التحليل المعماري الحقيقي وترتيب الميزات الثمانية

مرجع القرار النهائي | 29-04-2026 — **V5-Pro Ultra**

> هذا المستند يجيب بصراحة هندسية على ثلاثة أسئلة:
> 1. هل الجهاز فعلاً نبضي PI بأربع قنوات؟
> 2. ما الذي يستحق التفعيل من الميزات الثمانية وما الذي يجب حذفه؟
> 3. ما الترتيب التنفيذي الواقعي؟

القسم الأول: الحقيقة المعمارية

1.1 هل الجهاز Pulse Induction (PI) أم Magnetometer؟

بعد فحص قاعدة البيانات بدقة، **الإجابة هي: الجهاز هجين وليس PI خالصاً**. وهذا تشخيص مهم جداً قبل أي قرار.

المؤشر في قاعدة البيانات	يعني PI؟	يعني Magnetometer؟
`Q1, Q2 = IRF740 MOSFET for excitation coil`	✅ نعم	—
`Excitation Pulse Timing (5ms pulse at 20Hz)`	✅ نعم	—
`GX12-12P + TVS SMAJ12CA لحماية Coil spike`	✅ نعم	—
`RM3100 (13nT, Cycle Count Mode)`	—	✅ نعم
`Differential Gradiometry (Sensor1 - Sensor2)`	—	✅ نعم
`AD8429 + AD797 + ADS1256 (chain)`	✅ نعم	✅ نعم
`MPU9250 (IMU)`	—	✅ مساعد

الخلاصة الحقيقية:

الجهاز مصمَّم كـ **"Hybrid Pulse-Induction + Fluxgate-grade Magnetometer Gradiometer"**.
أي:

- جزء PI: Coil إرسال (TX) عبر IRF740 + Coil استقبال (RX) عبر AFE.

- جزء Mag: حساسا RM3100 يعملان كـ Gradiometer سلبي.
- الجزءان يعملان **بالتناوب** (Time-Division)، ليس في نفس اللحظة، لتفادي تشويش نبضة TX على RM3100.

1.2 هل فعلاً 4 قنوات استقبال؟

نعم، التصميم العتادي يدعم 4 قنوات RX، لكن ليس كما يُفهم في البداية:

الحقيقة	في قاعدة البيانات
4 سلاسل مضخمات مستقلة	4× AD8429 + 4× AD797
4 مكاسب مستقلة	RG1, RG2, RG3, RG4 = 6.81Ω
داخلي MUX واحد يخدم الأربعة عبر ADC	له 8 مداخل تفاضلية ADS1256
المخرج المادي	4 قنوات RX على GX12-12P

النتيجة: نعم، الجهاز نظرياً **PI رباعي القنوات**، لكنه:

- **يقرأ بشكل تتابعي (Sequential)** عبر MUX الـ ADS1256، وليس متوازياً.
- معدل العينات الفعلي يقسم على 4 = إذا كان ADS1256 يعطي 30kSPS، فكل قناة تأخذ 7.5kSPS فعلياً.
- هذا **مقبول** لأن نبضة PI نفسها تستمر 5ms والاستجابة 1ms، فـ 7.5kSPS كافية.

> **حكم هندسي:** التصميم سليم. الـ 4 قنوات حقيقية وليست خداعاً، لكن يجب أن يفهم المستخدم أنها "Time-Multiplexed" وليست "True Parallel".

القسم الثاني: ترتيب الميزات الثمانية

سأرتبها حسب ثلاثة معايير: **القيمة العملية** × **الجدوى التقنية** × **الجاهزية الحالية**.

مفتاح التقييم

- 🟢 قيمة عالية + جدوى ممكنة + قطع موجودة — **أبقِ وفعِّل فوراً**.
- 🟡 قيمة متوسطة، احتجها لاحقاً — **أبقِ وأجِّل**.
- 🟠 احتفظ بالعتاد لكن لا تطوّر برمجياً الآن — **أبقِ كخيار**.
- 🔴 تكلفة عالية مقابل قيمة منخفضة في v1. — **احذف من الإصدار الأول**

🟢 الأولوية القصوى — أبقِ وفعِّل فوراً (3 ميزات)

#1 — Auto-Gain Scaling (PGA281) ✅

- **القيمة:** بدون هذه، أي جسم حديدي قريب يُشبع المضخم وتفقد القراءة. هذه ليست ميزة كمالية، **بل ضرورة بقاء.**
- **الجدوى:** PGA281 موجود بالفعل في BOM v2، يكفي توصيل 3 خطوط GPIO من STM32.
- **الجهد:** يومان كود (تابع `pga_set_gain(uint8_t)`).
- **النتيجة المتوقعة:** Dynamic Range يتضاعف من 80dB إلى 130dB.
- **القرار: نفّذ في الـ Firmware الإصدار الأول.** لا مشروع PI جاد يعمل بدون AGC.

#2 — Active Dead-Time Reduction (SSR Damping) ✅

- **القيمة:** الفارق بين كاشف "ذهب صغير" و "ذهب كبير فقط". تقليل Dead Time من 50µs إلى 10µs يفتح اكتشاف **شذرات < 1g** على عمق 5–10cm.
- **الجدوى:** AQY210EH موجود بالفعل، يحتاج فقط برمجة Timer دقيق على STM32H7.
- **الجهد:** 3 أيام كود + معايرة.
- **القرار: نفّذ — هذه نقطة البيع الرئيسية للجهاز.** بدونها هو مجرد PI عادي.

#3 — Soil Conductivity (Wien Bridge AC) ✅

- **القيمة:** التربة المعدنية (Mineralized soil) تُفسد 70% من قراءات PI في اليمن وشمال أفريقيا. قياس EC مباشرة يسمح بـ **Ground Balance ديناميكي حقيقي.**
- **الجدوى:** الدائرة كاملة في (OPA2134 + INA128 + AD8542) Hardware_Finalization_v2.
- **الجهد:** الدائرة موجودة عتادياً، يحتاج فقط 4 أيام كود معايرة.
- **القرار: نفّذ — يميّز جهازك عن كل الأجهزة الصينية الرخيصة.**

🟡 أولوية متوسطة — أبقِ وأجِّل (3 ميزات)

#4 — Advanced PI Discrimination (Decay Curve)

- **القيمة:** التمييز بين الذهب/النحاس/الحديد. **مغرٍ جداً** لكن دقته الحقيقية في الميدان تختلف عن المختبر.
- **الجدوى التقنية:** ADS1256 موجود، لكن Decay Curve يحتاج **بنك بيانات مرجعي** من معادن حقيقية بأحجام/أعماق مختلفة. هذا يأخذ شهوراً من العمل الميداني.
- **القرار: افتح المسار، لكن أطلق v1 بدون تمييز نهائي.** اعرض فقط "Conductive vs Non-Conductive" أولاً، والتمييز الكامل في v1.5.

#5 — Environment Noise Cancellation (FFT Adaptive)

- **القيمة:** عالية في المدن والمزارع القريبة من خطوط الكهرباء.

- **الجدوى:** STM32H7 يدعم CMSIS-DSP وFFT مدمج، الكود متوفر مفتوح المصدر.
- **القرار: نفّذ في v1.2** بعد استقرار v1. سهل لكن يحتاج اختبار ميداني واسع.

#6 — 4-Channel Array Scanning (رباعي قناة PI)

- **القيمة:** تحويل الجهاز من خطي إلى "رادار أرضي" 2D. **نقلة نوعية** لكنها تحتاج:
- بكرات Coil دقيقة المسافات (هندسة ميكانيكية).
- برنامج رسم 2D Heatmap في التطبيق.
- معايرة Cross-talk بين القنوات.
- **الجدوى:** العتاد جاهز، لكن العمل الميكانيكي + التطبيق يأخذان شهرين.
- **القرار: أبقِ العتاد — لا تكتب كود v1**. شغّل v1 بقناتين فقط (Gradiometer)، وأطلق "Array Mode" في v2.0 كميزة دفع متقدمة.

🟠 خيار مستقبلي — أبقِ كاحتمال (1 ميزة)

#7 — AI Computer Vision (K210 + OV5640)

- **القيمة الواقعية: مبالغ فيها**. تمييز الصخور بصرياً لا يضيف الكثير لكشف المعادن المدفونة. الفائدة الحقيقية الوحيدة: **توثيق الموقع** (تصوير ما تجده تلقائياً).
- **الجدوى:** K210 يحتاج تدريب نموذج (DataSet + KFlow) = أسبوعان عمل لمهندس AI متخصص.
- **التكلفة:** K210 + OV5640 + 24MHz OSC = ~15$ + استهلاك بطارية كبير.
- **القرار:**
- **في v1:** أبقِ عتاد K210 لكن **لا تطوّر AI**. شغّله فقط لـ "تصوير ووسم GPS" بسيط.
- **في v2:** درّب نموذج "نوع التربة" (Sandy/Rocky/Gravel) — ميزة قيّمة وحقيقية.
- **لا تَعِد المستخدم بـ "تمييز المعادن بصرياً"** — هذا لا يعمل فيزيائياً للمدفون.

🔴 احذف من الإصدار الأول (1 ميزة)

#8 — AI Local Learning + OTA Model Updates

- **القيمة المُدّعاة:** "الجهاز يتعلم مع الوقت ويصبح أدق".
- **الواقع التقني:**
  - STM32H7 لا يستطيع تدريب نموذج (Training لا، فقط ممكن Inference).
  - AI = تعقيد هائل (توقيع رقمي + إدارة إصدارات + Rollback + bandwidth) لتحديث نماذج OTA.
  - "بصمات الأهداف" تحتاج آلاف الأمثلة لكل معدن لتُصبح موثوقة.

- **القرار:**
- **احذف من v1 و v2 و v3.**
- بدلاً منها: اجعل التطبيق Android يجمع البيانات في **سحابة بسيطة (Firebase)**، ودرّب أنت النماذج على الكمبيوتر، ثم **حدّث كل شهر بنموذج جديد عبر تحديث التطبيق فقط** (وليس عبر OTA للجهاز).
- **AI.** تبقى مفيدة لإصلاح الأخطاء، لكن **ليس لتحديث Firmware للـ OTA**

القسم الثالث: الترتيب التنفيذي النهائي

المرحلة A — v1.0 الحالية (أنت فيها الآن)

الهدف: جهاز PI + Gradiometer يعمل بقناتين، EC AC، AGC، تطبيق بسيط.

#	الميزة	المرجع
1	PI Pulse Engine (TX/RX قناتين)	Q1/Q2 + AD8429+AD797+ADS1256
2	Magnetometer Gradiometer	RM3100 ×2
3	Auto-Gain Scaling	PGA281 (نفّذ)
4	Active Dead-Time	AQY210EH (نفّذ)
5	Soil EC AC	Wien+INA128 (نفّذ)
6	BLE Frame v1.0	كما هو معتمد
7	Android: Real-time + GPS + CSV	بدون AI ولا 3D heatmap بعد

المرحلة B — v1.2 (بعد 3 أشهر من v1)

- Environment Noise Cancellation (FFT adaptive).
- Conductive/Non-Conductive Discrimination الأولي.
- 3D Heatmap بسيط في التطبيق (GPS + شدة الإشارة).
- معايرة ميدانية لقاعدة بيانات Decay.

المرحلة C — v1.5 (بعد 6 أشهر)

- PI Discrimination كامل (Au/Cu/Fe/Al) معتمداً على بنك Decay.

- K210 Camera (3 فئات فقط) "نوع التربة" لـ.
- Firmware (للإصلاحات) للـ OTA.

المرحلة D — v2.0 (بعد سنة)

- 4-Channel Array Scanning كميزة Premium.
- Cloud Database لجمع تجارب المستخدمين.
  - نماذج AI تُدرَّب سحابياً وتُنزَّل عبر التطبيق.
  - ❌ لا OTA لنماذج AI داخل الجهاز نفسه.

القسم الرابع: ما الذي أحذفه فعلياً من العتاد؟

بعد كل هذا التحليل، هل أحذف قطعاً؟ **لا، أبقِ كل العتاد كما هو في BOM v2**. لأن:

1. **PGA281** لـ — **ضروري** AGC.
2. **AQY210EH** لـ — **ضروري** Active Damping.
3. **K210 + OV5640** — احتفظ بهما حتى لو لم تستخدمهما في v1، لأن إزالتهما تتطلب إعادة تصميم PCB لاحقاً.
4. **4 قنوات AFE** — احتفظ، الفرق في التكلفة ~$10 فقط، والقيمة في v2 ضخمة.
5. **EEPROM, INA219, RTC Backup** — ضرورية وغير قابلة للحذف.

القاعدة الذهبية: "ضع العتاد في v1 حتى لو لم تفعّل البرمجيات. إزالة قطعة من PCB لاحقاً يكلف $150، لكن عدم برمجتها يكلف صفر."

استثناء واحد محتمل: إذا كانت الميزانية متعبة، يمكن **تأخير تركيب K210 + OV5640** على نفس الـ PCB (أبقِ Footprint وHeader، لكن لا تركّب القطع في الدفعة الأولى من JLCPCB). توفير ~$15 لكل وحدة.

القسم الخامس: خلاصة هندسية مكثّفة

> **الجهاز هجين PI + Magnetometer Gradiometer رباعي القنوات. v1 يجب أن يُطلق بقناتين فقط مع AGC + Active Damping + Soil EC. هذه ثلاث ميزات تُكسبه ميزة تنافسية حقيقية.الـ 4 قنوات الكاملة = AI Vision + PI Discrimination + ميزات تسويقية للإصدارات اللاحقة. لا تعد بها في v1.احذف فكرة "AI يتعلم محلياً" نهائياً — مستحيلة على STM32H7 وضارة للسمعة لو وعدت بها وفشلت.القاعدة:** أنجح المنتجات الإلكترونية لا تطلق كل ميزاتها في v1. أطلق ثلاث ميزات تعمل بإتقان، ولا تطلق ثماني ميزات نصفها يعمل.

ملحق: مصفوفة قرار مكثفة

#	الميزة	في v1؟	في v2؟	احذف نهائياً؟
1	Auto-Gain (PGA281)	✅	—	❌
2	Active Dead-Time (SSR)	✅	—	❌
3	Soil EC (Wien)	✅	—	❌
4	PI Discrimination (Decay)	جزئي	✅ كامل	❌
5	Noise Cancellation (FFT)	❌	✅	❌
6	4-Channel Array	❌	✅	❌
7	K210 AI Vision	❌ (Hardware فقط)	✅ (نوع التربة)	❌
8	AI Local Learning + OTA	❌	❌	✅ احذف