.8 min بعمق تفريغ 30%؟

1. 8 × 35.75/60 = 4.77 Wh.
2. 4.77/0.3.

الإجابة: 15.9 Wh.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. فقد المسار عند 437 MHz على 1000 km؟

   λ = 0.686 m; L = 145.3 dB.

2. البيانات يوميًا عند 9600 bit/s مع أربع مرات مرور كل منها 10 دقائق؟

   23.04 Mbit = 2.88 MB.

3. الخرج عند زاوية شمسية 60°؟

   11.4 W.

4. لماذا نقيّد عمق التفريغ؟

   مزيد من الدورات قبل أن تبلى البطارية.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: قدرة الشمس ثابتة على طول المدار.
في الحقيقة: الكسوف والتوجيه يقللانها.

خرافة: البطارية = طاقة الكسوف.
في الحقيقة: اقسم على DoD.

خرافة: مزيد من البتات في الثانية مجاني.
في الحقيقة: يحتاج إلى هامش وصلة أكبر.

بطاقات تعليمية

القدرة المتوسطة على المدار

التوليد على مدار كامل.

DoD

عمق التفريغ.

فقد المسار

فقد الانتشار.

UHF

نطاق التردد فوق العالي.

المرور

الزمن الذي ترى فيه محطة أرضية القمر.

حجم البيانات

البتات المنزّلة يوميًا.

اختبار ذاتي

1. خرج الألواح...

22.9 W

2.29 W

229 W

38 W

22.9 W. SηA.

2. المتوسط المداري...

14.2 W

22.9 W

8.6 W

11.4 W

.14.2 W. × 0.622

3. البطارية...

15.9 Wh

4.77 Wh

47.7 Wh

8 Wh

.15.9 Wh. ÷ 0.3

4. فقد المسار...

145.3 dB

125 dB

165 dB

14.5 dB

.145.3 dB. 20 $\log_{10}(4\pi d/\lambda)$

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يقول تقرير NASA عن المركبات الفضائية الصغيرة إنه عند صدور طبعته الأولى في 2013 كان قد أُطلق عالميًا 247 قمر CubeSat و105 مركبات صغيرة أخرى دون 50 kg، أي أقل من 2% من الكتلة المطلقة إلى المدار.

تقول NASA إن المركبات الصغيرة أصبحت منذ ذلك الحين الوسيلة الرئيسية للمؤسسات التجارية والحكومية والخاصة والأكاديمية للوصول إلى الفضاء، لذا تدعم ميزانيات القدرة والوصلة الدقيقة اليوم حصة كبيرة من رصد الأرض.

على Saving Planets: تصميم المركبات الفضائية · رصد الأرض

المصادر: NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): تقرير NASA مجاني.
- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

الفحوص الإنشائية والحرارية

معاملات الحمل، وهوامش الأمان، وأحمال الإطلاق والطيران، وتقدير أولي للاتزان الحراري لكلا المسارين.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب حمل التصميم من معامل الحمل.
- حساب هامش الأمان.
- قدّر درجة حرارة الاتزان.
- قرر ما يحتاج إلى تحليل مفصل.

المفاهيم الأساسية

- أحمال التصميم = الوزن × معامل الحمل (الإطلاق أو المناورة) × معامل الأمان.
- يجب أن يكون هامش الأمان = MS المسموح/(× FS المطبَّق) 1 − موجبًا.
- يخضع الألمنيوم T6-6061 قرب 276 MPa (قيمة مرجعية)، وهو خيار شائع لهياكل الطائرات المسيّرة وCubeSat على حد سواء.
- يوازن التقدير الحراري الأولي بين ضوء الشمس الممتص والأشعة تحت الحمراء المنبعثة؛ وعند α = ε يكون الجسم المعرض للشمس قرب الأرض في المتوسط قرب 278 K.
- تكشف الفحوص اليدوية الحالات الحرجة؛ ثم تصقلها نماذج العناصر المحدودة والنماذج الحرارية.

المعادلات الأساسية

$$F = nmg$$

```
F=nmg
```

الحمل من معامل الحمل

$$MS = \frac{\sigma_{allow}}{FS \cdot \sigma} - 1$$

```
MS=σ_allowFS·σ-1
```

هامش الأمان

$$T = \left(\frac{\alpha S}{4 \varepsilon \sigma} \right)^{1/4}$$

```
T=((α S)/(4σ))^1/4
```

متوسط درجة حرارة الاتزان

$$\sigma = F/A$$

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 قمر CubeSat كتلته 4 kg يتعرض لـ 10 g (معامل حمل نموذجي). الحمل؟

1. 9.80665 × 4 × 10.

الإجابة: 392 N.

مثال 7.2 سكة تتعرض لـ 80 MPa؛ والخضوع 276 MPa؛ و1.25 = FS. ما MS؟

1. 1 − (80 × 1.25)/276.

الإجابة: 1.76، موجب.

مثال 7.3 متوسط درجة حرارة الاتزان عند ε = α؟

1. ¼^((5.670374419 × 10⁻⁸) × 4)/1361).

الإجابة: 278 K.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. MS إذا ارتفع الإجهاد إلى 200 MPa؟

0.10.

2. الحمل عند 6 g على 5 kg؟

294 N.

3. كم تساوي 278.3 K بالدرجات المئوية °C؟

5.2 °C.

4. لماذا معامل الأمان؟

عدم اليقين في الأحمال والمواد والتحليل.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: MS = 0 مقبول.

في الحقيقة: أبقه موجبًا.

خرافة: الفضاء بارد، فلا مشكلة حرارية.

في الحقيقة: الأجزاء المعرضة للشمس قد ترتفع حرارتها كثيرًا.

خرافة: الفحوص اليدوية تغني عن التحليل.

في الحقيقة: بل توجّهه.

بطاقات تعليمية

معامل الحمل

مضاعف للوزن.

معامل الأمان

مضاعِف على الأحمال.

هامش الأمان

المسموح على المطلوب ناقص واحد.

مقاومة الخضوع

الإجهاد الذي يسبب تشوهًا دائمًا.

درجة حرارة الاتزان

الممتص = المنبعث.

FEA

تحليل العناصر المحدودة.

اختبار ذاتي

1. الحمل...

392 N

39 N

3920 N

40 N

392 N. nmg.

2. MS...

1.76

2.76

0.76

−0.24

.1.76. 276/100 − 1

3. T الاتزان...

278 K

255 K

300 K

373 K

.278 K. (S/4σ)^¼

4. يجب أن يكون MS...

موجبة

سالبة

صفر

أكبر من 10

موجبة. التعريف.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن قمري CubeSat التوأمين في PREFIRE يقيسان انبعاث الأشعة تحت الحمراء البعيدة من الأرض، وهو الإشعاع نفسه الذي توازنه هذه الوحدة في تقديرها الحراري.

تفيد NASA بأن مهمة PREFIRE مُددت ليعمل القمران التوأمان حتى سبتمبر 2026 على الأقل، مع توسيع التركيز من القطبين إلى الكوكب كله، وهي ثمرة تصميم صمد أمام الإطلاق والمدار.

على Saving Planets: هياكل الطيران والفضاء · انتقال الحرارة

المصادر: NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.
- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.

شاهد المحاضرة

Lecture 5: Orbiter Structure + Thermal Protection System (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2005/resources/lecture-5/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2005), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

التكلفة والجدول الزمني والمخاطر

هياكل تجزئة العمل، وجداول المسار الحرج، والقيمة المكتسبة، ومصفوفات المخاطر، وخطط التخفيف.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ابنِ هيكل تجزئة العمل.
- أوجد المسار الحرج.
- احسب CPI وSPI والتقدير عند الإنجاز.
- قيّم المخاطر وخففها.

المفاهيم الأساسية

- يقسم هيكل تجزئة العمل المشروع إلى أجزاء قابلة للتسليم يمكن تقديرها وإسنادها.
- المسار الحرج هو أطول سلسلة من المهام المعتمدة؛ وأي تأخير عليه يؤخر المشروع.
- تقارن القيمة المكتسبة بين القيمة المخططة والقيمة المكتسبة والتكلفة الفعلية.
- CPI = EV/AC وSPI = EV/PV؛ والقيم دون 1 تعني تجاوز الميزانية أو التأخر عن الجدول.
- تُقيَّم المخاطر بالاحتمال × العاقبة وتُتابع مع مسؤولين وإجراءات تخفيف.

المعادلات الأساسية

$$CPI = EV / AC$$

CPI=EV/AC

مؤشر أداء التكلفة

$$SPI = EV / PV$$

SPI=EV/PV

مؤشر أداء الجدول الزمني

$$EAC = BAC / CPI$$

EAC=BAC/CPI

التقدير عند الإنجاز

$$R = L \times C$$

R=L× C

درجة المخاطرة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 PV = 50k$، EV = 45k$، AC = 48k$ (قيم نموذجية). ما CPI وSPI؟

1. CPI = 45/48.
2. SPI = 45/50.

الإجابة: CPI = 0.9375, SPI = 0.90.

مثال 8.2 الميزانية عند الإنجاز 100k$. ما EAC؟

1. 100/0.9375.

الإجابة: 106.7k$.

مثال 8.3 مهام متتالية تستغرق 3 و4 و5 و2 أسابيع في فصل مدته 15 أسبوعًا. الفسحة؟

1. المسار = 14 أسبوعًا.
2. 15 − 14.

الإجابة: 1 أسبوع.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. درجة المخاطرة لاحتمال 4 وعاقبة 5؟

   20 من 25.

2. ماذا يعني CPI = 1.1؟

   دون الميزانية.

3. الانحراف عند الإنجاز لـ EAC قدره 106.7k$؟

   −6.7k$.

4. ما WBS؟

   هيكل تجزئة العمل.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الإنفاق وفق الخطة يعني الالتزام بالجدول.
في الحقيقة: قارن القيمة المكتسبة لا الإنفاق.

خرافة: كل مهمة حرجة.
في الحقيقة: أطول مسار فقط هو الحرج.

خرافة: المخاطر تختفي عند إدراجها.
في الحقيقة: تحتاج إلى مسؤولين وإجراءات.

بطاقات تعليمية

WBS

هيكل تجزئة العمل.

المسار الحرج

أطول سلسلة معتمدة.

القيمة المكتسبة

قيمة العمل المنجز.

CPI

EV/AC.

SPI

EV/PV.

مصفوفة المخاطر

الاحتمال × العاقبة.

اختبار ذاتي

1. CPI...

0.9375

0.90

1.067

0.96

0.9375. EV/AC.

2. SPI...

0.90

0.9375

1.11

0.96

.0.90. EV/PV

3. EAC ...

$ 106.7k

$ 100k

$ 93.8k

$ 111k

$106.7k. BAC/CPI.

4. الفسحة ...

1 أسبوع

0 أسابيع

14 أسبوعًا

3 أسابيع

1 أسبوع. 14 – 15.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يتضمن Systems Engineering Handbook التابع لـ NASA قسمًا كاملًا عن الإدارة التقنية الشاملة، إلى جانب تصميم النظام وتحقيق المنتج.

المشاريع التي تلتزم بالميزانية والجدول تُطلق أبكر، وتبدأ بيانات رصد الأرض بالتدفق أبكر. التكاليف في هذه الوحدة قيم نموذجية.

على Saving Planets: الحلول · إلكترونيات الطيران وهندسة النظم

المصادر: NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، القسم 6.
- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.

أنهيت هذه الوحدة

النموذج الأولي والاختبار والتحقق

مصفوفات التحقق، وتخطيط الاختبارات، وإحصاء القياسات، ومقارنة النتائج بالتنبؤات، وإغلاق المتطلبات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ابنِ مصفوفة تحقق.
- احسب المتوسط والانحراف المعياري.
- قارن قياسًا بمخصص.
- أغلق متطلبًا أو امنح إعفاءً منه.

المفاهيم الأساسية

- تسرد مصفوفة التحقق كل متطلب وطريقته والاختبار أو التحليل والنتيجة.
- كرر القياسات لتقدير المتوسط والتشتت؛ وأبلغ عن كليهما.
- قارن النتائج بالتنبؤات؛ الفروق الكبيرة تكشف أخطاء النموذج مبكرًا.
- اختبر كما تطير: استخدم تهيئات وإجراءات مماثلة للطيران.
- يتبع مقرر 16.83X في MIT مراحل التصوّر والتصميم والتنفيذ والتشغيل، وينتهي بالاختبار في البيئة المقصودة.

المعادلات الأساسية

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum x_i$$

```
x=1n x_i
```

المتوسط

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

```
s=((x_i- x)^2)/(n-1)
```

الانحراف المعياري للعينة

$$\text{Margin} = \frac{A - \bar{x}}{\bar{x}}$$

```
Margin=(A- x)/( x)
```

الهامش المقاس

$$e = \frac{x_m - x_p}{x_p}$$

e=(x_m-x_p)/(x_p)

خطأ التنبؤ

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 خمسة قياسات للكتلة: 3.38 و3.42 و3.40 و3.45 و3.35 kg. المتوسط؟

1. Sum 17.00/5.

الإجابة: 3.40 kg.

مثال 9.2 الانحراف المعياري للعينة؟

1. الانحرافات −0.02 و0.02 و0 و0.05 و−0.05.
2. √(0.0058/4).

الإجابة: 0.038 kg.

مثال 9.3 الهامش مقابل المخصص 4.0 kg؟

1. (4.0 − 3.40)/3.40.

الإجابة: 17.6%؛ يُغلق المتطلب.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. المتوقع 3.30 kg، والمقاس 3.40 kg. الخطأ؟

   +3.03%.

2. لماذا نكرر القياسات؟

   لتقدير التشتت واكتشاف الأخطاء.

3. ماذا يعني «اختبر كما تطير»؟

   استخدم عتادًا وإجراءات مماثلة للطيران.

4. من يوافق على الإعفاء؟

   مجلس مراجعة المشروع أو العميل.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: قياس واحد يكفي.
في الحقيقة: أبلغ عن المتوسط والتشتت.

خرافة: الاختبارات تثبت أن التصميم مثالي.
في الحقيقة: بل تبيّن أنه يحقق المتطلبات في ظروف الاختبار.

خرافة: البيانات المتعارضة سيئة.
في الحقيقة: بل تعلّمك شيئًا عن النموذج.

بطاقات تعليمية

مصفوفة التحقق

جدول يربط المتطلب بالدليل.

المتوسط

المتوسط.

الانحراف المعياري

التشتت.

اختبر كما تطير

اختبار مماثل للطيران.

الإعفاء

استثناء معتمد.

CDIO

التصوّر، التصميم، التنفيذ، التشغيل.

اختبار ذاتي

1. المتوسط…

3.40 kg

3.38 kg

3.45 kg

17 kg

.3.40 kg. Sum/n

2. الانحراف المعياري...

0.038 kg

0.38 kg

0.0058 kg

0.1 kg

0.038 kg. صيغة العينة.

3. الهامش...

17.6%

15%

0.6%

−15%

.17.6%. (4 − 3.4)/3.4

4. خطأ التنبؤ...

+3.03%

−3.03%

+0.1%

+30%

.+3.03%. 0.1/3.3

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يصف MIT OpenCourseWare مقرر 16.83X بأنه يتبع نموذج التصوّر-التصميم-التنفيذ-التشغيل، مع مرحلة أخيرة يُختبر فيها النظام ويُهيّأ لبيئته المقصودة.

تطلق CubeSat Launch Initiative التابعة لـ NASA أقمارًا طلابية تجتاز هذا النوع من الاختبارات، فتحوّل المشاريع الختامية إلى أجهزة عاملة في المدار.

على Saving Planets: إلكترونيات الطيران وهندسة النظم · الاحتمالات والإحصاء

المصادر: MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/) · NASA: CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/kennedy/launch-services-program/cubesat-launch-initiative/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.
- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، القسم 5.

أنهيت هذه الوحدة

مراجعات التصميم والتقرير النهائي

مراجعتا التصميم الأولي والحرج، وعرض المفاضلات والميزانيات، والإجابة عن الأسئلة، وكتابة التقرير النهائي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- خطّط لمراجعة تصميم.
- اعرض الميزانيات مع هوامشها.
- تابع بنود الإجراءات الناتجة عن المراجعة.
- اكتب تقريرًا نهائيًا واضحًا.

المفاهيم الأساسية

- تبيّن مراجعة التصميم الأولي أن المفهوم يحقق المتطلبات بهامش؛ وتبيّن مراجعة التصميم الحرج أن التصميم التفصيلي جاهز للبناء.
- ابدأ بالمتطلبات، ثم التصميم، ثم الميزانيات والمخاطر وخطط الاختبار والقضايا المفتوحة.
- تنتج كل مراجعة بنود إجراءات بمسؤولين ومواعيد استحقاق.
- يروي التقرير النهائي القصة من الحاجة إلى التصميم المتحقق منه، بأرقام يمكن تتبعها إلى جدول البيانات.
- النقاش الصريح لما لم ينجح جزء من الهندسة الجيدة.

المعادلات الأساسية

$$t_{talk} = n_{slides} \times t_{slide}$$

```
t_talk=n_slides× t_slide
```

مدة العرض

$$\text{Closure} = \frac{n_{closed}}{n_{total}}$$

```
Closure=_closedn_total
```

إغلاق بنود الإجراءات

$$\text{Margin} = \frac{A - E}{E}$$

```
Margin=(A-E)/(E)
```

هامش الميزانية

$$\text{Coverage} = \frac{n_{verified}}{n_{req}}$$

```
Coverage=_verifiedn_req
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 مراجعة مدتها 20 دقيقة بمعدل 1.5 دقيقة لكل شريحة. عدد الشرائح؟

1. 20/1.5.

الإجابة: نحو 13.

مثال 10.2 تترك مراجعة 12 بندًا؛ أُغلق منها 9. نسبة الإغلاق؟

1. 9/12.

الإجابة: 75%.

مثال 10.3 تم التحقق من 30 من 32 متطلبًا. التغطية؟

1. 30/32.

الإجابة: 93.75%.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الشرائح لمراجعة مدتها 30 دقيقة بمعدل 2 min لكل شريحة؟

   15.

2. ما الذي يلي PDR؟

   CDR.

3. نسبة الإغلاق مع إغلاق 11 من 12؟

   91.7%.

4. لماذا تُعرض القضايا المفتوحة؟

   يمكن للمراجعين المساعدة، وهذا يبني الثقة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المراجعات امتحانات.

في الحقيقة: بل تساعد المشروع.

خرافة: مزيد من الشرائح أفضل.

في الحقيقة: الوضوح يتفوق على الكثرة.

خرافة: إخفاء المشكلات.

في الحقيقة: اعرضها مع خطط.

بطاقات تعليمية

PDR

مراجعة التصميم الأولي.

CDR

مراجعة التصميم الحرج.

بند إجراء

مهمة ناتجة عن مراجعة.

التقرير النهائي

القصة من الحاجة إلى التحقق.

التغطية

نسبة المتطلبات المتحقق منها.

الدروس المستفادة

ما الذي يجب فعله بشكل مختلف.

اختبار ذاتي

1. الشرائح...

≈ 13

20

30

5

≈ 13. 20/1.5.

2. الإغلاق...

75%

9%

25%

133%

.75%. 9/12

3. التغطية...

93.75%

30%

96%

6.25%

.93.75%. 30/32

4. تبيّن CDR...

تصميمًا جاهزًا للبناء

الفكرة الأولى

اكتمال الإطلاق

الميزانية فقط

تصميمًا جاهزًا للبناء. التصميم الحرج.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن Sustainable Flight National Partnership تدعم هدف مجتمع الطيران بالوصول إلى صافي انبعاثات كربونية صفري بحلول 2050.

تقول NASA إن المهمة الممددة لـ PREFIRE تنظر الآن إلى الكوكب كله؛ والمراجعات والتقارير القوية هي سبيل تصاميم الطلاب والمحترفين إلى هذا النوع من الأثر.

على Saving Planets: الحلول · رصد الأرض

المصادر: NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/) · NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.
- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

مجموعات المسائل

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

1. المهمة وأصحاب المصلحة والمتطلبات
   4 مسائل
2. توليد المفاهيم واختيارها
   4 مسائل
3. مسار الطائرة: تحجيم الوزن والمدى
   4 مسائل
4. مسار الطائرة: حمل الجناح والقدرة
   4 مسائل
5. مسار CubeSat: التحجيم والمدار
   4 مسائل
6. مسار CubeSat: ميزانيتا القدرة والوصلة
   4 مسائل
7. الفحوص الإنشائية والحرارية
   4 مسائل
8. التكلفة والجدول الزمني والمخاطر
   4 مسائل
9. النموذج الأولي والاختبار والتحقق
   4 مسائل
10. مراجعات التصميم والتقرير النهائي
    4 مسائل

المختبر (Design studio)

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

كل مختبر أداة تصميم في جدول بيانات، فلا توجد مخاطر. لا تبنِ ولا تطيّر طائرة مسيّرة حقيقية، ولا تشحن بطاريات الليثيوم، ولا تتعامل مع عتاد الإطلاق لهذا المقرر دون إشراف مؤهل والتزام بالقواعد المحلية. 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: متتبع المتطلبات والهوامش

الأسبوع 1

الهدف: ابنِ جدول المتطلبات الذي سيستخدمه مشروعك كله، مع هوامش محدّثة آنيًا.

$$\text{Margin} = (A - E)/E$$

```
Margin=(A-E)/E
```

الهامش

الإجراء

1. اذكر 20–10 متطلبًا مع رقم ووحدة وطريقة تحقق.
2. أدخل مخصص كتلة 4.0 kg (قيمة مرجعية لـ 3U) أو مخصص 5 kg للطائرة المسيّرة.
3. أدخل تقديرات 3.4 و3.6 و3.8 kg واحسب الهامش.
4. لوّن الهوامش دون 10% بالأحمر.

جدول البيانات

التقدير (kg)	الهامش
3.4	17.6%
3.6	11.1%
3.8	5.26%

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. (4.0 − 3.6)/3.6 = 11.1%.
2. (4.0 − 3.8)/3.8 = 5.26%.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

الصلة بالكوكب: أطلقت CubeSat Launch Initiative التابعة لـ NASA أكثر من 150 قمر CubeSat. NASA: CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/kennedy/launch-services-program/cubesat-launch-initiative/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر B: مصفوفة اختيار المفهوم مع الحساسية

الأسبوع 2

الهدف: قيّم مفهومين واختبر كيف تغيّر الأوزان الفائز.

$$S = \sum w_i s_i$$

S= w_is_i

الدرجة المرجحة

الإجراء

1. أدخل درجات الوحدة 2: A (6، 9، 5)، B (8، 6، 8).
2. قيّم بثلاث مجموعات أوزان.
3. ارسم الفائز مقابل وزن الأداء.
4. اكتب فقرة تدافع فيها عن اختيارك.

جدول البيانات

الأوزان (التكلفة، الأداء، المخاطر)	A	B
0.3, 0.5, 0.2	7.3	7.0
0.4, 0.3, 0.3	6.6	7.4
0.2, 0.6, 0.2	7.6	6.8

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. A = 0.2 × 6 + 0.6 × 9 + 0.2 × 5 = 7.6.
2. B = 0.2 × 8 + 0.6 × 6 + 0.2 × 8 = 6.8.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/du/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/)

الصلة بالكوكب: تعمل SFNP التابعة لـ NASA عبر المركبات والعمليات والوقود المستدام. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

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

المختبر C: حلقة تحجيم الطائرة المسيّرة

الأسبوع 4

الهدف: حجّم كتلة الإقلاع لمسار الطائرة المسيّرة لعدة كسور بطارية.

$$W_0 = W_{pay} / (1 - f_e - f_b)$$

```
W_0=W_pay/(1-f_e-f_b)
```

كتلة الإقلاع

الإجراء

1. أدخل حمولة 1 kg وكسر وزن فارغ 0.5.
2. احسب كتلة الإقلاع لكسور بطارية 0.25 و0.30 و0.35.
3. أضف مساحة الجناح من W/S = 105.84 N/m².
4. اختر نقطة تصميم وبرّرها.

جدول البيانات

كسر البطارية	كتلة الإقلاع (kg)
0.25	4.0
0.30	5.0
0.35	6.67

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 1/(1 − 0.5 − 0.25) = 4.0 kg.
2. 1/(1 − 0.5 − 0.35) = 6.67 kg.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/)

الصلة بالكوكب: تستهدف SFNP التابعة لـ NASA مكاسب في كفاءة الطاقة بنسبة 25–30%. NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/)

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

المختبر D: مدار CubeSat وكسوفه

الأسبوع 6

الهدف: احسب الدورة والكسوف في أسوأ الحالات للارتفاعات المرشحة.

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}$$

T=2π^3/μ

الدورة

الإجراء

1. أدخل الارتفاعات 400 و500 و600 km.
2. احسب T وعدد المدارات يوميًا.
3. احسب دقائق الكسوف في أسوأ الحالات.
4. اختر ارتفاعًا ودوّن المفاضلة مع العمر المحدود بالسحب.

جدول البيانات

الارتفاع (km)	T (min)	الكسوف (min)
400	92.6	36.1
500	94.6	35.8
600	96.7	35.5

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. T(600) = 2π√(6978.1³/398600.4) = 96.7 min.
2. الكسوف(400) = 0.390 × 92.6 = 36.1 min.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/)

الصلة بالكوكب: NASA: أُطلق قمرا CubeSat الخاصان بـ PREFIRE في مايو 2024. NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر E: ميزانية القدرة والبيانات

الأسبوع 7

الهدف: أغلق ميزانيتي القدرة والبيانات لـ CubeSat بهامش.

$$V = R_b t_p n_p$$

V=R_bt_pn_p

حجم البيانات اليومي

الإجراء

1. أدخل خرج الألواح 22.9 W والمتوسط المداري 14.2 W.
2. اذكر الأحمال وقارنها بالمتوسط المداري.
3. احسب البيانات يوميًا عند 9600 bit/s لـ 2 و4 و6 مرات مرور مدة كل منها عشر دقائق.
4. قارنها بالبيانات اليومية لحمولتك.

جدول البيانات

مرات المرور يوميًا	البيانات (Mbit)
2	11.52
4	23.04
6	34.56

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 2 × 600 × 9600 = 11.52 Mbit.
2. 6 × 600 × 9600 = 34.56 Mbit.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/)

الصلة بالكوكب: NASA: المركبات الفضائية الصغيرة هي الآن الوسيلة الرئيسية لكثير من الجهات للوصول إلى الفضاء. NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر F: متتبع القيمة المكتسبة

الأسبوع 10

الهدف: تابع أداء التكلفة والجدول الزمني عبر ثلاثة تواريخ حالة.

$$CPI = EV/AC,\ SPI = EV/PV$$

```
CPI=EV/AC,\ SPI=EV/PV
```

مؤشرات الأداء

الإجراء

1. أدخل PV وEV وAC لثلاثة تواريخ.
2. احسب CPI وSPI.
3. احسب EAC مع BAC = 100k$.
4. اكتب حالة من سطر واحد لكل تاريخ.

جدول البيانات

PV, EV, AC ($k)	CPI	SPI
20, 20, 22	0.909	1.00
50, 45, 48	0.9375	0.90
80, 76, 80	0.95	0.95

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. CPI = 20/22 = 0.909.
2. SPI = 76/80 = 0.95.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

الصلة بالكوكب: يغطي دليل NASA الإدارة التقنية الشاملة. NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

☐ **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 5–1)

1. هامش مخصص 4.0 kg فوق تقدير 3.6 kg؟

   1. 0.4/3.6.

   الإجابة: 11.1%.

2. كتلة الإقلاع لحمولة 2 kg، وكسر فارغ 0.45، وبطارية 0.3؟

   1. 2/0.25.

   الإجابة: 8 kg.

3. حمل الجناح لانهيار عند 14 m/s، وC_{Lmax} قدره 1.3؟

   1. ½ × 1.225 × 196 × 1.3.

   الإجابة: 156.1 N/m².

4. الدورة عند 400 km؟

   1. a = 6778.1 km.

   الإجابة: 92.6 min.

5. مدى بريغيه مع L/D = 20 بدل 17 (قيم الوحدة 3)؟

   1. 20/17 × 5235.

   الإجابة: 6159 km.

مجموعة التدريب النهائية (الوحدات 10–1)

1. ألواح 0.09 m² بكفاءة 30%؟

   1. 0.09 × 0.3 × 1361.

   الإجابة: 36.7 W.

2. بطارية لـ 10 W لمدة 36 min بعمق تفريغ 25%؟

1. 0.6/0.25 × 10.

الإجابة: 24 Wh.

3. MS عند 100 MPa، والخضوع 276 MPa، وFS قدره 1.4؟

1. 1 − 276/140.

الإجابة: 0.971.

4. EAC مع BAC قدره $200k، وEV قدره 60، وAC قدره 64؟

1. CPI = 0.9375.
2. 200/0.9375.

الإجابة: $213.3k.

5. المتوسط والانحراف المعياري للعينة 2 و4 و6؟

1. المتوسط 4.
2. √(8/2).

الإجابة: 4 و2.

6. تغطية التحقق، 45 من 50؟

1. 45/50.

الإجابة: 90%.

ورقة الصيغ

$$\text{Margin} = (A - E)/E,\ m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

$$S = \sum w_i s_i,\ N = \prod n_i$$

$$W_0 = W_{pay}/(1 - f_e - f_b),\ R = (V/c)(L/D)\ln(W_i$$

$$W/S = \tfrac{1}{2}\rho V_s^2 C_{L,max},\ P = W(V/(L/D) + RC)/\eta$$

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu},\ f_e = \sin^{-1}(R_E/a)/\pi$$

$$P = S\eta A\cos\theta,\ E = P_e t_e/DoD,\ L = 20\log_{10}(4\pi d$$

$$F = nmg,\ MS = \sigma_{allow}/(FS\,\sigma) - 1$$

$$CPI = EV/AC,\ SPI = EV/PV,\ EAC = BAC$$

$$\bar{x} = \sum x_i/n,\ s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2/(n-1)}$$

$$\text{Coverage} = n_{verified}/n_{req}$$

الثوابت

الثابت	القيمة
ثابت الجاذبية الأرضية (قيمة مرجعية)	$\mu = 398{,}600.4418\ km^3/s^2$
نصف قطر الأرض الاستوائي (قيمة مرجعية)	6378.137 km
الجاذبية المعيارية	$g = 9.80665\ m/s^2$
الثابت الشمسي (قيمة مرجعية)	$1361\ W/m^2$
كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر (قيمة مرجعية)	$1.225\ kg/m^3$
سرعة الضوء	$c = 299792458\ m/s$ (قيمة دقيقة)

المصدر: NIST: CODATA value, speed of light in vacuum (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c)

نصوص وموارد مجانية

استخدم هذه الأدلة والمحاضرات وصفحات المهمات المجانية إلى جانب المقرر.

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.
- MIT OpenCourseWare 16.83X Space Systems Engineering (Spring 2002 – Spring 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-83x-space-systems-engineering-spring-2002-spring-2003/): مواد مجانية للمشروع الختامي من MIT.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): تقرير NASA المجاني عن المركبات الفضائية الصغيرة.
- NASA: CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/kennedy/launch-services-program/cubesat-launch-initiative/): فرص الإطلاق لدى NASA.
- NASA Science: PREFIRE (Polar Radiant Energy in the Far-InfraRed Experiment) (https://science.nasa.gov/mission/prefire/): مهمة CubeSat لدى NASA.
- NASA Aeronautics: Sustainable Flight National Partnership (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-flight-national-partnership/): الطيران المستدام لدى NASA.

مسرد المصطلحات

بند إجراء
مهمة مسندة في مراجعة.

المخصص
حصة مدرجة في الميزانية من مورد.

معادلة بريغيه
معادلة مدى الطائرة.

CDR
مراجعة التصميم الحرج.

CPI
مؤشر أداء التكلفة.

مخطط القيود
المتطلبات مرسومة مقابل حمل الجناح.

المسار الحرج
أطول سلسلة من المهام المعتمدة.

CubeSat
قمر صناعي صغير مبني بوحدات 10 cm.

عمق التفريغ
نسبة سعة البطارية المستخدمة.

القيمة المكتسبة
القيمة المدرجة في الميزانية للعمل المنجز.

كسر الكسوف
نسبة المدار الواقعة في الظل.

هامش الأمان
المسموح على المطلوب ناقص واحد.

المخطط المورفولوجي
خيارات لكل وظيفة.

PDR
مراجعة التصميم الأولي.

مصفوفة Pugh
مقارنة بمفهوم مرجعي.

المتطلب
عبارة قابلة للتحقق عن حاجة.

SPI
مؤشر أداء الجدول الزمني.

مصفوفة التحقق
جدول يربط المتطلب بالدليل.

حمل الجناح
الوزن لكل مساحة جناح.

هيكل تجزئة العمل
مشروع مقسم إلى مخرجات.

معايير التقييم الذاتي

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

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يقدم تصميمًا يربط كل رقم بمتطلب، ويغلق جميع الميزانيات بهامش، ويتحقق من المتطلبات بالأدلة، ويعرض المفاضلات والمخاطر والدروس بوضوح.
3 · متمكن	يغلق معظم الميزانيات بهامش ويقدم تصميمًا واضحًا مع ثغرات طفيفة.
2 · قيد التطور	لديه مفهوم وبعض الميزانيات لكن تتبع المتطلبات ضعيف أو الهوامش مفقودة.
1 · مبتدئ	يقدم تصميمًا بلا متطلبات أو ميزانيات أو تحقق؛ 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

- إلكترونيات الطيران وهندسة النظم AERO 450
- الطيران المستدام AERO 470
- الدفع AERO 410
- كل الدورات