

خطة إنتاج «مرشد الهجدة» (الفئة ب)

من قائمة المواد إلى أول روبوت يمشي ويتكلم: ماذا نشتري وماذا نطبع، وكم يكلف، وكم يستغرق، وكيف نختبره — ثم دفعة صغيرة من 5 وحدات.

مركز أبحاث الهجدة · روبوت الهجدة (HUM-001) · <https://lab.alhajda.com/research/humanoid/production> · 2026-10-29

الخلاصة

- نبني «مرشد الهجدة» على تصميم Berkeley Humanoid Lite المفتوح (CC-BY-SA، يسمح بالتصنيع التجاري): 22 مشغلاً بعلب تروس دائرية مطبوعة، قابضان، حاسوب، بطارية^{6,7}.
- قائمة المواد الرسمية للروبوت الأساسي 4,350.59 دولارًا بروابط شراء من Amazon وDigikey⁶؛ مع إضافات المرشد تصبح الوحدة 5,540 دولارًا، و6,647 دولارًا $\approx$ 24,930 ريال مع احتياط 20%.
- دفعة صغيرة من 5 وحدات مع طابعتين وعدة ومنصة اختبار وقطع غيار 10% واحتياط 15%: نحو 37,059 دولارًا، أي $\approx$ 7,412 دولارًا (27,800 ريال) للوحدة. لا نفترض خصم كميات لأننا لم نجد مصدرًا له.
- أول نموذج: 10 أسابيع عمل تقريبًا من وصول القطع. القرار والشراء لإلياس، والشراء مربوط بمعلم المحاكاة (يناير 2027).
- تحديث عن المرحلة 1: استبدلنا الرقم المجمع (4,300 \$) بالجدول الرسمي (4,350.59 \$) وأضفنا زر إيقاف طارئ؛ الفرق نحو 90 دولارًا للوحدة.

1. قائمة المواد الكاملة (الفئة ب — مرشد الهجدة)

الأسعار أمريكية كما في جدول Berkeley الرسمي، مع روابط شراء لكل قطعة في الجدول نفسه⁶. «طباعة + تجميع» = نصنعه نحن من قطع مشتراة وأجزاء مطبوعة؛ «شراء» = قطعة جاهزة.

البند	الكمية	سعر الوحدة \$	الإجمالي \$	طباعة أم شراء / المصدر
حاسوب صغير (Mini PC) للتحكم منخفض المستوى	1	129.00	129.00	(شراء)
بطارية LiPo 6S	1	70.20	70.20	(شراء)
محَوِّل USB-CAN	4	16.99	67.96	(شراء)
موزَع USB	2	17.99	35.98	(شراء)
حساس IMU BNO085	1	12.76	12.76	(شراء)
مقاطع ألومنيوم 250/200/150/100 مم (11 قطعة)	1	39.25	39.25	(شراء)
زوايا ألومنيوم داخلية	24	0.65	15.60	(شراء)
منظم 12→24 فولت	1	16.99	16.99	(شراء)
منظم 12→5 فولت	1	4.49	4.49	(شراء)
مراقب جهد	1	14.99	14.99	(شراء)
مراقب تيار	1	20.98	20.98	(شراء)

البند	الكمية	سعر الوحدة \$	الإجمالي \$	طباعة أم شراء / المصدر
قاطع دائرة	1	19.99	19.99	(شراء)
براغ متنوعة	1	40.00	40.00	(شراء)
كوابل وموصلات	1	50.00	50.00	(شراء)
مشغلات M6C12 للساقين	8	188.69	1,509.52	(طباعة + تجميع)
مشغلات 5010 للساقين	4	136.36	545.44	(طباعة + تجميع)
خيط طباعة هيكل الساقين	1	100.00	100.00	(طباعة + تجميع)
محامل 2RS-6803 لوصلات الساقين	6	2.87	17.22	(شراء)
مشغلات M6C12 للذراعين	2	188.69	377.38	(طباعة + تجميع)
مشغلات 5010 للذراعين	8	136.36	1,090.88	(طباعة + تجميع)
قابضان بمحرك سيرفو (BigClaw)	2	35.99	71.98	(شراء)
خيط طباعة هيكل الذراعين	1	100.00	100.00	(طباعة + تجميع)
المجموع (الجدول الرسمي: \$ 4,350.59)			4,350.61	6
حاسوب Jetson Orin NX 16GB (رؤية + صوت محليًا)	1	955.00	955.00	12
رأس المرشد: كاميرتان + مكبر صوت ومضخمه	1	113.96	113.96	12
مصفوفة ميكروفونات للقاءات	1	80.00	80.00	(تقدير)
زر إيقاف طارئ سلكي + لاسلكي	1	40.00	40.00	(تقدير)
وحدة «مرشد الهجدة» قبل الاحتياط			5,539.55	20,770 ر.س
مع احتياط 20% (قبل الشحن والجمارك والضريبة)			6,647	24,930 ر.س

تفصيل مشغل M6C12 (10 في الروبوت)

القطعة	الكمية	\$
محمل MR106-2RS	13	11.31
محمل 2RS-6701	2	1.88
محمل 6811ZZ	2	10.00
براغي M3×55	8	2.08
براغي M3×30	6	1.14
حشوات M2 حرارية	4	0.28
حشوات M3 حرارية	24	1.92
عمود سداسي M4×15	1	0.69
محرك MAD M6C12 150KV	1	129.00
خيط PLA (كجم)	0.12	3.12
متحكم محرك B-G431B-ESC1	1	18.97
مشفر AS5600	1	3.30
كوابل وموصلات	1	5.00

القطعة	الكمية	\$
الإجمالي (كما في الجدول الرسمي)		188.69

تفصيل مشغل 5010 (12 في الروبوت)

القطعة	الكمية	\$
محمل MR106-2RS	13	11.31
محمل 2RS-6701	2	1.88
محمل 6809ZZ	2	4.52
براغي M3×55	4	1.04
براغي M3×25	6	1.14
حشوات M2 حرارية	4	0.28
حشوات M3 حرارية	24	1.92
عمود سداسي M4×12	1	0.40
محرك MAD 5010 110KV	1	84.00
خيوط PLA (كجم)	0.1	2.60
متحكم محرك B-G431B-ESC1	1	18.97
مشقّر AS5600	1	3.30
كوابل وموصلات	1	5.00
الإجمالي (كما في الجدول الرسمي)		136.36

2. ماذا نطبع وماذا نشتري؟

نطبعه نحن (PLA عادي)

- علب المشغلات وأعمدة الخرج وأغلفة المحركات (ملف «Actuator Housing»), والأقراص الدائرية وأعمدة الدخل والمحركات والفواصل (ملف «Actuator Shaft») — بدقة عالية⁹.
- أجزاء الهيكل في الذراعين والساقين — تُطبع مرتين بوضع المِرآة للجِهَتَين، وبسرعة أعلى لأنها لا تحتاج دقة المشغلات⁹.
- رأس المرشد وغطاؤه (تصميمنا).
- الخيط: نحو 0.1–0.12 كجم لكل مشغل و\$ 100 خيط لكل من الساقين والذراعين في الجدول⁶.

نشتريه جاهزاً

- المحركات بلا فرش (MAD M6C12 وMAD 5010) ومتحكمات B-G431B-ESC1 ومشقّرات AS5600 والمحامل والحشوات الحرارية والبراغي⁶.
- الإلكترونيات: الحاسوب، محولات IMU، USB-CAN، المنظمات، القاطع، مراقبات الجهد والتيار، البطارية⁶.
- مقاطع الألمنيوم والزوايا والقابضان⁶، وJetson والكاميرات للمرشد¹².

- أي طابعة مكتبية بمساحة 200×200×200 مم على الأقل؛ جُزِبَ الفريق الأصلي Bambu X1C وCrealty Ender-3 V3 SE، ويلزم كاوية لحام وحامل حشوات حرارية ومسدس غراء ومفاتيح سداسية⁸.
- نقترح طابعة Bambu Lab P1S (256 مم، \$ 579 بالسعر المعتاد)¹¹؛ طابعة واحدة تكفي النموذج الأول، وطابتان للدفعة.
- زمن الطباعة غير منشور في المصادر؛ (تقديراً) 120–200 ساعة طابعة للروبوت الواحد (نحو 10 كجم خيط). نقيسه فعلياً مع أول مشغل.

3. مراحل التجميع

1. الاستلام والفحص: مطابقة كل صف مع الجدول، وفحص المحركات والمتحكمات كهربائياً قبل التجميع.
 2. برمجة المتحكمات: تحميل برنامج المتحكم على B-G431B-ESC1 ومعايرة المشقّر لكل محرك (دليل «Flashing the Motor Controllers»)⁵.
 3. مشغل أول على منصة اختبار: نبني مشغلاً واحداً ونختبره قبل الإنتاج الكمي (انظر خطة الاختبار).
 4. إنتاج 22 مشغلاً على دفعات، مع ترقيم كل مشغل وتسجيل نتائج اختبار.
 5. الساقان والحوض: تركيب المشغلات والوصلات والمحامل، ثم ربط ناقل CAN وخريطة أرقام المفاصل⁵.
 6. الجذع والذراعان والقباضان، ثم لوحة الطاقة (القاطع، المنظمات، المراقبات) والبطارية.
 7. رأس المرشد: Jetson والكاميرات والميكروفونات والسماعة وزر الإيقاف الطارئ.
 8. التشغيل البرمجي: الحاسوب الصغير، ونقل سياسة المشي من المحاكاة بعد التحقق «من محاكٍ إلى محاكٍ»⁵، ثم محسن على الجهاز.
- Berkeley يذكر أن المبتدئ يبني الروبوت في نحو أسبوع¹⁰؛ نخطط لوقت أطول لأننا نبني أول مرة ونضيف رأس المرشد. وتحذير الفريق الأصلي صريح: التصميم يتضمن إلكترونيات طاقة عالية، فالعمل بحذر شديد⁵.

4. الجدول الزمني للنموذج الأول

الأسبوع	العمل	المخرج
0	موافقة إلباس، طلب القطع، شراء الطابعة	طلبات مؤكدة (الشحن للمملكة (تقدير) 2-4 أسابيع)
1-3	طباعة أجزاء المشغلات، بناء منصة الاختبار، أول مشغل	مشغل واحد اجتاز اختبار المنصة
3-5	إنتاج واختبار 22 مشغلاً	22 مشغلاً مرقماً بسجل اختبار
6	الساقان والحوض + CAN	ساقان تتحركان بأوامر
7	الجذع والذراعان والطاقة والرأس	روبوت كامل يقف معلقاً بحبل أمان
8-9	نقل سياسة المشي، ضبط	يقف وحده ثم يمشي بحبل أمان
10	محسن على الجهاز، إيماءات، اختبار المعلم	يمشي 10 أمتار ويجيب 20 سؤالاً عربياً

5. خطة الاختبار

المستوى	الاختبار	معياري القبول (مقترح)
المشغل	العزم والتيار، الارتداد (backlash)، الحرارة بعد 30 دقيقة، دورات تحمل	لا يتجاوز 70°م، لا تشقق بعد 10,000 دورة، ثبات الاستجابة
الكهرباء	القاطع، المنظمات، مراقبة الجهد، زر الإيقاف الطارئ	الإيقاف يقطع عزم كل المحركات في أقل من 100 مللي ثانية
الاتصال	ناقل CAN لكل المفاصل بتردد التحكم، خريطة أرقام المفاصل	صفر رسائل مفقودة في 10 دقائق

المستوى	الاختبار	معيّار القبول (مقترح)
المحاكاة	«من محاكٍ إلى محاكٍ» قبل الواقع ⁵	السياسة تمشي في محاكيين مختلفين
الحركة	وقوف ساعة، دفعة خفيفة، مشي 10 م، سقوط بحبل أمان	لا سقوط في الوقوف، استعادة توازن من دفعة خفيفة
البطارية	زمن التشغيل في وقوف + كلام	ساعة على الأقل (يُقاس)
المرشد	20 سؤالاً عربيًا من قاعدة معرفة المكان، الإشارة للاتجاه	18 من 20 صحيحة، ويقول «لا أعرف» عند الجهل
البيئة	تشغيل داخلي في حرارة صالات المملكة	لا توقف حراري في ساعتين

المعايير مقترحة منا ويقرّها John بعد أول قياسات؛ لا يوجد معيار منشور خاص بالروبوتات البشرية بعد²².

6. دفعة صغيرة: 5 وحدات

البند	\$	المصدر
مواد 5 وحدات (\$ 5,540 للوحدة)	27,698	12,6
قطع غيار 10% (مشغلات ومحامل ومتحكمات)	2,770	تقدير
طابعتان Bambu Lab P1S (السعر المعتاد \$579)	1,158	11
عدّة: كاوية + حامل حشوات حرارية + مفاتيح سداسية + مسدس غراء	150	تقدير
منصة اختبار مشغل (حامل + مزود طاقة + خلية حمل بسيطة)	250	تقدير
حبل أمان وإطار تعليق للتجارب	200	تقدير
المجموع قبل الاحتياط	32,226	
مع احتياط 15% (قبل الشحن والجمارك والضريبة)	37,059	138,970 ر.س
تكلفة الوحدة في الدفعة	7,412	27,800 ر.س

- الطباعة هي عنق الزجاجة: بطابعتين و(تقدير) 120–200 ساعة طباعة للروبوت، تحتاج الدفعة نحو 300–500 ساعة لكل طباعة (4–6 أسابيع بتشغيل 12–16 ساعة يوميًا).
- التجميع: بعد خبرة الوحدة الأولى نتوقع 3–5 أيام عمل للوحدة الواحدة (تقدير)، والعمل البشري غير محسوب في التكلفة أعلاه.
- لماذا 5؟ وحدة للمختبر، وثلاث لتجارب ميدانية متوازية (جامعة، معرض، صالة خدمة)، ووحدة احتياط.
- الترخيص: CC-BY-SA يسمح بالبيع مع نسب التصميم لـ Berkeley ونشر تعديلاتنا على العتاد بنفس الرخصة.

7. المخاطر وكيف نتعامل معها

- متانة التروس المطبوعة: الفريق الأصلي أجرى اختبارات تحمل واسعة⁷، لكننا نختبر بأنفسنا ونحتفظ بمشغلات احتياط.
- الشحن والجمارك والضريبة غير محسوبة؛ قد ترفع التكلفة بشكل ملحوظ — نطلب عروضًا محلية قبل الشراء.
- توفر المحركات: محركات MAD من مورد واحد؛ نبحث عن بديل بنفس المقاسات قبل الدفعة.
- الحرارة: PLA يلين قرب 60°م؛ نختبر داخليًا فقط ونفكر في PETG أو PLA-CF للأجزاء القريبة من المحركات (اختبار مطلوب).
- السلامة الكهربائية: بطارية LiPo وتيارات عالية؛ قاطع وإيقاف طارئ وشحن تحت إشراف دائمًا⁵.

المصادر

1. Berkeley Humanoid Lite Docs — locomotion and teleoperated manipulation, lerobot :UC Berkeley Hybrid Robotics integration — <https://berkeley-humanoid-lite.gitbook.io/docs> (2026-10-29)

- Berkeley Humanoid Lite BOM (Google Sheet: actuators \$188.69 / \$136.36, robot total :UC Berkeley Hybrid Robotics .2
\$4,350.59, Amazon/Digikey links) — https://docs.google.com/spreadsheets/d/1AQEHcH_nPkXYfor2-h7bwNIUMmsePtAm53epnsWgZXc/edit?usp=sharing (2026-10-29)
- Demonstrating Berkeley Humanoid Lite (arXiv:2504.17249) — under \$5,000, cycloidal 3D- :RSS 2025) و آخرون Chi .3
printed gearboxes, zero-shot sim-to-real — <https://arxiv.org/abs/2504.17249> (2025-04-24)
- Preparing the Tools — desktop printer $\geq 200 \times 200 \times 200$ mm, soldering iron, heat-insert :UC Berkeley Hybrid Robotics .4
stand, hex set — <https://berkeley-humanoid-lite.gitbook.io/docs/getting-started-with-hardware/preparing-the-tools>
(2026-10-29)
- 3D Printing Instructions — actuator housing/shaft profiles, mirrored limb parts — :UC Berkeley Hybrid Robotics .5
<https://berkeley-humanoid-lite.gitbook.io/docs/getting-started-with-hardware/3d-printing-instructions> (2026-10-29)
- Building bots on a budget (about a week to build for a beginner) — [https://](https://engineering.berkeley.edu/news/2025/11/building-bots-on-a-budget) :Berkeley Engineering .6
engineering.berkeley.edu/news/2025/11/building-bots-on-a-budget (2025-11-03)
- Bambu Lab P1S — \$579 typical price (\$509 on sale), 256×256×256 mm — [https://](https://us.store.bambulab.com/products/p1s) (المتجر الأمريكي) Bambu Lab .7
us.store.bambulab.com/products/p1s (2026-10-29)
- ToddlerBot BOM — Jetson Orin NX 16GB \$955, cameras, speaker — <https://motari.io/r/toddlerbot> (2026-10-01) :Motari .8
- ISO/CD 25785-1 — Safety for dynamically stable industrial mobile robots (draft) — [https://www.iso.org/standard/](https://www.iso.org/standard/91469.html) :ISO .9
[91469.html](https://www.iso.org/standard/91469.html) (2026-07-08)