الاتحـاد الدولـي للاتصـالات
قطاع الاتصالات الراديوية

منشورات ITU
التوصيات

التوصية ITU-R RS.2042-2

(2023/12)

السلسلة RS: أنظمة الاستشعار عن بُعد

الخصائص التقنية والتشغيلية النمطية لأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء التي تستعمل النطاق MHz 50-40

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني https://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	**أنظمة الاستشعار عن بُعد**
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2025

© ITU 2025
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R RS.2042-2

الخصائص التقنية والتشغيلية النمطية لأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء التي تستعمل النطاق MHz 50-40

(2023-2018-2014)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية النمطية لأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء التي ستعمل ضمن مدى MHz 50-40. وستُستخدم هذا المعلومات في دراسات التوافق.

مصطلحات أساسية

خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشطة)، أجهزة استشعار نشطة محمولة في الفضاء، مسبار راداري، سطح سرير جليدي، طبقات انتشار تحت سطح الأرض، طبقات أحفورية للمياه الجوفية في البيئات الصحراوية، مسبار راداري منخفض جداً (SHARAD).

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة

التقرير ITU-R M.2234 - إمكانية التشارُك في النطاقات الفرعية بين الرادارات الأوقيانوغرافية العاملة في خدمة التحديد الراديوي والخدمتين الثابتة والمتنقلة في النطاق MHz 50-3

التقرير ITU-R RS.2536 – دراسات التشارك والتوافق المتعلقة بأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء في نطاق الترددات MHz 50-40

إن جمعية الاتصالات الراديوية في للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن أنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء يمكنها توفير خرائط رادارية لطبقات الانتشار تحت سطح الأرض من أجل تحديد موقع تجمعات المياه/الجليد باستعمال الاستشعار النشط بأنظمة محمولة في الفضاء؛

ب) أن الأهداف العلمية للرحلات الفضائية تتمثل في 1) فهم السُمك والبنية الداخلية والاستقرار الحراري للصفائح الجليدية للأرض في العالم (كتلك الموجودة في غرينلاند وأنتاركتيكا) بوصفها معلمة يمكن رصدها لتطور مناخ الأرض، و2) فهم الحدوث والتوزيع والديناميات الخاصة بالمستودعات المائية الأحفورية في البيئات الصحراوية (كما في شمال إفريقيا وشبه الجزيرة العربية) بوصفها عناصر رئيسية لفهم آخر التغيرات في المناخ القديم؛

ج) أن من الضروري قياس الانعكاس من طبقات الانتشار تحت سطح الأرض لأعماق تتراوح بين 10 أمتار و100 متر لطبقات المياه الجوفية الضحلة وقنوات المياه الجوفية، وبحدود 5 كيلومترات لتضاريس السطح البيني القاعدي وثخن الغطاء الجليدي؛

د) أن عمق الاختراق من طبقات الانتشار تحت سطح الأرض بأطوال موجات صغرية يتناسب عكسياً مع التردد تقريباً؛

هـ) أن القياسات الدورية، على الصعيد العالمي، لتجمعات المياه/الجليد تحت سطح الأرض تتطلب استخدام أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء؛

و) أن مدى الترددات MHz 50-40 هو المدى المفضل لتلبية جميع احتياجات أنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء؛

ز) أن النطاق MHz 50-40 موزع للخدمات الثابتة والمتنقلة والإذاعية على أساس أولي؛

ح) أن خدمة الأبحاث الفضائية تستعمل النطاق MHz 41,015-40,98 على أساس ثانوي؛

ط) أن الحواشي الخاصة بالبلدان الواردة في جدول توزيع نطاقات التردد بالنسبة لمدى التردد MHz 50-40 تقدم توزيعات أولية أو ثانوية للخدمة الإذاعية والخدمتين الثابتة والمتنقلة وخدمات الملاحة الراديوية للطيران والتحديد الراديوي للموقع في بعض أجزاء العالم؛

ي) أن جدول توزيع نطاقات الترددات للنطاقات المجاورة لمدى الترددات MHz 50-40 يقدم توزيعات أولية وثانوية لخدمة الهواة؛

ك) أن عمليات أنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء خارج خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) تتم طبقاً للرقم **4.4** من لوائح الراديو؛

ل) أن عرض نطاق مقداره MHz 10 يعد كافياً لاستعمال أنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء؛

م) أن قيوداً تشغيلية قد حُددت على النحو الموصوف في الملحق 1،

توصي

باستخدام الخصائص الواردة في الجدول 1 بالملحق من أجل دراسات التشارك والتوافق المتعلقة بأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء في مدى الترددات MHz 50-40.

الملحق

الخصائص التقنية والتشغيلية النمطية لأنظمة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء التي تستعمل النطاق MHz 50-40

1 مقدمة

يهتم الباحثون في مجال المناخ بالاستشعار عن بُعد بجوار النطاق MHz 50-40 من أجل إجراء قياسات عن بُعد لباطن الأرض لتوفير خرائط رادارية لطبقات الانتثار تحت سطح الأرض بُغية تحديد موقع تجمعات المياه/الجليد وفحص السطح الجوفي للسرير الجليدي باستخدام أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء. ويشرح هذا الملحق الأساس المنطقي لاختيار نطاق الترددات المفضل والخصائص التقنية والتشغيلية النمطية.

ويتم في هذا الملحق وصف الخصائص التقنية والتشغيلية لأجهزة استشعار نشيطة محمولة في الفضاء تعمل في المدى MHz 50-40.

2 الأساس المنطقي لاختيار نطاق الترددات

السبب وراء منح توزيع لرادار سبر محمول في الفضاء بين MHz 40 وMHz 50 يقوم على معايير الاختيار التالية: اختراق السطح والمقياس الطولي للرصد ومنطقة نموذج الانتثار الكهرمغنطيسي وأعمال سابقة.

1.2 اختراق السطح

يبلغ اختراق أي موجة رادارية ساقطة عادة العديد من عشرات طول الموجة. وفي ظل الظروف المثلى لطول الموجة وتركيب وسط الانتشار، يمكن للموجات الراديوية أن تخترق بسهولة المواد العازلة التي يتألف منها سطح وغطاء الأرض. ويتم التقدير الكمي لهذا العمق، δ_p، كالتالي:

$$\delta_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{e'}}{2\pi e''} \quad (1)$$

حيث:

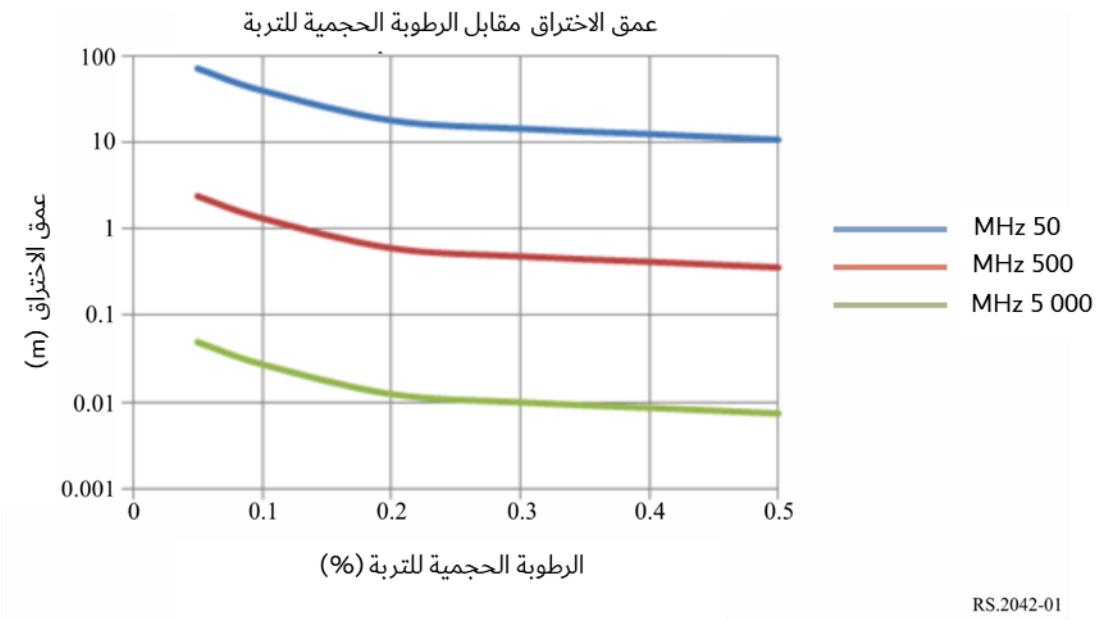
λ_0: طول الموجة

e' وe'': الحدان الحقيقي والتخيلي لثابت عزل السطح.

وباستعمال هذه المعادلة مع قيم ثابت عزل التربة، يبين الشكل 1 أعماق اختراق السطح لترددات تبلغ 50 MHz و500 MHz و5 000 MHz. ويتضح من الشكل أن اختراق السطح عند 50 MHz أعمق من الاختراق عند 500 MHz بمعامل يبلغ من 20 إلى 30، وبالتالي يكون هو التردد الأفضل لدراسات اختراق الأرض. وتتمثل الأهداف في توفير خرائط رادارية لطبقات الانتشار تحت سطح الأرض من أجل تحديد موقع تجمعات المياه/الجليد باستخدام أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء.

الشكل 1

عمق اختراق السطح



2.2 المقياس الطولي للرصدات

من شأن إضافة 50 MHz إلى النطاقين الحاليين 435 MHz و1 250 MHz أن يزيد من مدى المقاييس الطولية التي ترصد بها خشونة السطح. وبالنسبة للعديد من السطوح الجيولوجية، يشيع ظهور الانتشار العكسي من جراء مكون توافقية السطح الذي يقترب طول الموجة فيه من طول الموجة الرادارية الساقطة أو يزيد عنه، فيما لا تساهم المكونات الأخرى للسطح إلاّ من خلال تأثيرات الدرجة الثانية. وبالتالي فإن القياسات الرادارية عبر أكبر مدى ممكن من زوايا السقوط وعلى أكبر عدد ممكن من الترددات يزيد من القدرة على وصف السطح بدقة.

3.2 منطقة نموذج الانتشار الكهرمغنطيسي

من شأن إضافة 50 MHz إلى النطاقين الحاليين 435 MHz و250 1 MHz أن يوسع من منطقة سريان نماذج الانتشار الكهرمغنطيسي. وسيكون الرادار 50 MHz أكثر حساسية بالنسبة لتحديد الشكل تحت سطح الأرض، لأن قيمة جذر متوسط تربيع (rms) ارتفاع السطح تكون جزءاً أصغر من طول الموجة، بما يؤدي إلى قياس قيمة أقل للانتشار العكسي للموجة الرادارية. والحساسية الأعلى للرادار 50 MHz بالنسبة إلى تحديد الشكل تحت سطح الأرض إضافة إلى حقيقة أن الإشارات 50 MHz تخترق التربة بعمق أكبر، تزيدان من حجم الطبقة تحت سطح الأرض التي يحدث فيها الانتشار، مما يؤدي إلى نسبة أكبر كثيراً من القدرة المستقبلة من تحت سطح الأرض إلى القدرة المستقبلة من سطح مقارن بهذه النسبة مع أطوال الموجة الأقصر. كما أن الانتشار الكامل في الغطاء الرسوبي سيكون أصغر بالنسبة للتردد 50 MHz منه في كل من الترددين 435 MHz و250 1 MHz.

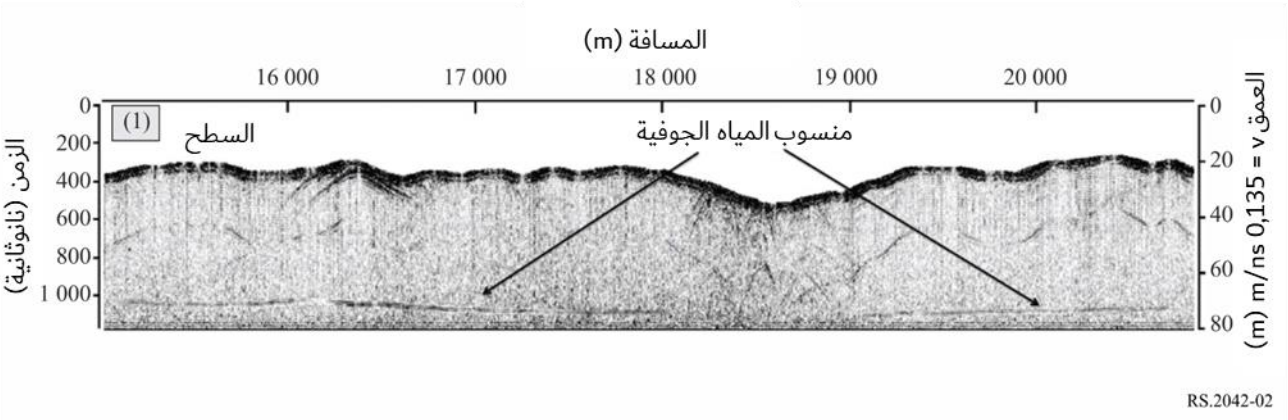
4.2 الأعمال السابقة والحالة التنظيمية للنطاق بين 40-44 MHz

تم انجاز قدر كبير من الأعمال في شكل تطوير أنظمة رادارية منصوبة على الأرض ومحمولة جواً وفي شكل عمليات لجمع البيانات على النطاق 3-50 MHz. وإضافةً إلى ذلك تمثل التطوير في العتاد في أعمال حاسوبية كانت تهدف إلى دراسة عمق اختراق السطح مقابل محتوى رطوبة التربة عند النطاق 3-50 MHz وتحليل الإشارات المرتدة للرادارات الأقيانوغرافية لقياس المحيطات.

وقد اجرت الرادارات المحمولة جواً قياسات حول 50 MHz في المناطق الصحراوية في شبه الجزيرة العربية وفي أنتاركتيكا. ويبين الشكل 2 مخطط راداري لتغايرات في عمق المياه الجوفية تتراوح بين 49 و52 متراً، حيث أُخذت البيانات من رادار VHF محمول جواً في الكويت عام 2011.

الشكل 2

مخطط راداري مأخوذ من رادار VHF محمول جواً في الكويت عام 2011



تم النظر في نطاق الترددات 3-50 MHz للرادارات الأوقيانوغرافية على امتداد الساحل (في خدمة التحديد الراديوي للموقع (RLS)) في إطار البند 15.1 من جدول أعمال المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2012 (WRC-12) وتم توثيق دراسات التشارُك في التقرير ITU-R M.2234. وقد وافق المؤتمر WRC-12 على توزيع الخدمة RLS من خلال توليفة من التوزيعات الأولية والثانوية على أساس إقليمي وقُطري بحواشي في النطاقات الفرعية بين 4-44 MHz (النطاق 44-43,35 MHz هو مدى الترددات الأعلى الذي قام بتوزيع الخدمة RLS بحاشية قُطرية (بلدان))، مع حواشي لحماية الخدمات الثابتة والمتنقلة القائمة. وتقتصر التطبيقات في الخدمة RLS على الرادارات الأوقيانوغرافية العاملة طبقاً للقرار **612 (Rev.WRC-12)**. ويتضمن القرار **612 (Rev.WRC-12)** كذلك قيوداً إضافية على الرادارات الأوقيانوغرافية مثل تحديد حداً أقصى للقدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) بمقدار 25 dBW وتعرف هوية للمحطة (رمز دليلي للنداء) على التردد المخصص. ولا توجد توزيعات في لوائح الراديو لخدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشطة) في مدى الترددات 3-50 MHz. فإذا تم اختيار الترددات للأنظمة المحمولة في الفضاء عند نطاقات تردد أعلى

أو اقل، فإن العمل الخاص بالعتاد والعمل الحاسوبي المرجعي سيتعين تكرارهما بالنسبة لحملات الرادارات المحمولة جواً في المناطق الصحراوية.

3 الخصائص التقنية لرادار سبر محمول في الفضاء في النطاق 40-50 MHz

سيعمل رادار السبر المحمول في الفضاء في تردد مركزي قدره 45 MHz يغطي عرض نطاق قدره 10 MHz. وستستخدم البيانات الرادارية الناتجة في دراسة الطبقات تحت سطح الأرض عن طريق وضع خرائط رادارية لطبقات الانتشار تحت سطح الأرض بغرض تحديد موقع تجمعات المياه/الجليد. وترد خصائص رادار السبر المحمول في الفضاء في النطاق 45 MHz في الجدول 1.

1.3 أهداف الرحلات الفضائية

سينتج جهاز الاستشعار النشط المحمول في الفضاء الذي يعمل في المدى 40-50 MHz بيانات تتعلق بالسطح الجوفي باستبانة رأسية تتراوح بين 5 و7 m مع قيمة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء على السطح (SNR) تقارب 66 dB. وتتمثل الأهداف العلمية للرحلات الفضائية في:

1) فهم السُمك والبنية الداخلية والاستقرار الحراري للصفائح الجليدية للأرض في العالم كتلك الموجودة في غرينلاند وأنتاركتيكا بوصفها معلمة يمكن رصدها لتطور مناخ الأرض،

2) فهم الحدوث والتوزيع والديناميات الخاصة بالمستودعات المائية الأحفورية في البيئات الصحراوية (مثل بيئات شمال إفريقيا وشبه الجزيرة العربية) بوصفها عناصر رئيسية لفهم آخر التغيرات في المناخ القديم.

وجدير بالملاحظة أنه نظراً إلى التكاليف الاستثمارية المرتفعة المرتبطة بهذا النوع من عمليات الرصد بأجهزة الاستشعار في النطاق 40-50 MHz، من المتوقع أن يظل عدد بعثات جهاز السبر الراداري المحمول في الفضاء منخفضاً للغاية.

2.3 المعلمات المدارية

ويُتوقع نشر هذا النمط من أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء على متن سواتل تدور في مدارات أرضية منخفضة بميل يتم استمثاله بالنسبة لمدار شمسي متزامن وانحراف مركزي أقل من 0,001. ويمكن الاطلاع على المعلمات المدارية للنظام المقترَح في الجدول 1.

3.3 معلمات التصميم

النظام المفترض لرادار السبر الذي يعمل في مدار أرضي عبارة عن نسخة أرضية معززة من المسبار الراداري المنخفض جداً (SHARAD) الذي هو عبارة عن رادار سبر يدور حول كوكب المشتري يعمل في مدى التردد 15-25 MHz. ويقوم رادار السبر المحمول في الفضاء بإرسال نبضة مشكلة FM تتمركز عند 45 MHz مع عرض نطاق 10 MHz بمعدل تكرار للنبضات مقداره 200 1 Hz. ولكل نبضة عرض يبلغ 85 µs. وتبلغ ذروة القدرة RF، 100 W والإشارة المرسلة ذات استقطاب دائري. وترد معلمات التصميم هذه في الجدول 1.

الجدول 1

خصائص رادار سبر محمول في الفضاء في مدى الترددات 40-50 MHz

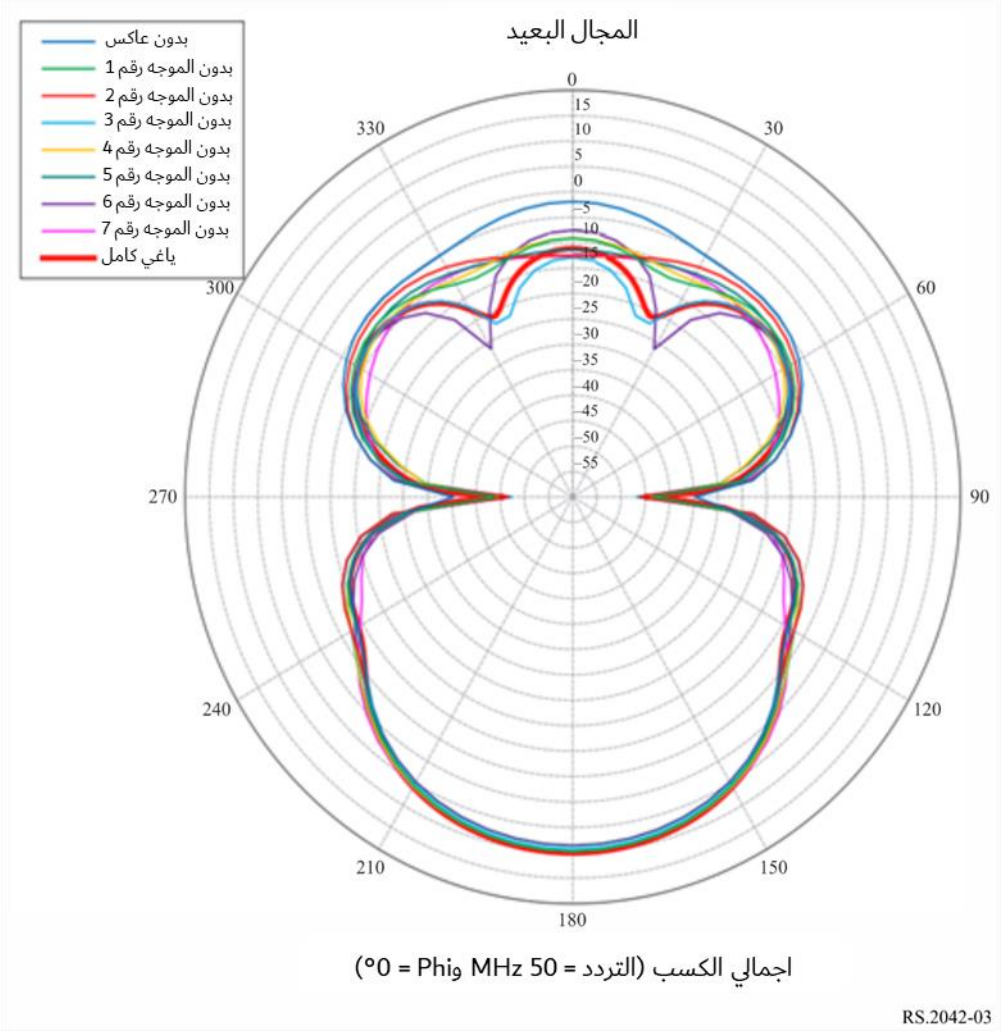
خصائص جهاز الاستشعار	
المعلمة	**القيمة**
النوع	مسبار راداري
خصائص المدار	
نمط المدار	متزامن مع الشمس (SSO)[1]
الارتفاع (km)	400
الميل (بالدرجات)	97
التوقيت الشمسي المحلي (LST) للعقدة الصاعدة	004:00
الاختلاف (بالدرجات)	0
المدارات في كل يوم	15,8
فترة التكرار (أيام)	548
خصائص الهوائي	
نمط الهوائي	ياغي عرض بتسعة عناصر
عدد الحزم	1
كسب الذروة للهوائي (الإرسال والاستقبال – dBi)	10
الاستقطاب	دائري
عرض الحزمة –3 dB (بالدرجات)	40
زاوية مراقبة حزمة الهوائي (بالدرجات)	النظير
زاوية السمت لحزمة الهوائي (بالدرجات)	النظير
عرض حزمة الهوائي في اتجاه الارتفاع (بالدرجات)	40
عرض حزمة الهوائي في السمت (بالدرجات)	40
مخطط إشعاع هوائي الاستشعار	انظر الشكل 3
خصائص جهاز الإرسال	
التردد المركزي الراديوي (MHz)	45
عرض نطاق 3 dB للترددات الراديوية (MHz)	8
عرض نطاق 20 dB للترددات الراديوية (MHz)	10
قدرة الذروة للإرسال (dBW)	20
عرض النبضة (µsec)	85
تردد تكرار النبضة (PRF) (Hz)	1200
تشكيل نبضي	زقزقة التشكيل الخطي للتردد
خصائص جهاز الاستقبال	
التردد المركزي الراديوي (MHz)	45
الكسب (dB)	50-40
قيمة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (dB)	30
عرض نطاق المضخم منخفض الضوضاء (MHz)	100<
عرض نطاق المرشاح الأخير IF (MHz)	12
عامل الضوضاء (dB)	5
سوية الإشارة الدنيا الممكن كشفها (dBm)	132–
المدى الديناميي (dB)	20>

ولمخطط إشعاع هوائي النظام المقترَح ذروة كسب مقدارها 10 dBi وعرض حزمة 40 درجة في المدى والسمت كما هو مبين في الشكل 3.

[1] مدار متزامن مع الشمس

الشكل 3

مخطط هوائي ياغي مكون من 9 عناصر



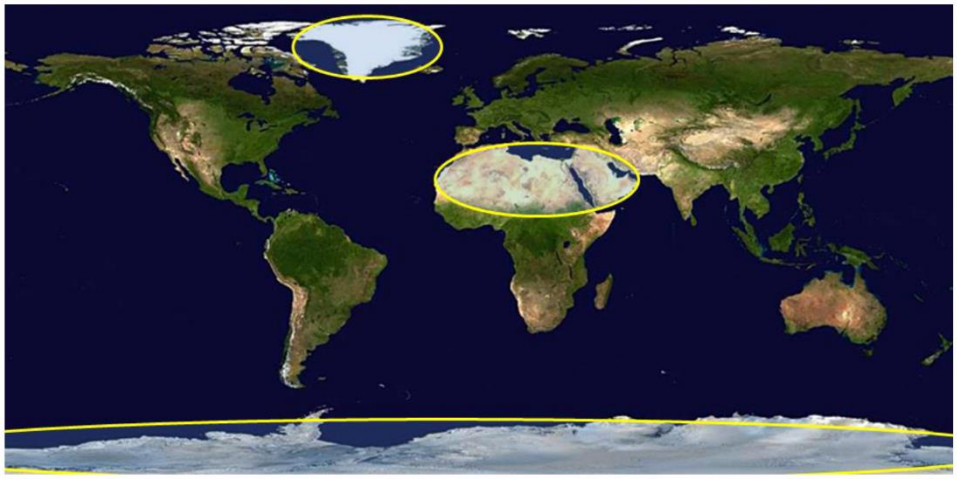
4.3 القيود الجغرافية التشغيلية

تصمَم رادارات السبر في مدى 40-50 MHz للتشغيل في مناطق من الصفائح الجليدية غير مأهولة أو مناطق ذات كثافة سكانية شحيحة (كما في غرينلاند وأنتاركتيكا وصحراء شمال إفريقيا وشبه الجزيرة العربية) خلال فترة محدودة. فعلى سبيل المثال، لا يُتوقع لتشغيل البعثة المقترَحة أن يتجاوز 10 دقائق لكل مدار يستغرق 92,7 دقائق.

ويرد في الشكل 4 مناطق التغطية المتعلقة بمناطق التشغيل المقترحة المقابلة للمناطق الجغرافية لانتشار الإشارة المرسَلة.

الشكل 4

تغطية المسبار الراداري المحمول في الفضاء



RS.2042-04

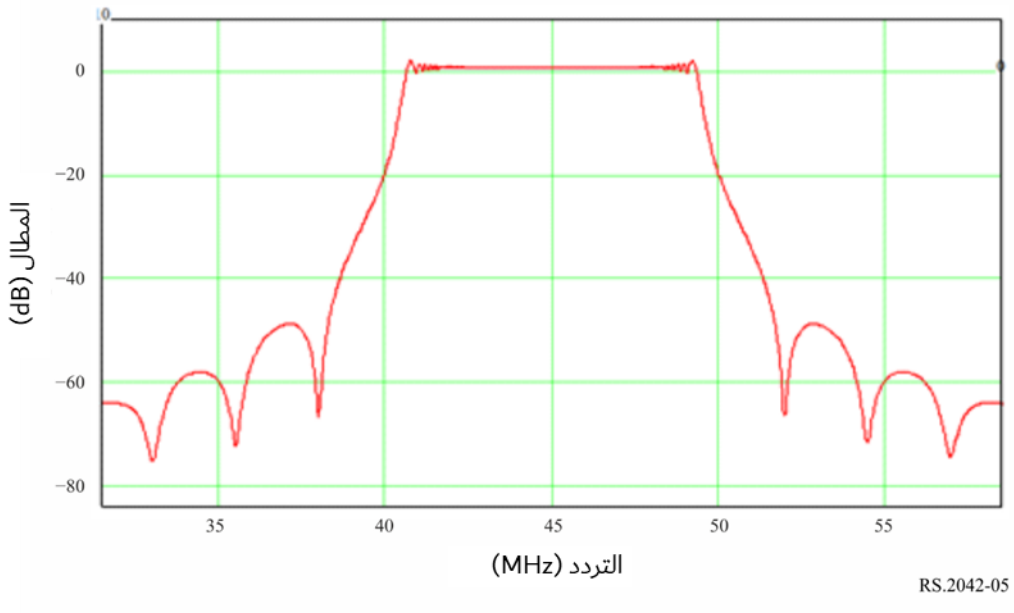
وتصمَم رادارات السبر للتشغيل الرادار ضمن نافذة زمنية تمتد لبضع ساعات فقط وتتمركز تقريباً حول الساعة 4 صباحاً بالتوقيت المحلي. ولقد تم اختيار هذه الأوقات نظراً لأن الاضطرابات الأيونوسفيرية للإشارة الرادارية تكون عند أدنى حد خلال هذه الفترة الزمنية ويكون توقع استخدام الطيف من جانب خدمات أخرى في أدنى مستوياته.

5.3 طيف البث

يبين الشكل 5 الشكل الموجي النمطي للطيف بث الزقزقة المتوقع لمسبار الرادار العامل في مدى ترددات 40-50 MHz. وفي الممارسة العملية ، كثيراً ما يجري تطبيق اصطفاء تمرير النطاق لتوهين القدرة خارج النطاق.

الشكل 5

طيف بث الزقزقة النمطي



4 مستويات كثافة تدفق القدرة والكثافة الطيفية لتدافق القدرة على سطح الأرض

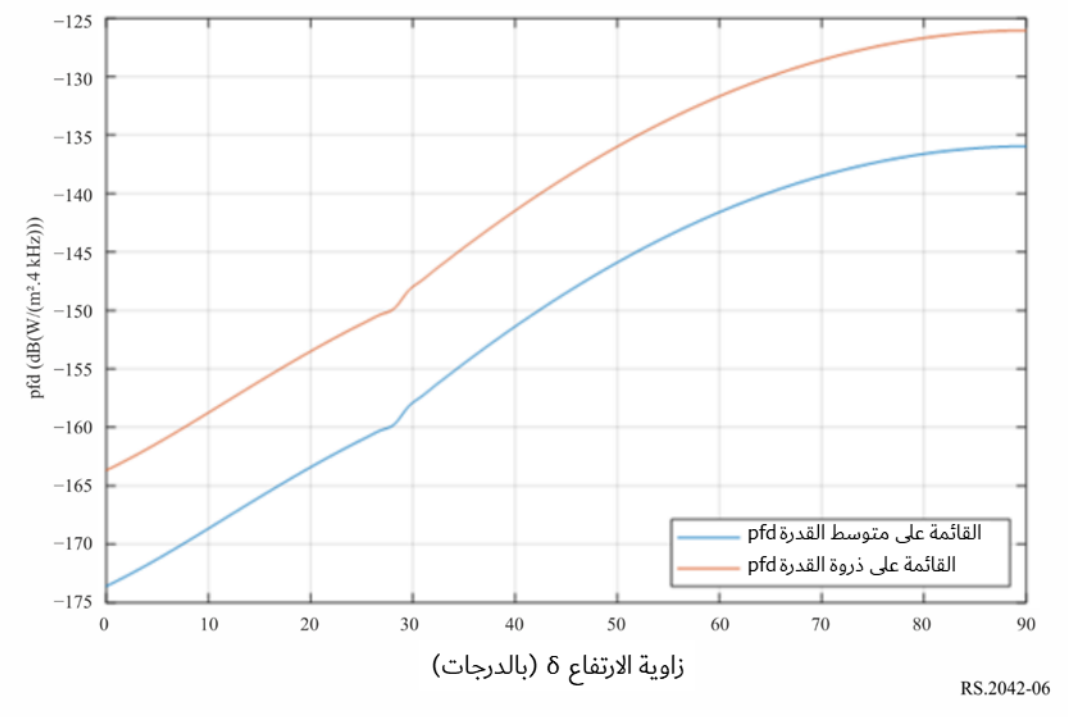
يحسب متوسط يحسب متوسط كثافة تدفق القدرة (pfd) على سطح الأرض باستخدام الصيغة الواردة في الرقم **8.16.21** من لوائح الراديو، طبعة 2020.

وبالمثل ، يمكن حساب قيمة ذروة كثافة تدفق القدرة بإزالة عامل دورة التشغيل من الصيغة المستخدمة لحساب متوسط قيمة كثافة تدفق القدرة.

وفيما يتعلق بمعلمات مسبار الرادار في الجدول 1، يرد في الشكل 6 متوسط قيم كثافة تدفق القدرة على سطح الأرض. ومن الشكل 6، يبلغ الحد الأقصى لمتوسط قيمة كثافة تدفق القدرة −135,96 dB(W/m2 4kHz) وتبلغ قيمة كثافة تدفق القدرة القصوى الناتجة −126,05 dB(W/m2 4kHz).

الشكل 6

كثافة تدفق القدرة (pfd) كدالة لزاوية الارتفاع δ لمسبار رادار VHF المحمول في الفضاء والموصوف في الجدول 1 (بعرض نطاق مرجعي قدره 4 kHz)



5 الاستنتاج

هناك اهتمام بالاستشعار عن بُعد بجوار النطاق MHz 50-40 من أجل إجراء قياسات عن بُعد لباطن الأرض لتوفير خرائط رادارية لطبقات الانتشار تحت سطح الأرض بغية تحديد موقع تجمعات المياه/الجليد باستخدام أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء. ويشرح هذا الملحق الأساس المنطقي لاختيار نطاق الترددات المفضل والخصائص التقنية والتشغيلية لجهاز محتمل من أجل الاستعمال في دراسات التشارك والتوافق.

_____