الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R RS.1165-3

(2018/12)

الخصائص التقنية ومعايير الأداء للأنظمة المستعملة في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية في نطاقي التردد MHz 403 وMHz 1 680

السلسلة RS

أنظمة الاستشعار عن بُعد

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

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 http://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 الاستدلال الراديوي 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، 2019

© ITU 2019
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.1165-3

الخصائص التقنية ومعايير الأداء للأنظمة المستعملة في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية في نطاقي التردد 403 MHz و1 680 MHz

(2018-2006-1997-1995)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشطة) التي تستعمل توزيعات بين 403 MHz و1 680 GHz. وتغطى جميع أنظمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) المختلفة: المسابير الراديوية (radiosondes) والمسابير الهابطة (dropsondes) والمسابير الصاروخية (rocketsondes).

التوصيات والتقارير ذات الصلة من قطاع الاتصالات الراديوية:

التوصية ITU-R RS.1263-1 – معايير التداخل لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية العاملة في النطاقين 406-400,15 MHz و1 700-1 668,4 MHz.

التوصية ITU-R P.528 – منحنيات الانتشار للخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF).

التوصية ITU-R SA.1021 – منهجية تحديد أهداف الأداء لأنظمة الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض والخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.

مصطلحات أساسية

مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids)، المسبار الراديوي (radiosonde)، المسبار الصاروخي (rocketsonde)، المسبار الهابط (dropsonde).

المختصرات/مسرد المصطلحات

AFC التحكم التلقائي في التردد *(Automatic frequency control)*

AXBT كاشف تغير حرارة المياه بتغير عمقها المحمول جواً والمستهلَك *(Airborne expendable bathythermograph)*

FM تشكيل ترددي *(Frequency modulation)*

GDPS نظام معالجة البيانات العالمي *(Global data-processing system)*

GFSK الإبراق بزحزحة الترددات الغوسي *(Gaussian frequency shift keying)*

GMSK الإبراق بالزحزحة الدنيا الغوسي *(Gaussian minimum shift keying)*

GOS نظام الرصد العالمي *(Global observing system)*

GTS نظام الاتصالات العالمي *(Global telecommunications system)*

OECD منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية *(Organization for Economic Co-operation and Development)*

PTU الضغط والحرارة والرطوبة النسبية *(Pressure, temperature and relative humidity)*

QAM تشكيل الاتساع المتعامد *(Quadrature amplitude modulation)*

RDF تحديد الاتجاه الراديوي *(Radio direction finding)*

RNSS خدمة الملاحة الراديوية الساتلية *(Radionavigation satellite service)*

RR لوائح الراديو *(Radio Regulations)*

WMO المنظمة العالمية للأرصاد الجوية *(World Meteorological Organization)*

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن قياسات الأرصاد الجوية التي تُجرى في الغلاف الجوي العلوي عن طريق المسابير الراديوية عنصر أساسي من عناصر برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWWP) التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)؛

ب) أن العديد من أنظمة الدفاع تنشر أنظمة مسابير من أجل دعم مجموعة من العمليات بمنأىً عن برنامج المراقبة العالمية للطقس؛

ج) أن العديد من المسابير تُستخدم للمراقبة المحلية والإقليمية لظروف التلوث الجوي وكذلك لتتبع مسارات المواد الخطرة الناجمة عن الكوارث الطبيعية أو الاصطناعية؛

د) أن أنظمة المسابير الراديوية المستعملة في خدمات مساعدات الأرصاد الجوية تحتاج إلى متطلبات فريدة من الاتصالات الراديوية؛

هـ) أن أنظمة المسابير Radiosondes وDropsondes وRocketsondes المستعملة في إطار خدمة مساعدات الأرصاد الجوية تعمل أساساً في نطاق التردد MHz 406-400,15 (الذي يُطلق عليه اسم نطاق التردد MHz 403) ونطاق التردد MHz 1 700-1 668,4 (الذي يُطلق عليه اسم نطاق التردد MHz 1 680) مع تطبيق الحدود الواردة في الحكم رقم **379E.5** من لوائح الراديو؛

و) أن المسابير الراديوية (radiosondes) المستخدمة في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية تكون محمولة على متن مناطيد صاعدة تُطلق من محطات برية أوسفن، ,وأن المسابير الهابطة (dropsondes) تُنشر من الطائرات وتحملها مظلة، وأن المسابير الصاروخية (rocketsondes) تُرفع إلى الغلاف الجوي بصواريخ؛

ز) أن أهداف أداء الإرسال من المسابير الراديوية وإليها ينبغي أن تتماشى مع المتطلبات التشغيلية المطلوبة والتقييدات المصاحبة للأنظمة ولنطاقات التردد التي تستوفى فيها المتطلبات؛

ح) أن أهداف أداء الأنظمة النموذجية المستعملة في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية هي بمثابة مبادئ توجيهية لتطوير الأنظمة الفعلية التي ينبغي استخدامها في بيئة تقاسم الترددات؛

ط) أن أهداف جودة الأداء لمختلف الأنظمة تتحدد باستخدام منهجية مماثلة لتلك الوارد وصفها في التوصية ITU-R SA.1021؛

ي) أن أهداف الأداء متطلب يجب أن يتوفر مسبقاً من أجل تعيين معايير التداخل؛

ك) أن التوصية ITU-R RS.1263 توفر معايير التداخل للأنظمة المستعملة في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية العاملة في نطاق التردد MHz 403 ونطاق التردد MHz 1 680.

ل) أن القرار **205 (Rev.WRC-12)** يتناول حماية الأنظمة العاملة في الخدمة المتنقلة الساتلية في نطاق التردد MHz 406,1-406،

توصي

1 باعتبار الخصائص التقنية والتشغيلية الواردة في الملحق 1 نموذجاً لمساعدات الأرصاد الجوية في نطاقي التردد 403 وMHz 1 680؛

2 بمراعاة معايير الأداء الواردة في الجدول 3 من الملحق 1 عند وضع معايير التداخل وإجراء الدراسات المتعلقة بالتقاسم مع الخدمات الأخرى.

الملحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

الملحق 1 3
1 المقدمة 4
1.1 عمليات الأرصاد الجوية اليومية 4
2.1 مراقبة تغيُّر المناخ 5
3.1 مستعملون آخرون 5
2 خصائص تشغيل المسبار الراديوي 5
3 طيف التردد الراديوي المستخدم في عمليات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) 6
1.3 نتائج دراسة المنظمة WMO 6
2.3 نطاق التردد الراديوي المستعمل في غرب وشمال أوروبا 7
3.3 طيف التردد الراديوي المستخدم في أمريكا الشمالية والجنوبية 7
4 المتطلبات التشغيلية 8
5 المتطلبات المستقبلية من الطيف 8
1.5 الرياح العليا القوية جداً 8
2.5 كفاءة العنصر البشري الناتجة عن الأنظمة عالية الأتمتة 9
3.5 المسائل المتصلة بكلفة المسابير الراديوية 9
4.5 الاستقلالية عن أنظمة NAVAID الدولية 9
5.5 ازدحام الطيف 10
6.5 التحسينات الراهنة لكفاءة الطيف 10
7.5 الكشف عن الأخطاء/تصويب الأخطاء 10
6 متطلبات التوفر لعمليات MetAids 11
1.6 ظروف الانتشار 11
2.6 فترات الطيران الحاسمة 14
3.6 متطلبات التوفر لبيانات مسبار راديوي في عمليات سينوبتيكية 15
4.6 ملخص متطلّبات توفر البيانات 18
7 خصائص الاتصالات الراديوية للأنظمة الحالية للمسابير الراديوية 18
1.7 خصائص المرسل 18
2.7 أنظمة الاستقبال 19

8 خصائص الاتصالات الراديوية لأنظمة Dropsonde 23
1.8 الممارسات التشغيلية لمسابير Dropsondes 23
2.8 خصائص نظام مسابير Dropsonde 24
3.8 الخطط المستقبلية لمسبار Dropsonde 25
9 خصائص الاتصالات الراديوية لأنظمة Rocketsonde 25
1.9 الممارسات التشغيلية لمسابير Rocketsonde 25
2.9 خصائص نظام Rocketsonde 25
3.9 المخطط الجانبي لتمثيل هبوط مسبار Rocketsonde 27

1 المقدمة

1.1 عمليات الأرصاد الجوية اليومية

تستخدم مساعدات الأرصاد الجوية[1] أساساً لإجراء قياسات موقعية لمتغيرات الأرصاد الجوية (الضغط، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح واتجاهها) في الغلاف الجوي حتى ارتفاع 36 km. وتكون القياسات حيوية لقدرة التنبؤ بالجو على الصعيد الوطني (وبالتالي قدرة خدمات الإنذار المتعلقة بالأحوال الجوية الخطرة لعامة الناس والتي ترتبط بحماية الأرواح والممتلكات). توفر مساعدات الأرصاد الجوية وأنظمة التتبع المصاحبة لها قياسات متآونة للتغيرات الرأسية في درجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها على كامل مدى الارتفاع المطلوب. إن تباين متغيرات الأرصاد الجوية هذه في المستوى العمودي يحتوي على أغلبية المعلومات الحيوية اللازمة للتنبؤ بالطقس. وتكون أنظمة مساعدات الأرصاد الجوية هي أنظمة الأرصاد الجوية الوحيدة القادرة على أن توفر بانتظام الاستبانة العمودية التي يحتاج إليها أخصائيو الأرصاد الجوية للمتغيرات الأربعة. ويكون تعرُّف الارتفاعات التي تحدث عندها تغيرات مفاجئة في أحد المتغيرات أمراً بالغ الأهمية. وبالتالي يكون من الأساسي أن يُستدام إجراء قياسات موثوقة طوال عملية ارتفاع المسبار الراديوي.

وتأتي رصدات مساعدات الأرصاد الجوية من مسابير راديوية تحمل في بالونات صاعدة تطلق من محطات برية أو من سفن أو من مسابير Drapsondes تُطلق من طائرة محمولة بمظلة أو من مسابير Rocketsondes التي تُرفع في الغلاف الجوي بواسطة صواريخ وتهبط عبره محمولة بمظلة. ويجري الرصد بواسطة المسابير الراديوية على نحو روتيني في كل البلدان تقريباً من مرتين على أربع مرات في اليوم. وتُعمّم بعد ذلك بيانات الرصد مباشرة على كل البلدان الأخرى خلال عدة ساعات عن طريق نظام الاتصالات التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وتكون كل أنظمة الرصد ونشر المعطيات منظمة في إطار البرنامج العالمي لرصد الطقس التابع للمنظمة WMO.

توفر شبكة المسابير الراديوية المصدر العالمي الأولي للقياسات الموقعية الآنية وتتطلب لائحة المنظمة WMO (كُتيب النظام GDPS) أن تجري قياسات المسابير الراديوية وأن تُعمم على كل مراكز النظام GDPS في أرجاء العالم على الصعيد الوطني والإقليمي والعالمي من أجل التنبؤ الرقمي بالطقس. ومحطات الرصد مطلوبة في جميع أنحاء العالم على مسافات مباعدة أفقية لا تزيد عن 250 km،

---

[1] تتناول هذه التوصية مسابير Radiosondes وDropsondes وRocketsondes التي يتم تشغيلها في إطار خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids). ويستخدم تعبير MetAids عندما تنطبق المناقشة على الأنظمة الثلاثة جميعاً. ويستخدم كل اسم منها (Radiosondes وDropsondes وRocketsondes) عندما تنطبق المناقشة على واحد أو اثنين من هذه الأنماط من الأنظمة.

خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، على ألا يقل عدد الرصدات عن رصدة واحدة إلى أربع رصدات يومياً. غير أن نماذج التنبؤ الرقمي بالطقس للظواهر الجوية الصغيرة النطاق (مثل العواصف الرعدية، والرياح المحلية، والأعاصير الحلزونية) وحالات الطوارئ البيئية سوف تحتاج في الواقع إلى عمليات رصد للهواء العلوي من مرة إلى ثلاث مرات في الساعة على مستوى استبانة أفقي يتراوح بين 50 و100 km. ويتم توفير هذه الأرصاد من مجموعة من أنظمة الرصد التي يتم اختيارها وفقاً لاحتياجات الإدارة الوطنية، بما في ذلك قياسات MetAids وقياسات رادار محدد المظهر الجانبي للرياح والقياسات الساتلية.

إن رصدات المسابير الراديوية أساسية من أجل الإبقاء على استقرر في النظام GOS للمنظمة WMO. فالقياسات التي تتم بالسير عن بُعد من السواتل لا تتمتع باستبانة عمودية متيسّرة من المسابير الراديوية. والاشتقاق الناجح للتغيرات العمودية في درجة الحرارة من هذه القياسات الساتلية يتطلب عادة حسابات يتم البدء بها مباشرة من إحصاءات المسابير الراديوية أو من التنبؤ الرقمي بالطقس نفسه. وفي الحالة الأخيرة، تضمن القياسات المأخوذة بالمسابير الراديوية أن التركيبة العمودية لهذه التنبؤات تظل صحيحة ومستقرة مع مرور الزمن. إضافة إلى ذلك، تستخدم قياسات المسابير الراديوية لمعايرة الأرصاد الساتلية بعدة تقنيات. ومن ثم ينظر إلى الرصدات المأخوذة بالمسابير الراديوية باعتبارها لا تزال ضرورية جداً لعمليات الأرصاد الجوية للمستقبل القريب.

2.1 مراقبة تغيُّر المناخ

رُصدت تغيُّرات في درجة حرارة الغلاف الجوي والأوزون خلال العشرين سنة الماضية وحدث الكثير من هذه التغيرات في الارتفاعات بين 12 و30 km فوق سطح الأرض. وتحدد الرصدات الروتينية اليومية المأخوذة على ارتفاعات تزيد عن 30 km التوزيع في المستوى العمودي للتغييرات التي تطرأ، من ثم تتيح تقييم أسباب التغير. وتحدد قياسات مسبار الأوزون المأخوذة على ارتفاعات مماثلة التوزيع العمودي لتآكل الأوزون الذي يتبين أنه يظهر الآن أنه يحدث في كل من النصف الشمالي والنصف الجنوبي للأرض في الشتاء والربيع. وتطلق بلدان عديدة مسابير أوزون على الأقل ثلاث مرات في الأسبوع خلال هذين الفصلين من أجل مراقبة التطورات.

والمعاينة الناجحة لتغيرات الطقس تتطلب استخدام مسابير راديوية ذات خصائص معروفة فيما يتعلق بنسبة الخطأ في القياسات. إن متطلّب الاستمرار في سلسلة قياسات الهواء العلوي على الصعيد العالمي تعني أن تصاميم المسبار الراديوي الجديدة لا توضع في الخدمة إلا بعد بضع سنوات من الاختبار المكثف في المختبر وفي الغلاف الجوي الحر على السواء.

3.1 مستعملون آخرون

قد يتم نشر أنظمة MetAids أخرى بصورة مستقلة عن منظمة الأرصاد الجوية المدنية الأساسية من جانب مراكز البحوث الوطنية ومستعملين آخرين. وسوف تتضمن البحوث دراسات معينة عن التلوث البيئي والهيدرولوجيا والنشاط الإشعاعي في الغلاف الجوي الحر وظواهر الطقس المهمة (مثلاً العواصف الشتوية والأعاصير المدارية والعواصف الرعدية إلخ.) ودراسة مجموعة من الخواص الفيزيائية والكيميائية للغلاف الجوي. وهذا الاستعمال لا يتناقص مع الوقت، لأنه أصبح من السهل جداً في ظل الأتمتة الحديثة تشغيل أنظمة متنقلة وأنظمة محمولة على متن السفن بنجاح دونما حاجة إلى وجود مشغِّلين مهرة وكميات كبيرة من المعدات الداعمة. ويتعين أن تستوعب عمليات MetAids هؤلاء المستعملين، ويؤدي هذا إلى توسيع نطاق طيف الترددات الراديوية اللازمة لعمليات MetAids. ويُعدُّ هذا أمراً حاسماً بوجه خاص عندما تكون مواقع الإطلاق لهؤلاء المستعملين الآخرين موجودة في حدود 150 km من مواقع إطلاق منظمة الأرصاد الجوية.

2 خصائص تشغيل المسبار الراديوي

في الحين الذي تُجرى فيه الكثير من عمليات المسبار الراديوي عادة وفقاً لجدول محدد، يمكن إجراء عمليات في أي وقت من النهار أو الليل استجابة لمتطلبات تشغيلية معينة أو للظروف الجوية أو متطلّبات الاختبار. وتُجرى رصدات المسابير الراديوية السينوبتيكية على الصعيد العالمي من أجل توفير الأرصاد الضرورية للتنبؤ اليومي بالطقس. وتُجرى الرصدات المعيارية اسمياً عادة عند الساعة 0000 و1200 بالتوقيت UTC، إلا أن الأوقات الفعلية للإطلاق تتغير حسب الممارسة الوطنية وفي بعض الحالات تتم قبل الزمن الاسمي بثلاثة أرباع الساعة بأقل تقدير. ويمكن أن يتم الإطلاق لغاية ساعتين بعد الوقت الاسمي في حالة حدوث مشاكل لدى تحضير

المسبار الراديوي قبل إطلاقه أو عندما تفرض لوائح الحركة الجوية المحلية قيوداً على التوقيتات أو في حالة حدوث عطل خلال الرحلة الأساسية. وتنفذ كذلك أرصاد متوسطة روتينياً في عدة بلدان عند الساعة 0600 و1800 بالتوقيت UTC. ويقوم المشغلون السينوبتيكيون بإطلاق رحلات Radiosondes وDropsondes وRocketsondes إضافية بصفة دورية، ويتم ذلك في أغلب الأحيان من مواقع مؤقتة باستخدام أنظمة متنقلة، للتغلُّب على أي ظروف طقس غير عادية، أو لتلبية متطلبات غير عادية للاختبار. وتحدد مواعيد زمنية للرحلات تلبي متطلبات التشغيل.

وتنفذ شبكات المسابير الراديوية وتشغل بواسطة المرافق الوطنية للأرصاد الجوية مع الالتزام بالممارسات والإجراءات الموصى بها والمتفق عليها دولياً في إطار المنظمة WMO. ويبلغ العدد الحالي لمحطات المسابير الراديوية التي تقدم تقارير بصورة منتظمة نحو 650 محطة. ويطلق حوالي 500 000 مسبار راديوي كل عام بالاشتراك مع شبكة المنظمة WMO ويقدر أن حوالي 350 000 من المسابير الراديوية تستخدم لأهداف الدفاع والتطبيقات الخاصة.

3 طيف التردد الراديوي المستخدم في عمليات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)

1.3 نتائج دراسة المنظمة WMO

يبين الجدول 1 تقديرات لاستعمال الترددات الراديوية في محطات المسابير الراديوية السينوبتيكية Radiosondes التي تنقل معلومات يومية لعمليات الأرصاد الجوية للمنظمة WMO لتبادل المعلومات. وتستند هذه المعلومات إلى دليل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية عن المسابير الراديوية وأنظمة الرياح العليا الذي يستعمله أعضاء المنظمة حالياً. وقد تم تجميع نتائج المسح في مناطق من أجل بيان الاختلاف في الاستعمال على الصعيد العالمي. وتتوفر معلومات أكثر تفصيلاً في دليل المنظمة WMO عن المسابير الراديوية وأنظمة الرياح العليا التي يستخدمها الأعضاء. ويجب أن تُراعى الاقتراحات الخاصة بتقسيم النطاق إلى قطاعات حقيقة أن نطاقات التردد المعينة على الصعيد العالمي من أجل مساعدات MetAids على أساس أولي ليست متوفرة لهذه الخدمة في كل البلدان. وعلى سبيل المثال، في أستراليا، لا يتوفر حالياً نصف نطاق التردد 403 MHz على الأقل من أجل عمليات MetAids.

ويختلف استخدام نطاقي التردد الرئيسيين الموزعين على خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (نطاقا التردد 403 و1 680 MHz) اختلافاً كبيراً في الأجزاء المختلفة من العالم. ويجري تشغيل الأنظمة التي تعمل في نطاق التردد 1 680 MHz أساساً في الولايات المتحدة. ولكن تجري الاستعاضة عنها بأنظمة 403 MHz. وتشغَّل أنظمة 680 MHz في المقام الأول في اليابان والصين. وتوفر هذه الأنظمة بيانات سينوبتيكية إلى النظام العالمي للاتصالات في المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. ويستخدم المستعملون الآخرون في هذه البلدان أساساً نطاق التردد 403 MHz للعمليات غير السينوبتيكية. أما روسيا وبعض البلدان التي توجد بينها ترتيبات تعاون، فيستخدمون ترددات تراوح 1 780 MHz لعمليات المسابير الراديوية. والعديد من البلدان التي تستخدم مسابير 1 780 MHz الراديوية قامت بنقل عملياتها إلى أحد نطاقي التردد الرئيسيين الموزعين من أجل الاستفادة بالمعدات المتاحة تجارياً.

الجدول 1

قائمة باستخدام التردد الراديوي للمسابير الراديوية للعمليات السينوبتيكية اليومية[2]

الإقليم	العدد الإجمالي للمواقع	إجمالي عدد المواقع النشطة	عدد المواقع الصامتة[(1)]	عدد المواقع النشطة التي تستخدم MHz 400	عدد المواقع النشطة التي تستخدم MHz 1 680	عدد المواقع النشطة التي تستخدم MHz 1 780[(2)]
أوروبا وروسيا الغربية	192	154	38	112	28	14
آسيا وروسيا الشرقية	471	288	183	95	158	35
أفريقيا	237	60	177	58	2	0
أمريكا الشمالية	277	148	129	58	90	0
أمريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية	114	86	28	84	0	2
أستراليا والأقيانيوس	191	90	101	81	9	0
أنظمة السفن	166	70	96	67	3	0
الإجمالي	1 648	636	752	555	290	51

(1) المواقع الصامتة هي مواقع تم تعليق العمليات فيها، ولكن يمكن استئناف العمليات فيها مرة أخرى في المستقبل.

(2) يستعمل نطاق التردد (MHz 1 774 – MHz 1 790) MHz 1 780 في عدد قليل من البلدان في أنحاء العالم مع أنه غير مخصص لخدمة MetAids في لوائح الراديو.

2.3 نطاق التردد الراديوي المستعمل في غرب وشمال أوروبا

في غرب وشمال أوروبا تكون شبكة محطة السبر الراديوي كثيفة وتشغل المحطات لعمليات الأرصاد الجوية الروتينية والرصد البيئي ومجموعة من العمليات الدفاعية. وتشغل أكثرية المسابير الراديوية في نطاق التردد من MHz 403. وعلى الرغم من أن بعض الأنظمة التماثلية لا تزال قيد الاستخدام فإن معظم هذه المسابير الراديوية رقمية حالياً. وفي المستقبل القريب، تُتوقع الاستعاضة عن المسابير التماثلية التي لا تزال قيد الاستخدام بأنظمة رقمية. وقد تم وضع معايير أوروبية موحدة تغطي المتطلبات الرأسية للقناع الطيفي وتطوير قدرة الإرسال لجميع المسابير الراديوية الرقمية المستعملة في أوروبا. ولا يوجد معيار موحد للمسابير الراديوية التماثلية ويرتكز استخدامها على الموافقة الوطنية.

3.3 طيف التردد الراديوي المستخدم في أمريكا الشمالية والجنوبية

خدمة الطقس المدنية في الولايات المتحدة الأمريكية هي المستعمل الأساسي لنطاق التردد عند MHz 1 680، ولكنها تنقل عمليات المسبار الراديوي إلى نطاق التردد الممتد من 400,15 إلى MHz 406. ويستخدم المستخدمون الآخرون داخل الولايات المتحدة الأمريكية نطاق التردد MHz 403. بالإضافة إلى ذلك ، ينشر المستخدمون غير السينوبتيكيين أعداداً كبيرة من أنظمة MHz 403. وتستخدم الجامعات أو وكالات الولايات المتحدة الأخرى أنظمة إضافية.

2 استُخرجت البيانات الخاصة بهذا الجدول من تقرير WMO VOLA القديم المؤرخ 05-18-2016.

4 المتطلبات التشغيلية

فضلاً عن الدقة، فإن الخصائص الأساسية المطلوبة في تصميم المسبار الراديوي هي الاعتمادية وقوة التحمل وخفة الوزن وصِغر الحجم والاستهلاك القليل للطاقة والاستخدام الكفء للطيف والاستقرار الترددي. وبما أن المسبار الراديوي لا يستخدم عادة إلا مرة واحدة، فيجب أن يصمم كي ينتج بكلفة منخفضة. وتمثل سهولة المعايرة وثباتها خصائص مهمة كذلك. ويجب أن يكون المسبار الراديوي قادراً على توفير معطيات لمدى يبلغ km 200 على الأقل وصالحاً للتشغيل في درجة حرارة تكون بين –90 درجة و+60 درجة C. وبما أن فلطية البطارية تتغير مع الزمن والحرارة، فيجب أن يُصمَّم المسبار الراديوي لقبول التغيُّرات دون أن يتخطى متطلبات الدقة وانسياق التردد الراديوي. ويجب ألا تكون التجهيزات الأرضية المصاحبة معقدة دون مبرر وأن تتطلب صيانة متكررة تحتاج مهارات عالية. إلا أنه من المفضل الإبقاء على المسبار الراديوي نفسه بسيطاً إلى أقصى درجة ممكنة حتى وإن كان ذلك على حساب تعقيد التجهيز الأرضي، نظراً لسهولة إصلاح أي فشل في هذا الأخير، وبما أنه يجب الإبقاء على تكاليف أجهزة الطيران التي تستخدم لمرة واحدة عند مستوى أدنى.

ويتراوح وقت الصعود لرحلة سبر راديوي كاملة بين 90 و120 دقيقة ويبلغ وقت الهبوط نصف هذه الفترة تقريباً عند استعمال مظلة. ويستمر المسبار الراديوي في الإرسال أثناء الهبوط. ويتراوح المدى الأقصى للاستقبال المناسب للمسبار الراديوي بين 200 و350 km بحسب تصميم النظام. وتبلغ سرعة الصعود نحو 5 m/s ويتوقف المنحنى على ظروف الريح السائدة. وعموماً، في مساحة نصف قطر من 400 إلى 650 km تقريباً حول محطة السبر الراديوي لا يمكن استعمال نفس تردد الوصلة الهابطة. وفي مناطق الكثافة العالية، يكون هناك أكثر من 10 مشغلي مسابر راديوية ضمن المنطقة الفعلية لمسبار راديوي واحد.

إن شبكة السبر الراديوي كثيفة في غرب وشمال أوروبا. وتُجبر نشاطات الرصد البيئي والأرصاد الجوية والأبحاث والدفاع، المستعملين على التشارك في نطاق التردد مع الأرصاد السينوبتيكية. ويكون التنسيق بين مشغلي المسبار الراديوي مطلوباً لتفادي حدوث تداخل بين المسابير الراديوية للمحطات المختلفة.

5 المتطلبات المستقبلية من الطيف

من المتوقع أن تحتاج عمليات السبر الراديوي إلى الاستمرار في نطاقي التردد 403 و680 1 MHz. ومن المهم الاعتراف بأنه على الرغم من أن خدمة مساعدات الأرصاد الجوية يوجد بها فعلاً توزيعات عند 30 MHz في نطاق التردد 668,4-700 1 MHz، فإن جزءاً كبيراً من هذا النطاق لا يمكن أن يستعمل لمساعدات الأرصاد الجوية نظراً لعدم توافقه مع الخدمات الراديوية الأخرى الموزعة في هذا نطاق التردد. وفي أجزاء كثيرة من العالم، لا يتوفر سوى النطاق الفرعي675-683 1 MHz لعمليات خدمة مساعدات الأرصاد الجوية. ومن المحتمل أن تؤثر العوامل التالية على الاختيار الوطني للنطاق الترددي المستعمل.

1.5 الرياح العليا القوية جداً

إن متوسط قوة الرياح العليا يتغير مع الموقع الجغرافي. ويتعرض كل من اليابان وكثير من المناطق الساحلية من شمال – غرب أوروبا لرياح تكون في المتوسط أقوى بين السطح والارتفاعات التي تبلغ 16 km أكثر من باقي نصف الكرة الشمالي. ويصبح الوضع أكثر خطورة في عمليات السبر الراديوي في شمال–غرب أوروبا لأن الرياح بين 16 و30 km في خطوط العرض العليا غالباً ما تكون أقوى منها في الطبقات السفلى في معظم فصل الشتاء. ولذلك يجب أن يتم تتبُّع المسابير الراديوية عند المجالات التي تزيد كثيراً عن 150 km عند زوايا الارتفاع المنخفضة جداً. ويمكن أن تستمر أحوال الرياح القوية لعدة أسابيع وتظهر فجوات كبيرة في السجلات الجوية عند الإخفاق في استقبال بيانات من المسبار الراديوي عند السويات العليا خلال هذا الوقت.

إن الأرصاد في الشتاء مهمة جداً لدراسات تآكل طبقة الأوزون ومن الحيوي الحصول على أكبر قدر من المعلومات عند السوية العليا للمسابير الراديوية التي يوجد على متنها أجهزة لقياس الأوزون في هذه الظروف. ولهذا السبب، يعتبر الاستقبال الأعلى الموفر عند 403 MHz أساسياً لعمليات السبر الراديوي في الأماكن التي توجد بها رياح قوية مرتفعة لفترات طويلة. ويصدق ذلك سواء استعمل NAVAID أو رادار تتبُّع أولي لقياس الرياح العليا.

ولذا، يُفضل في المواقع التي تتعرض إلى رياح عالية السرعة، استخدام نطاق التردد 403 MHz لسببين: الأول، هو أن خصائص الانتشار عند 403 MHz تنتج اعتمادية وصلة أفضل للمسافات الطويلة. والثاني هو أن تعدد المسيرات هو تقييد على دقة المزواة الراديوية عند زوايا ارتفاع على مَقرُبة من الأفق. وبالتالي فإن استخدام جهاز استقبال خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على المسبار الراديوي يكون أساسياً لإجراء قياسات دقيقة للرياح في هذه الظروف الشاقة.

2.5 كفاءة العنصر البشري الناتجة عن الأنظمة عالية الأتمتة

في الماضي، انتقل عدد كبير من خدمات الطقس الوطنية حول العالم إلى المساعد NAVAID لتحديد سرعة الريح واتجاهها (Loran-C) أساساً لمساعدات الأرصاد الجوية التي تعمل عند نطاق التردد 403 MHz من أجل تحسين كفاءة العنصر البشري لعملياتها. والأنظمة التي تعمل في نطاق التردد 403 MHz تكون عادة أيسر من حيث التشغيل وأقل صعوبة من حيث الصيانة. وكانت الكلفة الإضافية للمسبار الراديوي لتحديد سرعة الريح واتجاهها للمساعدة NAVAID أقل من الوفورات الكبيرة في الكفاءة التي صاحبت العمليات التي يقوم بها شخص واحد. والتخفيضات الكبيرة في صيانة الأنظمة الأرضية.

غير أنه يجري حالياً إنتاج مسابير راديوية قائمة على خدمة الملاحة الراديوية الساتلية وتشغَّل في نطاقي التردد 403 MHz و1 680 MHz كليهما. وتوفر هذه المسابير الراديوية مزايا لم تكن متوفرة من قبل إلا في المسابير الراديوية المخصصة لتحديد سرعة واتجاه الرياح القائمة على NAVAID والتي تعمل في النطاق 403 MHz.

وقد توقف تشغيل أنظمة NAVAID الأرضية التقليدية الأخرى، مثل الطراز LORAN-C، بين 1997 و2001. ومن الممكن أن يستمر استعمال المسابير الراديوية LORAN-C ممكناً في مناطق العالم التي تستمر فيها عمليات LORAN-C.

3.5 المسائل المتصلة بكلفة المسابير الراديوية

القيد الرئيسي الذي يواجه الرصد بالمسابير الراديوية هو التكلفة. ففي بلدان منظمة التنمية والتعاون في الميدان الاقتصادي (OECD) تمثل تكلفة المسابير الراديوية ربع مجموع تكاليف الرصد بالمسابير الراديوية. وهيكل التكلفة في البلدان النامية مختلف بدرجة جديرة بالإشارة، إذ تمثل تكلفة المسبار الراديوي أهم عنصر فيها. ولأن المتطلبات من بيانات الأرصاد الجوية عالمية في طابعها، فإن بعض البلدان المتقدمة تهب أنظمة وأجزاء من المسابير الراديوية كمنح إلى بعض البلدان النامية من أجل تحقيق الاستدامة لعمليات رصد طبقات الهواء العليا. ثمة حاجة قوية إذاً للإبقاء على أسعار المسابير الراديوية عند أدنى حد ممكن من أجل كفالة استمرار عمليات الرصد الحيوية للأرصاد الجوية العملية، بما في ذلك جوانبها المتصلة بحماية الأرواح. ومن التكلفة الإجمالية للمسابير الراديوية، تمثل أجهزة الاستشعار وتحديد سرعة الرياح واتجاهها الجزء الأكبر، أما المرسلات فتصنع عمداً في أبسط صورة ممكنة، للإبقاء على السعر الكلي منخفضاً. وتمثل تكاليف المرسلات نسبة تراوح 15-35 في المائة من تكاليف المعدات الإلكترونية للمسابير الراديوية.

إن استعمال نطاق التردد عند 1 680 MHz مستحب في بعض البلدان التي يقل فيها احتمال وجود رياح عالية و/أو أن تثور فيها شواغل إزاء كلفة استعمال المسابير الراديوية القائمة على خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نطاق التردد 403 MHz. ويتيح نطاق التردد 1 680 MHz القدرة على استعمال التحديد الراديوي للاتجاه في قياسات الرياح بدلاً من استخدام المسابير الراديوية الأعلى تكلفة والتي تعمل بنظام GPS. وتمثل المسابير الراديوية المستعملة في عمليات الأرصاد الجوية باستخدام المزواة الراديوية أو الرادارات الأولية أبسط تصميم، فتحقق بذلك أقل كلفة للوحدة. ورغم أن شراء محطة أرضية أكثر تعقيداً يؤدي إلى ارتفاع التكلفة الأولية، فإنه قد يحقق وفورات في تكاليف التشغيل السنوية عندما يتم إنتاج أعداد كبيرة من المسابير الراديوية. ولا تشكل تكاليف القوة العاملة عنصراً حاسماً.

4.5 الاستقلالية عن أنظمة NAVAID الدولية

قد يكون لبعض البلدان أيضاً متطلبات وطنية تستلزم أن تكون أنظمة سبر الهواء الأعلى قادرة على العمل على نحو مستقل عن أنظمة NAVAID الدولية. وقد لا تكون أنظمة NAVAID الدولية متاحة خلال فترات الطوارئ. وفي هذه الحالة، يكون الخيار السليم هو استعمال المزواة الراديوية في النطاقات 1 680 MHz أو الرادارات الأولية في النطاق 403 MHz.

5.5 ازدحام الطيف

في أجزاء من العالم لا يكفي نطاق تردد واحد لتلبية احتياجات مستعملي MetAids. وفي هذه المناطق يستخدم نطاقا التردد معاً لتوفير طيف كافٍ للعمليات السينوبتيكية، وعمليات الدفاع، وبحوث الغلاف الجوي والتطبيقات الأخرى. وأدت التطورات الأخيرة في تصميم المسابير الراديوية إلى تقليل عرض النطاق التشغيلي لمسبار راديوي بعامل 10، أو أكثر، وبالتالي إلى تخفيف مشكلة الازدحام.

6.5 التحسينات الراهنة لكفاءة الطيف

إحدى وسائل تحسين كفاءة الطيف للمسابير الراديوية هي تطوير استخدام القياس الرقمي من بُعد. وتتمثل مزايا هذه الأنظمة أساساً في انخفاض شغل عرض النطاق الذي يسمح بالاستخدام المتزامن للطيف بواسطة المسابير الراديوية. ويحدد العمل بمعيار ETSI للمسابير الراديوية (النوع B في الجدول 4) التغيُّر في التردد بما لا يتجاوز ±20 kHz عندما يكون النطاق المشغول 200 kHz. وقد حسنت المسابير الراديوية الأحدث هذه المواصفات بدرجة أكبر، مما قلل من انحراف التردد إلى أقل من ±5 kHz. وفي بعض التصميمات، خُفض انحراف التردد إلى ±2 kHz وعرض النطاق المشغول إلى 12 kHz.

وسوف تستمر بعض البلدان في استعمال LORAN-C كطريقة لتحديد سرعة الريح واتجاهها لأنها أقل كلفة من تلك القائمة على خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وسيكون تشغيل الشبكة الكثيفة جداً (أي بمباعدة تبلغ 100 km) صعباً بسبب العرض الكبير لنطاق المسابير الراديوية LORANC-C.

وتشجع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية أقاليم أخرى في العالم تستعمل رادارات بعروض نطاقات كبيرة جداً لتحديد سرعة الريح واتجاهها على تنفيذ أنظمة لها نطاقات ضيقة بسبب الحاجة إلى تقاسم الطيف الراديوي مع أنظمة أخرى.

ولم تستعمل بعد أنظمة نطاق التردد 1 680 MHz في الشبكات مع هذه المسافات القريبة من المباعدة وليست التطورات المقابلة في استقرار المرسل مطلوبة من الموردين الأساسيين بعد، ومن ثم توجد إمكانية لتحسين استخدام الطيف في هذا نطاق التردد في تلك الأجزاء من العالم التي تحتاج إلى أكثر من 8 MHz تقريباً نظراً إلى إمكانية إدخال تغييرات على جدول زمني لا يؤدي إلى زيادة كبيرة في تكاليف المسابير الراديوية التي يتم توريدها.

إن أي اقتراح لتقطيع نطاق التردد لا بد له أن يأخذ في الاعتبار حقيقة أن النطاقات الموزعة عالمياً على خدمة MetAids على أساس أولي ليست متيسّرة لهذه الخدمة في كل البلدان. وعلى سبيل المثال، في أستراليا، على الأقل نصف نطاق التردد 403 MHz ليس متيسّراً حالياً لخدمة عمليات MetAids.

7.5 الكشف عن الأخطاء/تصويب الأخطاء

حُسنت الكفاءة الطيفية للأنظمة الرقمية MetAids من خلال التحسينات في الاستقرار الترددي وأداء معدل الخطأ في البتات (BER) وانخفاض قدرة الارسال. وحُسن أداء معدل الخطأ في البتات من خلال استخدام التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC). ويضيف التشفير بتات إلى البيانات عند المرسل، تستخدم في الاستقبال في الكشف عن الأخطاء؛ مثل التشفير الفدري، أو بعبارة أكثر تحديداً، التشفير بطريقة Reed-Solomon. ويستخدم التشفير بطريقة Reed-Solmon على نطاق واسع في الاتصالات الرقمية المعاصرة كما في حالة الأقراص المدمجة والاتصالات الرقمية والساتلية. وتؤدي شفرة تصويب الخطأ في البتات إلى تحسين أداء وصلة القياس عن بُعد.

وتحدد شفرة Reed-Solomon في الشكل $RS(n, k)$، حيث n تمثل طول كلمة الشفرة وk تمثل عدد رموز البيانات. ويأخذ المشفّر k من رموز البيانات لـ s من البتات ويضيف إليها رمزاً للتعادلية لتكوين كلمة شفرية طولها n. ويوجد n-k من رموز التعادلية لـ s من البتات. وعموماً يمكن حساب أقصى طول للكلمة الشفرية من المعادلة $n=2^S - 1$. وقد يصحح جهاز التشفير بطريقة Reed-Solomon عدداً يصل إلى t من الرموز المحتوية على أخطاء من الكلمة الشفرية، حيث $2t = n - k$. ويمكن أن يوفر التشفير بطريقة Reed-Solomon تحسيناً في أداء الوصلة يراوح 5 dB.

6 متطلبات التوفر لعمليات MetAids

عدم توفر الوصلة الراديوية هو السبب الرئيسي في عدم توفر البيانات إذا تم استثناء أعطال المسبار الراديوي أو انفجار البالون قبل إنجاز المهمة، وأدى الانفجار إلى إعادة عملية السبر. والسببان الرئيسيان لتردي توفر الوصلة الراديوية، هما ظروف الانتشار والتداخل.

وخلافاً لأنظمة الاتصالات التي ينتشر فيها عدم التوفر إحصائياً على كامل فترة التشغيل، يتركز عدم التوفر في أنظمة المسابير الراديوية أساساً في الجزء الأخير من القياسات عندما يصل المسبار الراديوي إلى أقصى ارتفاع له من سطح الأرض ويكون عادة عند أكبر مسافة مائلة من المستقبِل.

ويتم التحكم في ميزانية وصلة المسبار الراديوي في الغالب عن طريق المسافة بين المسبار الراديوي والمستقبِل، وهي مسافة تزيد عموماً مع زيادة الارتفاع. وأي انخفاض في توفر وصلة المسبار الراديوي لأي سبب من الأسباب (التداخل، مثلاً) يؤثر أساساً في القياسات المأخوذة عند الارتفاعات العالية التي تمثل أهم جزء في البيانات التي تجمع (والتي تفقد نتيجة عدم الإطناب في الإرسال)، ومن ثم يحد في الواقع من نطاق تشغيل المسبار الراديوي.

وتُجري أنظمة المسابير الراديوية قياسات في الموقع للضغط الجوي ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية (PTU). ويتم تعيين سرعة الريح واتجاهها إما باستخدام إحدى طرائق المساعد NAVAID أو تحديد زوايا الاتجاه راديوياً (RDF) بقياس زاويتا السمت والارتفاع للمسبار الراديوي بالنسبة لهوائي الاستقبال.

وبالنسبة للمسابير الراديوية التي تعمل في نطاق التردد 680 1 MHz، تؤدي الخسارة في الإشارات التي تزيد عن 10 ثوان عادة إلى خسارة في تتبُّع المستقبِل الأرضي. وقلّما يُستعاد أي مسبار راديوي يفقد تتبُّع مسيره ومن ثم تفقد جميع المعلومات التي تم الحصول عليها من عملية الطيران، حتى إذا اختفت الإشارة المسببة للتداخل. ويتتبع المستقبل الراديوي الإشارة التي لها أكبر اتساع في عرض نطاقها الآني.

1.6 ظروف الانتشار

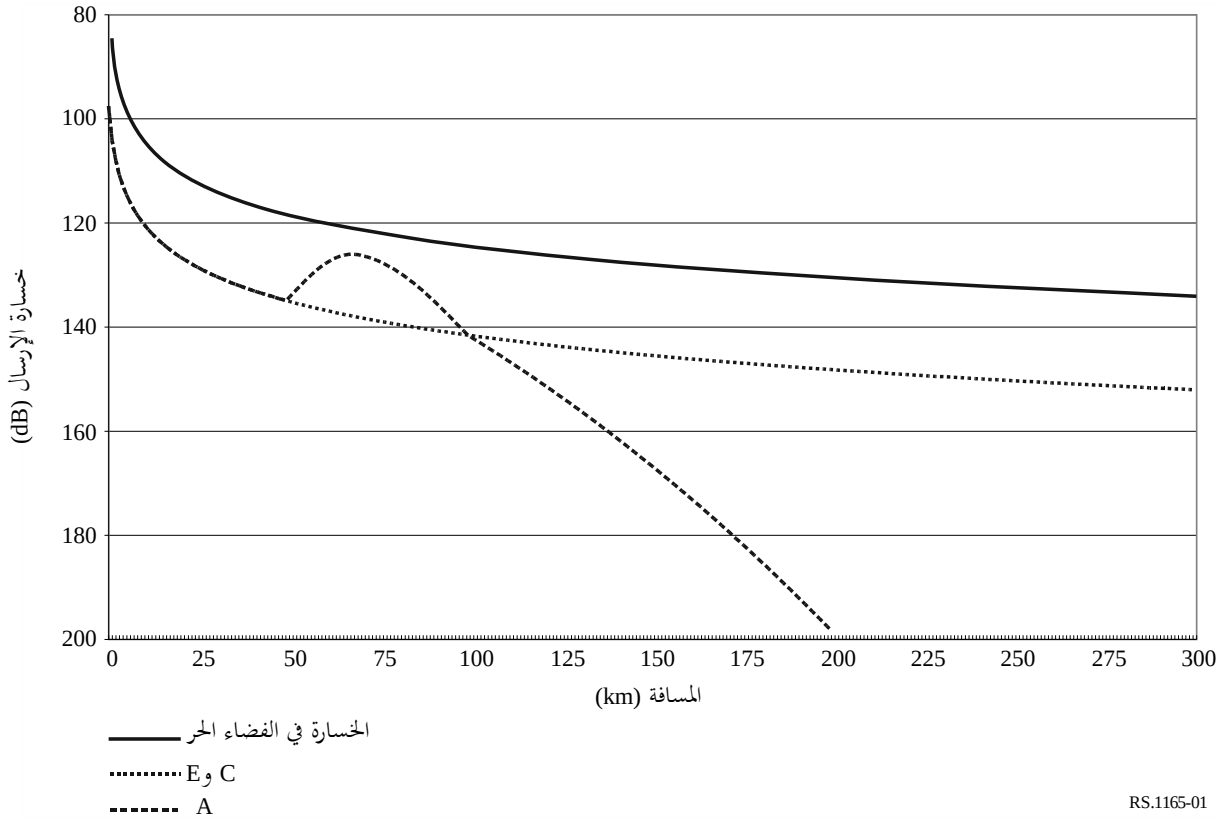
تتعلق التوصية ITU-R P.528 بـ "منحنيات الانتشار للخدمات المتنقلة للطيران وللملاحة الراديوية للطيران باستعمال النطاقات VHF وUHF وSHF. وبصفة خاصة، يتم توفير ظروف الانتشار في النطاقين 300 و200 1 MHz تتفق بدرجة معقولة مع الاختبارات الميدانية التي تؤدى في نطاقي التردد 403 و680 1 MHz.

ويبين الشكلان 1 و2 عمليات استكمال خارجي لمنحنيات خسارة الإرسال من التوصية ITU-R P.528 لحالة معينة لمسابير راديوية في ظل الفروض التالية:

- توفر الوقت بنسبة 97% (استخدمت صيغة مستمدة من التوصية ITU-R P.618 للاستكمال الخارجي من نسبة توفر 95% بصورتها الواردة في التوصية ITU-R P.528)؛
- مناخ قاري معتدل؛
- حد أقصى قدره 300 km لمسافة المسير المائل؛
- سيناريوهات لارتفاع الهوائي A وC وE تناظر هوائي استقبال 15 m، وارتفاعات هوائي إرسال قدرها000 1 و000 10 و000 20 m، على التوالي؛
- توهين إضافي قيمته 2,6 و2,9 dB على التوالي، في نطاقي التردد 403 MHz و680 1 MHz، على التوالي، لمراعاة الفرق في التردد مقارنة بالترددات الواردة في التوصية ITU-R P.528.

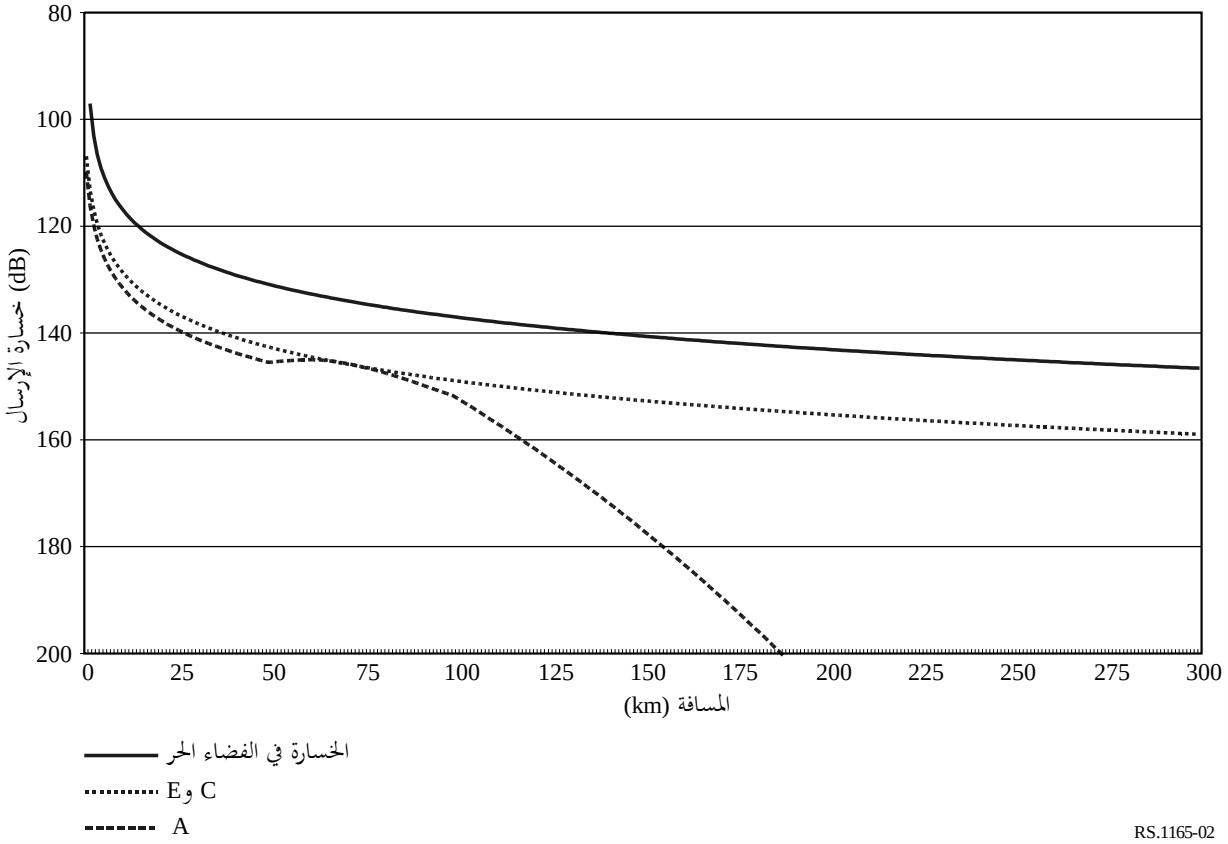
الشكل 1

خسارة الإرسال خلال 97% من الوقت في النطاق 403 MHz



الشكل 2

خسارة الإرسال خلال 97% من الوقت في النطاق 1 680 MHz

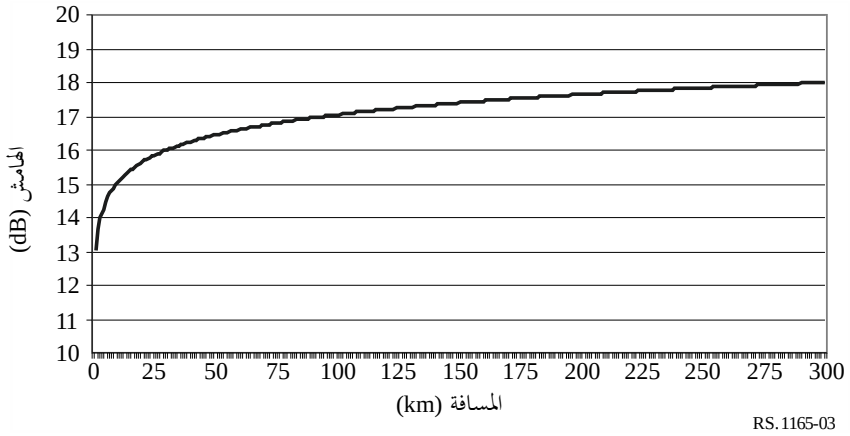


ويلاحظ من هذين الشكلين، أنه في حدود المسافات الممثِّلة لتشغيل المسابير الراديوية، يوجد تشابه بين المنحنيين C وE. بالنسبة للمنحنى A الذي يُناظر ارتفاعاً للمسبار الراديوي قدره 1 000 m، تحدث خسارات إرسال متماثلة حتى 50 km تقريباً، أما في المسافات الكبيرة فيمكن ملاحظة وجود تغير منتظم. غير أن الاحتمال الراجح هو أنه عند ارتفاع 1 000 m، ستكون مسافة المسير المائل للمسبار الراديوي أقل من 50 km، مما يعني أنه، بالنسبة لنطاقي التردد، ستكون منحنيات الانتشار المتصلة بهذا الارتفاع للمسبار الراديوي مماثلة لمنحنى الانتشار للارتفاعات الأعلى، كما في المنحنى المرسوم باللون الأزرق.

وعلى هذا الأساس، يوفر الشكلان التاليان الهامش الضروري لعمليات المسبار الراديوي بنسبة توفر قدرها 95%، التي تمثل الفرق بين منحنيات الخسارة في الفضاء الحر ومنحنيات خسارة الإرسال.

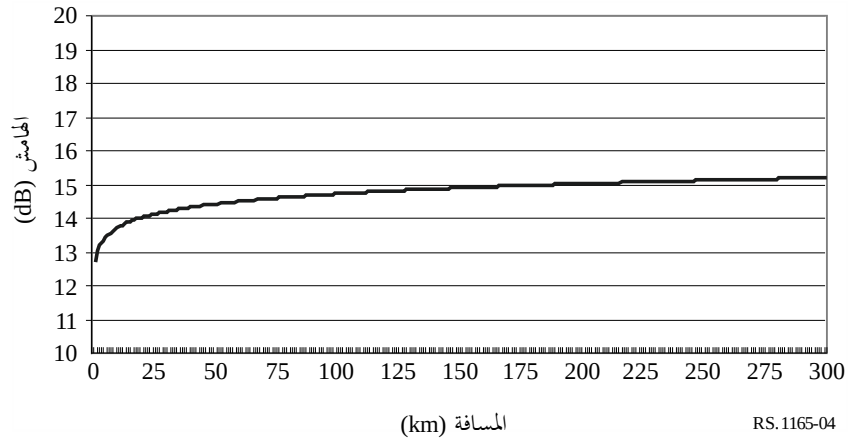
الشكل 3

الهامش الضروري لنسبة 97% من الوقت في النطاق 403 MHz



الشكل 4

الهامش الضروري لنسبة 97% من الوقت في النطاق 680 1 MHz

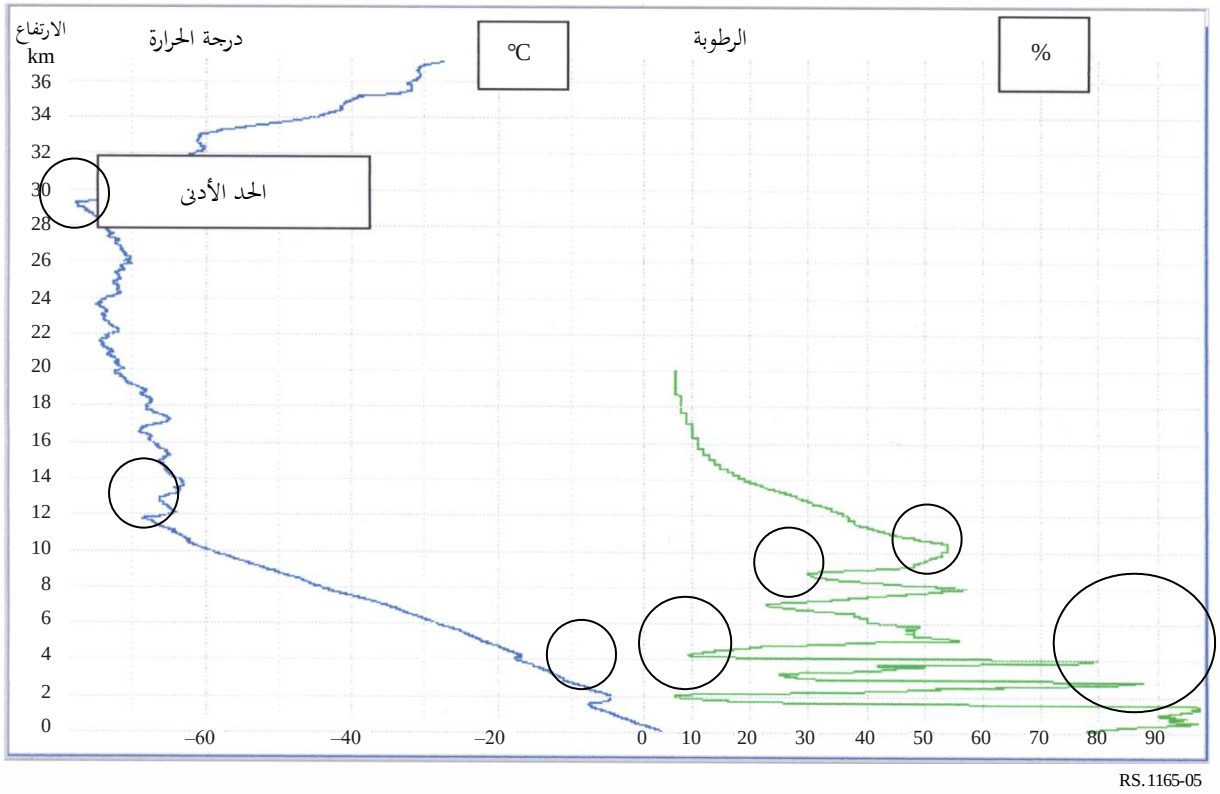


2.6 فترات الطيران الحاسمة

عموماً، توجد فترات زمنية في جميع عمليات الطيران للمسابير الراديوية تكون فيها البيانات أكثر أهمية من الفترات الأخرى. غير أنه لا يمكن تحديد هذه الفترات الزمنية من حيث الوقت أو الارتفاع. والمثال الوارد في الشكل 1 مقتبس من دليل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية/الاتحاد الدولي للاتصالات المعنون "استخدام الطيف الراديوي في الأرصاد الجوية" (طبعة 2002). وهو يقدم تمثيلاً بيانياً لدرجة الحرارة والرطوبة من طيران لمسبار راديوي. ورغم أهمية استقبال البيانات طوال فترة الطيران، فإن البيانات التي تفقد أثناء حدوث تغير مفاجئ في قيم درجات الحرارة أو الرطوبة أو الرياح في المناطق الممثلة بدوائر في الشكل 5) يمكن أن تؤثر تأثيراً ملموساً على قدرات التنبؤ لعدم إمكانية تحديد هذه النقاط الانتقالية. وبالنسبة لدراسات التداخل، ينبغي أن يفترض أن كامل بيانات المخطط متساوية في الأهمية.

الشكل 5

نموذج لتمثيل بياني لمخطط درجة الحرارة والرطوبة لمسبار راديوي



3.6 متطلبات التوفر لبيانات مسبار راديوي في عمليات سينوبتيكية

تتغير متطلّبات توفر البيانات حتى داخل الشبكات السينوبتيكية. وفي حين أنه قد توجد متطلبات أخرى يحددها كل مرفق من مرافق الأرصاد الجوية، فإنه توجد لأغراض هذه التوصية أربع فئات مختلفة، تشمل الفئة الأولى جميع أنظمة المسابير الراديوية التي تعمل في نطاق التردد 403 MHz. وهذه الأنظمة ممثلة في القسم 7 بالنظامين A وB. وتمثّل الفئة الثانية للمسابير الراديوية الرقمية الأحدث المشغَّلة في نطاق التردد 403 MHz بالأنظمة من C إلى F في القسم 7، والفئة الثالثة هي أنظمة المسابير الراديوية القديمة التي تعمل في نطاق التردد 680 1 MHz. والأنظمة الواقعة في هذه الفئة ممثلة في القسم 7 بالنظامين C وD. والفئة الرابعة والأخيرة هي فئة أنظمة جديدة يجري نشرها في نطاق التردد 680 1 MHz. ويقع النظام G في القسم 7 في هذه الفئة.

1.3.6 أنظمة المسابير الراديوية العاملة في النطاق 403 MHz

متطلبات الأنظمة العاملة في النطاق 403 MHz مختلفة إلى حد ما.

بالنسبة للمسابير الراديوية التماثلية العاملة في النطاق 403 MHz، يكون الحد الأقصى 4 دقائق مقبولاً للفترات التي تفقد خلالها بيانات الضغط ودرجة الحرارة والرطوبة والرياح. وخلال فترات فقد البيانات هذه يقوم نظام التجهيز في المسبار الراديوي بالاستكمال الداخلي للقيم المفقودة. وبمجرد أن تتجاوز فترة فقد البيانات 4 دقائق، تعتبر البيانات مفقودة، ولا تستخدم البيانات المأخوذة خلال هذه الفترات في أي نواتج. وبافتراض أن عملية الطيران تستغرق 120 دقيقة، فإن هذه الدقائق الأربع من الوقت غير المتاح تترجم إلى نسبة توفر مطلوبة للوصلة تبلغ 97%. ويستخدم النظام معياراً إضافياً إذا تجاوزت فترة فقد بيانات الرياح لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) 30 دقيقة من السطح، فإنه يمكن تحديد موعد جديد للطيران. ويحظى توفر البيانات بنفس القدر من الأهمية على جميع المستويات طوال فترة الطيران. وبعد استعراض عيّنة من بيانات المسابير الراديوية لنحو 65 000 عملية طيران، وجد أن توفر البيانات بالنسبة للضغط ودرجة الحرارة، والرطوبة، والرياح تبلغ 98,5%.

وبالنسبة للمسابير الراديوية الرقمية، التي تعمل في نطاق التردد 403 MHz، تكون المتطلبات المتعلقة بتوفر البيانات كما يلي:

- لا يُقبل أيُّ فقد للبيانات أثناء إطلاق مسبار راديوي (أقل من 100 m)؛
- بالنسبة لبيانات سرعة الريح:
  - من 100 m إلى 3 km فوق سطح الأرض يجب أن تكون نسبة توفر البيانات 97% على الأقل؛
  - من 3 km إلى نهاية الطيران، يجب ألا تقل نسبة توفر البيانات عن 95%؛
- بالنسبة لبيانات الضغط، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والرياح، يجب ألا تقل نسبة التوفر عن 96% لطيران مدته 120 دقيقة،
- وإضافة إلى ذلك، فإن الفقدان المستمر للبيانات لأكثر من 5 دقائق غير مقبول.

وفي الوقت الراهن انتقلت الغالبية العظمى من المستعملين الذين يقومون بعمليات في نطاق التردد 403 MHz من استخدام المسابير الراديوية التماثلية القديمة إلى النماذج الرقمية الأحدث. وأخيراً، وباختصار، يبدو أن متطلب توفر البيانات لكل من أنظمة المسابير التماثلية والرقمية في نطاق التردد 403 MHz هو 97%.

2.3.6 أنظمة المسابير الراديوية القديمة العاملة في نطاق التردد 680 1 MHz

يتضمن الجدول 2 قائمة بمتطلبات التوفر المقترحة لوصلة مسبار راديوي تنطبق على أنظمة المسابير الراديوية القديمة العاملة في نطاق التردد 680 1 MHz. ولتحقيق الغرض من هذه الأنظمة يجب استيفاء جميع الحدود الواردة في عمود فقدان البيانات. والأرقام غير تراكمية؛ وينطبق كل متطلب على الفترة الزمنية المحددة فقط. وإضافة إلى المتطلبات الواردة في الجدول 2، فإن البيانات المفقودة و/أو المرفوضة المتعلقة بالضغط أو درجة الحرارة يجب ألا تحدث لفترة تزيد عن ثلاث دقائق متعاقبة خلال أي نقطة في الطيران.

الجدول 2

أهداف أداء العمليات السينوبتيكية للمسابير الراديوية بصورتها المستعملة في أمريكا الشمالية

وقت الطيران (بالدقائق)	الحد الأقصى لفقدان البيانات لما لا يزيد عن 2% من عمليات السبر (لكل موقع، لكل شهر[1])
120-0 (كامل وقت الطيران)	15 دقيقة (12,5%)
5-0	60 ثانية (20%)
15-5	(2) دقيقتان (20%)
30-15	3 دقائق (20%)
60-30	6 دقائق (20%)
120-60	12 دقيقة (20%)

[1] عمليات السبر التي لا تستوفي متطلب 2% تعتبر عمليات طيران فاشلة وتستلزم إطلاقاً ثانياً إذا تقرر أنه حدث إخفاق خلال 30 دقيقة بعد الإطلاق. وتُصنّف عمليات الطيران التي لا تستوفي المتطلبات بعد 30 دقيقة من الوقت على أنها عمليات طيران فاشلة.

وينطبق هدف توفر البيانات المحدد على فقدان البيانات من جميع المصادر (التداخل، وخطأ المشغل، وإخفاق المعدات، وإخفاق المسبار الراديوي، وخطأ محساس البيانات). وبالنسبة للفترة التي تغطي نهاية الطيران (60-120 دقيقة)، قد يحدث فقدان للبيانات حدّه الأقصى 20%. وعلاوة على ذلك، فإن عدم إكمال أي عملية طيران لا تكتمل حتى نقطة إتمامها بعد 120 دقيقة، تصنف أيضاً على إنها إخفاق. وهناك عوامل كثيرة قد تؤدي إلى تقليص طول فترة الطيران، بما في ذلك التداخل. ويتسبب التداخل عادة في إخفاق نظام المستقبِل في التقاط الإشارة المرغوبة. وإذا لم يتم التقاط الإشارة مرة أخرى خلال وقت كافٍ (نحو ثانية واحدة أو أقل)، فإن التحكم الأوتوماتي في تردد (AFC) المستقبل يعيد المستقبِل إلى إشارة أخرى ذات قوّة كافية لتحقيق التقاط المستقبِل. وفي أنظمة RDF تزداد المشكلة تفاقماً بفقدان هوائيات RDF التي لها عرض حزمة ضيق لحركة المسبار الراديوي. وبالنسبة لهذا النظام بالذات، قد يحدث فقدان للطيران عندما تزيد خسائر الوصلة عن 0,8 ثانية.

3.3.6 الأنظمة الحديثة العاملة في نطاق التردد 1 680 MHz

خلال السنوات الأخيرة، استفادت المسابير الراديوية العاملة في نطاق التردد 1 680 MHz من التكنولوجيات الجديدة في تحسين خصائص RF لأنظمة المسابير الراديوية وأدائها. وكانت هذه التغييرات مطلوبة من أجل زيادة توفر البيانات ودقتها لاستخدامها في النماذج الأكثر تعقيداً والحساسة للفقدان الكبير للبيانات. وقد صمم أحد الأنظمة المتخذة كنموذج بهدف توفر قدرة 98%. وأظهرت الاختبارات أن هذا النظام يفي بمتطلّب التوفر هذه. وكما هو الحال في الأنظمة القديمة، تنطبق قيمة التوفر على جميع مصادر البيانات المفقودة. ويجب تقسيم النسبة القصوى لعدم التوفر البالغة 2% بين جميع مصادر فقد البيانات، بما في ذلك أخفاق الوصلة بسبب الخبو والتداخل.

وفي نطاق التردد 1 680 MHz، يجري نشر أنظمة لها خصائص أخرى ومتطلبات توفر بيانات أخرى. وحددت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية مجموعتين إضافيتين من المتطلبات ينبغي أخذهما في الاعتبار.

ينطبق المتطلّب الجديد الأول على نظام مسبار راديوي مكوّن من مسبار راديوي من النوع F ونظام استقبال F. ونص متطلب توفر البيانات كما يلي:

- جميع المسابير الراديوية لن يزيد مجموع ما تفقده عن 4 دقائق من بيانات الأرصاد الجوية خلال طيران مدته 120 دقيقة لمسبار راديوي يرتفع بمعدل 50 ± 300 متراً في الدقيقة لمدى مائل يبلغ 250 km. أما بالنسبة لعمليات الطيران التي تقل مدتها عن 120 دقيقة بسبب انفجار البالون أو المدى الزائد، فسوف يكون مجموع فقد البيانات المسموح به هو نسبة الوقت الفعلي للطيران بالدقائق مقسوماً على 120 مضروباً في الحد الأقصى لفقد البيانات المبين هنا للبيانات الديناميكية الحرارية أو سرعة الرياح وللبيانات المتعلقة بموضع المسبار الراديوي.
- إضافة إلى ذلك، وبالنسبة لفقد البيانات في قطاعات صغيرة، لا يفقد النظام أكثر من 15 ثانية من الضغط أو درجة الحرارة، أو الرطوبة النسبية أو الموضع GPS أو سرعة الرياح خلال أي فترة مدتها 5 دقائق من وقت الطيران وعدم تحقيق أيٍّ من هذه المتطلبات يؤدي إلى عدم نجاح الطيران.

ينطبق المتطلب الثاني الذي حددته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية على نظام لا ترد مراجع بشأنه في هذه التوصية. ويكون هذا النظام عرضةً لفقد البيانات خلال المرحلة الأولية للصعود حتى 1 km (نحو 200 ثانية بعد الإطلاق)، حيث يمكن أن يُسفر الارتفاع الشديد للسرعة الزاوية لحركة المسبار الراديوي تحت ظروف اشتداد الريح وعدم ملاءمة الجيومترية إلى عدم نجاح المتابعة في وجود تداخل. وقد يؤدي ذلك إلى ضعف أو فقدان بيانات الريح بالنسبة للطبقة الحدودية. وفوق ارتفاع 1 km، يعتبر فقد اثنين أو أكثر من السويات المعيارية المتساوية الضغط (نحو 10-15 دقيقة) فقداً غير مقبول للبيانات ويؤدي إلى إنهاء معالجة البيانات. ويتم وضع علامة مفقود مقابل الثغرات في المنحنى الجانبي إذا زادت عن 20 hPa. وتبين الخبرة العملية أن مستوى فَقْد البيانات لهذا النظام، تحت الظروف العادية، يكون من الضآلة بحيث يمكن إهماله بالنسبة للقياس عن بُعد والمتابعة.

وإن متطلب توفر البيانات لأنظمة المسابير الراديوية الحديثة في نطاق التردد 1 680 MHz هو 98%.

4.6 ملخص متطلّبات توفر البيانات

الجدول 3

معايير أداء الأنظمة التي تعمل في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية

النظام	مكان المستقبِل	الحد الأقصى لمدى الوصلة (km)	الحد الأدنى لقيمة S/N للنظام (dB)	متطلب توفر البيانات طوال فترة الطيران (%)	متطلب توفر البيانات على الأجل القصير
نظام مسبار راديوي RDF يعمل في النطاق MHz 1 680	الأرض	250	12	87,5	انظر الفقرة 2.3.6
نظام مسبار راديوي GPS يعمل في النطاق MHz 1 680	الأرض	250	12	97	15 s/5mn (%95)
نظام مسبار راديوي رقمي يعمل في MHz 403	الأرض	250	12	97	–
نظام مسبار راديوي رقمي GPS يعمل في MHz 403	الأرض	250	12	97	–
نظام مسبار راديوي NAVAID يعمل في النطاق MHz 403 بهوائي استقبال عالي الكسب	الأرض أو السفينة	250	12	97	–
نظام مسبار راديوي NAVAID يعمل في النطاق MHz 403 بهوائي استقبال منخفض الكسب	الأرض أو السفينة	150	12	97	–
نظام مسبار راديوي NAVAID يعمل في النطاق MHz 403 بهوائي استقبال عالي الكسب ومستقبِل رقمي	الأرض أو السفينة	250	7	97	–
نظام مسبار راديوي NAVAID يعمل في النطاق MHz 403 بهوائي استقبال منخفض الكسب ومستقبِل رقمي	الأرض أو السفينة	250	7	97	–

7 خصائص الاتصالات الراديوية للأنظمة الحالية للمسابير الراديوية

تتكون أنظمة المسابير الراديوية من مُرسلات مسابير راديوية ومحطات استقبال أرضية تضم مستقبلاً وهوائياً.

1.7 خصائص المُرسل

ترد الخصائص المعتادة لأنظمة المرسل المستخدمة حالياً في نطاق التردد MHz 403 والنطاق MHz 1 680 في الجدولين 4 و5.

الجدول 4

خصائص الاتصالات الراديوية لمرسلات مسبار راديوي يعمل في نطاق التردد 403 MHz

المعلمة	النوع A (تماثلي)	النوع B (رقمي)	النوع C (رقمي)	النوع D (رقمي)	النوع E (رقمي)
مدى التوليف (MHz)	406-400,15	406-400,15	406-400,15	400,15-405,9900	400,25-405,875
أقصى انسياق للطيران (kHz)	800±	20±	2±	3±	5±
قدرة الخرج الاسمية (dBm)	24,0+	24,0+	18,5+	20	18,5
الكسب الأقصى للهوائي (dBi)	2	2	2	3	2
نمط إرسال في القطاع ITU-R	F9D	F7D	FID	F2D	F1D
التشكيل	FM	GMSK	GFSK	QAM	FSK
عرض نطاق مشغول (kHz) (سوية –40 dBc)	200	61	27,6	15	28
الإرسال خارج النطاق (dBc)	43– >	48– >	49 >	37– >	48,5– >

الجدول 5

خصائص الاتصالات الراديوية لمُرسلات مسبار راديوي يعمل في النطاق 680 1 MHz

المعلمة	النوع G (تماثلي)	النوع H (تماثلي)	النوع I (رقمي)
مدى التوليف (MHz)	1 700-1 668,4	1 700-1 668,4	1 683-1 675
أقصى انسياق للطيران (MHz)	4±	4±	1±
قدرة الخرج الاسمية (dBm)	24,0+	24,0+	23,8+
الكسب الأقصى للهوائي (dBi)	2,0	2,0	2,0
الكسب الأقصى للهوائي(dBi)	10– >	10– >	4–
التشكيل	AM، 100%	FM	FSK
الإشارة المشكلة PTU (kHz)	1,0-0,7	10-7	لا ينطبق
الانحراف (kHz)	لا ينطبق	45 ± 15	50 >
تحديد سرعة واتجاه الريح	كشف زوايا الاستقبال	كشف زوايا الاستقبال	GPS
عرض النطاق المشغول	MHz 0,5: dBc 40– MHz 1,0: dBc 50–	kHz 180	kHz 120
معدل المعلومات (bit/s)	1 200	1 200	2 400
الإرسال خارج النطاق (dBc)	43– >	43– >	48– ≥

2.7 أنظمة الاستقبال

1.2.7 نطاق التردد 403 MHz

ترد في الجدول التالي الخصائص النمطية للمستقبِلات المستخدمة حالياً في نطاق التردد 403 MHz. وترد في الجدول 7 الخصائص النمطية لهوائي الاستقبال في نطاق التردد 403 MHz.

الجدول 6

خصائص المستقبِلات في نطاق التردد 403 MHz

المعلمة	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
النوع	تماثلي	رقمي	رقمي	رقمي	رقمي
مدى الترددات (MHz)	406-400,15	406-400,15	406-400	405,99-400,15	405,875-400,25
التشكيل	FM	GMSK	GFSK	QAM	FSK
الحساسية (dBm للقيمة المطلوبة لـ S/N أو E_b/N_o	104–	124–	122–	121–	119–
قيمة S/N المطلوبة (dB)	12[2]	12	12[2]	12	12[2]
عرض النطاق IF (kHz)	300	6	11	17	18,8
نوع المسبار الراديوي	A	B	C	D	E
نوع هوائي الاستقبال [1]	الهوائي 2	الهوائي 3	الهوائي 2	الهوائي 3	الهوائي 4

[1] انظر الجدول 7.

[2] 12 dB لمقدار 0,2 من خسارة البيانات، 7 dB لمقدار 0,02 من خسارة المسار.

الجدول 7

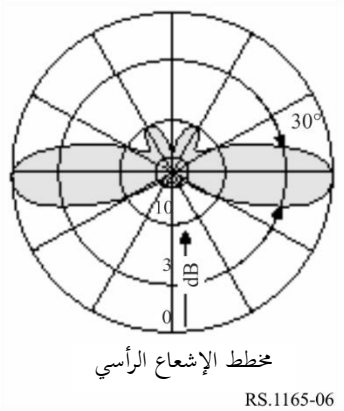
خصائص هوائيات الاستقبال التي تعمل في نطاق التردد 403 MHz

	الهوائي 1	الهوائي 2	الهوائي 3	الهوائي 4
النوع	**شامل الاتجاهات (ثنائي الأقطاب، المستوى الأرضي)**	**عواكس اتجاهية عند الزوايا، ست زوايا**	**شامل الاتجاهات (ثنائي الأقطاب)**	**Steerable Yagi**
مدى الترددات	409-397	406-400	406-400	406-400
كسب الحزمة الرئيسية (dB)	شامل الاتجاهات	8	2,15	11
عامل ضوضاء المكبّر (dB)	3,5 >	2,5 >	3,0 >	4,0 >
كسب المكبّر (dB)	13	20	20	38
خسارة إدخال مرشح تمرير النطاق (dB)	غير منطبق	0,5	0,5	0,5
عرض نطاق مرشح تمرير النطاق (MHz)	غير منطبق	MHz 406-400	MHz 406-400	406-400

الهوائيان 1 و3 يغطيان جميع الاتجاهات في المستوى الأفقي ومن ثم لا يلزم تحريك الهوائي أو تبديل أي عنصر من أجل تتبُّع إشارة المسبار الراديوي. الهوائي 2 يتكون من مجموعة عاكسة ذات ست زوايا وهوائي ثنائي القطب. يتم تبديل العاكسات ذات الزوايا والهوائي الثنائي القطب باستخدام مفتاح ثنائي المسرى بحيث يُوصَل بالمستقبِل بأنسب العناصر لتحقيق أفضل استقبال. والهوائي 4 هو هوائي ياغي (Yagi) مركب على سارية قابلة للتوجيه لتتبع سمت الهوائي. ويبلغ ارتفاع الفص الرئيسي للهوائي 4 حوالي 20 درجة.

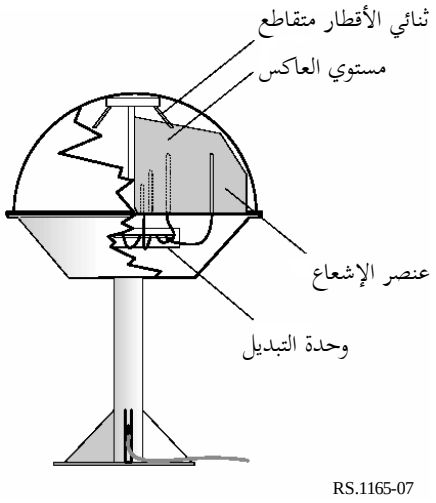
الشكل 6

مخطط إشعاع الهوائي 3



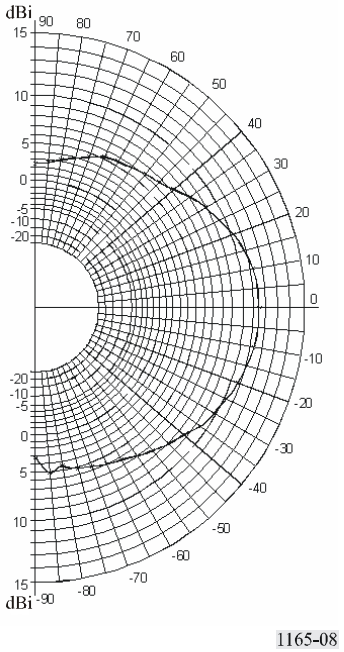
الشكل 7

بيان توضيحي للهوائي 2



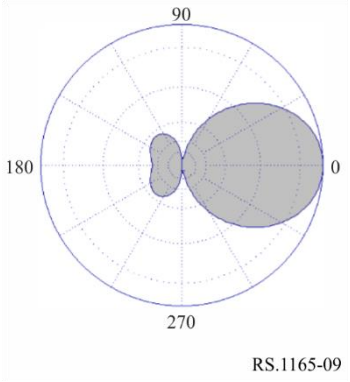
الشكل 8

مخطط الإشعاع (المستوي–H، بزاوية 12º) من الهوائي 2



الشكل 9

مخطط إشعاع الهوائي 4



2.2.7 نطاق التردد 1 680 MHz

يبين الجدول 8 الخصائص النمطية لأنظمة الاستقبال المستعملة حالياً في نطاق التردد 1 680 MHz.

الجدول 8

خصائص الهوائي ونظام الاستقبال في النطاق MHz 1 680

	النظام G	النظام H	النظام I
النوع	صفيف مطاور	مسح مخروطي	مسح مخروطي[1]
مدى الترددات (MHz)	1 700-1 668,4	1 700-1 668,4	1 700-1 668,4
تغطية حزمة (3 dB) (بالدرجات) (أفقياً)	20	8,8	8,0
(رأسياً)	15	8,8	8,0
الكسب (dBi)	16	28	26
التوهين في الفصوص الجانبية (dB)	> 20 باتجاه الانعكاس المرآوي على الأرض على مستو مسطّح بزاوية ارتفاع > 14°	من 15 ± 60° من زاوية التسديد	20 <
الحساسية (dBm) من أجل 12 dB *S/N*	110–	97–	106,8–
تحكم أوتوماتي بالكسب (dB)	110		123
عرض النطاق IF لقياس PTU (kHz)	300	180	150
– التتبع (MHz)	لا ينطبق	1,3	150
نوع المسبار الراديوي المستخدم معه	G	DH	I

[1] هذا النظام لا يستخدم مسحاً مخروطياً حقيقياً عندما يكون هناك عاكس دوار في قادوس التغذية، يقوم بلفّ الحزمة الرئيسية حول محور الخطر المركزي للهوائي. ولهذا النظام أربعة عناصر منفصلة في قادوس التغذية تكون أربع حزم منفصلة في كل من الاتجاه العلوي والسفلي والأيمن والأيسر لمقارنة سوية الإشارة ولتتبعها.

8 خصائص الاتصالات الراديوية لأنظمة Dropsonde

المسابير الراديوية Dropsondes هي مجموعة أجهزة استشعار تُحمل على متن طائرة ويتم إسقاطها بمظلة لإعداد بيانات عن الغلاف الجوي. ورغم أنه يمكن استخدام هذه المسابير فوق اليابسة، فإنها تستخدم عادة فوق مناطق من المحيطات يتعذر تشغيل مواقع للمسابير الراديوية عليها. وتستخدم مسابير Dropsondes على نطاق واسع لرصد الأحوال الجوية في العواصف المدارية، والأعاصير المدارية في غرب المحيط الأطلسي وبحر الصين (Hurricanes) و(Typhoons) لأن الطائرات يمكن أن تُسقطها عند نقاط معينة وهي تحلِّق عبر العاصفة. وتبث المسابير Dropsondes البيانات التي يتم الحصول عليها بالمحاسيس (Sensors) إلى مستقبِل على متن الطائرة. وقد تستقبل الطائرة الواحدة بيانات من عدد يصل إلى ثمانية مسابير Dropsondes في نفس الوقت، مما يستلزم استخدام نظام استقبال متعدد القنوات.

وتمر المسابير Dropsondes التي تُسقط من طائرة خلال الغلاف الجوي بسرعة عالية وهي تهبط بمظلة، وفقد البيانات ولو لفترة وجيزة من الوقت يمكن أن يؤدي إلى فقدِ أجزاء كبيرة من البيانات لأجزاء مهمة من الغلاف الجوي. ورغم أن جميع البيانات التي يتم الحصول عليها أثناء الهبوط مهمة للغاية، فإن الكثير من التطبيقات تركز تركيزاً إضافياً على آخر نقطة بيانات قبل وصول المسبار Dropsonde إلى السطح. وتمثل آخر نقطة بيانات الظروف على السطح، وهي حاسمة لتطبيقات التنبؤ.

1.8 الممارسات التشغيلية لمسابير Dropsondes

يتم إسقاط مسابير Dropsondes من ارتفاعات تتراوح بين 000 3 و400 21 متر، ويتم تتبُّعها حتى تصل إلى سطح الأرض. وقد تقوم الطائرة التي تنشر مسابير Dropsondes بتتبُّع عدد يصل إلى ثمانية مسابير وتَلقِّي البيانات منها في آن واحد. ويتيح هذا للطائرة الطيران وفقاً لنمط معين فوق عاصفة، وإطلاق مسابير Dropsondes وجمع البيانات من نقاط رئيسية داخل العاصفة. وتستعمل مسابير Dropsondes مستقبلات RNSS للحسابات المتعلقة بالرياح. ويتم تجميع بيانات GPS من مكان المسبار Dropsonde وإرسالها مع القيم المقيَّسة لبيانات الضغط ودرجة الحرارة والرطوبة.

وأكثر استخدامات مسابير Droposondes شيوعاً هو رصد الظروف الجوية داخل العواصف المدارية والأعاصير المدارية في غرب المحيط الأطلسي Hurricanes وبحر الصين Typhoons. وتتيح المسابير Dropsondes إعداد مخطط جانبي للغلاف الجوي داخل العواصف الكبيرة وهي لا تزال بعيدة عن البر. وتكون البيانات حاسمة لرصد قوة العاصفة والتنبؤ بقوتها ومسارها في المستقبل.

كما تُستخدم مسابير Dropsondes على الصعيد العالمي في إجراء بحوث الأرصاد الجوية والمناخية فوق المحيطات واليابسة. وتتيح مسابير Dropsondes التطوير السريع لمجموعات محاسيس عالية الكثافة في مناطق يتعذر نشر محطات للمسابير الراديوية فيها. كما يتيح استعمالها إعادة تشكيل هيكل الشبكة استجابة للظروف المتغيرة، التي قد لا تتمكن محطات المسابير الراديوية الموجودة على الأرض من الاستجابة السريعة لها.

2.8 خصائص نظام مسابير Dropsonde

تصمم أنظمة مسابير Dropsonde للعمل مع مستقبِل على متن طائرة. والهوائيات العالية التناحي اللازمة للعمليات التي تُجرى في نطاق التردد MHz 1 680 غير عملية. وتصمم مسابير Dropsondes من أجل العمل في نطاق التردد MHz 403 الموزع على MetAaids حيث يمكن استخدام هوائيات شاملة الاتجاهات منخفضة الكسب. ويحوي الجدولان 9 و10 الخصائص النمطية لمرسلات المسبار الهابط ومستقبلات المسبار الهابط على التوالي.

الجدول 9

خصائص مُرسل مسبار هابط (Dropsonde)

المعلمة	النوع 1
مدى الترددات	MHz 406-400,15
قدرة خرج المرسل	dBm 21
نوع الهوائي	قطب وحيد رأسي
كسب الهوائي	dBi 2+ عند السمت
	10– عند السمت والنظير
التشكيل	FM (BPS FSK 640 وBPS AFSK 1 200)
عرض نطاق الانبعاث	kHz 15
ارتفاع التشغيل	من السطح إلى 400 21 متر

الجدول 10

خصائص مستقبِل مسبار هابط (Dropsonde)

المعلمة	النوع 1
مدى الترددات (قنوات عديدة)	MHz 406-400,15 (قنوات عديدة)
عدد قنوات الاستقبال	8
حساسية المستقبِل (بالنسبة لـ *S/N* 12 dB)	dBm 121–
الحد الأدنى لقيمة *S/N* بالنسبة لاستقبال البيانات	dB 12
عرض النطاق IF (dB 3)	kHz 18
نوع الهوائي	نصف شامل الاتجاهات
ارتفاع التشغيل	من السطح إلى 400 21 متر

3.8 الخطط المستقبلية لمسبار Dropsonde

ينظر حالياً في إدخال عمليات تكييف عديدة على مسبار Dropsonde الحالي من أجل تطبيقات أكثر تقدماً. وستتيح هذه التطبيقات جمع بيانات إضافية وجمع بيانات في مناطق يصعب حالياً جمع بيانات عنها.

التعديل المستقبلي الأول لمسبار Dropsonde هو إدراج القدرة، وهو محمول جواً، ويستعمل لمرة واحدة، على أداء وظيفة إعداد مخطط لتغير درجة الحرارة مع عمق المحيط (AXBT) بمجرد سقوطه في المحيط. وإضافة إلى إعداد مخطط لظروف الغلاف الجوي، سيوفر مسبار Dropsonde المؤهل للقيام بوظيفة AXBT بيانات عن ظروف المحيط، مقدماً للمتنبِّئين بيانات إضافية تستخدم في نماذج التنبؤ.

كما يجري النظر في تطبيقات لنشر مسابير Dropsondes من بالون منساق أو مركبة جوية غير مأهولة. وهذه الأنظمة تتيح جمع بيانات بصورة روتينية في مناطق فوق المحيطات يندر فيها جمع بيانات الآن أو لا تجمع منها بيانات على الإطلاق.

9 خصائص الاتصالات الراديوية لأنظمة Rocketsonde

تُستخدم مسابير Rocketsondes بواسطة الوكالات الفضائية ومستعملين آخرين لهم متطلبات من البيانات لا يمكن تلبيتها باستخدام المسابير الراديوية أو مسابير Dropsondes. ومسابير Rocketsonde، شأنها شأن Dropsondes، تجمع بيانات عن الغلاف الجوي أثناء هبوطها عبر الغلاف الجوي. وتختلف مسابير Rocketsondes عن مسابير Dropsondes في أنه لا يتم إسقاطها من طائرة وإنما يتم رفعها بسرعة في الغلاف الجوي على صاروخ صغير يعمل بوقود صلب وتجمع البيانات أثناء عودة مسبار Rocketsonde إلى الأرض معلقاً في مظلة.

1.9 الممارسات التشغيلية لمسابير Rocketsonde

تنشر مسابير Rocketsondes لإجراء قياسات جوية باستخدام صاروخ صغير يعمل بوقود صلب. ويستخدم نوعان من أنظمة Rocketsondes أحدهما للارتفاعات المنخفضة والآخر للارتفاعات العالية. ولا تستخدم هذه المسابير على نطاق واسع، رغم أن استخدامها يكون بالغ الأهمية في الحالات التي يكون فيها أداؤها الفريد في جمع البيانات هو الوحيد الذي يلبي المتطلبات من البيانات.

ويستخدم النوع الذي يعمل عند الارتفاعات المنخفضة لنشر منظومات للقياسات الجوية بسرعة كبيرة على ارتفاع 000 1 متر من أجل إجراء قياسات على الظروف الجوية في الطبقة الحدودية، وفي هذا النوع يتم إطلاق المنظومة المحتوية على أجهزة القياس من جسم الصاروخ عند وصوله إلى نقطة الأوج.

أما النوع الذي يعمل عند الارتفاعات العالية فيستخدم لنشر منظومات للقياس الجوي عند ارتفاعات عالية (فوق 32 km) لا يمكن الوصول إليها باستخدام المسابير الراديوية المحمولة بواسطة بالونات. وبعد الإطلاق يحترق محرك الصاروخ بسرعة عند ارتفاع منخفض (نحو 000 2 متر) وينفصل عن جسم الصاروخ الذي يحمل المسبار Rocketsonde إلى نقطة الأوج (73 إلى 125 km). وعند نقطة الأوج تنطلق حمولة المسبار من جسم الصاروخ وتهبط خلال الغلاف الجوي محمولة بواسطة مظلة. وفضلاً عن بث بيانات الأرصاد الجوية من مسبار Rocketsonde، تصنع المظلة من مادة Mylar معالجة بالألومنيوم تجعل من الممكن تتبُّع الطبقة المغطية للمسبار بواسطة الرادار من أجل إجراء القياسات المتعلقة بالرياح في الغلاف الجوي. والفترة الزمنية التي تنقضي عادة بين نشر المسبار عند نقطة الأوج وانتهاء جمع البيانات عند ارتفاع 14 km هي عادة 100 دقيقة. وتؤدي عملية تتبُّع الطبقة التي تغطي جسم المسبار بواسطة الرادار في نطاق التردد المخصص للاستدلال الراديوي وليس في نطاق التردد المخصص لخدمة MetAids.

2.9 خصائص نظام Rocketsonde

تعمل أنظمة Rocketsonde في كل من النطاق 403 MHz والنطاق 680 1 MHz. وتبين الأقسام التالية خصائص الأنظمة التي تعمل في النطاق 403 MHz والنطاق 680 1 MHz. ويحتوي الجدول 11 على خصائص مرسلات المسبار الصاروخي المشغَّلة في نطاق التردد 403 MHz، ويحتوي الجدول 12 على خصائص مرسلات المسبار الصاروخي المشغَّلة في نطاق التردد 680 1 MHz.

الجدول 11

مُرسلات المسبار الصاروخي (Rocketsonde) للارتفاعات المنخفضة الذي يعمل في النطاق 403 MHz

المعلمة	النوع 1
مدىً يوالف (MHz)	406–400,15
قدرة المرسل (dBm)	15,0
التشكيل	GFSK
أقصى ارتفاع (بالنسبة إلى منسوب الإطلاق للمنطقة) (بالأمتار)	~ 1 000
المدى الأقصى (km)	20

للاطلاع على خصائص أنظمة الاستقبال المستخدمة مع أنظمة Rocketsonde العاملة في نطاق التردد 403 MHz، راجع النظام B في الجدول 6. وللاطلاع على أنظمة الهوائيات المستخدَمة مع أنظمة Rocketsondes العاملة في نطاق التردد 403 MHz، راجع الهوائي 1 في الجدول 7.

الجدول 12

مُرسِلات المسبار الصاروخي (Rocketsonde) العاملة في نطاق التردد 1 680 MHz

المعلمة	النوع 1
مدىً يوالف (MHz)	1 684-1 680
قدرة المرسل (dBm)	26,5
التشكيل	FM
أقصى ارتفاع (بالنسبة إلى منسوب الإطلاق للمنطقة) (بالكيلومترات)	82

ويحتوي الجدول 13 على خصائص أنظمة الاستقبال التي يتم المشغَّلة مع المسابير الصاروخية في نطاق التردد 1 680 MHz.

الجدول 13

نظام الهوائي/المستقبِل لمسبار Rocketsonde يعمل في نطاق التردد 1 680 MHz

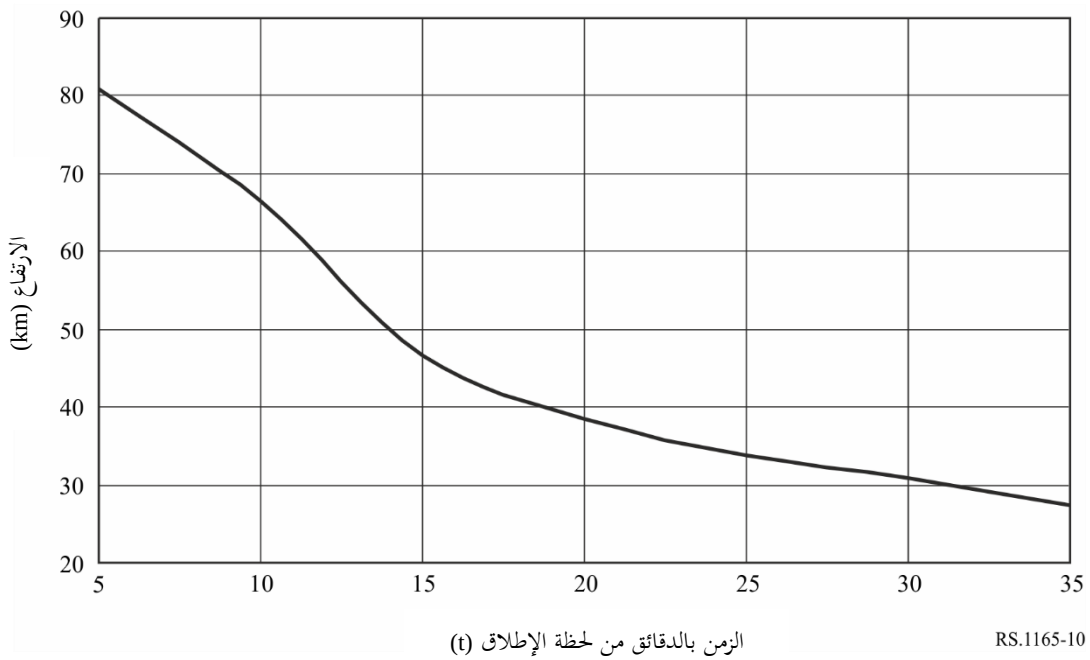
المعلمة	النوع 1
مدىً يوالف (MHz)	1 700-1 660
عرض حزمة الهوائي (بالدرجات)	5,4
كسب الهوائي (dBi)	29
استقطاب الهوائي	مُيامِن دائري
مدى الارتفاع (بالدرجات)	–5 إلى 95
عامل ضوضاء المستقبِل (dB)	dB 6,4
التشكيل	AM وFM
المدى الأقصى (km)	300

3.9 المخطط الجانبي لتمثيل هبوط مسبار Rocketsonde

لا يهبط مسبار Rocketsonde هبوطاً خطياً. وقد يمثل المخطط الجانبي للهبوط عنصراً حاسماً في إجراء الحسابات أو القيام بعمليات محاكاة لتحديد مدى التوافق مع الخدمات الراديوية الأخرى. ويتضمن الشكلان 9 و10 تمثيلاً بيانياً للمخطط الجانبي للإطلاق/الهبوط لمسبار Rocketsonde من النوع الذي يعمل في الارتفاعات العالية.

الشكل 10

مخطط الزمن مقابل الارتفاع لمسبار Rocketsonde
من النوع الذي يعمل عند الارتفاعات العالية



الشكل 11

مخطط الارتفاع مقابل سرعة الهبوط لمسبار Rocketsonde
من النوع الذي يعمل عند الارتفاعات العالية