

تخطيط تغطية الراديو ثنائي الاتجاه: مسح الموقع وميزانية وصلة بسيطة

هل ستصل أجهزة الراديو؟ هذا أول سؤال في كل موقع، ويمكن الإجابة عنه قبل أن تشتري أي شيء. تجمع ميزانية الوصلة المكاسب والخسائر بين جهاز وآخر وتُظهر ما تبقى من الإشارة. ثم يختبر مسح الموقع الشيء الوحيد الذي لا تستطيع الميزانية التنبؤ به: ماذا تفعل الجدران والفولاذ والتضاريس فعلاً.

يوضح هذا الدليل كيف تبني ميزانية وصلة بسيطة مع مثال محلول، وكيف تسمح الموقع بأجهزة حقيقية.

الخلاصة: القدرة والهوائي والكابل أرقام تتحكم بها ويمكنك حسابها. أما العوائق فهي المجهول. تخبرك ميزانية الوصلة بمقدار الفقد الناتج عن الجدران والتضاريس الذي تتحمله منظومتك، ويخبرك مسح الموقع بمقدار الفقد الموجود فعلاً في الموقع.

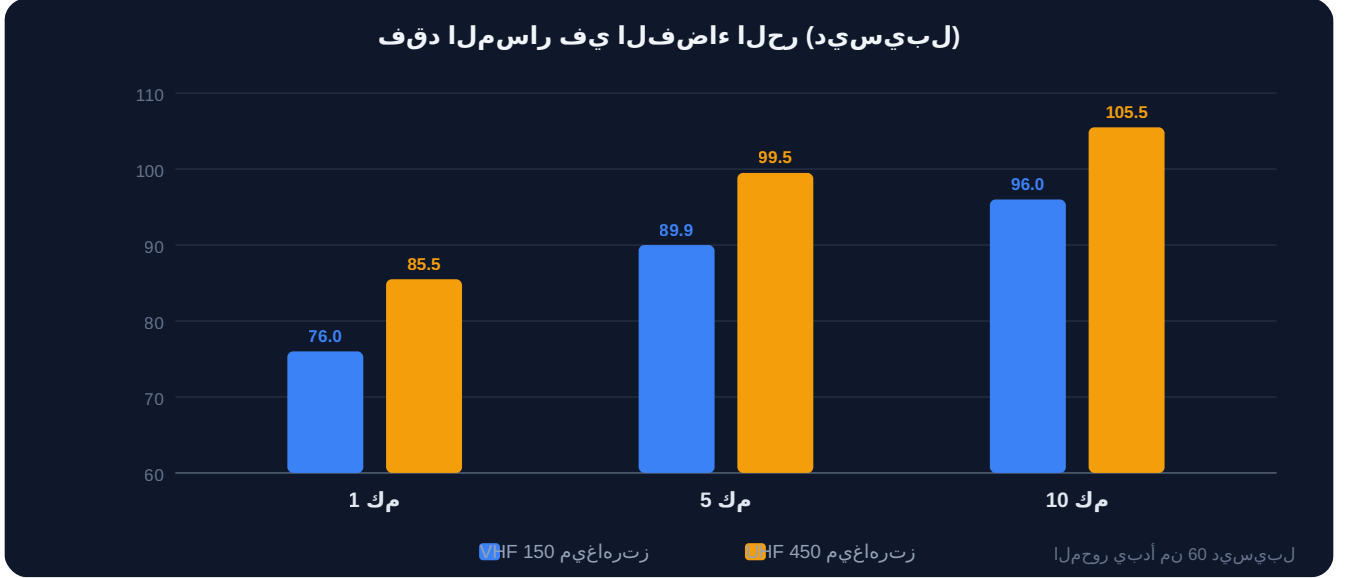
ميزانية الوصلة في ستة مصطلحات

المصطلح	معناه
قدرة الإرسال	خرج الجهاز مقدراً بالديسيبل ملّي واط (dBm). 1 واط يساوي 30 dBm، و4 واط يساوي 36 dBm، و25 واط يساوي 44 dBm.
كسب الهوائي (dBi)	مقدار تركيز الهوائي للإشارة باتجاه الأفق. هوائي الجهاز المحمول نحو 0 dBi أو أقل، وهوائي محطة القاعدة غالباً بضعة dBi.
فقد الكابل والموصلات	الإشارة المفقودة بين الجهاز والهوائي. راجع دليل الكابل المحوري للقيم النموذجية.
فقد المسار	الإشارة المفقودة أثناء الانتقال عبر الفضاء، إضافةً إلى كل ما يعترض الطريق.
حساسية المستقبل	أضعف إشارة يستطيع المستقبل الاستفادة منها، بوحدة dBm. وهي مذكورة في ورقة بيانات الجهاز.
هامش الخفوت	هامش أمان لتقلبات الإشارة. نحو 10 ديسيبل نقطة بداية شائعة.

الديسيبل في سطرين: كل 3 ديسيبل يضاعف القدرة أو يقسمها إلى النصف، وكل 10 ديسيبل يعني عاملاً قدره عشرة. وفي الفضاء الحر تضيف مضاعفة المسافة نحو 6 ديسيبل من فقد المسار.

فقد المسار: لماذا يصل VHF أبعد على الأرض المفتوحة

في الفضاء الحر يزداد فقد المسار مع المسافة ومع التردد. وعند المسافة نفسها يفقد 450 ميغاهرتز نحو 9.5 ديسيبل أكثر من 150 ميغاهرتز، وهذا أحد أسباب وصول VHF إلى مسافات أبعد على الأرض المفتوحة. يبين الشكل 1 الأرقام.



الشكل 1 — فقد المسار في الفضاء الحر. يفقد UHF نحو 9.5 ديسيبل أكثر من VHF عند المسافة نفسها. وفي المواقع الحقيقية يُضاف فقد العوائق فوق ذلك.

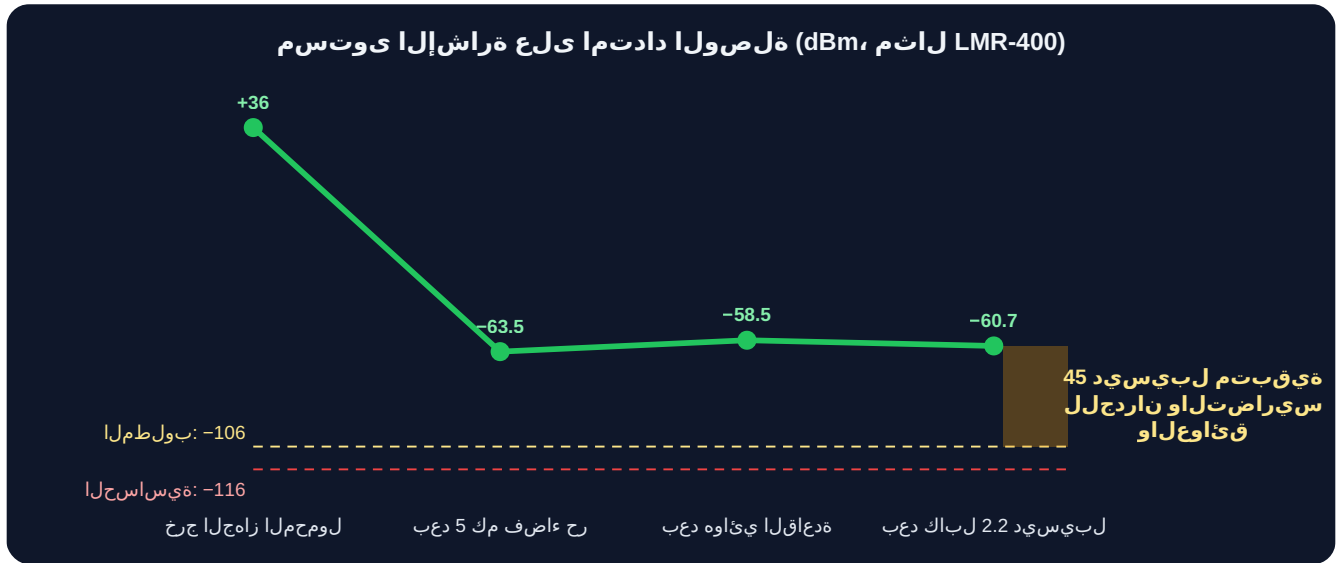
مثال محلول

لنفترض جهازاً محمولاً يرد على محطة قاعدة UHF على بعد 5 كم. الافتراضات هي:

- خرج الجهاز المحمول 4 واط، أي 36 dBm، بهوائي نحو 0 dBi.
- هوائي محطة القاعدة 5 dBi، على 25 م من الكابل.
- حساسية المستقبل -116 dBm (راجع ورقة بيانات جهازك)، مع هامش خفوت 10 ديسيبل، فيجب أن تصل الإشارة بقيمة -106 dBm أو أفضل.
- فقد المسار في الفضاء الحر عند 450 ميغاهرتز و5 كم يبلغ 99.5 ديسيبل.

الإشارة عند مستقبل القاعدة تساوي $36 + 0 + 5 -$ فقد الكابل - فقد المسار. وبالحساب العكسي من -106 dBm نحصل على إجمالي فقد المسار الذي تتحمله الوصلة. وبطرح 99.5 ديسيبل من فقد الفضاء الحر يتبقى المقدار المتاح للعوائق:

الكابل (25 م، UHF)	فقد الكابل	فقد المسار الذي تسمح به الوصلة	المتبقي للعوائق عند 5 كم
LMR-240	4.3 ديسيبل	142.7 ديسيبل	43.2 ديسيبل
LMR-400	2.2 ديسيبل	144.8 ديسيبل	45.3 ديسيبل
LMR-600	1.4 ديسيبل	145.6 ديسيبل	46.1 ديسيبل



الشكل 2 — تنخفض الإشارة إلى -60.7 dBm عند مستقبل القاعدة في الفضاء الحر. والفجوة نزولاً إلى الهدف -106 dBm هي الفقد الذي لا يزال الموقع قادراً على تحمله.

النتيجة ميزانية وليست وعداً. فهي تقول إن هذه الوصلة تتحمل نحو 45 ديسيبل من فقد العوائق عند 5 كم. وقد يستهلك جدار من الطوب أو هيكل فولاذي أو تلّ جزءاً كبيراً منها، ويجب قياس كل منها. ولاحظ أيضاً ما فعله الكابل: الانتقال من LMR-240 إلى LMR-400 أعاد 2.1 ديسيبل، أي 2.1 ديسيبل إضافية من المتسع للعوائق دون أي كلفة في قدرة الجهاز. ولو اعتمدنا نتيجة الفضاء الحر وحدها لسمحت بمئات الكيلومترات، ولهذا تتحدد التغطية الحقيقية بالعوائق وأفق الراديو لا بالميزانية.

كيف تجري مسح الموقع

1. حدّد المنطقة والنقاط الصعبة. دوّن الزوايا البعيدة والأقبية والسلالم والمصاعد وغرف المعدات حيث تهم التغطية أكثر.
2. استخدم المعدات الحقيقية. اختبر بالأجهزة والنطاق الذي تنوي شراؤه، ويفضّل مع الهوائي والكابل الفعليين.
3. ضع القاعدة أو المكرر حيث سيكون، بارتفاع الهوائي المخطط له، وليس على مكتب.
4. امش في الموقع. في كل نقطة أجرِ مكالمة اختبار، ودوّن مستوى الإشارة إن كانت أجهزتك تعرضه، أو جودة الصوت إن لم تعرضه.

5. **اختبر أسوأ الحالات:** الأبواب المغلقة والمناطق المزدحمة والطوابق السفلية.

6. **عدّل وكرّر.** ارفع الهوائي أو غيّر الموقع أو قصّر الكابل أو ارتقِ بنوعه أو أضف مكرراً، ثم اختبر مرة أخرى.

إذا أظهر المسح فجوات لا تعالجها القدرة والكابل، فالمكرر هو الحل عادةً. راجع دليلنا عن [المكررات مقابل الوضع المباشر](#). واختيارك للنطاق يؤثر في فقد المسار وفي اختراق المباني معاً، لذا اقرأ أيضاً [VHF مقابل UHF](#)، وركّب الهوائي بشكل صحيح باتباع [دليل تركيب الهوائي](#).

الأسئلة الشائعة

ما ميزانية الوصلة؟

هي مجموع متراكم للمكاسب والخسائر من المرسل إلى المستقبل: قدرة الإرسال وكسب الهوائيات وفقد الكابل وفقد المسار. فإذا كانت الإشارة الواصلة أعلى من حساسية المستقبل مضافاً إليها هامش أمان، فمن المفترض أن تعمل الوصلة.

كم هامش خفوت يجب أن أترك؟

نحو 10 ديسيبل نقطة بداية شائعة. استخدم أكثر للوصلات الحرجة أو المواقع الكثيرة الحركة والعوائق، ودع نتائج المسح ترشدك.

هل يفيد الهوائي الأعلى كسباً دائماً؟

لا. فالكسب الأعلى يضغط الإشارة في حزمة أكثر استواءً باتجاه الأفق. وهذا يفيد على الأرض المفتوحة، لكنه قد يترك الطوابق العليا أو السفلية القريبة والتلال بتغطية ضعيفة. وفي محطة قاعدة تخدم مبنى متعدد الطوابق يكون الكسب المتوسط غالباً أفضل.

لماذا يعطي الحساب مئات الكيلومترات بينما لا يصل موقعي إلا لبضعة؟

لأن فقد الفضاء الحر يتجاهل الجدران والتضاريس وانحناء الأرض. تُظهر الميزانية مقدار فقد العوائق الذي تستطيع تحمله. ويحدد الموقع مقدار ما تحصل عليه فعلاً.

أجهزة وكابلات وموصلات لمنظومة موثوقة

تورّد برافو ساتكوم أجهزة راديو ثنائية الاتجاه من موتورولا و ICOM و كينوود، مع كابلات LMR والموصلات اللازمة لبناء منظومة تؤدي عملها.

[أجهزة محطات القاعدة](#) · [كابلات LMR المحورية](#)