ITU-R

دليل
استعمال الطيف الراديوي في الأرصاد الجوية: المراقبة والتنبؤ فيما يتعلق بالطقس والماء والمناخ

طبعة 2017

ITU

WMO

ITU and Climate Change

دليل

استعمال الطيف الراديوي في الأرصاد الجوية: المراقبة والتنبؤ فيما يتعلق بالطقس والماء والمناخ

طبعة 2017

مكتب الاتصالات الراديوية

ITU

World Meteorological Organization

WMO

ملاحظة:

التسميات المستخدمة في مطبوعات الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية وطريقة عرض المواد فيها لا تعني بأي حال من الأحوال التعبير عن أي رأي من جانب أمانة المنظمة فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطاتها، أو فيما يتعلق بتعيين حدودها أو تخومها.

الآراء المعبّر عنها في مطبوعات الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية تخص المؤلفين ولا تعكس بالضرورة آراء الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. وذكر شركات أو منتجات بعينها لا يعني أن هذه الشركات أو المنتجات معتمدة أو موصى بها من الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية تفضيلاً لها على سواها مما يماثلها ولم يرد ذكرها أو الإعلان عنها.

وتوجه المراسلات والطلبات المقدمة لنشر أو استنساخ أو ترجمة هذا المطبوع جزئياً أو كلياً إلى العنوان التالي:

Chairperson, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

الهاتف: 03 84 730 22 (0) 41+
الفاكس: 17 81 730 22 (0) 41+
البريد الإلكتروني: publications@wmo.int

الاتحاد الدولي للاتصالات
978-92-61-24876-5 (النسخة الورقية)
978-92-61-24886-4 (النسخة الإلكترونية)

المنظمة العالمية للأرصاد الجوية
مطبوع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية رقم 1197
978-92-63-61197-0 (النسخة الإلكترونية)

© WMO-ITU 2017

حقوق الطبع الورقي أو الإلكتروني أو بأي وسيلة أو لغة أخرى محفوظة للاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. ولا يجوز استنساخ أي جزء من هذا المنشور بأي وسيلة كانت دون الحصول على إذن مكتوب مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

تمهيد

"يعدّ تغير المناخ تهديداً في حد ذاته ومضاعفاً للكثير من التهديدات الأخرى – بدءاً من الفقر ومروراً بالنزوح ووصولاً إلى النزاعات"

أنطونيو غوتيريس، الأمين العام للأمم المتحدة

المؤتمر العالمي للأرصاد الجوية للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) (جنيف،2015)، في قراره 29 (Cg-17)

إذ يأخذ في اعتباره

(1) الأهمية الكبرى لخدمات الاتصالات الراديوية المحددة بالنسبة لأنشطة الأرصاد الجوية وما يتصل بها من الأنشطة البيئية اللازمة للكشف عن الأخطار والإنذار المبكر بحدوثها، ولتفادي الكوارث الطبيعية والتكنولوجية (الاصطناعية) والتخفيف من آثارها ولسلامة الأرواح والممتلكات، وحماية البيئة، ودراسات تغير المناخ، والبحوث العلمية؛

...

وإذ يشدد على أن بعض نطاقات الترددات الراديوية تعتبر مورداً طبيعياً فريداً نظراً لما فيها من مميزات خاصة وإشعاع طبيعي يتيح الاستشعار السلبي للغلاف الجوي وسطح الأرض من الفضاء، وتستحق أن توزع توزيعاً ملائماً على خدمة استكشاف الأرض بالسواتل (سلبياً) وأن تتمتع بحماية مطلقة من التداخل؛

...

يحث جميع أعضاء المنظمة على بذل قصارى جهودهم لضمان توافر وحماية الترددات الراديوية المناسبة؛

...

يناشد الاتحاد الدولي للاتصالات والإدارات الأعضاء التابعة له:

(1) ضمان التوافر والحماية المطلقة لنطاقات الترددات الراديوية التي تعتبر – بحكم خصائصها الطبيعية الخاصة – مورداً طبيعياً فريداً يتيح الاستشعار السلبي للغلاف الجوي وسطح الأرض من الفضاء، وذات أهمية بالغة لبحوث وعمليات الطقس والماء والمناخ؛

(2) إيلاء العناية الواجبة لمتطلبات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المتصلة بتوزيع الترددات الراديوية والأحكام التنظيمية المتصلة بعمليات وبحوث الأرصاد الجوية والعمليات والبحوث البيئية المتصلة بها؛

...

المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) (جنيف، 2012)، في قراره 673 (WRC-12)

إذ يضع في اعتباره

...

ب) أن بيانات رصد الأرض لها أهمية أساسية أيضاً لرصد تغيرات المناخ والتنبؤ بها والتنبؤ بالكوارث ورصدها وتخفيف آثارها، وكذلك لزيادة فهم جميع جوانب تغير المناخ ونمذجته والتحقق منه وما يتصل بذلك من وضع السياسات؛

...

هـ) إجراء كثير من عمليات الرصد على الصعيد العالمي مما يتطلب النظر عالمياً في المسائل المتعلقة بالطيف؛

...

ح) أن عمليات رصد الأرض تجري لصالح المجتمع الدولي بأسره وهي متاحة عموماً مجاناً،

...

يقرر

1 مواصلة الاعتراف بأن لاستعمال تطبيقات رصد الأرض للطيف قيمة اقتصادية ومجتمعية كبيرة؛

2 حث الإدارات على أن تراعي متطلبات عمليات رصد الأرض من الترددات الراديوية لا سيما الحاجة إلى حماية أنظمة رصد الأرض في نطاقات التردد ذات الصلة؛

3 تشجيع الإدارات على النظر في أهمية استعمال وتيسّر الطيف لتطبيقات رصد الأرض قبل اتخاذ قرارات تؤثر سلباً على تشغيل هذه التطبيقات.

أودت أكثر من 12 000 كارثة طبيعية في الفترة بين 1970 و2015 في شتى أنحاء العالم بحياة أكثر من 3,5 مليون شخص وخلفت خسارة اقتصادية قدرت بأكثر من 2,7 تريليون دولار أمريكي. وتسببت المخاطر المتصلة بالطقس والمناخ والماء، مثل نوبات الجفاف والفيضانات والعواصف القاسية والأعاصير المدارية إضافة إلى تفشي الأوبئة وانتشار الحشرات المرتبطين بصورة مباشرة بالظروف الجوية والهيدرولوجية في 90 بالمائة من هذه الكوارث الطبيعية، وأكثر من 60 بالمائة من الضحايا و70 بالمائة من الخسائر الاقتصادية. ويزيد تغير المناخ "التحدي المهم في عصرنا" من حدة هذه الأحداث القاسية وسيستمر في ذلك ما لم يتم التصدي له. وهناك أدلة علمية دامغة بالفعل على أن تغير المناخ سيهدد النمو الاقتصادي ورخاء جل البلدان ورفاهها الاجتماعي في الأجل الطويل وسيهدد كذلك عيش الفئات السكانية الأكثر ضعفاً.

وللتكنولوجيات والبنى التحتية الخاصة بالرصد والمراقبة دور حاسم في فهم تغير المناخ وآثاره والتصدي لها. وتوفر التطبيقات الراديوية مثل أجهزة الاستشعار عن بُعد التي تعمل على متن السواتل وعلى سطح الأرض (مثل رادارات الطقس) في الوقت الراهن مصدر المعلومات الرئيسي فيما يخص الغلاف الجوي وسطح الأرض. كما تستخدم هذه المعلومات بدورها في مراقبة أحوال المناخ والطقس والماء والتنبؤ بها ولإصدار الإنذارات والحد من مخاطر الكوارث الطبيعية وتقديم الدعم لعمليات الإغاثة بعد الكوارث ووضع التدابير الوقائية للتكيف مع الآثار السلبية لتغير المناخ والحد من آثارها.

وتشمل المجالات المتوقعة في هذا السياق: عمليات الرصد المستمر والمراقبة طويلة الأجل للنشاط الشمسي من أجل تحسين معرفتنا وفهمنا لتأثير الإشعاع الكهرمغنطيسي من الشمس على بيئة الأرض بما فيها المناخ؛ وعمليات الرصد المستمر من أجل توصيف التغيرات الطارئة على الغلاف الجوي والمحيطات وسطح الأرض والغلاف الجليدي واستخدام هذه المعلومات لتحديد نماذج تغير المناخ؛ وعمليات الرصد المستمر للتغير الذي يطرأ على طبقة الأوزون وآثاره على البيئة وصحة الإنسان. وأُقر بأن تقييم تغير الغطاء الأرضي وفهم ديناميات شرطان أساسيان للإدارة المستدامة للموارد الطبيعية وبرامج حماية البيئة والأمن الغذائي وتغير المناخ والبرامج الإنسانية. وتساهم أنظمة الاتصالات الراديوية الأرضية والساتلية في مراقبة انبعاثات الكربون وتغير الجليد في الغطاءات الجليدية القطبية والأنهار الجليدية وتغيرات درجة الحرارة.

ولأكثر من 140 سنة، كان هناك تعاون وشراكة مثمران بين الوكالتين العالميتين للأرصاد الجوية والاتصالات منذ بدايتهما في أواخر القرن التاسع عشر تحت اسمَي الاتحاد الدولي للبرق والمنظمة الدولية للأرصاد الجوية لتصبحا على التوالي الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) في خمسينيات القرن العشرين. ولئن كانت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية تركز جهودها على تلبية الاحتياجات من المعلومات البيئية وما يقابلها من طيف الترددات الراديوية من أجل التطبيقات المقيَّسة للطقس والمناخ والهيدرولوجيا، فإن الاتحاد الدولي للاتصالات، بوصفه الهيئة الدولية المشرفة على الطيف الراديوي، يوزع الترددات الراديوية اللازمة التي تسمح بتشغيل التطبيقات الراديوية وأنظمة الاتصالات الراديوية (الأرضية والفضائية) بدون تداخل، واستخدامها في مراقبة المناخ والتنبؤ به ورصد أحوال الطقس والإنذار المبكر باحتمال حدوث الكوارث واستشعارها.

وقد راعت المؤتمرات العالمية المتعاقبة للاتصالات الراديوية التي ينظمها الاتحاد احتياجات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية لضمان توفر وحماية نطاقات الترددات الراديوية اللازمة لأدوات رصد الغلاف الجوي والعناصر البيئية الأخرى، من قبيل المسابير الراديوية ورادارات تحديد أحوال الطقس والرياح وأجهزة السبر بالأشعة تحت الحمراء والموجات الصغرية المحمولة في الفضاء.

إن هذه الطبعة الجديدة من "دليل استعمال الطيف الراديوي في الأرصاد الجوية: المراقبة والتنبؤ فيما يتعلق بالطقس والماء والمناخ" ثمرة عمل مشترك بين الخبراء التابعين لفرقة العمل 7C لقطاع الاتصالات الراديوية تحت رئاسة السيد M. Dreis (EUMETSAT) من لجنة الدراسات 7 (خدمات العلوم) والفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية (SG-RFC) التابع للجنة النظم الأساسية (CBS)، تحت رئاسة السيد Eric Allaix (فرنسا).

ويقدم هذا الدليل معلومات تقنية وتشغيلية شاملة بشأن تطبيقات الرصد الحالية ونظمها، واستعمال نظم الأرصاد الجوية للترددات الراديوية، بما فيها سواتل الأرصاد الجوية والمسابير الراديوية ورادارات الطقس ورادارات تصوير الريح وأجهزة الاستشعار عن بُعد المحمولة في الفضاء. وهو موجه للمتخصصين في الأرصاد الجوية (الطقس والماء والمناخ، على سبيل المثال) وفي هيئات الاتصالات الراديوية، بما فيها المؤسسات الحكومية، وقطاع الصناعة وعامة الجمهور.

السيد بيتيري تالاس
الأمين العام

المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

السيد هولين جاو
الأمين العام

الاتحاد الدولي للاتصالات

جدول المحتويات

الصفحة

توطئة ix

مقدمة xi

الفصل الأول – الهيكل العام لنظم الأرصاد الجوية..... 1

الفصل الثاني – الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat) 9

الفصل الثالث – خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) 23

الفصل الرابع – رادارات الأرصاد الجوية 39

الفصل الخامس – الاستشعار عن بُعد السلبي والنشيط من الفضاء لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية..... 77

الفصل السادس – نظم الاتصالات الراديوية الأخرى لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية 109

الملحق 1 – المختصرات شائعة الاستعمال في الأرصاد الجوية 119

توطئة

أنشئت لجنة الدراسات 7 المعنية بخدمات العلوم في قطاع الاتصالات الراديوية على إثر إعادة التنظيم الهيكلي الذي جرى عام 1990 بالجمعية العامة للجنة الاستشارية الدولية للراديو، في ديسلدورف.

وتشمل لجنة الدراسات 7 عدداً من فرق العمل (WP) المعنية بالاتصالات الراديوية التي تتناول مسائل تقنية متصلة باختصاصات محددة تحت مظلة خدمات العلوم. وتقع الأرصاد الجوية والأنشطة البيئية المتعلقة بها ضمن اختصاص فرقة العمل 7C (WP 7C). وتقوم فرقة العمل 7C بدراسات تتصل بإقامة وتشغيل أجهزة الاستشعار السلبي والنشيط من المنصات الأرضية والمنصات الفضائية، وكذا معينات الأرصاد الجوية (المسابير الراديوية بشكل أساسي). وبما أن الأرصاد الجوية تعتمد على الاتصال الراديوي سواء لجمع البيانات التي تستند إليها لوضع التنبؤات أو لمعالجة المعلومات والإنذارات المتصلة بالطقس وتعميمها على الجمهور، فإن هذا النشاط يهم فرقة العمل 7B (WP 7B). وينبغي الإشارة في الختام إلى أن رادارات الأرصاد الجوية ورادارات تصوير الريح يجرى دراستها في فرقة العمل 5B (WP 5B)، في إطار الخدمة العامة المتصلة بالتحديد الراديوي.

تعتبر الأرصاد الجوية عنصراً حاسماً في حياتنا اليومية ولها ارتباطات عديدة بأعمالنا وأنشطتنا اليومية. ولا شك أن برامج التنبؤ بأحوال الطقس هي أكثر البرامج شعبية في التلفزيون والراديو في الوقت الراهن. لأن التنبؤ بأحوال الطقس لا يؤثر على طريقتنا في اللباس أو على تحديد الأنشطة التي سنقوم بها كل يوم فحسب؛ وإنما قد يكون له أيضاً العديد من الآثار على سلامة الجمهور. وتعتمد المواصلات العامة أيما اعتماد على التنبؤ بأحوال الطقس، لأن القدرة على التنبؤ بالطقس بشكل دقيق تعتبر عنصراً أساسياً لضمان تقديم أعلى مستوى من الخدمات للمجتمع، بما في ذلك على وجه الخصوص حماية الأرواح والممتلكات في العديد من المجالات، مثل النقل، خاصةً النقل الجوي. وفي هذه الفترة التي تشهد كثيراً من الاضطرابات في الأرصاد الجوية والمناخ، يضطلع هذا النشاط أيضاً بدور رئيسي في التنبؤ بالكوارث الطبيعية واستشعارها والتخفيف من آثارها السلبية.

ويعتبر وضع التوصيات والتحضير للمؤتمرات العالمية للاتصالات الراديوية (WRC) محور النشاط الرئيسي للجنة الدراسات. وهناك حاجة لا شك فيها بالنسبة لخبراء لجنة الدراسات 7 لتقاسم هذه المعلومات ليس فقط مع زملائهم الذين يعتمدون في عملهم على بيانات الأرصاد لتحسين دقة التنبؤات بالطقس والمناخ، وإنما أيضاً مع الجمهور الواسع لكي يفهم المعنيون أهمية استعمال ترددات محددة لأغراض الأرصاد الجوية والسبل الكفيلة بحمايتها من أجل الاستمرار في القيام بتنبؤات جوية بأعلى درجة ممكنة من الموثوقية.

وعليه تقرر إعداد هذا الدليل ونشره بالتعاون مع الفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية (SG-RFC) التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) لكي يفهم جميع المستعملين لهذه المعايير فهماً كاملاً نظم الأرصاد الجوية من أجل تصميم هذه الأدوات القوية واستعمالها على نحو أفضل. ومن أهم الأهداف التي يرمي إليها هذا الدليل تزويد القارئ بمعلومات بشأن استعمال المتخصصين في الأرصاد والعلماء الآخرين المعنيين بالأنشطة البيئية في العالم للنظم الراديوية ونطاقات التردد الراديوي (RF) ومدى أهمية هذا الاستعمال بالنسبة لسلامة الجمهور وللاقتصاد العالمي.

وتكتسي الإدارة الفعالة والحذرة لنطاقات الترددات الموزعة أهمية بالغة للحفاظ على الجودة والدقة وتعزيزهما في مجال التنبؤات بالطقس وتلك المتصلة به. ومن المهم أن نفهم على سبيل المثال أنه إذا ما جرى استعمال بعض نطاقات الترددات الموزعة حالياً للأرصاد الجوية لبعض الأنظمة الراديوية الأخرى التي لا تتوافق مع الأنظمة الراديوية للأرصاد الجوية، فإن هذه النطاقات ستغدو غير قابلة للاستعمال بالنسبة لأنظمة التنبؤ بالطقس و/أو المناخ و/أو الكوارث، وسيكون بالتالي من الصعب جداً إن لم يكن من المستحيل في بعض الأحيان التنبؤ بأحوال الطقس بالدرجة المطلوبة من الموثوقية والدقة.

ويسرني بالغ السرور بصفتي رئيساً للجنة الدراسات 7 أن أقدم هذا الدليل لمستعملي معايير الأرصاد الجوية وللمتخصصين في إدارة الترددات بشكلٍ عام، وأنا على ثقة أنهم سيجدون فيه أداة مرجعية هامة في عملهم.

وما كان لهذا الدليل أن يكتمل لولا المساهمات التي قدمتها الإدارات العديدة المشاركة في لجنة الدراسات 7 وفي الفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية (SG-RFC). وفوق ذلك، كان عمل المقررين المعنيين بمختلف أجزاء الدليل ممتازاً، وينبغي توجيه الشكر الخاص للسيد David Franc (الولايات المتحدة الأمريكية) والسيد Gilles Fournier (كندا) والسيد Eric Allaix (فرنسا) والسيد David Thomas (المنظمة العالمية للأرصاد الجوية) والسيد Philippe Tristant (EUMETNET) والسيد Markus Dreis (EUMETSAT) على أدوارهم الرائدة في هذا المشروع.

كما نعرب عن امتناننا الخاص أيضاً للسيد Vadim Nozdrin من مكتب الاتصالات الراديوية الذي اضطلع بدور هام في نشر هذا الدليل.

John Zuzek
رئيس لجنة الدراسات 7 في قطاع الاتصالات الراديوية

مقدمة

الإنذار في الوقت المناسب بالكوارث الطبيعية والبيئية والتنبؤ الدقيق بالمناخ والفهم المفصل للموارد النادرة، مثل الكتلة الأحيائية والغلاف الأحيائي والموارد المعدنية والمياه والطاقة، وحفظها وإدارتها بكفاءة من المتطلبات الضرورية للتنمية الاقتصادية المستدامة. وتعد المعلومات عن المناخ أو تغير المناخ أو الطقس أو الغلاف الجليدي أو الهواطل أو التلوث أو الكوارث مسألة بالغة الأهمية في الحياة اليومية للمجتمع الدولي. توفر أنشطة المراقبة هذه المعلومات التي تعتبر ضرورية للنشرات الجوية اليومية والتنبؤ بأحوال الطقس والدراسات المتعلقة بتغير المناخ من أجل حماية البيئة ومن أجل التنمية الاقتصادية (النقل والطاقة والزراعة والبناء والتنمية الحضرية ونشر المرافق العامة والأمن) ومن أجل سلامة الأرواح والممتلكات. وتستخدم عمليات رصد الأرض أيضاً للحصول على بيانات دقيقة بشأن الموارد الطبيعية، التي تعتبر بالغة الأهمية بالنسبة للبلدان النامية بوجه خاص. ويجب ألا ننسى أن هذه المعلومات إما أن تكون قائمة على قياسات من أنظمة للاتصالات الراديوية أو تم تجميعها وتوفيرها وتوزيعها بواسطة هذه الأنظمة. وتعد الأنظمة الراديوية أساسية لمراقبة تغير المناخ ومساعدة البلدان على التخفيف من تأثيراته والتكيف معها وعلى مواجهة التحديات الكبيرة. وأي نظام راديوي يستعمل الطيف الراديوي في عملياته يستعمل مورداً محدوداً ونادراً. ويعد توفير نطاقات ترددات راديوية خالية من التداخلات من متطلبات تطوير جميع أنظمة رصد الأرض.

وتستدعي النظم المستعملة للحصول على هذه المعلومات وتوزيعها النفاذ الموثوق إلى ترددات راديوية تتراوح بين بضع وحدات الكيلوهرتز ومئات الجيغاهرتز، كما تستخدم تشكيلة مختلفة من التكنولوجيا الراديوية كالاتصالات الراديوية (للمسابير الراديوية أو السواتل، على سبيل المثال) ورادارات الطقس (الهواطل وأجهزة رصد خصائص الرياح وأجهزة الاستشعار النشطة المستخدمة في الفضاء) والاستشعار من الفضاء ومن سطح الأرض والقائم على الراديو (على سبيل المثال، الاستشعار الساتلي السلبي عن بُعد واستشعار البرق).

وينبغي أن ندرك أن تطبيقات الترددات الراديوية هذه مترابطة فيما بينها وتساعد على جعل النظام العالمي للأرصاد الجوية نظاماً شاملاً، بحيث إذا انعدم مكون من مكونات هذا النظام الراديوي سواء تعلق الأمر بالرصد أو بتوزيع البيانات، فإن ذلك من شأنه أن يشكل تهديداً لمنظومة الأرصاد الجوية بكاملها.

كما ينبغي التأكيد على أن النظم التي تستعمل هذه الترددات تلعب دوراً حاسماً في عمليات الاستشعار والإنذار والتنبؤ بالكوارث المتصلة بالطقس والماء والمناخ. وبما أن هذه الكوارث تمثل أكثر من 90 بالمائة من الكوارث الطبيعية، فإن هذه النظم تعتبر مكونات أساسية في نظم الإنذار المبكر بالكوارث وحالات الطوارئ المتصلة بجميع المخاطر والتخفيف من حدتها.

وأصبح تطوير التطبيقات الراديوية الجديدة والأكثر شيوعاً في السوق بما لها من قيمة مضافة يشكل مزيداً من الضغط على نطاقات التردد التي تستعمل لأغراض الأرصاد الجوية. ويمثل هذا تهديداً محتملاً لوضع قيود على تطبيقات الأرصاد مستقبلاً. وما يعتبر مُهدَّداً بشكلٍ خاص هو الاستشعار الساتلي المنفعل الذي يشمل قياس مستويات دنيا للغاية لإشعاعات صادرة بشكل طبيعي في عدد من نطاقات التردد الراديوي. وتعتبر هذه النطاقات حساسة لأكثر من مُتغير جيوفيزيائي واحد، لهذا ينبغي استعمالها مشتركةً للتوصل إلى عدد من الكميات المختلفة. وقد حددت الفيزياء الأساسية الترددات الراديوية اللازمة للقيام بهذه العملية كما تعتبر غير قابلة للتغير. كما يعتبر الاستمرار في الرصد باستعمال هذه النطاقات أمراً أساسياً لمراقبة تغير المناخ وتقييمه.

وعلى المتخصصين في الأرصاد الجوية الذين يستعملون الطيف أن يتحلوا بالحذر وأن يتناولوا بشكل متزايد المسائل المتصلة بتقاسم الطيف مع خدمات أخرى للاتصالات الراديوية. وإقراراً من المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) بالأهمية القصوى لخدمات الاتصالات الراديوية المحددة بالنسبة لأنشطة الأرصاد الجوية وما يتصل بها من الأنشطة البيئية اللازمة لسلامة الأرواح والممتلكات وحماية البيئة ودراسات تغير المناخ والبحوث العلمية، فإنها ناشدت في قرارها 29 (Cg-17) الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) والإدارات الأعضاء فيه:

- ضمان التوافر والحماية المطلقة لنطاقات الترددات الراديوية التي تعتبر — بحكم خصائصها الطبيعية الخاصة – مورداً طبيعياً فريداً يتيح الاستشعار السلبي للغلاف الجوي وسطح الأرض من الفضاء وتتسم بأهمية بالغة بالنسبة لأبحاث وعمليات الطقس والمياه والمناخ؛

- إيلاء العناية الواجبة لمتطلبات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المتصلة بتوزيع الترددات الراديوية والأحكام التنظيمية المتصلة بعمليات وبحوث الأرصاد الجوية والعمليات والبحوث البيئية المتصلة بها.

وفي هذا الصدد، اتخذت المؤتمرات العالمية للاتصالات الراديوية (WRC) السابقة عدداً من القرارات الهامة بشأن حماية الأرصاد الجوية والعمليات البيئية المتصلة بها. ويمثل المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2015 حالة خاصة في هذا الشأن حيث وفر طيفاً إضافياً للتطوير المستقبلي للاستشعار الفضائي النشط عن بُعد ووصلات ذات معدلات بيانات عالية للتحكم في السواتل عن بُعد من أجل الاتصال بسواتل استكشاف الأرض إضافةً إلى حماية نطاقات الرصد المنفعل التي يمكن أن تتأثر بالتوزيعات الجديدة. ومع أخذ الطلب المتزايد من الخدمات التجارية على استعمال الطيف في الاعتبار، سيتسم المؤتمران العالميان للاتصالات الراديوية لعامي 2019 و2023 بأهمية بالغة بالنسبة لعالم الأرصاد الجوية من أجل حماية الطيف الخاص به والتطوير المستقبلي لأنظمة حديثة للرصد في العالم أجمع.

وفي إطار السعي لوضع هذه الدراسات في سياقها، قامت فرقة العمل 7C (المكلفة بدراسة أنظمة الاستشعار عن بُعد) والتابعة للجنة الدراسات 7 والفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية (SG-RFC) بإعداد هذا الدليل المنقح والهدف منه أن يكون مرشداً للمستعملين المحترفين في بيانات نظم الأرصاد الجوية القائمة على الراديو وللأفراد والحكومات التي تستفيد من نظم الأرصاد هذه وللمتخصصين في الاتصالات الراديوية، بمن فيهم الهيئات التنظيمية والعاملين في قطاع صناعة الاتصالات اللاسلكية.

ويقدم هذا الدليل لمحة عامة عن استخدام أنظمة الاتصالات الراديوية لمراقبة مختلف مظاهر تغير المناخ وتأثيرها، فضلاً عن تطبيق تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والاتصالات الراديوية كحل للمساهمة في خفض عالمي في استهلاك الطاقة.

ويعرض هذا الدليل نظم الأرصاد الجوية وكذا نظرة عامة ومناقشة للخصائص التقنية والتشغيلية لكل نظام. ويشمل وصف كل نظام للأرصاد: نطاقات التردد الراديوي المستعملة؛ والمعايير التي تتيح التنبؤ بالتداخل الضار من المستعملين المنافسين؛ وأثر تدهور بيانات الطقس أو فقدانها على سلامة الجمهور. وتيسيراً للفهم في هذا المجال المعقد، جرى تصنيف المناقشة وفقاً لفئات النظم التالية:

1 الهيكل العام لنظم الأرصاد الجوية

2 السواتل المخصصة لخدمة الأرصاد الجوية

3 نظم خدمة معينات الأرصاد الجوية، والمسابير الراديوية بشكل أساسي

4 رادارات الأرصاد الجوية المقامة على الأرض، بما فيها رادارات الطقس ورادارات تصوير مقاطع الريح

5 الاستشعار عن بُعد السلبي والنشيط من مركبة فضائية لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

6 نظم الاتصالات الراديوية الأخرى لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

ولمساعدة القارئ، وضعت قائمة للمختصرات في مرفق هذا الدليل مع الإحالة إلى مجموعة أشمل من التعريفات لمصطلحات الأرصاد الجوية.

الفصل الأول

الهيكل العام لنظم الأرصاد الجوية

الصفحة

1.1 نظم الأرصاد الجوية لبرنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW) 2

1.1.1 النظام العالمي للرصد 3

1.1.1.1 الرصد من على سطح الأرض..... 3

2.1.1.1 رصد الهواء العلوي 4

3.1.1.1 الرصد باستعمال الرادارات 4

4.1.1.1 محطات الرصد في البحر..... 4

5.1.1.1 الرصد من الطائرات..... 4

6.1.1.1 الرصد من السواتل 4

2.1 نظم الرصد التابعة للبرامج الأخرى للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية 7

1.2.1 المراقبة العالمية للغلاف الجوي للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (GAW)..... 7

2.2.1 النظام العالمي لرصد المناخ (GCOS) 7

3.2.1 برنامج الهيدرولوجيا وموارد المياه 7

3.1 النظم العالمية المتكاملة للرصد (WIGOS) 7

1.1 نظم الأرصاد الجوية لبرنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW)

تعتمد الأرصاد الحديثة، في التحليل والإنذار والتنبؤ بالطقس، على التبادل شبه الآني لمعلومات الطقس حول العالم. ويشمل برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW)، وهو البرنامج المحوري في برامج المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، نظم الرصد ومرافق الاتصالات ومراكز معالجة البيانات والتنبؤ – التي تشغلها 191 دولة عضواً ومقاطعة – لتوفير معلومات الأرصاد والمعلومات الجيوفيزيائية المتصلة بها بغية تقديم الخدمات الفعالة في جميع البلدان.

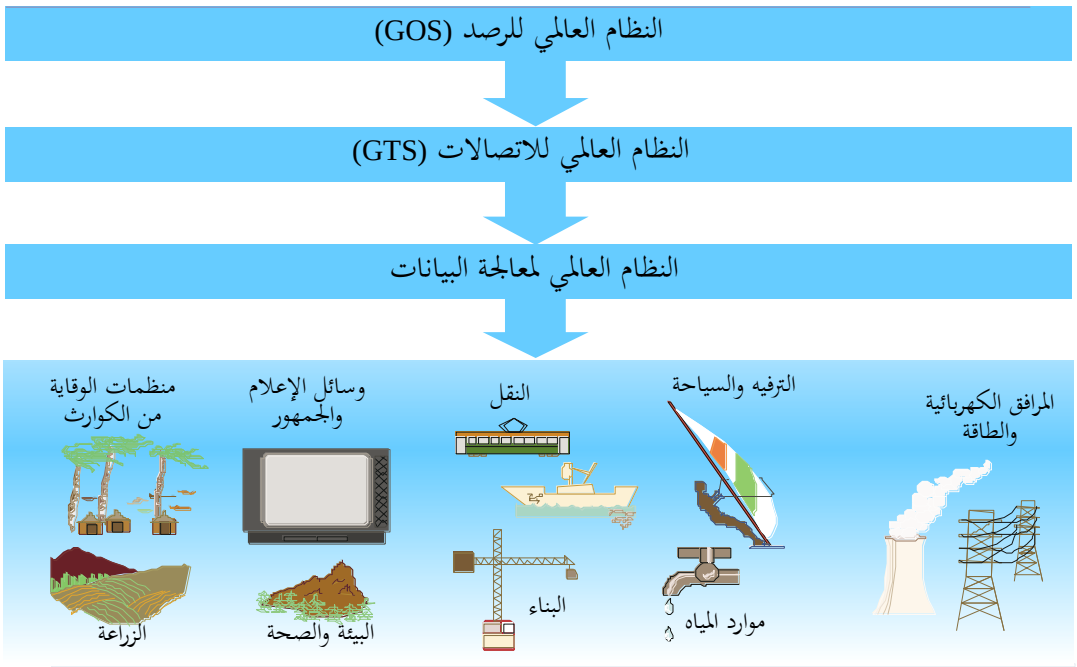
وتقوم المنظمة العالمية للأرصاد الجوية بالتنسيق والإشراف على برنامج المراقبة العالمية للطق (WWW) بغية التأكد من حصول كل بلد على جميع المعلومات التي يحتاج إليها لتوفير خدمات الطقس (التحليل والإنذارات والتنبؤات) على أساس يومي وكذا لأغراض التخطيط طويل الأمد والبحوث. ويقدم جزء هام ومتزايد من برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW) الدعم للبرامج الدولية المتصلة بالمناخ العالمي، ولا سيما تلك المعنية بتغير المناخ وبالمسائل البيئية وبالتنمية المستدامة.

ويتكون برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW) من ثلاثة عناصر أساسية ومتكاملة للنظام (أنظر الشكل 1-1):

- يقدم **النظام العالمي للرصد (GOS)** عمليات رصد عالية الجودة وموحدة للغلاف الجوي وسطح المحيطات من جميع أنحاء العالم ومن الفضاء الخارجي. والنظام العالمي للرصد مكون رئيسي ضمن النظام العالمي المتكامل للرصد التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WIGOS) الذي يرد وصفه بالتفصيل أدناه.
- يضمن **النظام العالمي للاتصالات (GTS)** التبادل في الوقت الفعلي لبيانات الأرصاد الجوية والنواتج المعالجة والمعلومات المتصلة بها بين المرافق الوطنية للأرصاد الجوية والهيدرولوجيا. والنظام العالمي للاتصالات مكون رئيسي ضمن نظام المعلومات التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WIS)، حيث يستخدم شبكات مخصصة على الأرض وفي الفضاء، بما في ذلك تكنولوجيات الإذاعة الصوتية والفيديوية. ويستخدم النظام WIS الإنترنت أيضاً بكثافة.
- يوفر **النظام العالمي لمعالجة البيانات والتنبؤ** نواتج الأرصاد المعالجة (التحليل والإنذارات والتنبؤات) التي تنتجها شبكة مراكز الأرصاد العالمية ومراكز الأرصاد الإقليمية المتخصصة.

الشكل 1-1

نظم برنامج المراقبة العالمية للطقس



Meteo-01-1

1.1.1 النظام العالمي للرصد

يعتبر النظام العالمي للرصد (GOS) المصدر الأساسي للمعلومات التقنية بشأن الغلاف الجوي العالمي، وهو نظام متعدد العناصر يتكون من مناهج وتقنيات ومرافق معقدة لقياس بارامترات الأرصاد والبيئة. ويضمن النظام العالمي للرصد توفير المعلومات الحاسمة لكل بلد بغية تمكينه من استنباط التحاليل والتنبؤات والإنذارات المتصلة بالطقس على أساس يومي. ويتكون النظام العالمي للرصد كما هو مبين في الشكل 1-2 من محطات للرصد تقع على سطح الأرض وفي البحر وعلى متن الطائرات وسواتل الأرصاد.

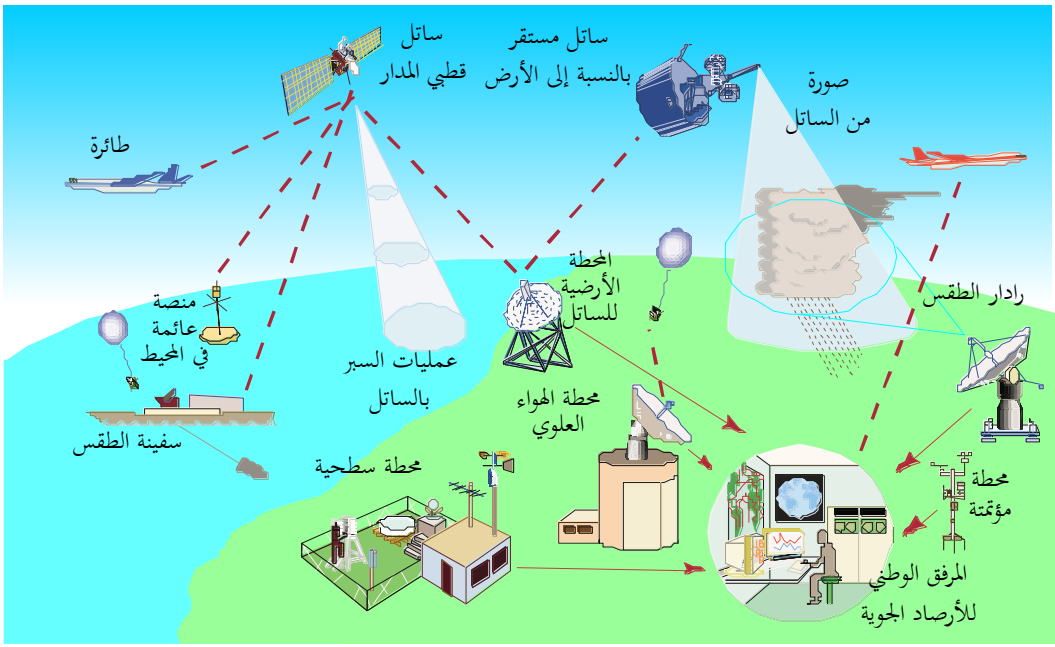
ومن بين مزايا النظام العالمي للرصد البديهية، نذكر حماية الأرواح والممتلكات من خلال الكشف والتنبؤ والإنذار بظواهر الطقس القاسية كالعواصف المحلية وأعاصير التورنيدو والهوركين والأعاصير المدارية وشبه المدارية. ويوفر النظام العالمي للرصد بشكل خاص بيانات الرصد للأرصاد الزراعية والأرصاد الجوية للطيران ولعلم المناخ، بما في ذلك دراسة المناخ وتغير المناخ العالمي. كما تُستخدم البيانات من النظام العالمي للرصد لدعم البرامج البيئية في جميع القطاعات.

كما تستفيد تشكيلة واسعة من الأنشطة الاقتصادية كالزراعة والنقل والبناء وخدمات الطقس للجمهور والسياحة استفادة كبيرة من التنبؤات بالطقس التي يتراوح مداها بين بضعة أيام وأسابيع والتي قد تصل إلى فصول.

تجدون مزيداً من التفاصيل بشأن النظام العالمي للرصد على الموقع: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/satellitestatus.php.

الشكل 1-2

النظام العالمي للرصد GOS التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية



Meteo-01-2

1.1.1.1 الرصد من على سطح الأرض

لا يزال العمود الفقري للنظام القائم على الأرض يتكون من زهاء 10 000 محطة أرضية تقوم برصدات على سطح الأرض أو بالقرب منه. ويتم القيام برصد البارامترات الجوية كضغط الهواء وسرعة الريح واتجاهه ودرجات حرارة الهواء والرطوبة النسبية في فترات زمنية تتراوح بين ساعة وثلاث ساعات. ويجري تبادل البيانات من هذه المحطات عالمياً في الوقت الفعلي. كما يتم أيضاً استعمال جزء من البيانات التي ترصد من هذه المحطات في شبكة السطح للنظام العالمي لرصد المناخ (GCOS) لأغراض مراقبة المناخ في النظام GCOS.

2.1.1.1 رصد الهواء العلوي

تشمل شبكة رصد الهواء العلوي زهاء 900 محطة في العالم تنطلق منها قرابة 000 800 مرة سنوياً مسابير راديوية تركب على المناطيد التي ترتفع في الأجواء للقيام بقياس الضغط وسرعة الريح ودرجات الحرارة والرطوبة على ارتفاعات تتراوح بين ما هو قريب من سطح الأرض و30 km. وفي المحيطات، تقوم المسابير بالرصدات على متن زهاء 20 سفينة تجوب بشكل أساسي شمال الأطلسي، وهي مجهزة بمرافق القياسات الأوتوماتية للهواء العلوي. وتشمل مجموعة من محطات رصد الهواء العلوي، لا سيما تلك المجهزة لمراقبة المناخ، شبكة الهواء العلوي للنظام العالمي لرصد المناخ (GCOS).

3.1.1.1 الرصد باستعمال الرادارات

أثبتت رادارات الطقس وتصوير مقاطع الريح على أن لها قيمة كبيرة جداً في توفير البيانات عالية الاستبانة من حيث المكان والزمان ولا سيما في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي. وتُستخدم رادارات الطقس بشكل مكثف كعنصر من الشبكات الوطنية وبشكل متزايد في الشبكات الإقليمية، وبشكل أساسي في التنبؤات القصيرة الأجل لظواهر الطقس القاسية. وتعتبر رادارات الطقس مجدية بشكل خاص لتقدير كميات الهطول، ولقياس الريح عندما تكون من فئة دوبلر. أما رادارات تصوير مقاطع الريح فهي مفيدة بشكل خاص عندما تضاف للقياسات التي تقومن بها المسابير على متن المناطيد، ولها إمكانيات كبيرة بصفتها عنصراً في شبكات الرصد المتكاملة.

4.1.1.1 محطات الرصد في البحر

أما في المحيطات، فإن النظام العالمي للرصد يعتمد على البواخر والمنصات العائمة الرأسية والمنساقة والمحطات الثابتة. وتقوم بالرصدات زهاء 000 7 باخرة في إطار برنامج سفن الرصد الطوعية التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية التي تجمع نفس المتغيرات التي تقيسها المحطات الأرضية مع إضافات هامة تتجلى في درجات حرارة سطح البحر وارتفاع الأمواج ومدة هذه الارتفاع. ويشمل برنامج المنصات العائمة المنساقة قرابة 900 منصة عائمة منساقة تقدم 000 12 تقريراً يومياً بشأن درجات حرارة سطح البحر وضغط الهواء على السطح.

وعلاوة على ذلك، جرى إقامة أنظمة الإنذار بالتسونامي التي تمتلكها وتشغلها الدول الأعضاء تحت إشراف لجنة علم المحيطات (IOC) التابعة لمنظمة اليونسكو بالتعاون مع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية في المحيط الهادي والمحيط الهندي، ومن المزمع إقامتها في مناطق بحرية أخرى؛ وتشمل شبكة من أجهزة الاستشعار لقياس منسوب البحر وعمقه في الوقت الفعلي لكشف التسونامي والإنذار المبكر به ومراقبته.

5.1.1.1 الرصد من الطائرات

تقدم أكثر من 000 4 طائرة أثناء تحليقها تقارير بشأن الضغط والرياح ودرجات الحرارة. ويقوم نظام إعادة بث بيانات الأرصاد الجوية الصادرة من الطائرات (AMDAR) بعمليات رصد عالية الجودة للريح والحرارة على علو التحليق الأفقي، وعلى ارتفاعات أخرى يتم اختيارها عند الإقلاع والهبوط. وقد زاد كم البيانات الواردة من الطائرات بشكل كبير في السنوات الأخيرة ليصل إلى 000 700 تقرير في اليوم وهو ما يقابل تقريباً 000 90 موجز من البيانات AMDAR في 550 مطاراً في العالم. وتحوي هذه النظم قدرات هائلة للقيام بقياسات في الأماكن التي تنعدم فيها بيانات المسابير الراديوية أو تكون فيها قليلة، وتساهم بشكل كبير في مكون رصد الهواء العلوي للنظام العالمي للرصد.

6.1.1.1 الرصد من السواتل

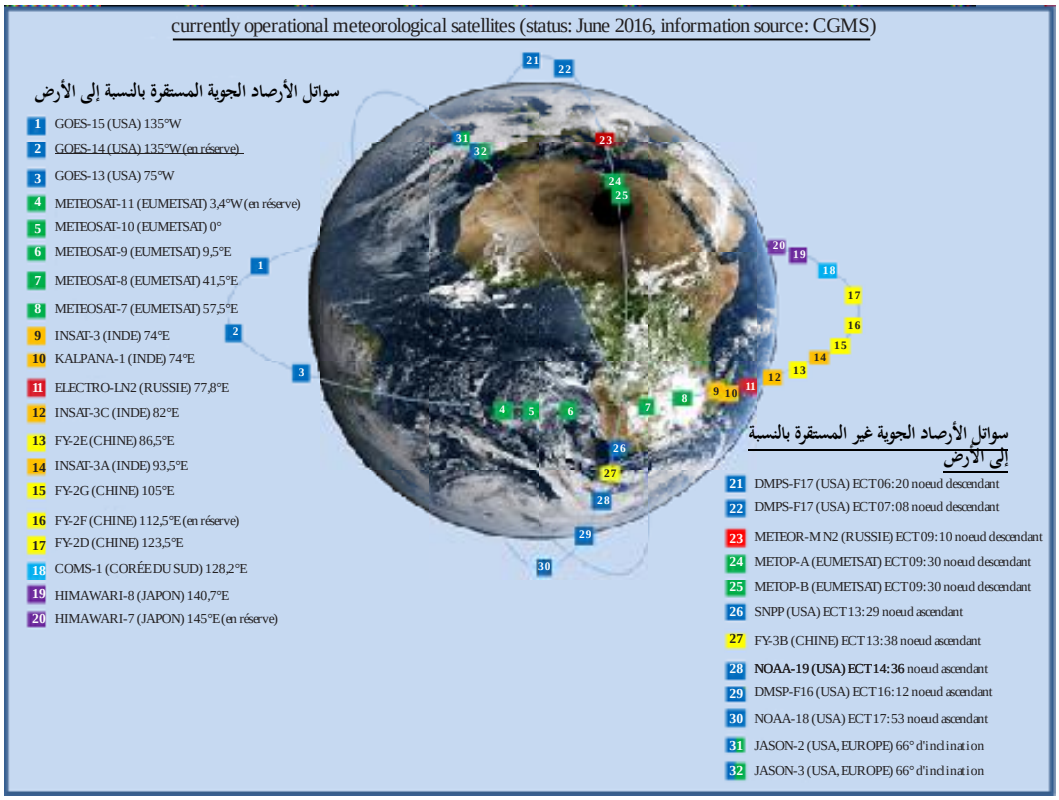
يشمل النظام العالمي للرصد من الفضاء المعني بالبيئة والأرصاد الجوية كوكبات من السواتل العاملة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض والمدار غير المستقر بالنسبة إلى الأرض (تدور معظمها بالقرب من القطب على ارتفاع منخفض). وتعرض في الشكل 1-3 نظرة عامة على سواتل الأرصاد الجوية العاملة حالياً (الوضع في: يونيو 2016).

وعادةً ما تكون السواتل القطبية المدار والثابتة المدار بالنسبة للأرض مجهزة بأجهزة التصوير والمسابير العاملة بشكل مرئي أو بالأشعة تحت الحمراء والتي يمكن الحصول بفضلها على العديد من بارامترات الأرصاد الجوية. وجهزت العديد من السواتل ذات المدار القطبي بأدوات السبر العاملة بالأمواج الصغيرة جداً التي يمكن أن توفر بيانات مقاطع عمودية عن درجات الحرارة والرطوبة في العالم. ويمكن استعمال السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض لقياس سرعة الريح في مناطق المدار بتتبع السحب وبخار الماء. وما فتئت المسابير الساتلية وتقنيات الاتصالات تمثل البيانات في تطور مستمر، كما أن العدد الكبير من البيانات الإضافية المتأتية من السواتل قد حسن بشكل كبير عمليات المراقبة والإنذار والتنبؤ بالطقس والمناخ.

ومكنت التحسينات التي شهدتها النمذجة العددية بشكل خاص من وضع أساليب متطورة بشكل متزايد لاستخلاص المعلومات المتصلة بالحرارة والرطوبة مباشرةً من إشعاعات السواتل. ويرجع التقدم المثير للإعجاب الذي تحقق في السنوات الأخيرة في مجال تحليل الطقس والمناخ والتنبؤات المتعلقة بهما، بما في ذلك إصدار الإنذارات بشأن الظواهر الجوية الخطيرة (الأمطار الغزيرة والعواصف والأعاصير) التي تؤثر على السكان والاقتصاد، بدرجة كبيرة إلى الرصدات الصادرة من الفضاء وتمثيلها في نماذج عددية.

الشكل 1-3

كوكبة سواتل الأرصاد الجوية العاملة حالياً للنظام العالمي للرصد (GOS) التابع للمنظمة WMO
(الوضع في: يونيو 2016)



Meteo-01-03

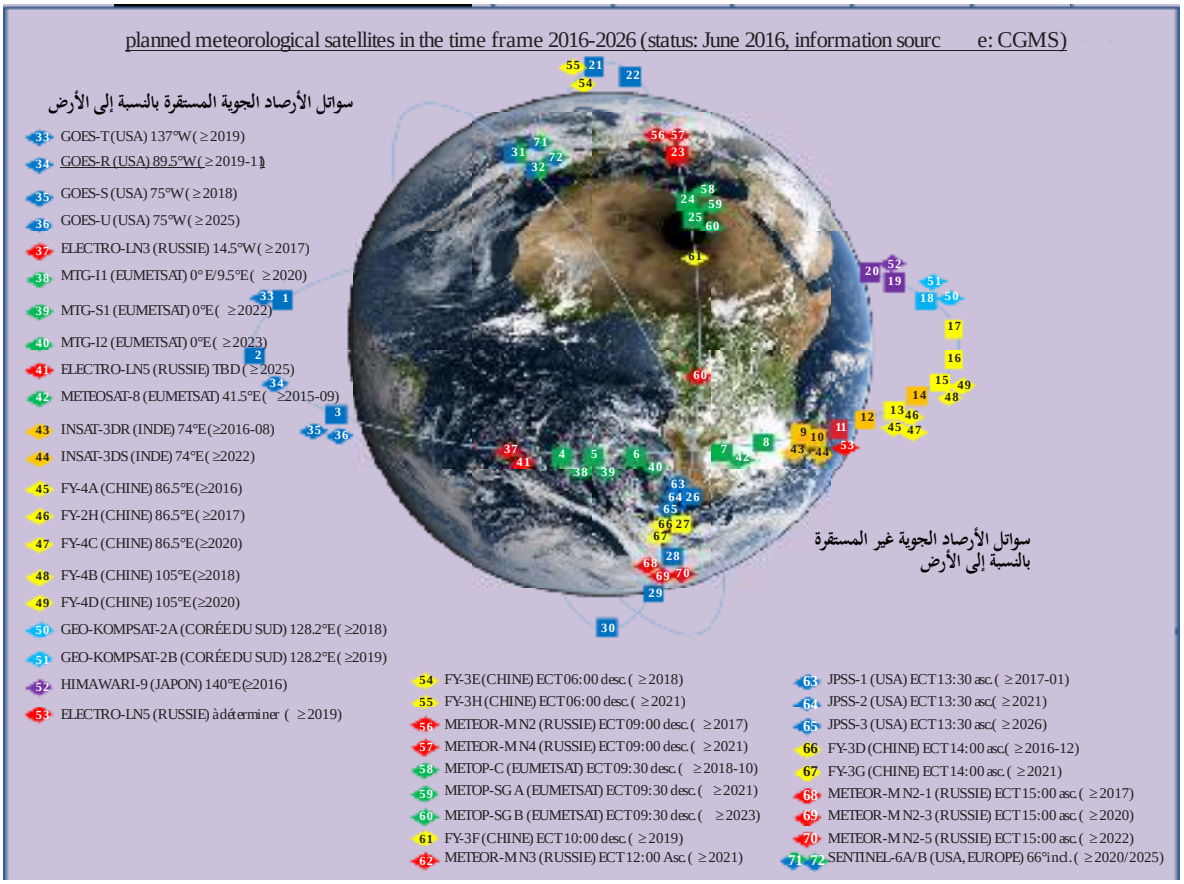
وهناك قائمة بسواتل الأرصاد الجوية العاملة حالياً ومعلماتها متاحة على: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/satellitestatus.php.

ولتحقيق الاستمرارية في التشغيل لرصدات الأرصاد الجوية من الفضاء، سيستعاض عن السواتل العاملة حالياً بسواتل جديدة من السلاسل الحالية من الجيل الخاص بسواتل الأرصاد الجوية أو السواتل الأولى من سواتل الأرصاد الجوية من الجيل التالي، تتسم بقدرات رصد واستبانة أكبر بالنسبة للأجهزة مما يؤدي إلى كم أكبر كثيراً من البيانات المتاحة لعالم مستخدمي الأرصاد الجوية.

ويعرض الشكل 1-4 نظرة عامة على عمليات الإطلاق المخططة لسواتل الأرصاد الجوية المزمع تشغيلها في الفترة الزمنية 2016-2026 إضافة إلى السواتل العاملة حالياً. وسيتم تشغيل السواتل التي ستطلق مؤخراً على التوازي مع السواتل المعمرة إلى أن يتم وقف تشغيلها تدريجياً عندما تصل إلى نهاية عمرها التشغيلي.

الشكل 1-4

كوكبة سواتل الأرصاد الجوية المخطط تشغيلها للنظام العالمي للرصد (GOS) التابع للمنظمة WMO في الفترة الزمنية 2016-2026 (الوضع في: يونيو 2016)



Meteo-01-04

إلى جانب ذلك، هناك أيضاً عدد من سواتل البحث والتطوير (R&D) التي تشمل أيضاً حمولة نافعة محددة تتصل بالأرصاد الجوية أو بعلم المناخ والتي تساهم أيضاً في النظام العالمي للرصد (GOS). وهناك قائمة بالسواتل الخاصة بالبحث والتطوير والبارامترات الخاصة بها متاحة على: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSresearch.html.

وتشمل سواتل البحث والتطوير أحدث المجموعات في المكون الفضائي للنظام العالمي للرصد. وتوفر بعثات البحث والتطوير بيانات قيمة للاستعمال التشغيلي وللبرامج المدعومة للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. وتوفر الأدوات على متن بعثات البحث والتطوير إما بيانات لا توفرها سواتل الأرصاد الجوية القائمة أو تحسن من نظم التشغيل الحالية.

2.1 نظم الرصد التابعة للبرامج الأخرى للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية

1.2.1 المراقبة العالمية للغلاف الجوي للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (GAW)

يشمل برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (GAW) عدداً من أنشطة المنظمة في مجالي البحث والمراقبة في حقل بيئة الغلاف الجوي، بما في ذلك شبكة مراقبة التلوث الهوائي البيئي والنظام العالمي لرصد الأوزون. ويشمل أكثر من 20 مرصداً وأكثر من 300 محطة إقليمية. والغرض الأساسي من برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي هو توفير المعلومات الخاصة بالتركيبة الكيميائية والخصائص الفيزيائية ذات الصلة للغلاف الجوي لتيسير فهم سلوك الغلاف الجوي وتفاعلاته مع المحيطات والكتلة الأحيائية. وتوفر بعض نظم الرصد الأخرى التابعة لبرنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي رصدات بشأن إشعاع الشمس وكشف البرق وقياسات المد والجزر. ويعتبر برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي المكون الكيميائي في النظام العالمي لرصد المناخ (GCOS).

2.2.1 النظام العالمي لرصد المناخ (GCOS)

الغرض من النظام العالمي لرصد المناخ (GCOS) هو توفير الرصدات الشاملة المطلوبة لمراقبة النظام المناخي، من أجل الكشف عن تغير المناخ وتعليله، ولتقييم آثار تقلبية المناخ وتغيره، ولدعم البحوث من أجل تحسين الفهم ووضع النماذج والتنبؤ بالنظام المناخي، ولا سيما تغير المناخ. ويتناول النظام العالمي لرصد المناخ سمات المناخ جميعها بما فيها الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية، والعمليات المتصلة بالغلاف الجوي والمحيطات والهيدرولوجيا والغلاف الجليدي وبالأرض.

3.2.1 برنامج الهيدرولوجيا وموارد المياه

يتيح هذا البرنامج قياس العناصر الهيدرولوجية الأساسية من شبكات محطات الأرصاد الجوية والهيدرولوجيا. وتقوم هذه المحطات بجمع البيانات الهيدرولوجية ومعالجتها وتخزينها واستعمالها بما فيها البيانات المتصلة بكمية ونوعية مياه السطح والمياه الجوفية. ويشمل البرنامج النظام العالمي لرصد الدورة الهيدرولوجية (WHYCOS) الذي يستند إلى شبكة عالمية من المحطات المرجعية التي ترسل بيانات خاصة بالهيدرولوجيا والأرصاد الجوية في وقت يكاد يكون فعلياً.

3.1 النظم العالمية المتكاملة للرصد (WIGOS)

قرر الأعضاء في المنظمة WMO في مؤتمر الأرصاد لعام 2007 أن يعملوا على تحسين تكامل نظم الرصد التابعة للمنظمة WMO ولنظم الرصد الداعمة التابعة للمنظمة WMO كالنظام العالمي لرصد المحيطات (GOOS) والنظام العالمي لرصد الأرض (GTOS) والنظام العالمي لرصد المناخ (GCOS). ويصبو مفهوم النظم العالمية المتكاملة للرصد (WIGOS) للمنظمة في توحيد الوظائف التشغيلية والإدارية لجميع نظم الرصد التابعة للمنظمة WMO وإقامة آلية للتفاعل مع نظم الرصد التي تشارك في رعايتها المنظمة WMO. وسيؤدي التكامل إلى الفعالية وتوفير الموارد. وتتجلى الأهداف الرئيسية للنظم العالمية المتكاملة للرصد (WIGOS) فيما يلي:

- زيادة التشغيل المتبادل بين النظم مع إيلاء اهتمام خاص للمكونات الفضائية والمكونات الموقعية للنظم؛
- معالجة احتياجات المجالات الخاصة بالغلاف الجوي والهيدرولوجيا وعلم المحيطات والغلاف الجليدي والمجال الأرضي داخل النطاق التشغيلي لنظام متكامل وشامل؛
- ضمان استدامة الأطر العريضة للإدارة الرشيدة وتحسين الإدارة والحكم الرشيد للمنظمة (WMO).

الفصل الثاني

الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat)

الصفحة

1.2 تعريف خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) والترددات الموزعة لها 10

1.1.2 المفهوم العام لنظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية 11

2.2 نظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GSO) 12

1.2.2 عمليات إرسال البيانات المصورة غير المعالجة من أجهزة الاستشعار الخاصة بأنظمة الخدمة MetSat التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض..... 13

2.2.2 توزيع بيانات الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض..... 14

3.2.2 منصات جمع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض (DCP) 16

3.2 أنظمة خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض 17

1.3.2 عمليات إرسال البيانات غير المعالجة من أجهزة الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض 18

2.3.2 توزيع بيانات الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض..... 18

3.3.2 أنظمة جمع البيانات (DCS) في الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض 20

4.2 آليات توزيع البيانات البديلة 20

1.2 تعريف خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) والترددات الموزعة لها

جرى تعريف خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) في المادة 52.1 من لوائح الراديو (RR) بصفتها "*خدمة ساتلية لاستكشاف الأرض لحاجات الأرصاد الجوية*" . وتؤمن هذه الخدمة تشغيل الاتصالات الراديوية بين المحطات الأرضية ومحطة أو أكثر من المحطات الفضائية، وقد تتضمن وصلات بين المحطات الفضائية من أجل توفير:

- معلومات تتصل بخصائص الأرض وظواهرها الطبيعية، بما في ذلك بيانات بشأن حالة البيئة، الصادرة عن أجهزة الاستشعار النشيطة أو المنفعلة المحمولة على سواتل الأرض؛
- معلومات تجمع من المحطات المحمولة في الفضاء أو القائمة على الأرض؛
- معلومات توزع على المحطات الأرضية؛
- وصلات التغذية اللازمة لتشغيل سواتل الخدمة MetSat وتطبيقاتها.

ويشمل هذا الفصل الخاص بتطبيقات خدمة الأرصاد الجوية الساتلية الإرسالات الراديوية التالية:

- إرسالات لبيانات الرصد من سواتل الخدمة MetSat إلى محطات الاستقبال الرئيسية؛
- عمليات إعادة إرسال للبيانات بعد معالجتها إلى محطات مستخدمي الأرصاد الجوية عبر سواتل الخدمة MetSat؛
- إرسالات البث المباشر إلى محطات مستخدمي الأرصاد الجوية من سواتل الخدمة MetSat؛
- عمليات توزيع البيانات البديلة على المستعملين (GEONETCast) عبر أنظمة ساتلية أخرى خلاف الخدمة MetSat؛
- إرسالات من منصات جمع البيانات إلى سواتل الخدمة MetSat.

ويبين الجدول 2-1 نطاقات الترددات الموزعة في لوائح الراديو الخاصة بالاتحاد الدولي للاتصالات من أجل خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) وخدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS). ويجوز للخدمة MetSat أن تستعمل أيضاً نطاقات الترددات الموزعة للخدمة EESS لإرسال البيانات (أنظر الملاحظة 1).

الجدول 2-1

نطاقات الترددات الموزعة للخدمتين MetSat وEESS في لوائح الراديو الخاصة بالاتحاد الدولي للاتصالات لكي تستخدمها سواتل الأرصاد الجوية لإرسال البيانات

التوزيعات المتاحة للخدمة MetSat لإرسال البيانات	
الاتجاه فضاء–أرض	**الاتجاه أرض–فضاء**
MHz 138-137 (الخدمة MetSat على أساس أولي)	**MHz 403-401** (الخدمتان EESS وMetSat على أساس أولي)
MHz 401-400,15 (الخدمة MetSat على أساس أولي)	**MHz 2 110-2 025** (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1) (والاتجاه فضاء–فضاء)
MHz 470-460 (الخدمتان EESS وMetSat على أساس ثانوي[1])	**MHz 8 215-8 175** (الخدمة MetSat على أساس أولي)
MHz 1 710-1 670 (الخدمة MetSat على أساس أولي)	**GHz 30,0-28,5** (الخدمة EESS على أساس ثانوي) (الملاحظة 1)
MHz 2 290-2 200 (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1) (والاتجاه فضاء–فضاء)	**GHz 40,5-40,0** (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1)
MHz 7 550-7 450 (الخدمة MetSat على أساس أولي، حصرياً للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض فقط)	

[1] بموجب الحاشية 290.5 من لوائح الراديو، يوزع للخدمة MetSat على أساس أولي في بعض البلدان.

الجدول 2-1 (*تتمة*)

MHz 7 900-7 750 (الخدمة MetSat على أساس أولي، حصرياً للسواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض فقط)	
MHz 8 400-8 025 (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1)	
GHz 18,3-18,0 (الخدمة MetSat على أساس أولي في الاتجاه فضاء–أرض في الإقليم 2، حصرياً للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض فقط)	
GHz 18,4-18,1 (الخدمة MetSat على أساس أولي في الاتجاه فضاء–أرض في الإقليمين 1 و3، حصرياً للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض فقط)	
GHz 27,0-25,5 (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1) (والاتجاه فضاء–فضاء في النطاق GHz 27,5-25,25)	
GHz 40,0-37,5 (الخدمة EESS على أساس ثانوي) (الملاحظة 1)	
GHz 66,0-65,0 (الخدمة EESS على أساس أولي) (الملاحظة 1)	

الملاحظة 1 – لما كانت الخدمة Metsat صنفاً فرعياً من خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS)، فإن هذه التوزيعات (على سبيل المثال: MHz 8 400-8 025 وMHz 27 000-25 500) يمكن استعمالها ايضاً لتشغيل سواتل الخدمة MetSat وتطبيقاتها.

1.1.2 المفهوم العام لنظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية

يجمع نظام الخدمة MetSat بشكل عام مجموعة متنوعة من البيانات بواسطة أجهزة تصوير مرئية وبالأشعة تحت الحمراء وكذا أجهزة الاستشعار المنفعل والنشيط التي تستعمل أيضاً ترددات الموجات الصغرية الموزعة لهذا الغرض (أنظر الفصل الخامس).

ترسل البيانات غير المعالجة التي تجمع بواسطة الأجهزة المحمولة على متن سواتل الأرصاد الجوية المستقرة بالنسبة إلى الأرض بشكل دائم إلى محطة أرضية أولية للوكالة المشغلة لتعالج وتوزع على مختلف المراكز الوطنية للأرصاد الجوية ومكاتب الرشيف الوطنية وعلى المستعملين الآخرين. وتشمل البيانات غير المعالجة على سبيل المثال صوراً للأرض تلتقط على بأطوال موجات متعددة لكي توفر مجموعة متنوعة من بيانات القياس. ويعاد إرسال البيانات بعد معالجتها إما إلى ساتل الأرصاد ثانية لكي يعيد إرسالها في إطار بث مباشر إلى محطات المستعملين بواسطة الإشارات الرقمية المنخفضة المعدل و/أو المرتفعة المعدل أو توزيعها مباشرةً على المستعملين باستعمال وسائل بديلة لتوزيع البيانات.

وخلافاً لسواتل الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض التي تكون مرئية دائماً من محطاتها الأرضية، فإن البيانات غير المعالجة الملتقطة بالأجهزة المحمولة على متن سواتل الأرصاد الجوية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، يجب أن تجمع وتخزن على متن الساتل إلى أن يتسنى إرسالها إلى محطة أرضية أولية للوكالة المشغلة عندما يمر الساتل فوق هذه المحطة. وتعالج الوكالة المشغلة هذه البيانات بعد ذلك وتقدمها إلى المستعملين عبر آليات مختلفة لتوزيع البيانات. ولتحسين كمون البيانات، "تبث" المجموعات الفرعية من البيانات الملتقطة بالأجهزة مباشرةً من الساتل ويمكن لمحطات المستعملين استقبالها عندما يكون الساتل مرئياً من محطات المستعملين هذه والتي يمكن نصبها في أي مكان. ويطلق على هذه الخدمة مسمى "القراءة المباشرة".

كما تحمل سواتل الأرصاد الجوية المستقرة وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض أيضاً نظماً لجمع البيانات (DCS)، مثل منصات جمع البيانات (DCP) على السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) ونظماً مثل أرجوس (Argos) على متن السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO).

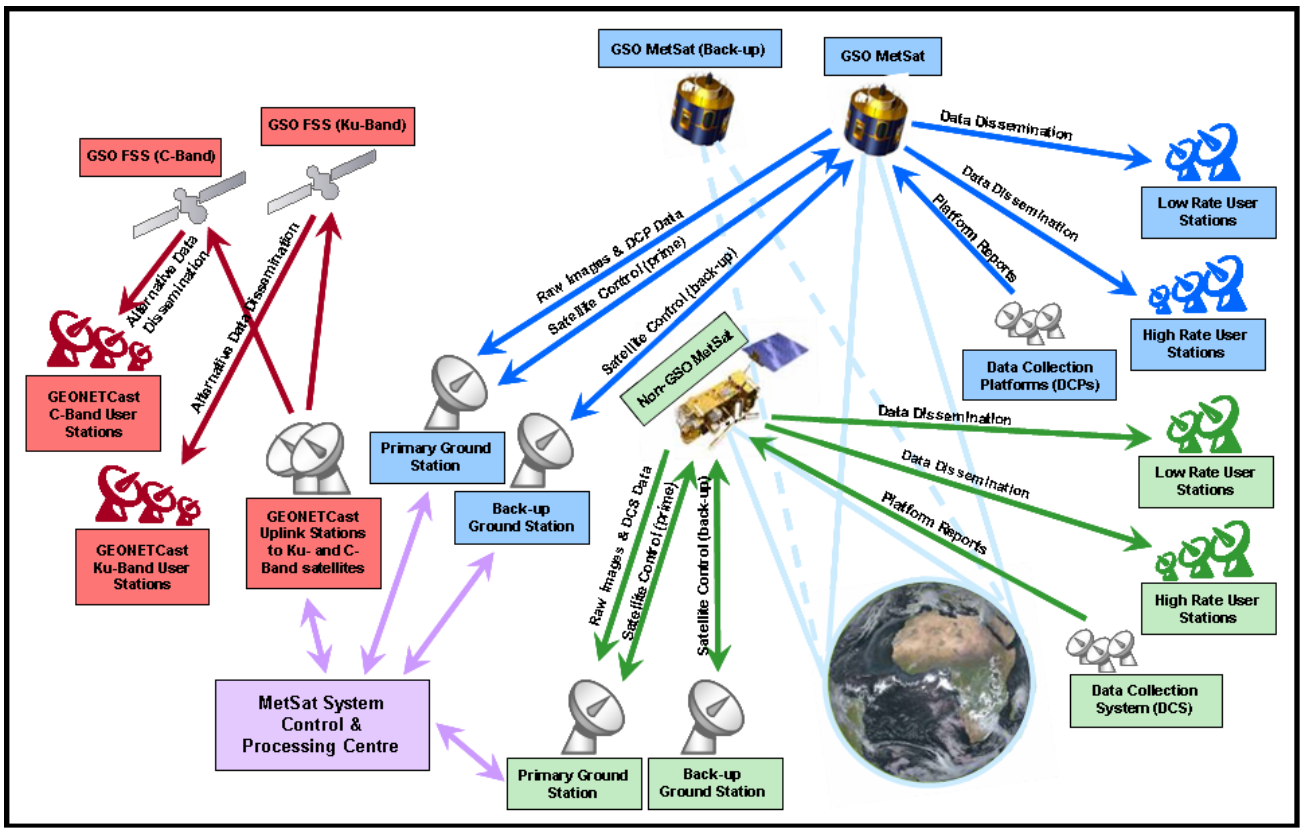
وترسل منصات جمع البيانات التي تكون عادةً منصوبة على الأرض والطائرات والسفن والمنصات العائمة إلى سواتل الأرصاد الجوية المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وتكون المعلومات المجمعة بواسطة المنصات DCP عن بارامترات مثل درجات حرارة السطح وسرعة الرياح ومعدل الهطول وعلو الجريان والغازات في الغلاف الجوي، وفي حالة المنصات العائمة، عن ملوثات المحيط. كما يمكنها أن تُبلغ بموقعها الراهن لتحديد حركتها. وإضافة إلى تشغيل قنوات المنصات الإقليمية لجمع البيانات، فإن مشغلي سواتل الأرصاد الجوية يساهمون أيضاً في النظام الدولي لجمع البيانات (IDCS) من خلال تشغيل القنوات الدولية. ويمكن مستقبلاً أن يخصص في إطار تطبيق إضافي عدد من القنوات الخاصة بالنظام الدولي لجمع البيانات للاستعمال في نظام المراقبة أثناء الطوارئ أو الكوارث.

أما منصات جميع البيانات مثل تلك التابعة لنظام Argos فإنها تبث إلى السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض. وعندما توضع هذه المنصات على المحطات العائمة والمحطات الطافية الغاطسة، فإنها تقيس ضغط الغلاف الجوي وسرعة الرياح واتجاهه وتيارات سطح البحر وبارامترات أخرى للبحر. وهناك بعض التطبيقات الأخرى لمنصات جمع البيانات التي تستعمل لرصد حركة الحيوانات ولمراقبة قطعان الأسماك.

يبين الشكل 2-1 المعمارية العامة لنظام في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.

الشكل 2-1

المعمارية العامة لنظام في خدمة الأرصاد الجوية الساتلية



Meteo-02-1

2.2 نظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GSO)

يُشغل حالياً وفي إطار النظام العالمي للرصد التابع لبرنامج المراقبة العالمية للطقس، عدد من سواتل الأرصاد الجوية لضمان الرصد الشامل للأرض من المدار المستقر بالنسبة للأرض (أنظر الشكل 1-3). ولضمان تغطية شاملة ومتواصلة من الرصدات على الأمد

الطويل من المدار المستقر بالنسبة للأرض، من المقرر إطلاق مزيد من سواتل الأرصاد الجوية مستقبلاً (أنظر الشكل 1-4) إما لتحل محل أنظمة ساتلية أخرى أو لتكمل أنظمة ساتلية قائمة.

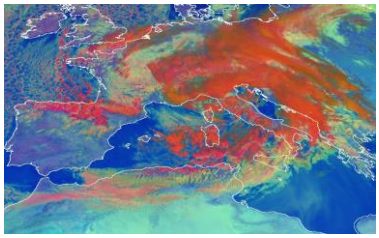
1.2.2 عمليات إرسال البيانات المصورة غير المعالجة من أجهزة الاستشعار الخاصة بأنظمة الخدمة MetSat التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

ترسل البيانات التي تجمعها أجهزة التصوير المرئي والعاملة بالأشعة شبه تحت الحمراء أو بالأشعة تحت الحمراء وأجهزة الاستشعار الأخرى على متن سواتل الأرصاد الجوية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض إلى محطات التشغيل الرئيسية (وتسمى عادةً محطات القيادة أو محطات اقتناء البيانات (CDA)) في النطاق 670 1-690 1 MHz.

يعطي الشكل 2-2 مثالاً عن بيانات بعد معالجتها وهي صادرة عن جهاز التصوير على متن ساتل للأرصاد الجوية عامل في مدار مستقر بالنسبة للأرض.

الشكل 2-2

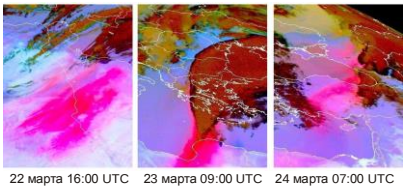
صور بيانات بعد معالجتها من ساتل للأرصاد الجوية عامل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض



Meteo-02-2

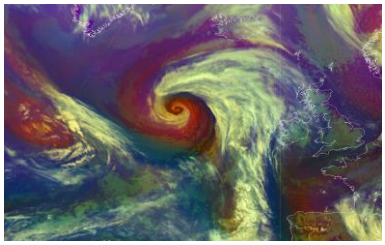
ريح شمالية قوية (ميسترال) وإعصار جنوه مرفوق بتهطال غزير على جنوب الألب.

(Meteosat-8 RGB: VIS0.8, IR3.9r, IR10.8, 20/03/07 09:00 UTC)



عاصفة رملية هامة من شمال إفريقيا باتجاه اليونان وتركيا وروسيا وكازاخستان.

(Meteosat-9, Dust RGB, 22/03/08 - 24/03/08)



إعصار على شمال الأطلسي

(Meteosat-9 Airmass RGB, 19/05/08 12:00 UTC)

ويوجد عدد محدود من محطات من هذه الفئة في العالم، في عدد من المواقع من 1 إلى 3 لكل نظام ساتلي مع هوائي لكل ساتل في الأسطول العامل، بمجموع يصل إلى نحو 50-60 محطة أرضية أولية تتولى تشغيلها الوكالات المشغلة للخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وهي مجهزة بهوائيات يتراوح قطرها بين 10 و18 متراً تقريباً، وعادةً ما تبلغ زاوية ارتفاعها 3 درجات كحد أدنى. أما قياس الأداء (G/T) لهذا النوع من المحطات فيبلغ زهاء 23 dB/K. أما سعة النطاق المعتادة لعمليات الإرسال من الجيل الحالي لشبكات السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية العاملة في مدارات مستقرة بالنسبة للأرض فتتراوح بين 2 MHz و20 MHz وفقاً لخصائص الأداة وأساليب التشكيل المستخدمة.

وتجدر الإشارة في هذه السياق إلى أن أنظمة الخدمة MetSat التي جرى التبليغ بالتخصيصات المتصلة بها بعد 1 يناير 2004 في النطاق 670 1-675 1 MHz لن تتمتع بالحماية من التداخل الضار من تطبيقات الخدمة الساتلية المتنقلة (MSS)، ولن يكون بالإمكان بالتالي استعمالها لنظم السواتل الجديدة المخصصة للأرصاد الجوية.

وبالنسبة للجيل التالي من أنظمة الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض الجاري تطويرها حالياً لكي يتم نشرها خلال الفترة الزمنية 2016-2026 كما هو مبين في الشكل 1-4، فإن معدلات البيانات ومتطلبات عرض النطاق ذات الصلة للوصلة الهابطة لبيانات الأداة الصادرة عن أنظمة الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض هذه ستزداد بشكل كبير (حتى 800 Mbit/s). لذا، سيتحتم استعمال ترددات أعلى من النطاق 670 1-698 1 MHz مثل النطاقات 450 7-550 7 MHz (إرسال البيانات غير المعالجة من على متن السلسلتين Electro-L وFY-4) و025 8-400 8 MHz (GOES-R) و18,3-18,0 GHz (الإقليم 2)

و18,4-18,1 GHz (الإقليمان 1 و3) (السواتل Himawari وFY-4) والنطاق 27-25,5 GHz بوجهٍ خاص (التقاط البيانات الرئيسية (MDA) من على متن سواتل الجيل الثالث من سواتل الأرصاد الجوية (MTG)).

2.2.2 توزيع بيانات الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض

تصف الفقرات من 1.2.2.2 إلى 6.2.2.2 وظائف التوزيع المباشر لأنظمة الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض في إطار النظام العالمي للرصد التابع لبرنامج المراقبة العالمية للطقس.

1.2.2.2 مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد (S-VISSR)

تُشغل خدمة مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد (S-VISSR) بفضل سلسلة السواتل Feng-Yun-2 (السلسلة FY-2) للنظام الصيني للخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وترسل البيانات التي تلتقطها مسابير VISSR إلى المحطات الأرضية الرئيسية للعمليات التابعة للنظام الصيني للخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض. ويتم معالجة البيانات في المحطات الأرضية في الوقت شبه الفعلي قبل إعادة إرسالها عبر نفس الساتل بمعدل إرسال أقل (ممدد). وتستقبل هذه البيانات محطات أرضية عاملة بمقياس S-VISSR، تسمى أيضاً بمحطات استعمال البيانات متوسطة الحجم (MDUS). وتوجد أكثر من مائة محطة استقبال من هذا النوع قيد الخدمة. والمستعملون الرئيسيون لهذه الخدمة هم مرافق الأرصاد والجامعات.

وتجرى إرسالات الخدمة S-VISSR في نطاق التردد الفرعي 683 1-690 1 MHz عند تردد مركزي 687,5 1 MHz. ويبلغ معدل بيانات الإرسال 660 kbit/s ضمن عرض نطاق مقداره 2 MHz. ويبلغ رقم الجدارة لمحطات الاستقبال 12 dB/K بهوائي بأبعاد 3 m تقريباً، وزاوية ارتفاع دنيا للهوائيات تساوي 5 درجات.

2.2.2.2 متغير السواتل البيئية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GOES) (GVAR)

ترسل السواتل البيئية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض التابعة للولايات المتحدة الأمريكية GOES-13 وGOES-14 وGOES-15 بيانات القياس بعد معالجتها وهي معروفة باسم GVAR إلى المئات من محطات الاستقبال على الأقل الواقعة في مجال تغطية مركبة الفضاء البيئية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض، وموقعها 75 درجة غرباً و135 غرباً. وهي لا تشمل فقط المحطات الواقعة في شمال أمريكا وجنوبها، وإنما أيضاً مواقع في نيوزيلندا وفرنسا وإسبانيا وبريطانيا العظمى. وجل المستفيدين من هذه البيانات هم الجامعات والوكالات الحكومية العاملة في مجال بحوث الأرصاد والتنبؤات الجوية. كما يستفيد منها بعض الهيئات التي تقدم قيمة مضافة في مجال التنبؤ بالطقس لذوي المصالح التجارية. ويتكون دفق البيانات الذي يرسل على تردد 1685,7 MHz بسعة نطاق تكاد تبلغ 5 MHz، بشكل أساسي من الصور وبيانات المسبار مع معلومات إضافية تتصل بالمعايرة والملاحة والقياس عن بُعد والرسائل النصية والعديد من النواتج الثانوية الأخرى.

وبدخول الجيل الجديد من السواتل GOES بدءاً من GOES-R، تحل الخدمة GOES ReBroadcast (GRB) على التردد 686,6 1 MHz محل الخدمة الحالية GOES Variable (GVAR)، مما يتطلب عرض نطاق أكبر لتأمين الزيادة الكبيرة في معدلات البيانات في المدى 30 Mbit/s وهو ما يتعارض مع الخدمة GVAR ذات المعدل 2 Mbit/s. وتعمل الخدمة GVAR حالياً على التردد 685,7 1 MHz مما يتطلب عرض نطاق مقداره 4,22 MHz في حين ستحتاج الخدمة GRB إلى عرض نطاق مقداره 9,7 أو 10,9 MHz لإرسال البيانات المعالجة وستعمل على التردد 686,6 1 MHz.

3.2.2.2 خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX)

والخدمة التماثلية لخرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) التي لا تزال تعمل على بعض سواتل الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض هي في طور الاستبدال بخدمة إرسال المعلومات الرقمي المنخفض المعدل (LRIT) في الجيل الثاني من نظام السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية. وتقوم خدمة خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) بعمليات إرسال تماثلي إلى محطات المستعمل للأرصاد

الجوية منخفضة الكلفة في منطقة الاستقبال الخاصة بالسواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية. وتم الاتفاق على معايير خدمة خرائط الطقس بالفاكس في فريق التنسيق المعني بالسواتل الخاصة بالأرصاد الجوية (CGMS)، وهو منتدى لتبادل المعلومات التقنية بشأن نظم السواتل في المدارات الثابتة بالنسبة للقطب والسواتل ذات المدار القطبي.

وخدمة الخرائط بالفاكس (WEFAX) على السواتل GOES أرقام 13 و14 و15 على التردد 1 691 MHz (586 kHz) ستدمج مع عملية إرسال المعلومات بمعدلات منخفضة (LRIT) وشبكة معلومات الطقس لمديري الطوارئ (EMWIN) التي تعمل حالياً على التردد 1 692,7 MHz (27 kHz) في وصلة هابطة واحدة تعرف باسم HRIT/EMWIN، حيث تحل عملية الإرسال HRIT محل عملية الإرسال LRIT. وسترسل الخدمة الموحدة الجديدة على التردد 1 694,1 MHz مما يتطلب عرض نطاق مقداره 1,21 MHz وسيتم نقل الوصلة الهابطة الحالية لبيانات الاستشعار العاملة على التردد 1 676 MHz إلى التردد 8 220 MHz ضمن النطاق X للخدمة EESS (8 400-8 025 MHz) لتأمين معدلات البيانات المتزايدة بشكل كبير من أجهزة الاستشعار المتقدمة المحمولة على متن المركبة الفضائية GOES-R.

وقد سجلت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) آلاف المحطات لاستقبال خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) في أنحاء العالم، غير أنه وإسوة بمحطات الاستقبال الخاصة بمتغير GVAR ومقياس S-VISSR، فإن عدد محطات الاستقبال العاملة حالياً غير معروف بالتحديد. وتعتبر محطات الاستقبال لخرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) تجهيزات أساسية لتشغيل مرافق الأرصاد الجوية الصغرى والمتوسطة كما تستعملها الجامعات ووكالات البيئة والوكالات الصحفية والمدارس وغيرها من المؤسسات.

يتم إرسال خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) في النطاق الفرعي 1. وللخدمات WEFAX المتبقية تردد مركزي يبلغ 1 691 MHz وسعة نطاق تتراوح بين 0,03 MHz و0,26 MHz. وتعمل محطات الاستقبال لخدمات خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) في زوايا ارتفاع تزيد على 3 درجات وتستعمل هوائيات يبلغ قطرها 1,2 متر مع قياس أداء (G/T) يبلغ 2,5 dB/K. وترسل خدمات خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) مقاطع من الصور التي تلتقطها السواتل ونواتج الأرصاد الجوية في شكل مصور، وصور اختبار ورسائل إدارية تحتوي على معلومات هجائية عددية في شكل مصور.

4.2.2.2 إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT)

إن خدمة إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT) خدمة أطلقت عام 2003 على سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية البيئية والمدار المستقر بالنسبة للأرض (GOES) للإرسال إلى محطات المستعمل منخفضة الكلفة. وكان الغرض من هذه الخدمة هي أن تحل محل خدمة خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) على سواتل الخدمة MetSat الأخرى العاملة على مدارات مستقرة بالنسبة للأرض لكي تقدم الخدمة لنفس المستعملين.

ويتم إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT) في النطاق الفرعي 690 1-698 1 MHz مع ترددات مركزية على 1 691 MHz. وتصل سعة النطاق إلى 660 kHz. ويتراوح قطر هوائيات محطة المستعمل بين متر واحد و1,8 متر وتعمل بزاوية ارتفاع دنيا تبلغ 3 درجات. ويبلغ رقم الجدارة لمحطات الاستعمال منخفضة المعدل (LRUS) 3 إلى 6 dB/K، حسب موقع محطة المستعمل. ويعمل الإرسال LRIT على العديد من أنظمة الخدمة MetSat، وتحديداً سواتل النظام GOES والجيل الثاني من السواتل MeteoSat والساتل COMS-1 (الذي سيتم استمراره بالساتل GEO-KOMPSAT-2A)، والسواتل Himaweri وElectro-L وعلى سلسلة السواتل FY-2 بدءاً من الساتل FY-2 E/F/G وما بعده وستستمر على السلسلة FY-4 إلى جانب إذاعة لمعلومات الإنذار الجوية في حالات الطوارئ (EWAIB).

5.2.2.2 إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT)

بدأ العمل بخدمة إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT) في يناير 2004 بعد تشغيل أول ساتل من الجيل الثاني من سلسلة السواتل Meteosat (Meteosat-8)، وهي تعمل حالياً على العديد من أنظمة الخدمة MetSat، وتحديداً، سواتل Himawari والساتل COMS-1 (الذي سيتم استمراره بالساتل GEO-KOMPSAT-2A)، والسواتل Electro-L والسلاسل المستقبلية للسواتل FY-4. كما ستشغل سلاسل السواتل GOES من أول GOES-R وما بعدها خدمة HRIT/EMWIN.

وتعمل خدمة إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT) في النطاقات الفرعية 675 1-687 1 MHz و684 1-690 1 MHz و690 1-698 1 MHz. أما بعد الهوائي في محطات المستعمل المرتفعة المعدل (HRUS) أو المتوسطة المعدل (MDUS) فيبلغ 4 أمتار أو أقل وزاوية الارتفاع الدنيا 3 درجات. ويبلغ قياس الأداء لمحطات الاستعمال 12 إلى 14 dB/K حسب موقع محطة المستعمل.

ونشر فريق تنسيق سواتل الأرصاد الجوية (CGMS) مواصفة عالمية جديدة للبث المباشر (GEO HRIT/LRIT) في 2013. وتطبق هذه المواصفة على الأنظمة GEO الحالية والمخططة، برغم عدم تحديدها لخصائص محطات المستعملين. ويتواصل العمل في الفريق CGMS لتقييم مدى الحاجة لمواصلة تحديث المواصفة العالمية GEO في ضوء المعايير المتاحة والمستعملة مؤخراً في الاتصالات وفي أنساق الملفات.

3.2.2 منصات جمع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض (DCP)

تشغل نظم جمع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية لجمع بيانات الأرصاد والبيانات البيئية من منصات جمع البيانات عن بُعد. ويتم الإرسال من كل منصة من بين هذه المنصات وساتل الأرصاد الجوية في نطاق التردد 401-403 MHz. وتُشغل منصات جمع بيانات بأسلوب التتابع الزمني. وتبلغ عادةً الفترات الزمنية للإرسال دقيقة واحدة ومعدلات الإرسال 100 bit/s. وبدأ العمل بمنصات جمع بيانات بمعدلات إرسال أعلى (300 bit/s و1200 bit/s) عام 2003 ومن المزمع أن يزيد عددها بسرعة في المستقبل القريب. أما سعة نطاق القنوات لهذه المنصات لجمع البيانات العاملة بمعدلات إرسال مرتفعة فهو 0,7510 kHz لمعدل 300 bit/s و2,2510 kHz لمعدل 1 200 bit/s.

وتوجد فئات مختلفة من أجهزة الإرسال لمنصات جمع البيانات قيد التشغيل تتراوح قوة إنتاجها عموماً بين 5 و10 و20 واط بهوائي اتجاهي أو 40 واط بهوائي شامل الاتجاهات. وتتراوح قوة الوصلة الصاعدة للقدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) بين 40 و52 dBm. وتعمل نظم جمع البيانات حالياً على نظم مختلفة من السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية في المدارات المستقرة بالنسبة للأرض.

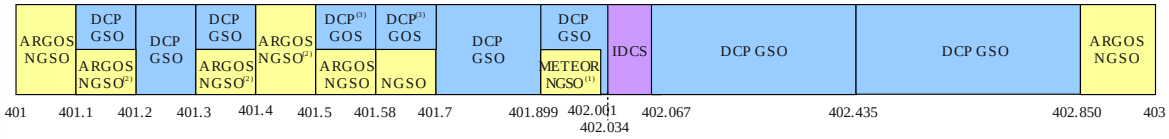
وتستعمل منصات جمع البيانات التي ترسل تقاريرها إلى الخدمة MetSat المستقرة بالنسبة إلى الأرض ترددات في المدى 401,1-402,85 MHz مع تخصيص المدى 402,067-402,001 MHz للاستعمال الدولي (22 قناة بعرض نطاق يبلغ 3 kHz). ويتيح استعمال النطاقات الضيقة (لدرجة تصل فيها إلى 0,75 kHz) وتخفيض فترات إرسال التقارير إلى 10 ثوان عادةً استقبال البيانات من عدد كبير من هذه المنصات. وعلى سبيل المثال، في حالة سواتل المسح البيئي العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GOES) أرقام 13 و14 و15، سجل في عام 2016 تشغيل زهاء 27 000 منصة لجمع البيانات عالية المعدل أرسلت 400 000 رسالة في اليوم، ووفرت أكثر من 6 ملايين رصدة للنظام GOS يومياً. ومن المتوقع أن ترتفع هذه الأرقام مجدداً.

1.3.2.2 الشروط الأساسية العامة لتجزئ وتقاسم النطاق 401-403 MHz

الزيادة في الاحتياجات من الطيف لأنظمة خدمتي الأرصاد الجوية الساتلية واستكشاف الأرض الساتلية المستقرة وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض تتطلب التزام جميع المشغلين بالتجزئ العام الأساسي للنطاق 401-403 MHz من أجل الأنظمة DCS الحالية والمقبلة (انظر الشكل 2-3) مع ما يرتبط به من شروط للتقاسم على النحو المحدد في التوصية ITU-R SA.2045.

الشكل 2-3

الشروط الأساسية العامة لتجزئ النطاق 401-403 MHz من أجل الاستعمال المستقبلي المنسق طويل الأجل للأنظمة DCS على أنظمة خدمتي الأرصاد الجوية الساتلية واستكشاف الأرض الساتلية المستقرة وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض



Meteo-0 2-03

3.2 أنظمة خدمة الأرصاد الجوية الساتلية (MetSat) التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض

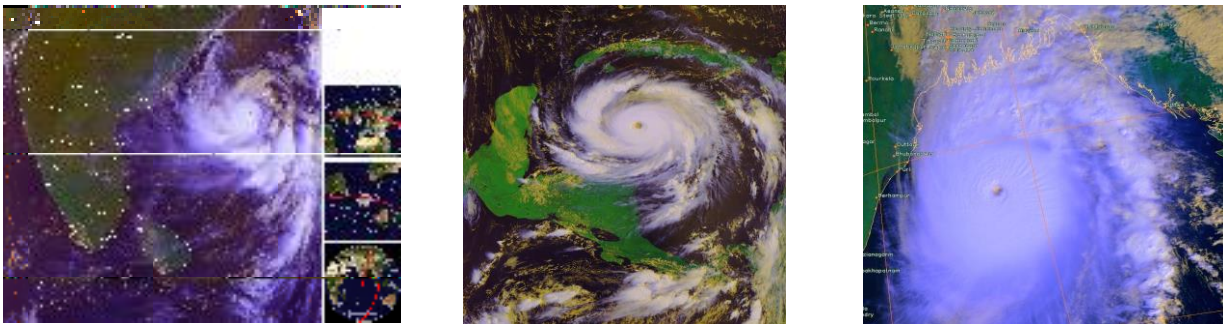
وعلاوةً على العدد الكبير من سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض، فإن نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض تُكمل قاعدة السواتل التي تساهم في النظام العالمي للرصد بواسطة بيانات القياسات التي تضمن تغطية عالمية من تشكيلة من أجهزة الاستشعار السلبية والنشيطة التي تقوم بعمليات الرصد في مناطق الطيف المرئي ودون الأحمر وبالموجات الصغيرة جداً.

وستؤمن التغطية المتواصلة وطويلة الأمد للرصدات من السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض بفضل السواتل القائمة والمستقبلية التي يشغلها عدد من منظمات الأرصاد الجوية الوطنية والإقليمية في العالم (انظر الشكلين 1-3 و1-4).

ويعطي الشكل 2-4 أمثلة عن جهاز قياس الإشعاع المتطور عالي الاستبانة جداً (AVHRR) على نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض والذي يلتقط صوراً عالمية مرئية بالأشعة التي تكاد تكون دون الحمراء أو دون الحمراء للسحب والمحيطات وسطح الأرض. تجدون في الفصل الخامس أمثلة عن رصدات أجهزة الاستشعار السلبية والنشيطة في منطقة الطيف الموجات الصغرية التي تقوم بها نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض.

الشكل 2-4

عينات من صور التقطها جهاز قياس الإشعاع المتطور عالي الاستبانة جداً



Meteo-02-04

1.3.2 عمليات إرسال البيانات غير المعالجة من أجهزة الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

ترسل البيانات غير المعالجة من سواتل الأرصاد الجوية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض العاملة حالياً والتي يدور معظمها في مدارات قطبية في نطاقي التردد 750 7-900 7 MHz أو 025 8-400 8 MHz، حسب عرض النطاق اللازم، إلى المحطات الرئيسية الواقعة في خطوط العرض العليا. ويتم الإرسال في شكل رشقات عند مرور كل ساتل على محطة الرئيسية، في حين تكون أجهزة الإرسال مطفأة في الأوقات الأخرى.

1.1.3.2 إرسال البيانات غير المعالجة من أجهزة الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض باستعمال النطاق GHz 27-25,5

بعض الأنظمة المستقبلية للخدمة Metsat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (مثل النظام القطبي EUMETSAT – الجيل الثاني (EPS-SG) بسواتله Metop-SG وسواتل النظام الساتلي القطبي المشترك (JPSS)) ستحتاج إلى استعمال نطاقات تردد أكبر من تلك المستخدمة من جانب السواتل العاملة حالياً، أي النطاق GHz 27-25,5 ليتسنى لها إرسال معدلات البيانات المتزايدة إلى حدٍ كبير والتي تصل إلى Mbit/s 800 لمحطاتها الأرضية الرئيسية. ويطلق على هذه الوصلة مسمى الوصلة الهابطة لبيانات المهمة المخزنة (SMD). وستستعمل الأنظمة الأخرى نطاق التردد 025 8-400 8 MHz (مثل النظام FY-3 الحالي وMETEOR وSuomi-NPP).

2.3.2 توزيع بيانات الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

تصف الأقسام من 1.2.3.2 إلى 4.2.3.2 وظائف التوزيع المباشر لنظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض، العاملة في إطار النظام العالمي للرصد التابع للمراقبة العالمية للطقس.

1.2.3.2 توزيع بيانات الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض باستعمال النطاق 698 1-710 1 MHz

1.1.2.3.2 الإرسال الأوتوماتي للصور (APT)

بدأ العمل بخدمة الإرسال الأوتوماتي للصور (APT) على بعض المركبات الفضائية التي كانت موجودة بالفعل في ستينيات القرن الماضي وأصبح النظام الأكثر نجاحاً للتوزيع المباشر للبيانات في مجال الأرصاد الجوية. ومازال الآلاف من محطات الاستقبال لخدمة الإرسال الأوتوماتي للصور هذه قيد الخدمة في العالم. وتعتبر محطات استقبال الإرسال الأوتوماتي للصور منخفضة الكلفة ولا تقتصر على تشغيلها مرافق الأرصاد والجامعات فحسب وإنما أيضاً جمهور واسع من المستعملين غير المتخصصين في الأرصاد الجوية.

وتتكون محطات الإرسال الأوتوماتي للصور عادةً من هوائيات شاملة الاتجاهات وأجهزة استقبال تعمل بتردد عالٍ (VHF) وبرامج حاسوبية لعامة الجمهور (COTS). وجرى تزويد مُدخل الجهاز بنظم معالجة الصور منخفضة الكلفة وببرمجيات حاسوبية بثمن منخفض تشغل على حواسب مشتركة. ويعمل الإرسال APT على السواتل NOAA وسلسلة السواتل METEOR-M N2.

2.1.2.3.2 إرسال الصور منخفضة الاستبانة (LRPT)

كان من المفترض أن تحل خدمة إرسال الصور منخفضة الاستبانة (LRPT) محل تطبيقات الإرسال الأوتوماتي للصور (APT) في معظم أنظمة الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. بيد أن سلسلة السواتل الوحيدة التي نفذت فيها الخدمة LRPT وشغلت هي سلسلة السواتل METEOR-M N2. وتستند خدمة إرسال الصور منخفضة الاستبانة إلى خطط الإرسال الرقمي وتستعمل نفس الترددات التي تستعملها خدمة الإرسال الأوتوماتي للصور. أما عرض النطاق فيصل أيضاً إلى 175 kHz.

3.1.2.3.2 إرسال الصور عالية الاستبانة (HRPT)

توفر خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة (HRPT) صوراً عالية الاستبانة للأرصاد الجوية. وتبقى أجهزة خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة في وضع التشغيل باستمرار ويمكن أن تستقبلها جميع محطات الاستعمال. وهناك المئات من محطات الاستقبال لخدمة

إرسال الصور عالية الاستبانة في العالم والمسجلة لدى المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO). غير أنه ينبغي التذكير بأن هذا العدد لا يشمل جميع المحطات لأن تسجيل هذه المحطات ليس أمراً إلزامياً. وتعتبر بيانات خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة أساسية للعمليات المتصلة بخدمات الأرصاد الجوية كما تُستعمل على نطاق واسع في مجالات أخرى.

وفي الخدمة HRPT كما هو الحال على السواتل NOAA (النطاقات 698 1 702,5/1 707/1 MHz 1)، تتم عمليات الإرسال في خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة (HRPT) خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة في نطاق التردد 698 1-710 1 MHz وسعتي نطاق للإشارة 2,7 MHz و4,5 MHz. وجهزت محطات المستعمل بهوائي مكافئي يتراوح قطره عادةً بين 2,4 و3 أمتار. أما الحد الأدنى الموصى به لزاوية الارتفاع للاستقبال فهو 5 درجات، على الرغم من أن بعض المحطات تعمل بزوايا ارتفاع أقل من ذلك. ويبلغ قياس الأداء 5 dB/K. وهناك نظم أخرى لإرسال الصور عالية الاستبانة تعمل بمعدلات للبيانات تبلغ ضعفي معدلات النظم الأصلية لخدمة إرسال الصور عالية الاستبانة.

كما أن هناك تطبيق متقدم لخدمة إرسال الصور عالية الاستبانة (AHRPT) على بعض أحدث سواتل الأرصاد الجوية العاملة، أي سلسلة السواتل METEOR-M N2 (700 1 705/1 MHz) وMetop (701,3 1 707/1 MHz) وFY-3 (701,3 1 MHz) أو 704,5 1 MHz أو 706,7 1 MHz) والغرض منه هو أن يحل محل خدمة إرسال الصور عالية الاستبانة. وسيستعمل الإرسال باستخدام التطبيق المتقدم لخدمة إرسال الصور العالية الاستبانة (AHRPT) في نفس النطاق الذي تستعمله نظم إرسال الصور عالية الاستبانة (HRPT) الأخرى. وسيتراوح عرض النطاق بين 4,5 و6,8 MHz. والحد الأدنى لزاوية الارتفاع لهوائيات محطات الاستقبال AHRPT يساوي 5 درجات. وتكون الهوائيات مكافئية ويتراوح قطرها عادة بين 2,4 و3 أمتار. أما رقم الجدارة لهذه المحطات فسيكون 6,5 dB/K.

وفي إطار عمل الفريق CGMS، نشر الفريق مواصفة عالمية جديدة للبث المباشر (القراءة المباشرة في المدار الأرضي المنخفض (LEO) (HRPT/AHRPT)) خلال عام 2014. وتطبق هذه المواصفة على الأنظمة LEO الحالية والمخططة، على الرغم من عدم تحديدها لخصائص محطات المستعملين. ويتواصل العمل في الفريق CGMS لتقييم مدى الحاجة إلى إجراء مزيد من التحديث لهذه المواصفة في ضوء المعايير المتاحة والمستعملة مؤخراً في الاتصالات وأنساق الملفات.

2.2.3.2 توزيع بيانات الخدمة Metsat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض باستعمال النطاق 750 7-900 7 MHz

يتطلب الاتجاه نحو المزيد من البيانات ذات الاستبانة الأعلى أيضاً استعمال نطاقات تردد أعلى للتوزيع المباشر لبيانات الأجهزة على محطات المستعملين حيث يتعذر الوفاء بالاحتياجات المقابلة من عرض النطاق لهذه البيانات ذات الاستبانة العالية في النطاق 698 1-710 1 MHz. لذا، فإن نطاق التردد الأعلى التالي المتاح الموزع للخدمة Metsat في الاتجاه فضاء–أرض الذي يتعين استعماله هو النطاق 750 7-900 7 MHz. وفي هذا النطاق، فإنه يمكن تلبية الاحتياجات من عرض النطاق للجيل الجديد من أنظمة الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض التي تتراوح بين 30 و150 MHz لمختلف الوصلات الهابطة ((MPT (FY-3، والبيانات عالية الاستبانة (HRD) (Suomi-NPP وJPSS) والبث المباشر للبيانات (DDB) (Metop-SG).

ويوفر إرسال الصور باستبانة متوسطة (MPT) مجموعة كاملة من بيانات قياسات الأجهزة MERSI الموجودة على متن سلسلة السواتل FY-3. ويبلغ المعدل الحالي لإرسال البيانات للساتل FY-3 المقدار 18,7 Mbit/s ضمن عرض نطاق مقداره 45 MHz مركزه 775 7 MHz أو 45 Mbit/s ضمن عرض نطاق مقداره 60 MHz مركزه 780 7 أو 820 7 MHz. وإلى جانب ذلك، تقدم على السلسلة FY-3 خدمة الإرسال المتأخر للصور (DPT) بإرسال البيانات على التردد 145,95 8 MHz بعرض نطاق 149 MHz بمعدل بيانات 93 Mbit/s، أو على التردد بين 175 8 MHz و125 8 MHz بعرض نطاق 300 MHz بمعدل بيانات 225 Mbit/s. والخدمة HRD عبارة عن بث لمجموعة من البيانات بجميع الاستبانات من السواتل Suomi-NPP والسلسلة JPSS بمعدل بيانات يصل إلى 15 Mbit/s (عرض نطاق 30 MHz) مركزه 812 7 MHz. وفي الإذاعة المباشرة للبيانات (DDB) من على الجيل الثاني من سلسلة السواتل Metop (Metop-SG)، سيتم البث على التردد 825 7 MHz بعرض نطاق 150 MHz.

3.3.2 أنظمة جمع البيانات (DCS) في الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

توفر أنظمة جمع البيانات في سواتل الخدمة MetSat غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض مجموعة متنوعة من المعلومات التي تستخدمها بشكل أساسي الوكالات الحكومية وكذا الهيئات التجارية.

وتشمل مثل هذه البيانات عدداً من البارامترات البيئية المتصلة بالمحيطات والأنهار والبحيرات والأرض والغلاف الجوي، والتي ترتبط بالعمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. كما تشمل أيضاً بيانات رصد حركة الحيوانات. بيد أن الاستعمال من قبل الهيئات التجارية لهذه النظم يعتبر محدوداً. فهو يشمل على سبيل المثال، مراقبة أوضاع أنابيب النفط لحماية البيئة أو الأمن البحري. وتم نشر بعض أجهزة الإرسال أيضاً لرصد حالات الطوارئ وتوفير المعلومات بشأن كشف المخاطر والكوارث. ومن أمثلة أنظمة جمع البيانات العاملة انطلاقاً من سواتل للأرصاد الجوية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، هناك نظام إعادة بث البيانات وتحديد مواقع المنصات (ARGOS) والنظام البرازيلي DCS. أما الجيل الثالث من نظام Argos (Argos-3)، فهو يعمل حالياً على سلسلة السواتل Metop و NOAA-19 وعلى ساتل SARAL.

وتدور السواتل NOAA وMetop وSARAL هذه تتبع مداراً قطبياً على ارتفاع 850 km: وتمر على القطبين الشمالي والجنوبي في كل دورة. وتدور المستويات المدارية حول محوري القطبين بنفس السرعة التي تدور بها الأرض حول الشمس. ويرى كل ساتل في آن واحد وفي كل الأوقات جميع المنارات الموجودة داخل دائرة نصف قطرها 5 000 km. ومع تحرك الساتل، يشكل المسقط الأرضي لهذه الدائرة نطاقاً عرضه 5 000 km يلتف حول الأرض عند مروره على القطبين الشمالي والجنوبي.

ويعمل نظام Argos حالياً في النطاق 401,690-401,579 MHz من خلال آلاف المنصات (وتسمى أجهزة الإرسال الطرفية للمنصات) التي تتطلب كل منها بضع كيلوهرتزات من سعة النطاق. ويمكن الاستفادة من طبيعة المدارات للسواتل ذات المدار القطبي لتكييف العديد من منصات Argos. وهناك نحو 22 000 منصة قيد التشغيل. وتتميز كل منصة برقم هوية يكون متفرداً ويعتمد على إلكترونيات الإرسال الخاصة بها.

وتقل مدة إرسال كل رسالة عن ثانية واحدة. وأدخل الجيل الثالث من نظام Argos خدمات جديدة لجمع البيانات، إذ أصبح يوفر بيانات بمعدلات عالية (4 800 bit/s) وكذا إمكانية استجواب المنصة. وحسب معدل البتات، تتراوح قيم قدرة الخرج للمنصة من -3 dBW حتى 7 dBW.

ويمكن استجواب المنصة المعروفة باسم PMT (مرسل–مستقبل الرسائل الخاص للمنصة) بواسطة السواتل باستعمال النطاق 460-470 MHz وتعمل حالياً على التردد 465,9 MHz.

أما بالنسبة للجيل الرابع من نظام Argos (Argos-4)، فمن المنتظر أن يلزم الأمر الزيادة في قدرة النظام وفي عرض النطاق بشكل كبير باستعمال نطاقات تردد أخرى كما هو مبين في الشكل 2-3. وإلى جانب ذلك، سينفذ النظام Argos 4 الجديد وصلة هابطة في نطاق التردد 466,98775-464,98775 MHz، وسينفذ نفاذ متعدد بتمديد الطيف لعدم التسبب في تداخلات على مستعملي الأرض.

أما سواتل النظام البرازيلي DCS فيقوم على SCD (تساوي زاوية ميل المدار 25 درجة) وسواتل CBERS، فتستعمل النطاق 401,665-401,605 MHz للاستقبال لمحطات جمع البيانات. ونظراً للتوافق الموجود بين النظام البرازيلي DCS ونظام Argos والسواتل المدار المكملة، يتم تبادل البيانات بين النظامين منذ 2001.

4.2 آليات توزيع البيانات البديلة

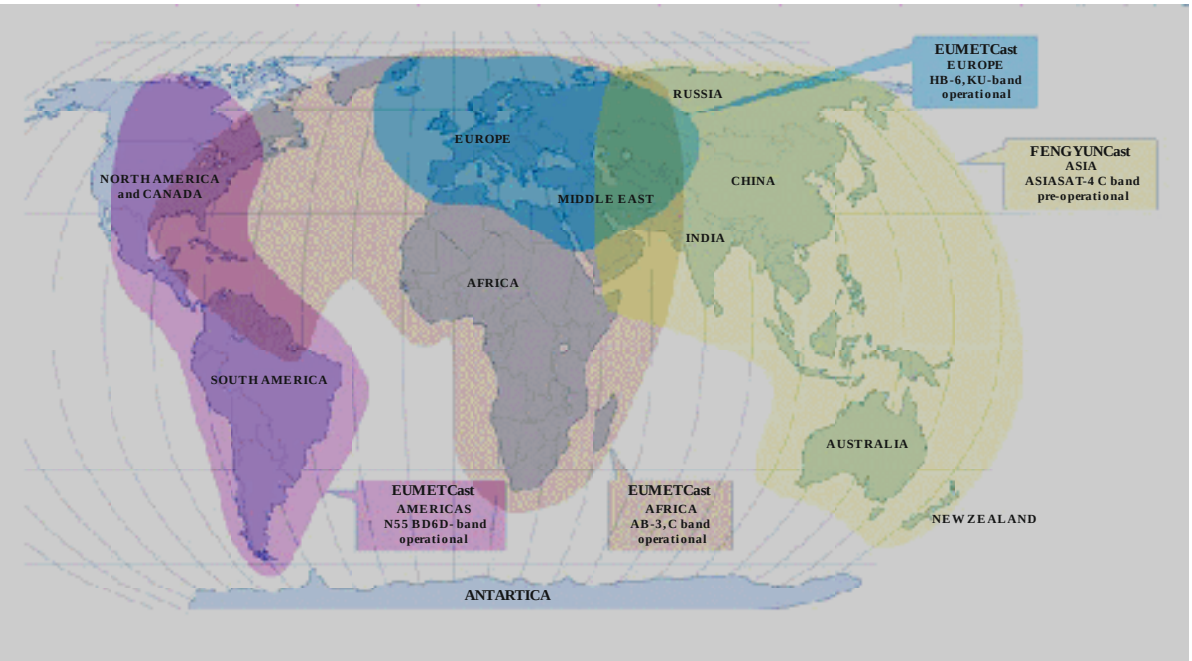
وإضافةً إلى آليات توزيع البيانات التقليدية التابعة لسواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية العاملة في سواتل مستقرة بالنسبة للأرض، أو تلك التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض، هناك نظام توزيع إضافي قيد الإعداد واسمه GEONETCast (أنظر الشكل 2-5) وهو مبادرة رئيسية من المنظومة العالمية لنظم رصد الأرض (GEOSS) الغرض منها وضع نظام عالمي وعملي يعمل من طرف إلى طرف لتوفير بيانات رصد الأرض ونشرها باستعمال بنية الاتصالات التحتية التجارية القائمة. ويهدف

مفهوم GEONETCast إلى استعمال قدرات البث المتعدد للنظام العالمي لسواتل الاتصالات لإرسال البيانات والنواتج البيئية من السواتل والمواقع من الموفرين إلى المستعملين. وتحقيقاً لذلك تتولى مراكز إقليمية عديدة مسؤولية إنشاء ورعاية نظام ساتلي إقليمي لتوزيع البيانات يقوم على تكنولوجيا الإذاعة الفيديوية الرقمية (DVB) وتوفر خدمات تكميلية لمجتمع مشترك من المستعملين. ومن بين الشركاء الحاليين، الإدارة الصينية للأرصاد الجوية (CMA) والإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وEUMETSAT، إضافة إلى العديد من الشركاء المحتملين من موردي البيانات.

وتنفذ التغطية العالمية من خلال الجمع بين النظام CMACast الذي يغطي منطقة آسيا والمحيط الهادئ، والمكون GEONETCast Americas الذي يغطي منطقة الأمريكتين والنظام EUMETCast الذي يغطي مناطق أوروبا وإفريقيا والأمريكتين.

الشكل 2-5

التغطية العالمية للنظام GEONETCast



Meteo-0 2-05

الفصل الثالث

خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids)

الصفحة

1.3 مقدمة 24

1.1.3 نطاقات الترددات الراديوية الموزعة 24

2.1.3 وظائف الأرصاد الجوية لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) 25

2.3 أمثلة على أنظمة الاستشعار لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية 27

1.2.3 المسابير الراديوية 27

2.2.3 المسابير الهابطة 29

3.2.3 مسابير الصواريخ 29

3.3 العوامل المؤثرة في خصائص نظم مساعدات الأرصاد الجوية 30

1.3.3 نظام هوائي جهاز الاستقبال المقام على الأرض 30

2.3.3 نظام معالجة البيانات المقام على الأرض 31

3.3.3 مجموعات الاستشعار القابلة للاستهلاك 32

4.3 خصائص الأرصاد الجوية المطلوبة من خدمة مساعدات الأرصاد الجوية 33

5.3 أسباب الاختلافات الوطنية في عمليات خدمة مساعدات الأرصاد الجوية 36

1.5.3 الاختلافات في التكنولوجيا المتوفرة 36

2.5.3 الاختلافات في علم المناخ الخاص بالرياح العليا 36

3.5.3 الاختلافات في كثافة الشبكة 37

4.5.3 استعمال نطاق التردد 401-406 MHz 37

5.5.3 استعمال نطاق التردد 668,4-1 700 MHz 38

6.5.3 متطلبات الاحتفاظ بالنطاقين 38

6.3 التوجهات المستقبلية 38

1.3 مقدمة

ورد تعريف خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) في الرقم 50.1 من لوائح الراديو (RR) على أنها خدمة اتصالات راديوية تستعمل لعمليات الرصد والسبر في الأرصاد الجوية، بما في ذلك علم المياه. ويتناول هذا الفصل رصد طبقات الهواء العليا *في الموقع فقط*، في حين تغطى تطبيقات الخدمة MetAids الأخرى في الفصل السادس من هذا الدليل.

ومن الناحية العملية، توفر خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) عموماً صلة الوصل بين نظام استشعار موقعي لبارامترات خاصة بالأرصاد ومحطة قاعدية بعيدة. ويمكن لنظام الاستشعار الموقعي أن يُحمل مثلاً على بالون خاص بالطقس. ومقابل ذلك يمكن للنظام أن يخترق الغلاف الجوي بواسطة مظلة بعد إطلاقه من طائرة أو من صاروخ خاص بالأرصاد. ويمكن للمحطة القاعدية أن تكون في موقع ثابت أو مركبة على منصة متنقلة كما هو الحال في عمليات الدفاع. وتركب المحطات القاعدية على البواخر أو طائرات مراقبة الأعاصير أو البحوث. والغالبية العظمى من أنظمة الاستشعار في الموقع هذه عبارة عن مسابير راديوية تطلق بانتظام من مواقع ثابتة ومن عدد قليل من السفن التجارية، وهو ما يشكل شبكة الهواء العلوي للنظام GOS التابع للمنظمة WMO، طبقاً لجدول زمني ثابت في جميع أنحاء العالم (الساعة 00 و06 و12 و18 حسب التوقيت العالمي المنسق (UTC)) وضعته المنظمة WMO.

1.1.3 نطاقات الترددات الراديوية الموزعة

وردت نطاقات الترددات المستعملة لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids) (باستثناء تلك المنظمة وفقاً للحواشي الوطنية) في الجدول 3-1[1]:

الجدول 3-1

نطاقات الترددات المستعملة لنظم/تطبيقات خدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids)

نطاق التردد
MHz 401-400,15
MHz 402-401
MHz 403-402
MHz 406-403
MHz 1 670-1 668,4
MHz 1 675-1 670
MHz 1 690-1 675
MHz 1 700-1 690
GHz 36-35,2

وهناك أيضاً خدمات أخرى تعمل على أساس أولي في هذه النطاقات مما يفرض قيوداً كبيرة على خدمة مساعدات الأرصاد الجوية. ونادراً ما يكون بالإمكان تقاسم القناة بين خدمات أخرى وخدمة مساعدات الأرصاد الجوية نظراً لأن أغلب نظم خدمة مساعدات الأرصاد الجوية ترسل بقدرة منخفضة لوصلات طويلة المدى نسبياً. ولهذا فإن عمليات تقاسم النطاق تعتمد في غالبها على تجزيء النطاق. وهذه المسألة يمكن أن تنظم دولياً لتراعي نظم الأرصاد الجوية الأخرى تحت إشراف المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)، أو وطنياً لتأخذ في الاعتبار النظم الأخرى غير نظم الأرصاد الجوية.

وتقوم المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) بشكلٍ منتظم بتحيين كتالوج أنظمة المسابير الراديوية المستعملة في إطار شبكة المنظمة WMO (المطبوع رقم 9 للمنظمة WMO، المجلد A، والذي يجري الاستعاضه عنه حالياً بمستودع البيانات الشرحية

[1] بالنسبة لتوزيع الترددات في هذه النطاقات، يحال القارئ إلى المادة 5 من لوائح الراديو (RR).

للأداة OSCAR/للنظام WIGOS السطحي) لكي يكون بوسع المتخصصين في الأرصاد الذين يستعملون القياسات تحديد نوع المسبار الراديوي المستعمل في كل محطة. ويشمل هذا الكتالوج أيضاً نطاق التردد المستعمل.

وهناك هيئات أخرى تستعمل خدمة مساعدات الأرصاد الجوية مثل:

- الوكالات البيئية
- الجامعات ومجموعات البحوث في الأرصاد الجوية
- مرافق الدفاع.

وتُشغل هذه النظم الإضافية عادةً بشكل مستقل عن العمليات الاعتيادية التي تقوم بها المرافق الوطنية للأرصاد الجوية وهي ليست واردة في كتالوج المنظمة WMO. ويتم تركيب العديد من نظم خدمة مساعدات الأرصاد الجوية غير المصنفة في كتالوج المنظمة WMO على منصات متنقلة كما يمكن أن تنشر على نطاق واسع من المواقع أثناء التشغيل. ويساوي عدد المسابير الراديوية التي بيعت لهذه الهيئات المسابير المستعملة بشكلٍ اعتيادي في شبكة المنظمة WMO. كما لا يخضع تشغيل هذه النظم الإضافية عادة للهيئات الوطنية لتنظيم الاتصالات.

وفي بعض البلدان، يتم تفادي تقاسم القنوات بين مختلف المجموعات من مشغلي المسابير الراديوية باستعمال خطة مفصلة لتوزيع القنوات. غير أنه في عدد كبير من البلدان الأخرى، لا يزال يطبق نهج واقعي في استعمال الطيف. إذ قبل إطلاق المسبار، يقوم مشغل نظام هذا المسبار بعملية مسح للطيف المتوفر الخاص بخدمة مساعدات الأرصاد الجوية باستعمال جهاز استقبال المحطة القاعدية. وتحدد هذه العملية إذا كانت هناك مسابير راديوية عاملة بالقرب من موقع الإطلاق. ويتم عندها اختيار تردد المسبار الراديوي الذي سيتم إطلاقه (يُعدل حسب الضرورة قبل الإطلاق) لكي يعمل من دون أن يلحق أي ضرر بالنظم القائمة. وغالباً ما يكون الطيف المتوفر لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية المخصص للخدمة الوطنية لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية محدوداً في نطاق فرعي من النطاق المخصص في لوائح الراديو نظراً لاتفاقيات التقاسم الوطنية مع خدمات الاتصالات الراديوية الأخرى كما سبقت الإشارة إلى ذلك.

تعمل أنظمة المسابير المتاحة تجارياً في شبكة المنظمة WMO في النطاقين 400,15-406 MHz و668,4 1-700 1 MHz. وستناقش أسباب الاستمرار في استعمال هذه النطاقين لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية في جزء لاحق من الدليل بعد مناقشة النظم المستعملة بشكلٍ أكثر تفصيلاً.

2.1.3 وظائف الأرصاد الجوية لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية (MetAids)

تعتبر القياسات الدقيقة للتباينات في درجة الحرارة في الغلاف الجوي والضغط والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها وفقاً للارتفاعات، عناصر أساسية في الأرصاد الجوية التشغيلية. وتحدد هذه القياسات الخصائص الأساسية لنظم الطقس التي تمكن المتخصص في التنبؤ من توقع ما يمكن أن يقع في الأجل القصير. كما توفر مدخلات لنماذج التنبؤ العددي بالطقس التي تستعمل في التنبؤات طويلة الأجل. كما تستخدم لأغراض مراقبة المناخ. وتتطلب التنبؤات قصيرة الأجل استبانة عمودية عالية في قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية. على سبيل المثال، يحتاج موقع السحب القريبة من السطح أن يُقاس بدقة عمودية تكون أفضل من 100 متر.

وكانت خدمة مساعدات الأرصاد الجوية المصدر الرئيسي لقياسات الغلاف الجوي باستبانة عمودية عالية لعدة عقود. وبالإضافة إلى ذلك، تعد القياسات *في الموقع* هذه ضرورية لمعايرة أجهزة الاستشعار عن بُعد المحمولة في الفضاء، خاصة المنفعلة منها. وترسل خدمة مساعدات الأرصاد الجوية القياسات في الموقع لمتغيرات الأرصاد الجوية المتصلة بالغلاف الجوي من مواقع فوق السطح إلى محطة قاعدة تتكون من جهاز استقبال ونظام لمعالجة البيانات. وفي أغلب الحالات، يتم قياس الضغط (أو الارتفاع)، ودرجات الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها. ويمكن أن تشمل أيضاً قياس مكونات الغلاف الجوي كالأوزون والهباء والنشاط الإشعاعي. ويتم إرسال نتيجة القياسات من المحطة القاعدية إلى شبكة الاتصالات الخاصة بالأرصاد الجوية لتضاف إلى البيانات

الصادرة عن محطات الاستقبال الأخرى. في أغلب الأحيان لا تُسترد مساعدات الأرصاد الجوية بعد استعمالها، لهذا ينبغي الإبقاء على كلفة مجموعة جهاز الإرسال والاستشعار في حدها الأدنى.

وفي نظام الخدمة MetAids الأكثر استعمالاً، يمكن للمسبار الراديوي أن يُحمل على بالون للطقس إلى علو يصل إلى 36 km فوق سطح الأرض ينفجر بعده البالون. ويختلف الارتفاع اللازم للقيام بالرصدات المنتظمة إلى حد ما وفقاً للتطبيق والموقع الجغرافي، ويتقيد في كثير من البلدان بتكلفة البالونات وغاز الرفع المطلوب. في العديد من البلدان، تستهدف عمليات الأرصاد الجوية الاعتيادية ارتفاعاً يناهز 25 km بالنسبة لسطح الأرض، على الرغم من أن بعض المحطات تحتاج قياس ارتفاعات تزيد عن 30 km. ويحتاج التنبؤ على المستوى العالمي أن يأخذ في الاعتبار حركة الغلاف الجوي في الهواء العلوي من دون الخوض في التفاصيل كما هو الحال بالنسبة للأرصاد القريبة من سطح الأرض. غير أن مراقبة المناخ على الأجل الطويل والبحوث العلمية المتصلة بذلك تستدعي القيام بقياسات ذات استبانة عالية من أعلى ارتفاع ممكن في الغلاف الجوي العلوي.

وترسل قياسات المسبار الراديوي لفترة تصل إلى ساعتين إلى المحطة القاعدية الموجودة بموقع إطلاق البالون. ويتنقل البالون بفضل الرياح في الهواء العلوي أثناء هذه الفترة وفي بعض الأحيان قد يقطع أكثر من 250 km أثناء الصعود. وأثناء الهبوط، يمكن للبالون أن يسافر لمسافة إضافية تبلغ 150 km. وتعتبر بيانات الهبوط قيمة محتملة أيضاً. وتكون قدرة الإرسال دائماً منخفضة نظراً للحدود المفروضة على البطاريات المتوفرة. وينبغي أن تعمل البطاريات على أدنى درجات الحرارة أثناء التحليق وينبغي ألا تضر بالبيئة أو بسلامة الجمهور عند سقوطها على الأرض بعد انفجار البالون.

ويطلق يومياً أكثر من 1 400 مسبار راديوي في إطار شبكة النظام العالمي للرصد (GOS) للمنظمة WMO، ومن بين هذه المسابير، هناك 400 مسبار للقياس في مواقع محددة (النظام العالمي لرصد المناخ) (GCOS). وتستعمل المعلومات الصادرة من كل مسبار تشغيلي فوراً من قبل المرافق الوطنية للأرصاد الجوية لدعم التنبؤات المحلية. كما تعتبر هذه المعلومات ضرورية للتنبؤ العددي بالطقس في جميع مناطق العالم، والهدف هو تعميم تقارير الرسائل المكتملة (في شفرة موحدة للأرصاد الجوية) على جميع المرافق الوطنية للأرصاد الجوية في العالم في أجل ثلاث ساعات. كما يتم أرشفة هذه الرسائل بشكل دائم لكي تستعمل في تشكيلة واسعة من الأبحاث العلمية. وتشمل نظم خدمة مساعدات الأرصاد الجوية الأخرى العاملة حالياً بعدد محدود ما يلي:

النوع	الوصف
المسابير الهابطة	يُلقى بها في السماء بعد تزويدها بمظلة من طائرة تحلق على ارتفاع عال، وتقوم المسابير الهابطة بإعادة إرسال البيانات إلى محطة استقبال على متن الطائرة لمدة تناهز نصف الساعة
المسابير المقيدة	تعيد إرسال البيانات بشكل متواصل من البالون المقيد عادة داخل حدود طبقة الغلاف الجوي
مسابير الصواريخ	ترسل قياسات خاصة بالغلاف الجوي على ارتفاعات تصل إلى 95 km للبحوث العلمية الخاصة أو تطلق انطلاقاً من البواخر لقياسات المستويات المنخفضة
طائرة صغيرة بلا طيار (طائرة موجهة عن بُعد (RPV) أو مركبة جوية بدون طاقم (UAV))	تحمل مجموعة استشعار تشبه المسبار إلى المناطق النائية فوق المحيط، كما تعيد إرسال المعلومات في شكل رسائل موحدة للأرصاد الجوية

وإلى جانب النظام GOS العامل وتطبيقات الدفاع والبحوث، تستعمل الخدمة MetAids في عمليات استطلاع الطقس للتخفيف من آثار الكوارث الطبيعية والصناعية.

وتفرض الكلفة الحالية للقياسات التي تقوم بها المسابير حدوداً على المسافة القصوى الفاصلة بين المسابير تبلغ 250 km في الاتجاه الأفقي. ويستعمل هذه الفاصل، الذي يراعي انحرافات البالونات، بمثابة معيار لدراسات الشبكة بشأن الطيف الراديوي اللازم للخدمة التشغيلية لمساعدات الأرصاد الجوية. غير أن الاستبانة الملائمة للخصائص الثابتة لنظم الطقس المنظمة تستدعي قياسات بفاصل أفقي يساوي أو يقل عن 50 km. كما تستدعي بحوث الأرصاد الجوية قياسات من المسابير الراديوية والمسابير الهابطة بهذا الفاصل. ومستقبلاً، ينبغي للترددات المخصصة أن تسهل استعمال المسابير الراديوية التشغيلية والاستعمالات الخاصة بالبحوث.

وإذا كان عدد محطات المسابير التشغيلية النشطة في شبكة النظام العالمي للرصد (GOS) في تراجع طفيف بمرور الوقت، فإن هذا التناقص يُعوض بالاستعمال المتزايد للمسابير الخاصة بخدمات المسح البيئي والدفاع. وعلاوةً على ذلك، تحتاج المرافق الوطنية للأرصاد لمزيد من القياسات الموقعية في مناطق محددة فوق المحيط. وعليه، من المتوقع في السنوات العشر المقبلة أن يزداد استعمال هذه الفئات الجديدة من نظم مساعدات الأرصاد لدعم هذه الاحتياجات المتنامية.

2.3 أمثلة على أنظمة الاستشعار لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية

1.2.3 المسابير الراديوية

تطلق أكثر من 800 000 مسبار كل عام في أنحاء العالم، انظر الشكلين 3-1 و3-2. وبالإضافة إلى ذلك، تطلق 400 000 مسبار إضافي لتطبيقات مختلفة أخرى. وجرى تجهيز المحطات القاعدية التي تُستعمل لإطلاق المسابير عادة بشكل يجعل البالونات تنطلق منها كيفما كانت الأحوال الجوية. وجُهزت المواقع الأساسية بأدوات وإمدادات للطاقة في حالة الطوارئ لضمان مواصلة القياسات حتى وإن لحق ضرر بالبنية التحتية المحلية بسبب الطقس القاسي أو ظروف أخرى مثل الحوادث الصناعية.

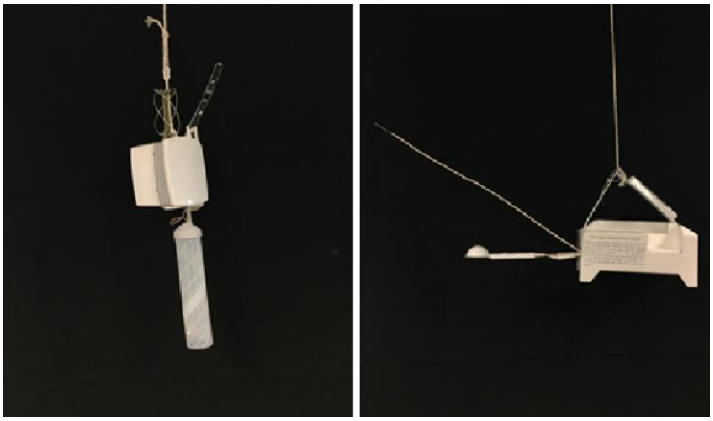
الشكل 3-1

عملية إطلاق المسبار الراديوي

Meteo-03-01

الشكل 3-2

المسابير الراديوية



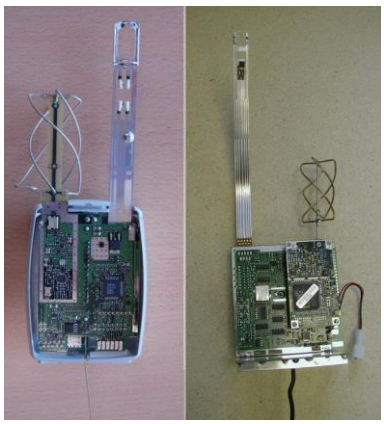
Meteo-03-02

يتكون المسبار الراديوي التقليدي من عدة مكونات أساسية وهي: جهاز الإرسال والبطارية ومجموعة الاستشعار وجهاز استقبال المساعدات الملاحية (NAVAID/GNSS (مثل النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS))) (الشكل 3-3). ويرسل جهاز الإرسال البيانات إلى محطة الاستقبال. وتستعمل المسابير عادةً بطاريات ليثيوم أو ألكالين يمكنها تحمل درجة حرارة تبلغ -90 درجة مئوية. وتحتوي مجموعة الاستشعار على أجهزة الاستشعار التي تقيس عناصر الغلاف الجوي كدرجات الحرارة والضغط والرطوبة والأوزون والإشعاعات المؤينة، في بعض الحالات الخاصة. وتشفر مجموعة الاستشعار قيم الاستشعار بما فيه الكفاية لإرسالها إلى المحطة الأرضية.

وتقيس أنظمة المسابير الراديوية الرياح بتتبع حركة البالون الذي يحملها عبر الغلاف الجوي. وتستخدم أنظمة التتبع النشطة تتبع راداري أولي (تتبع عاكس لإشارات الرادار معلق أسفل البالون) أو ثانوي (تتبع مرسل مستجيب مدمج ضمن المسبار الراديوي). ويستخدم نظام التتبع المنفعل المستقبلات NAVAID/GNSS أو في بعض المناطق الساحلية، معيدات الإرسال LORAN-C المحمولة على الحمولة النافعة، حيث ترسل هذه البيانات إلى المحطة الأرضية أو إلى نظام تتبع إشارات المسابير الراديوية (Radiotheodolite).

الشكل 3-3

إلكترونيات المسابير الراديوية الحديثة



Meteo-03 -03

2.2.3 المسابير الهابطة

وتشبه المسابير الهابطة المسابير الراديوية من حيث المكونات، غير أنها صممت بحيث يمكن أن يُلقى بها من الطائرة وتصور مقاطع من الغلاف الجوي أثناء هبوطها تحت المظلة. انظر الشكل 3-4. وبما أنه من الصعب تزويد الطائرة بهوائي كبير للتتبع، يتم تشغيل المسابير الهابطة في النطاق 406-401 MHz واستعمال نظام مساعدات الملاحة NAVAID/GNSS لقياس الرياح. وأثناء التشغيل، يتم إطلاق المسابير الهابطة في كثافة أكبر من حيث عاملي المكان والزمان مقارنةً مع المسابير الراديوية. وتستعمل بشكل أساسي لتتبع وتصوير مقاطع العواصف المدارية في البحر. ويمكن إطلاق 16 مسباراً هابطاً وتتبعها في الآن نفسه. غير أن هذه الكثافة العالية في عمليات نشر هذه المسابير تستدعي استعمال أجهزة إرسال باستقرار عالٍ وفي النطاق الضيق، إسوةً بتلك المستعملة في المناطق ذات الكثافة العالية في شبكة المسابير الراديوية. ويمكن استخدام المسابير الهابطة أيضاً لتصوير ظواهر الطقس أو الحالة الجوية الأساسية في مناطق المحيطات البعيدة وفوق البر في بعض الأحيان.

الشكل 3-4

مسبار هابط

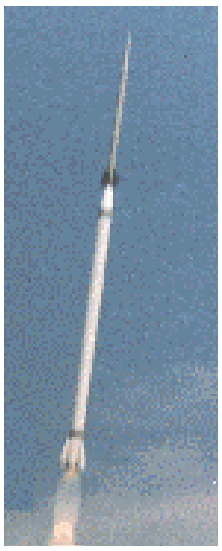
Meteo-03 -04

3.2.3 مسابير الصواريخ

تعتبر مسابير الصواريخ نظاماً أكثر تخصصاً في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية. وعلى غرار ما تقوم به المسابير الهابطة، فإن مسابير الصواريخ تطلق من صاروخ يكون قد وصل إلى ارتفاع عالٍ وتقوم بتصوير مقاطع الغلاف الجوي أثناء هبوطها المتحكم به بواسطة مظلة. ويمكن لمسابير الصواريخ أن تحتوي على نفس المكونات الأساسية التي توجد في المسابير الراديوية، غير أن مجموعات الاستشعار الخاصة بقياسات الارتفاعات العليا قد تختلف عن النظم المستخدمة لقياس المستويات الأقل علواً في الغلاف الجوي. وعلى خلاف المسابير الهابطة، يمكن لمسابير الصواريخ أن تستعمل إما نظام تحديد زوايا الاتجاه بالراديو أو نظام مساعدات الملاحة NAVAID/GNSS لقياس الرياح. وتطلق أغلب مسابير الصواريخ في الأجواء العليا جداً وتستعمل عادة لدعم عمليات إطلاق المركبات الفضائية (انظر الشكل 3-5). وبما أن نشر مسابير الصواريخ مكلف، ينبغي استعمال أجهزة إرسال عالية الجودة.

الشكل 3-5

مسبار صاروخ



Meteo-03 -05

3.3 العوامل المؤثرة في خصائص نظم مساعدات الأرصاد الجوية

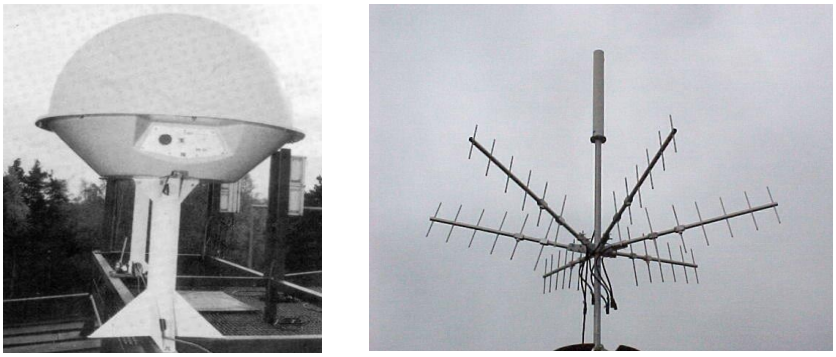
تتكون نظم مساعدات الأرصاد الجوية من عدة مكونات أساسية للاتصالات الراديوية. ويشمل الجزء الأرضي من النظام عادة نظام الهوائي/جهاز الاستقبال ونظام معالجة الإشارة. وتحوي توصية الاتحاد الدولي للاتصالات ITU-R RS.1165 – الخصائص التقنية ومعايير الأداء لنظم المسابير الراديوية في خدمة مساعدات الأرصاد الجوية – أوصافاً والبارامترات التقنية لمختلف النظم المستعملة في عمليات مساعدات الأرصاد الجوية.

1.3.3 نظام هوائي جهاز الاستقبال المقام على الأرض

تستخدم المسابير الراديوية والمسابير الهابطة ومسابير الصواريخ وصلة للتردد الراديوي لإعادة إرسال البيانات إلى نظام الهوائي/جهاز الاستقبال الموجود في موقع معالجة البيانات. ويستعمل عادةً لهذا الغرض نطاقان هما 406-400,15 MHz و668,4 1-700 1 MHz. ويقام عادةً نظام الهوائي/جهاز الاستقبال على الأرض (للمسابير الراديوية ومسابير الصواريخ)، أما بالنسبة للمسابير الهابطة، يوجد نظام الهوائي/جهاز الاستقبال على متن الطائرة. وتختلف تشكيلة نظام الهوائي/جهاز الاستقبال وفقاً لنطاق التشغيل ومدى الميلان الأقصى المنتظر أثناء التحليق. وتستعمل عادةً هوائيات شاملة الاتجاهات وهوائيات Yagi في شكل دائري أو عاكسات الزاويا للنظم العاملة في النطاق 406-400,15 MHz (انظر الشكل 3-6). ولا تحتاج هذه الأنواع من الهوائيات لكسب هوائي عال جداً للحفاظ على وصلة التردد الراديوي. ولا يستعمل نظام تحديد زوايا الاتجاه بالراديو (RDF) لقياس الرياح في هذا النطاق. ويتراوح كسب الهوائي لنظم الهوائيات العاملة في النطاق 406-400,15 MHz بين 0 dBi و10 dBi.

الشكل 3-6

نظم الهوائيات شاملة الاتجاهات والهوائيات الاتجاهية (MHz 406-401)



Meteo-03 -06

وعادةً ما يتم قياس الرياح بواسطة نظام تحديد زوايا الاتجاه بالراديو (RDF) أو التتبع الراداري في النطاق MHz 1 700-1 668,4. ولا تزال بعض البلدان تفضل استعمال النظام RDF في تتبع مسبار راديوي يعطي بيانات الريح بمستقبل NAVAID/GNSS مدمج – ويوفر ذلك وسيلة بديلة لاستعمال مسبار راديوي لا يحتوي على مستقبل NAVAID/GNSS مدمج مع توفير بيانات الريح بواسطة النظام RDF. لهذا، جرى تجهيز منصات التتبع بهوائيات مكافئة عريضة أو بصفيف مطاور لتفادي فقدان المسار (انظر الشكل 3-7). وتعمل المنصات على دوران الهوائيات في السمت والارتفاع لتتبع حركة مساعدات الأرصاد الجوية. ويتراوح كسب الهوائي بين 25-28 dBi عادةً بالنسبة لنظم الهوائيات العاملة في النطاق MHz 1 700-1 668,4.

الشكل 3-7

نظم هوائيات التتبع (MHz 1 700-1668,4)

Meteo-03 -07

2.3.3 نظام معالجة البيانات المقام على الأرض

يرسل جهاز الاستقبال إشارة النطاق الأساس للمسبار الراديوي إلى نظام معالجة الإشارة الذي يفكك شفرة بيانات المسبار الراديوي سواء كانت تماثلية أو رقمية ويحولها إلى بيانات القياس اللازمة والخاصة بالغلاف الجوي، بما فيها البيانات الخاصة بالرياح. ولا ترسل

بعض خدمات مساعدات الأرصاد الجوية قيم الأرصاد الجوية الفعلية (الضغط أو درجات الحرارة أو الرطوبة أو الأوزون أو الرياح وغيرها)، إلى محطة الاستقبال، ولكنها ترسل الخصائص الإلكترونية لأجهزة الاستشعار، البيانات NAVAID/GNSS، وذلك لتخفيض كلفة معالجة البيانات في الخدمة MetAid. ويطبق نظام معالجة البيانات المقام على سطح الأرض القيم السعوية و/أو المقاومية لجهاز الاستشعار بالإضافة إلى قيم معايرة جهاز الاستشعار على معادلة متعددة الحدود لحساب بارامترات الأرصاد الجوية. ويمكن لبعض خدمات MetAid الأخرى إجراء معظم عمليات المعالجة للإشارة داخل الخدمة نفسها، ثم إرسال القيم الفعلية للأرصاد الجوية وبيانات الرياح مباشرة. وفي هذه الحالة، يمكن لنظام المعالجة الموجود على الأرض إجراء جزء فقط من المعالجة الكلية للبيانات.

3.3.3 مجموعات الاستشعار القابلة للاستهلاك

يرتبط أسلوب صناعة مساعدات الأرصاد بطبيعة العمليات الخاصة بخدمة هذه المساعدات. وتؤثر أغلب القيود المتصلة بتصميم هذه المساعدات على خصائص التردد الراديوي لخدمات مساعدات الأرصاد القابلة للاستهلاك وبالتالي على المتطلبات من الطيف اللازم لعمليات هذه المساعدات. وتعتبر كلفة الإنتاج أهم عنصر في هذا الصدد، غير أن هناك عناصر أخرى تشغل بال المصنعين والمشغلين، ومنها الكثافة والكتلة وبيئة التشغيل والنجاعة في استهلاك الطاقة.

وتعتبر كلفة الإنتاج عادةً أول نقطة تثار أثناء مناقشة مسألة إرسال أجهزة أكثر فعالية في استعمال الطيف. فالمسابير الراديوية هي نبائط للاستهلاك. إذ لا تستعمل إلا مرة واحدة فقط، على الرغم من أن هناك عدد قليل منها يتم استعادته وتحديد عناصره قبل استعماله من جديد. وهناك حاجة لتبسيط الدارات قدر الإمكان لتخفيض الكلفة. وقد أتاح التقدم الحاصل في التكنولوجيا فرصاً لاستعمال دارات متكاملة بكلفة ناجعة لتحسين أداء المسابير الراديوية. وكان مرد التحسن الذي طرأ في الماضي على المسابير السعي إلى تحسين دقة القياسات لأجهزة الاستشعار. وفي السنوات الأخيرة، أُجبر المشغلون على إدخال تحسينات على الخصائص المتصلة بالتردد الراديوي من أجل الزيادة من كثافة الشبكة. وأدى ذلك إلى امتثال معظم تصميمات كبريات الشركات المصنعة للمسبارات لراديوية لمعايير المعهد ETSI بالغة الصرامة فيما يتعلق بعرض نطاق البث والإشعاع في النطاق الجانبي. ويشمل عدد كبير من المسابير العادية أجهزة إرسال وحيدة المرحلة. وهذا النوع من الأجهزة يتأثر بالتقلبات في درجات الحرارة وبجهد البطارية وبحمولة التكثيف للهوائي أثناء المناولة. وبدأ يزداد استعمال الدارات المتكاملة للتطبيق الخاص (ASIC) المتوفرة في السوق نظراً لتوافر الأجهزة الملائمة التي يمكن تشغيلها في مديات درجات الحرارة القصوى.

وضماناً للسلامة ينبغي الحد من كثافة خدمات مساعدات الأرصاد الجوية القابلة للاستهلاك. كما جرى الحد أيضاً من هذه المساعدات القابلة للاستهلاك لأسباب تتصل بالسلامة والتشغيل معاً. وتُصمم مساعدات الأرصاد الجوية بشكل يجعلها لا تلحق أضراراً بالطائرات في حالة الارتطام بها ولا تشكل خطراً بالتالي على الأرواح، حتى وإن كان من غير المحتمل جداً أن يحدث هذا. وتكتسي الكثافة أهمية كبيرة في حالة ابتلاع محرك الطائرة للمسبار، أما كتلة النبائط فتتجلى أهميتها في كون خدمة مساعدات الأرصاد الجوية القابلة للاستهلاك تسقط على سطح الأرض بعد التحليق. وتستعمل مظلة للتحكم في سرعة هبوطها. غير أن المسبار إذا كان ثقيلاً، فيمكنه أن يلحق الضرر عندما يسقط على الأرض. وتبلغ كتلة أغلب المساعدات المستعملة حالياً أقل من كيلو غرام واحد (بدون بالون). وتوضع المسابير عادةً في رغوة داخل علبة من الورق المقوى أو البلاستيك يكون وزنها خفيفاً ويمكن أن تتحلل بيسر. وتكون بطاقات الدارة صغيرة وتحتوي على عدد قليل من المكونات كما صممت الدارات لتحقيق أكبر قدر من الفعالية من حيث استعمال الطاقة. ولا يمكن استعمال بطارية كبيرة لتزويد هذه النبائط بالطاقة، نظراً للقيود المتصلة بالكثافة والكتلة.

ويمكن لمساعدات الأرصاد الجوية أن تواجه ظروفاً مناخية قاسية أثناء التحليق. إذ يمكن لدرجات الحرارة أن تتراوح بين 50 درجة و90 درجة تحت الصفر، أما الرطوبة فيمكن أن تتراوح بين الجفاف الحاد والتكثف أو التسامي أو الهطول. وفي الارتفاعات العليا، فإن قلة الهواء اللازم لتهوية الإلكترونيات والإشعاع الشمسي قد يؤديان إلى سخونة النبائط بشكل مفرط، حتى إن كانت درجات الحرارة منخفضة. إن هذه التقلبات الكبيرة في الظروف المناخية يمكن أن يكون لها أثر وخيم على أداء وخصائص جميع مكونات المسبار بما فيها جهاز الإرسال. ولم يكن من النادر في النماذج القديمة المسابير أن يزيغ جهاز الإرسال بـ 5 MHz أو أكثر على منحاه نظراً للتباينات الكبيرة في درجة الحرارة ولظروف مناخية قاسية أخرى مثل تكون الثلج على الهوائي الذي يؤدي إلى حمولة

التكثف. ونظراً للقيود المفروضة على استهلاك الطاقة والأثر الذي يمكن أن ينجم عن سخونة المسبار بالنسبة لأداء جهاز الاستشعار، من الصعب التحكم تماماً في درجة حرارة الإلكترونيات. كما تبين من جهة أخرى أن العديد من الدارات المتكاملة لأجهزة الإرسال التي تُباع في السوق للاستعمال في الاتصالات اللاسلكية لا يمكنها أن تعمل في درجات حرارة منخفضة جداً.

وينبغي التفكير ملياً أثناء التصميم فيما يلزم للمكونات الإلكترونية للمساعدات من الطاقة. فالبطاريات الكبيرة تزيد من وزن المسبار ومن المخاطر المتصلة بالسلامة، كما أن الوزن الإضافي يزيد من كلفة التشغيل أيضاً، إذ يتطلب الأمر بالونات أضخم وكميات أكبر من الغاز لنفخ هذه البالونات. ولتخفيض استهلاك الطاقة، صممت خدمة مساعدات الأرصاد الجوية ليكون لأجهزة إرسالها أقل قدر ممكن من القدرة الخارجة وأن تحافظ مع ذلك على وصلة جيدة للقياس عن بُعد. وتتراوح قدرة أجهزة الإرسال في المسابير عادةً بين 100 و400 mW في حين لا يتراوح هامش موازنة الوصلة في المدى الأقصى إلا بين 0,5 و2 dB. واتضح أن أجهزة الإرسال وحيدة المرحلة والأكثر استعمالاً هي أقل استهلاكاً للطاقة مقارنةً مع الأجهزة المتقدمة التي تبين بأنها أكثر استهلاكاً للطاقة بنسبة 150 إلى 250 بالمائة مقارنة مع الفئة وحيدة المرحلة. غير أن أجهزة الإرسال وحيدة المرحلة سهلة التأثر بالتقلبات الحرارية القاسية بحمولة المكثف للهوائي أثناء المناولة، وينتج عن هذا انسياق كبير في التردد. لهذا، فإن نجاعة تصميم أجهزة الإرسال من منظور استعمال الطيف لها أثر على كلفة صنع أجهزة الإرسال وعلى كلفة الإلكترونيات المرتبطة بها.

4.3 خصائص الأرصاد الجوية المطلوبة من خدمة مساعدات الأرصاد الجوية

ترد في هذا الجزء بعض الأمثلة عن قياسات المسابير الراديوية التي توضح خصائص الأرصاد الجوية المطلوبة من خدمة مساعدات الأرصاد الجوية.

يبين الشكل 3-8 قياسات درجة الحرارة والرطوبة النسبية حسب الارتفاع، وهي قياسات سجلتها محطة لمراقبة المناخ تقع على درجة 60 شمالاً في المملكة المتحدة (ليرويك، جزر شيتلاند، 23 يناير 2000). وطرأت على قياسات درجات الحرارة أخطاء طفيفة بأقل من 0,5 درجة مئوية على ارتفاعات تصل إلى 28 km، وهي تتواءم مع أنشطة مراقبة المناخ. وواضح في هذه الرصدة أن درجة الحرارة تتناقص بمعدل موحد نسبياً بين سطح الأرض وارتفاع قرابة 12 km. ويسمى أخصائيو الأرصاد هذا المستوى التروبوبوز وهو الفاصل بين الهواء الذي يتفاعل مع سطح الأرض والهواء في طبقة الستراتوسفير الذي لا يتفاعل إلا قليلاً مع طبقات السطح. ويلاحظ أن بين السطح وأعلى التروبوبوز طبقات رقيقة نسبياً حيث ترتفع درجات الحرارة فيها قليلاً وفقاً للارتفاع أو تنخفض ببطء. كما تنخفض الرطوبة النسبية بسرعة كبيرة أثناء صعود المسبار في هذه الطبقات. ويسجل انخفاض كبير في ارتفاعات 1,8 km و4 km في هذه الطبقات، وتسمى هذه الظاهرة عند المتخصصين في التنبؤات بانعكاس درجات الحرارة. وعلاوةً على ذلك، يلاحظ أن هذا التفاوت أقل حدة في معدل التفاوت الحراري قرب ارتفاع 8 km و10,3 km، وهي ظاهرة لها ارتباط أيضاً بانخفاض حاد في الرطوبة النسبية ناجم عن الارتفاع. وتؤثر التقلبات في معدل تغير درجات الحرارة والرطوبة على المستوى العمودي على انتشار الموجات الراديوية في الغلاف الجوي. لهذا تعتبر الأرصاد التي تقوم بها خدمة مساعدات الأرصاد الجوية ملائمة أيضاً لتحديد معالم انتشار الموجات الراديوية.

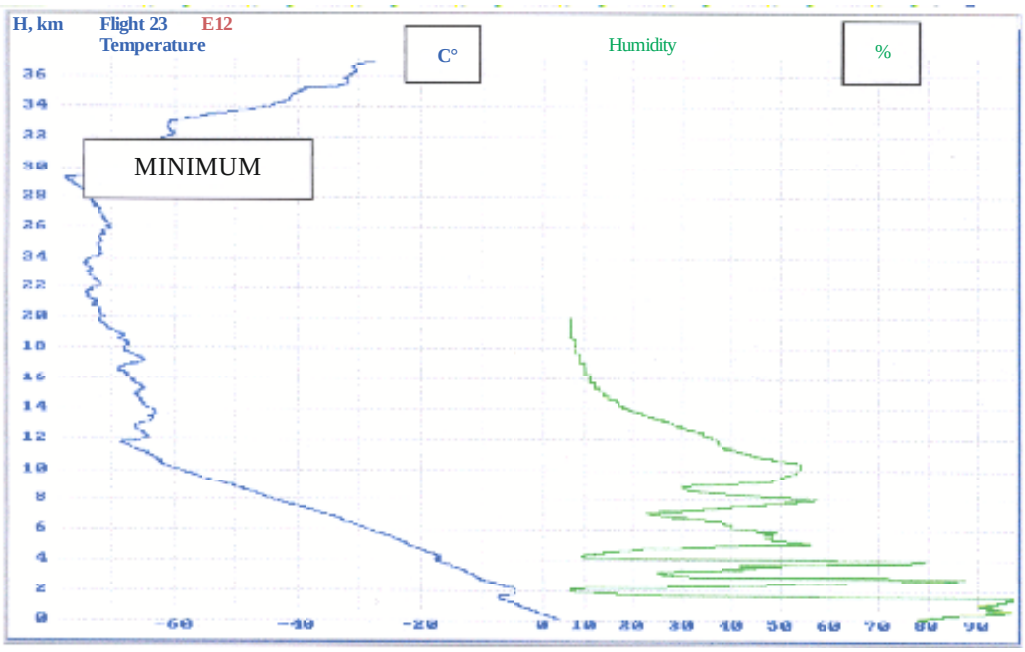
وصُممت البالونات التي ترفع المسابير الراديوية بحيث تحقق الأداء الأمثل عندما ترتفع بسرعة 300 m/min تقريباً. وإن طرأت أي مشكلة هامة في الاستقبال في بداية الرحلة (وإن كان ذلك لفترة 10 ثوان)، فإن من شأن ذلك أن يضر بقدرة المسبار على حل التقلبات في درجات الحرارة والرطوبة النسبية بالقرب من سطح الأرض اللازمة للقيام بالتنبؤات المحلية. وفي غياب البيانات لمدة 4 أو 5 دقائق (حتى وإن كان سبب ذلك يعود فقط إلى عطل في استقبال إشارة الملاحة لقياس الرياح)، يستدعي الأمر في غالب الأحيان إطلاق مسبار آخر للوفاء بالمتطلبات التشغيلية.

وعملية الرصد المعروضة في الشكل 3-8 معتادة لأن قياسات الرطوبة النسبية تتراوح بين 5 و90 بالمائة بين السطح والمستوى الذي تنخفض فيه درجة الحرارة إلى 40 تحت الصفر. وعندما نصل إلى 60 تحت الصفر على ارتفاع 10 km، أصبح رد جهاز الاستشعار الخاص بالرطوبة النسبية بطيئاً جداً لكي يكون بوسعه حل التغيرات السريعة في قيم الرطوبة النسبية. غير أن أداء جهاز الاستشعار الخاص بالرطوبة النسبية في المسابير قد شهد تحسناً كبيراً في الثمانينات. إذ لم يكن بالإمكان الاعتماد على أجهزة الاستشعار

بالرطوبة النسبية سابقاً عندما تصل درجات الحرارة إلى 30 و40 تحت الصفر. ويعتبر جهاز استشعار الرطوبة النسبية أصعب عنصر في التصنيع، وأحد العراقيل الرئيسية في تصميم وصنع المسابير من دون أن يتطلب ذلك استثماراً كبيراً في التصميم وفي مرافق الإنتاج.

الشكل 3-8

مسبار يقيس درجات الحرارة والرطوبة



Meteo-03 -08

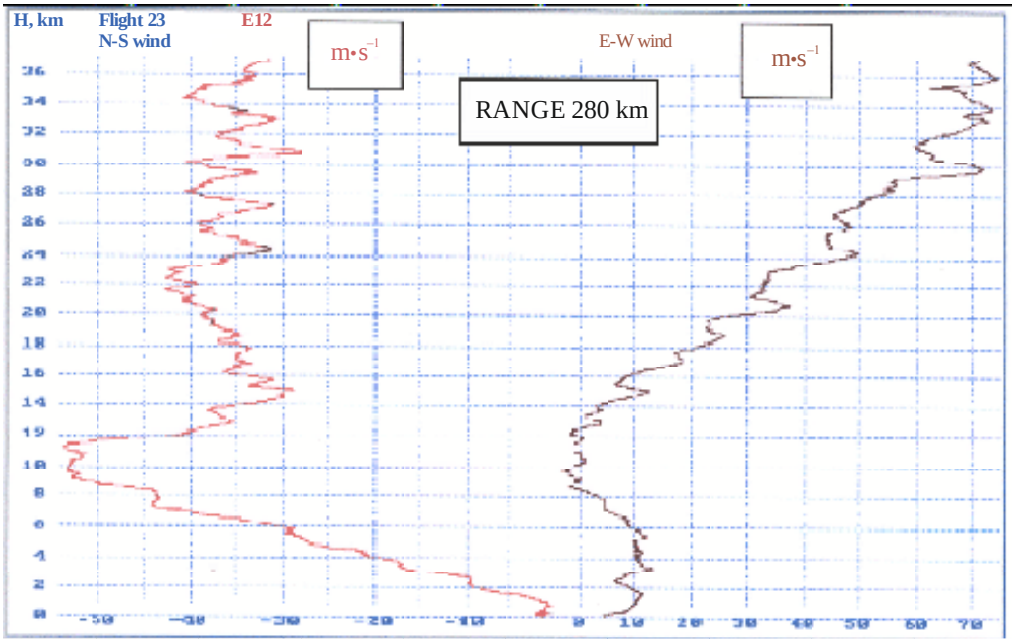
ونظراً لأوجه القصور التي تعتري تكنولوجيا أجهزة الاستشعار، فإن قياسات الرطوبة تتوقف عند ارتفاع 20 km. وسجلت في الشكل 3-8 أدنى درجة للحرارة على ارتفاع 29 km[2] تقريباً. أما الارتفاع الحاد في درجة الحرارة ما فوق 29 km، فهو ناجم عن ارتفاع درجة الحرارة نتيجة حركة الهواء في أعلى الغلاف الجوي أثناء فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

يبين الشكل 3-9 قياسات الريح التي تُستخلص من تتبع موقع نفس المسبار (الذي أطلق من محطة ليرويك، جزر شيتلاند، 23 يناير 2000). وتم احتساب حركة المسبار الراديوي باستعمال إشارات الملاحة Loran-C التي تصل إلى المسبار ليعاد إرسالها إلى المحطة القاعدية. وتبلغ الدقة قرابة 0,5 ms^{-1} لكل عنصر متعامد من العنصرين على المدى القصير، وقد تتراجع إلى 1,5 ms^{-1} عندما يزداد بعد المدى إذا تدنت جودة إعادة الإرسال إلى المحطة القاعدية. وتم تسجيل أقوى الرياح في اتجاه الشمال إلى الجنوب على ارتفاعات 10 km و12 km، في حين يتمركز التيار السريع (Jet stream) عند تقاطع درجات الحرارة على ارتفاع 10 km في الشكل 3-8. وفي هذه الرصدة، يبدو المكون شرق–غرب ضعيفاً قرب أقصى التيار السريع، غير أن قوة هذا المكون تزداد بشكل موحد في الارتفاعات بين 14 km و30 km. وتزداد قوة الرياح بسبب التفاوت الحراري المنتظم من الجنوب إلى الشمال في جميع الارتفاعات بين 14 km و30 km لأن الهواء البارد في الشمال هو أقرب من الدوامة القطبية. ويكتسي قياس الرياح في الارتفاعات العليا أهمية كبيرة لخدمات النقل الجوي والدفاع. وتحول عادةً نتائج الرصدات التي تقوم بها مساعدات الأرصاد الجوية، مثل ما هو مبين في الشكل 3-9، إلى شفرة عسكرية خاصة في المحطة القاعدية قبل أن ترسل إلى وحدات التشغيل المعنية.

2 وعند هذه النقطة، انخفضت درجة الحرارة واقتربت من الظروف الملائمة لإطلاق الآليات الكيميائية التي تدمر الأوزون في فصل الشتاء في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

الشكل 3-9

قياسات الرياح بالمسبار الراديوي

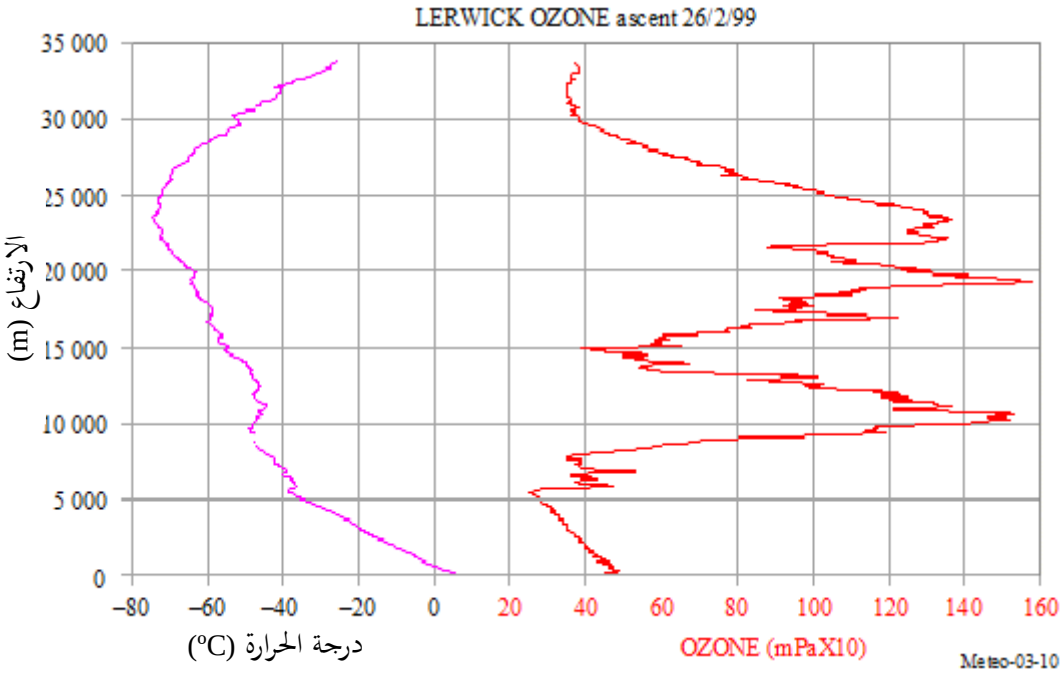


Meteo-03 -09

وتبدو في الشكل 3-10 التركيبة الرأسية لطبقة الأوزون من نفس المحطة بالمملكة المتحدة المشار إليها في الشكل 3-8. ويلاحظ الضغط النسبي للأوزون حسب الارتفاع بالإضافة إلى قياس متزامن لدرجات الحرارة. ويتم قياس الأوزون عدة مرات في الأسبوع لدعم البحوث العلمية الجارية. وترسل القياسات فوراً إلى مركز جمع البيانات الذي يشرف على التنسيق الخاص بالرصدات من مواقع مختلفة أخرى على نفس خطوط العرض. ويتم إصدار إنذارات عندما يلاحظ استنفاد لطبقة الأوزون. ويكون الأوزون مركزاً عادةً بشكل قليل في التروبوسفير، في ارتفاع أقل من 5 km يوم الرصد. وفي طبقة الستراتوسفير، تلاحظ كميات أكبر من الأوزون على ارتفاع 10 km و20 km، غير أن لا وجود لها على ارتفاع 15 km في هذه الحالة. ويقوم العلماء بتحليل هذه القياسات لتحديد أسباب نضوب كميات الأوزون في طبقة الستراتوسفير. وقد يكون سبب ذلك انتقال الأوزون بشكل طبيعي من المناطق ذات الكميات المنخفضة من الأوزون.

الشكل 3-10

قياس التوزيع الرأسي للأوزون بواسطة مسبار أوزون



5.3 أسباب الاختلافات الوطنية في عمليات خدمة مساعدات الأرصاد الجوية

1.5.3 الاختلافات في التكنولوجيا المتوفرة

تُقتنى أغلب نظم المسابير الراديوية من مجموعة صغيرة من الموردين الدوليين، غير أن الأوضاع الاقتصادية أو السياسية لبعض البلدان قد يجعلها تضطر لصناعتها محلياً في مرافقها الوطنية. وفي السنوات العشرين الأخيرة، لم تتطور التجهيزات الوطنية بنفس الوتيرة التي تطورت بها تلك التي يقترحها الموردون الدوليون. وإذا كانت أغلب النظم التجارية المستعملة في العالم تقترح تكنولوجيا يعود تاريخ تصنيعها إلى أقل من 5 سنوات، فإن بعض النظم الوطنية لا تزال تستعمل تكنولوجيا قديمة يعود تاريخها إلى 30 أو 40 سنة. وتكتسي القياسات التي تقوم بها هذه الأجهزة أهمية كبيرة لجميع المتخصصين في الأرصاد الجوية، لهذا ينبغي إتاحة الوقت اللازم لهذه البلدان لكي تعتمد نُظماً متطورة تستعمل بفعالية طيف الترددات الراديوية المتوفر.

2.5.3 الاختلافات في علم المناخ الخاص بالرياح العليا

يلاحظ في الشكل 3-9 أن البالون قد قطع مسافة 280 km من نقطة إطلاقه قبل أن ينفجر، عندها يهبط المسبار بواسطة المظلة على سطح الأرض لتزداد بذلك المسافة التي قطعها المسبار. وللحصول على قياسات الرياح التي يمكن الاعتماد عليها على هذه المسافات، ينبغي استعمال مسابير قادرة على استقبال إشارة النظام GNSS. ولا تقطع المسابير عادةً مسافات طويلة كهذه. وفي الخطوط العليا في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، عادةً لا تكون الرياح موزعة في فصل الشتاء توزيعاً متوازياً حول القطب على ارتفاعات تفوق 16 km. وهذا ما يفسر تواجد هذه الرياح القوية في طبقة الستراتوسفير فوق أوروبا في الكثير من الأحيان مقارنةً مع الوضع في شمال أمريكا. وعلى عكس ذلك، هناك العديد من البلدان التي تسجل دائماً في طبقاتها العليا رياحاً ضعيفة. وهذا التفاوت يؤثر طبعاً على ظروف التشغيل لشبكات المسابير الوطنية. وإذا كانت المسابير تبقى دائماً على ارتفاعات عليا وعلى مدى قصير في بعض البلدان (المدارية مثلاً)، في حين ينبغي تتبعها في بلدان أخرى على درجات أقل من 5 درجات في الأفق وعلى مسافة تزيد عن 200 km.

وعندما تبقى البالونات على ارتفاعات عالية (خاصةً عندما تكون أقل من 15 درجة مئوية)، يمكن تخفيض كلفة القياسات وذلك باستعمال مسابير منخفضة الكلفة التي لا تحتاج لاستقبال ومعالجة إشارة نظام الملاحة NAVAID/GNSS. ويمكن تتبع المسبار باستعمال هوائي اتجاهي للمسح في المحطة القاعدية. ويكون الهوائي صغير الحجم بكثير إذا كان المسبار يستعمل في الترددات القريبة من 680 1 MHz للإرسال مقارنة مع حجم الهوائي المستعمل للإرسال في الترددات القريبة من 403 MHz. ويفضل استعمال هذه ترددات 403 MHz لعمليات الإرسال بعيدة المدى لأسباب عديدة وهي قادرة على تأمين الاستقبال الجيد والقياسات الدقيقة للرياح أثناء مرحلة الصعود كاملة.

ويمكن أن تكون مسابير الرادارات الثانوية 680 1 MHz رخيصة جداً، لأنها قد لا تحتوي على مستقبل NAVAID/GNSS أو جهاز استشعار للضغط، لذا قد لا يكون أمام بعض البلدان بدائل لاستعمالها.

وفي العديد من البلدان المتقدمة، أصبح استخدام موظف لمراقبة قياسات المسبار الراديوي باهظ الكلفة، لهذا تزايد الطلب على نظم إطلاق البالونات الأوتوماتية التي يمكن مراقبتها عن بُعد، كما زاد عدد هذا النوع من النظم العاملة حالياً. وتستعمل هذه النظم دائماً مسابير بنظام الملاحة NAVAID/GNSS في نطاق التردد 406-400,15 MHz. وينبغي أن يكون للنظام الأوتوماتي مسباران اثنان على الأقل يتم برمجتهما مسبقاً على ترددات مختلفة في النطاق. وكما هو الحال في التشغيل اليدوي، إذا تفرقع البالون الأول قبل الأوان، يمكن للمسبار الآخر أن يستمر في الإرسال. إضافة إلى ذلك، يطلق مسبار آخر من موقع قريب ويستعمل التردد الاسمي للمحطة. ويقوم النظام الأوتوماتي بالمسح في المدى بين 400,15 MHz و406 MHz قبل عملية الإطلاق ليتأكد من غياب أي مسبار آخر يستعمل التردد الذي تم اختياره في عملية الإرسال. وفي كلتا الحالتين، ينبغي أن يتوفر تردد آخر للحصول على قياسات التشغيل.

3.5.3 الاختلافات في كثافة الشبكة

لقد حددت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المتطلبات الدنيا العالمية والإقليمية المتصلة بكثافة شبكات مساعدات الأرصاد، وتقوم باستعراض هذه المتطلبات بشكل منتظم. وتختلف هذه المتطلبات باختلاف البلدان ووفقاً لكثافة الشبكة. ولتحديد المتطلبات من الطيف، ينبغي أن يراعى في ذلك احتياجات جميع المستعملين للخدمة بما فيها مصالح الدفاع ووكالات البيئة. وتستدعي الشبكات ذات الكثافة العالية بحاجة أكبر في استعمال الطيف. والبلدان التي تشغل شبكات ذات كثافة عالية تتوفر لديها الموارد اللازمة من الميزانية لإنتاج أنظمة مجهزة بأدوات استقبال فعالة من حيث استعمال الطيف. وهي نفس البلدان التي تشهد عادةً تقلبات كبيرة جداً في ظروف طقسها من يوم لآخر. أما البلدان التي تشغل شبكات بكثافة صغيرة، فهي عادةً البلدان التي ليست لها الموارد اللازمة لتشغيل عدد كبير من المحطات.

4.5.3 استعمال نطاق التردد 406-401 MHz

تُشغل بعض البلدان في أوروبا شبكات بكثافة عالية جداً وتستعمل مسابير راديوية لا تنحرف إلا قليلاً وتقوم بعمليات البث في النطاق الضيق. في حين تعتمد بعض البلدان الأخرى على نظم رادارات ثانوية عاملة في النطاق العريض؛ عندها تقوم المحطة الأرضية بإرسال النبضة إلى المسبار الراديوي الذي يستجيب لها ويرسل البيانات الخاصة بالأرصاد. وفي كلتا الحالتين، تحتاج عمليات التشغيل للنطاق 406-400,15 MHz بأكمله تقريباً، لأن خدمة مساعدات الأرصاد تحتاج في الحيز بين 401-403 MHz أن تنسق مع عمليات الإرسال الخاصة بمنصات جمع البيانات لخدمة السواتل الخاصة باستكشاف الأرض (EESS) (أرض–فضاء) والخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat) (أرض–فضاء).

وفي بعض المناطق في العالم، هناك عدد محدود من محطات الإطلاق. في هذه الحالات، يمكن حشد الموارد للحصول على أجهزة إرسال قادرة على تحرير جزء من النطاق للاستفادة منه في استعمالات أخرى. وأستراليا مثال على ذلك، إذا اختارت الإدارة تخصيص حيز من النطاق لخدمات اتصالات أخرى لأنها ليست في حاجة للنطاق برمته. وإذا كان يمكن أن يخصص بعض الطيف في بعض البلدان للاستعمالات الأخرى، فإن الأمر عكس ذلك في بعض مناطق العالم الأخرى التي تحتاج فيها خدمة عمليات مساعدات الأرصاد الجوية لموارد الطيف بكامله. وخلصت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية إلى استنتاج مُفاده أن هناك حاجة للنطاق 406-400,15 MHz

بكامله لعمليات خدمة مساعدات الأرصاد الجوية في المستقبل القريب وأقرت بأن العمليات المعيارية للمسابير الراديوية في النطاق 401-400,15 MHz قد لا تكون ممكنة في المستقبل لأنه لا يمكن التقاسم في نفس القناة مع الخدمات الساتلية.

5.5.3 استعمال نطاق التردد 668,4 1-700 1 MHz

وتختلف الأوضاع بين النطاق 668,4 1-700 1 MHz والنطاق 406-401 MHz. فإذا كان النطاق بكاملة مخصص لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية، فإن هذا النطاق مخصص أيضاً للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية على أساس أولي مشترك. وليست هذه الأنشطة متوافقة لتتقاسم نفس القناة، خاصةً وأنه تم القيام بعملية هامة لتجزيء النطاق. إذا تُحدث معنيات الأرصاد مستويات كبيرة من التداخل مع المحطات الأرضية للخدمة الساتلية للأرصاد. ويختلف استخدام النطاق 680 1 MHz في العالم، غير أنه في العديد من المناطق (شمال أمريكا وأوروبا وآسيا)، قد لا يتوفر إلا النطاق الفرعي 675 1-683 1 MHz لعمليات مساعدات الأرصاد. وعند مناقشة متطلبات مساعدات الأرصاد في النطاق 668,4 1-700 1 MHz، ينبغي أن يراعى أنه لا يتوافر عموماً إلا جزء من النطاق. ويمكن لأغلب البلدان أن تقوم بعملياتها في نطاق يتراوح بين 7-8 MHz من الطيف، في حين هناك عدد من البلدان الأخرى التي مازالت تحتاج إلى 15 MHz على الأقل لدعم عملياتها.

6.5.3 متطلبات الاحتفاظ بالنطاقين

يعتبر الاحتفاظ بنطاقي التردد الراديوي لعمليات مساعدات الأرصاد أمراً حاسماً لضمان نجاح أنشطة الأرصاد الجوية. أولاً، ففي بعض بلدان أوروبا وشمال أمريكا، يعتبر النطاقان ضروريان لاستيفاء متطلبات الطيف الخاصة بخدمة عمليات مساعدات الأرصاد الجوية، نظراً لترتيبات التقاسم القائمة مع الخدمات الأخرى. وسيكون من الصعب القيام بالأنشطة السينوبتيكية وتلك المتصلة بالبحوث والدفاع بواسطة نطاق واحد. إضافةً إلى ذلك، يتسم كل نطاق بمواصفات خاصة به تستلزمها فئات مختلفة من العمليات المتصلة بخدمة مساعدات الأرصاد الجوية. ويوفر النطاق 406-401 MHz خسارة انتشار أقل. ولهذه الخسارة مزايا في بعض مناطق العالم حيث تؤدي الرياح القوية في الارتفاعات العليا إلى مدى ميلان أطول بين المحطة القاعدية والمسبار. ويتيح هذا الانتشار المنخفض استعمال هوائيات أبسط وأصغر لتتبع المسبار أثناء التحليق. ويتم قياس الرياح في إطار أنشطة خدمة مساعدات الأرصاد الجوية في هذا النطاق بواسطة أحد نظم الملاحة (GNSS) لأن هوائي نظام تحديد الاتجاه الراديوي (RDF) سيكون كبير الحجم وباهظ الكلفة. ولأسباب تتعلق بالميزانية و/أو لأسباب تتعلق بالأمن الوطني، اختارت بعض الإدارات استعمال النطاق 668,4 1-700 1 MHz. وبالنسبة لهذا النطاق، تتيح نظم المساعدات التي تستعين بنظام تحديد الاتجاه الراديوي (RDF) الاستغناء عن دارات الملاحة الراديوية. ويخفض ذلك من الكلفة المتصلة بالنبائط القابلة للاستهلاك. أما بعض البلدان فتشغل نظماً لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية خاصة بها ومستقلة عن نظم الملاحة الدولية NAVAID/GNSS وقد لا تكون هذه النظم متوافرة دائماً.

6.3 التوجهات المستقبلية

إذا كانت خدمة مساعدات الأرصاد الجوية بسيطة للغاية من حيث التصميم وفعالة من حيث كلفة مكوناتها، فإن التطور الذي طرأ عليها سيبقى سارياً من أجل تحسين أداء هذه النظم. وكما سبق ذكر ذلك، فالاستثمار في هذا المجال كان دائماً يركز على تحسين نوعية جهاز الاستشعار وليس على العنصر الخاص بوصلة القياس عن بُعد. غير أن المتطلبات المتزايدة لتخصيص ترددات إضافية في منطقة معينة لدعم العمليات السينوبتيكية وغير السينوبتيكية قد أظهرت تحسينات على خصائص الترددات الراديوية أيضاً.

كما أن استعمال النظام GNSS على المسابير الراديوية لقياس الرياح قد أدى بالفعل إلى تحقيق تحسينات كبيرة في كفاءة استعمال الطيف من جانب المسابير التي تستعمل نظم NAVAID/GNSS. كما يتيح في معظم البلدان تحسناً ملحوظاً في دقة قياسات الرياح في طبقات الجو العليا وفي قياس الارتفاع. ويتيح وجود مستقبلات GNSS صغيرة الحجم ومنخفضة التكلفة حالياً معالجة إشارة النظام GNSS معالجة كاملة على متن مساعدات الأرصاد الجوية، بحيث لا ترسل إلا بيانات الرياح والموقع. ولم تعد هناك حالياً حاجة أخرى إلى الكثير من التطبيقات لإرسال بيانات النظام GNSS "التفاضلية" لاستعادة جودة بيانات النظام GNSS؛ وسيؤدي ذلك إلى خفض كمية البيانات التي يتعين إرسالها.

الفصل الرابع

رادارات الأرصاد الجوية

الصفحة

1.4	مقدمة	40
1.1.4	أنواع رادارات الأرصاد الجوية	40
2.1.4	معادلة الرادار	41
2.4	رادارات الطقس	42
1.2.4	متطلبات المستعمل	42
2.2.4	شبكات رادارات الطقس	43
3.2.4	الجوانب التشغيلية للانعكاسية	44
4.2.4	خطط البث الخاصة برادارات الطقس واستراتيجيات المسح وأساليب التشغيل	46
5.2.4	رادارات دوبلر	51
6.2.4	رادارات ثنائية الاستقطاب	51
7.2.4	نواتج البيانات الأساسية من رادارات الأرصاد الجوية التقليدية	51
8.2.4	مخططات إشعاع الهوائيات وديناميات الهوائيات	56
9.2.4	المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف	57
10.2.4	أوجه قصور رادارات الطقس	60
11.2.4	أوجه قصور النظم التي تتقاسم الطيف مع رادارات الطقس	69
12.2.4	الاتجاهات المستقبلية	69
3.4	رادارات تصوير الريح (WPR)	70
1.3.4	احتياجات المستعمل	70
2.3.4	الجوانب التشغيلية وتلك المتصلة بالتردد	72
3.3.4	المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف	73
4.3.4	جوانب التقاسم المتصلة بأجهزة تصوير الريح	74

1.4 مقدمة

تعمل رادارات الأرصاد الجوية المقامة على الأرض في إطار خدمة التحديد الراديوي للموقع، وتُستعمل لأغراض الأرصاد الجوية التشغيلية وللتنبؤ بالطقس وللبحوث الخاصة بالغلاف الجوي وللملاحة الجوية والبحرية. وتعمل معظمها على مدار الساعة وتضطلع بدور حاسم في عمليات الإنذار الفوري في الأرصاد الجوية والهيدرولوجيا. وتمثل هذه الرادارات آخر خط دفاع للوقاية من الخسائر في الأرواح والممتلكات عند حدوث الفيضانات الخاطفة أو العواصف القاسية، وتعتبر بالتالي من الأجهزة المعروفة في قطاع الأرصاد الجوية التي تساهم في إنقاذ الأرواح.

وتقوم الرادارات عادةً بعملية مسح الأحجام، وتعمل بحزم نقطية لكشف وقياس شدة الظواهر الرطوبة الجوية وسرعة الريح. وتستعمل للتنبؤ بتشكل الأعاصير المدارية وأعاصير التورنيدو والظواهر المناخية القاسية الأخرى ولتتبع مسار العواصف في مسارها المدمر. وتسمح الرادارات الحديثة بتتبع العواصف الكبيرة والصغيرة وتوفير معلومات بشأن معدلات الهطول التي يستعين بها المتخصصون في التنبؤات للتبليغ عن احتمال وقوع الفيضانات الخاطفة. إضافة إلى ذلك، تقدم هذه الرادارات المعلومات الخاصة بالرياح العالية وإمكانية انطلاق البرق. وتعد رادارات الأرصاد الجوية من الاهتمامات الأساسية لخدمة الأحوال الجوية للطيران، خاصةً من أجل اكتشاف ظروف تكون الجليد على سطح الطائرات وتجنب الطقس السيئ من أجل الملاحة.

وتناقش في هذا الفصل الرادارات المقامة على الأرض شائعة الاستعمال في الأرصاد الجوية وخصائصها، وتقارن بأنواع أخرى من الرادارات.

1.1.4 أنواع رادارات الأرصاد الجوية

إن أول أنواع هذه الرادارات وأكثرها شهرة هي رادارات الطقس. يوفر هذا النوع من الرادارات البيانات بشأن منطقة دائرية تقع حول موقعه. وهذا النوع معروف لدى الجميع فنتائجه هي التي تظهر على شاشة التلفزيون في برامج التنبؤ بأحوال الطقس. ترد في الجدول 4-1 قائمة نطاقات الترددات الشائعة الاستعمال في عمليات رادارات الطقس.

الجدول 4-1

نطاقات الترددات الرئيسية لرادارات الطقس

نطاق التردد (MHz)	اسم النطاق الشائع استعماله في عالم الأرصاد الجوية
2 900-2 700	نطاق-S
5 725-5 250 (5 650-5 600 MHz بشكلٍ أساسي)	نطاق-C
9 500-9 300	نطاق-X

أما النوع الثاني فهو رادارات تصوير الريح (WPR). ويقدم هذا الرادار بيانات سرعة الرياح ضمن حجم على شكل مخروط تقريباً ويوجد فوق الرادار مباشرةً. وإذا ما جرى تزويد هذا الرادار بشكل ملائم، بوحدات مكبرات صوت أو نظام RASS (نظام سبر صوتي راديوي) مثلاً، فيمكنه أن يقيس درجة الحرارة الافتراضية للجو بدلالة الارتفاع بالنسبة لسطح الأرض. وتقع نطاقات الترددات التي تستعملها رادارات تصوير الريح (WPR) عادةً قرابة 50 MHz و400 MHz و1 000 MHz و1 300 MHz (راجع التفاصيل في الجزء 3.4).

أما النوع الثالث من الرادارات وهو غير معروف بشكلٍ شائع، فهو الرادار الثانوي الذي يستعمل لتتبع المسابير الراديوية أثناء عملية التحليق. وجرت مناقشة استعمال مثل هذه الرادارات في الفصل 3 الذي تناول المسابير.

والنوع الرابع من الرادارات المستخدمة في الأرصاد الجوية هو رادارات السحاب. وتعمل هذه الرادارات عادةً حول 35 و94 GHz نظراً للتوهين الجوي المنخفض نسبياً. وتستخدم رادارات السحاب في دراسة الخواص الميكروفيزيائية للسحاب والجسيمات الأخرى ضمن مدى حساسية النظام الراداري.

وتعمل جميع الرادارات بإصدار إشارة راديوية تنعكس من هدف يمكن أن يكون مركبة أو طائرة أو نقط أمطار أو اضطرابات جوية. وإذا كانت الإشارة التي يصدرها الرادار قوية، فإن تلك التي تعود تكون ضعيفة؛ لأن الإشارة المشعة تقطع المسافة مرتين، المرة الأولى من الرادار إلى الهدف والمرة الثانية تعود إلى الرادار، مما يترتب عنه حدوث توهين جوي في الاتجاهين. وفي حالة رادارات الأرصاد الجوية، يزداد ضعف الإشارة لأن أهداف الأرصاد الجوية (إما أن تكون نقط هطول (أمطار أو بَرَدْ أو ثلج، وغير ذلك) أو في حالة نمط دوبلر، رمل أو حشرات أو مجرد اضطرابات جوية) لا تعكس الإشارة بشكل فعال. وترتبط قوة الإشارة العائدة بمدى انعكاسية الهدف وحجمه وطبيعته. ومع ذلك يمكن استقبال هذه الإشارة على الرغم من ضعفها بفضل أجهزة إرسال لها قدرة أكبر، وهوائيات أكبر بقدرة اكتساب أعلى، وأجهزة استقبال شديدة الحساسية، ووقت تكامل أطول للإشارة. ولهذا يكتسي الطيف "الصامت" – الذي لا يعاني من الضوضاء الإلكترونية من فعل الإنسان أو التداخل – أهمية بالغة للغاية.

2.1.4 معادلة الرادار

تصف معادلة الرادار (1-4) العلاقة بين القدرة العائدة وخصائص الرادار والهدف. ويمكن التعبير عن هذه المعادلة كالتالي:

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^3 \cdot P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot c \cdot \tau \cdot |K|^2 \cdot L \cdot Z}{2^{10} \cdot \lambda^2 \cdot R^2 \cdot 1n\,2} \qquad (1\text{-}4)$$

حيث:

$\overline{P_r}$: متوسط القدرة العائدة (W)

P_t: قدرة إنتاج جهاز الإرسال (W)

G: كسب الهوائي (من دون أبعاد)

K: مؤشر الانكسار المعقد (من دون أبعاد)

λ: طول موجة الرادار (m)

c: سرعة الضوء (m/s)

θ: سعة حزمة (rad) نصف قدرة الهوائي (dB 3)

τ: سعة النبضة

r: المدى إلى الهدف

L: عناصر الخسارة المتصلة بالانتشار وكشف جهاز الاستقبال (dB)

Z: انعكاسية الرادار الفعلية (m^3).

وإذا ما أعيد ترتيب العناصر، نصل إلى صياغة يسيرة الفهم لمعادلة الرادار في (2-4) والتي تبين المساهمات المختلفة للثوابت والرادار والعناصر المتصلة بالهدف في القدرة التي يتم استقبالها.

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^3 c}{1024 \cdot \ln 2} \cdot \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot L}{\lambda^2} \cdot |K^2| \frac{Z}{R^2} \quad (2\text{-}4)$$

↑ Constants ↑ Radar factors ↑ Target factors

ويمكن تطبيق المعادلة (2-4) على الهدف الموزع عند استيفاء الفرضيات التالية:

- يحتل الهدف حجم النبضة بكامله
- تكون الجزئيات موزعة على المنطقة المساهمة
- تكون جزئيات الهطول دوائر عازلة متسقة لها أقطار صغيرة مقارنة بطول الموجة
- يستجيب حجم الجزئيات لمؤشر Rayleigh
- الثابت العازل $|K|^2$ وحجم توزيع عناصر الانتثار متسقان في الحجم المعني V
- تكون حزمة الهوائي ذات شكل نظامي تقريباً
- تكون موجات الإسقاط والمتناثرة العائدة مستقطبة خطياً
- تُهمل آثار الانتثار المتعدد.

وترد في المعادلة (3-4) معادلة الرادار (2-4) في شكل خوارزميات [Doviak and Zrnic, 1984]:

$$Z(\text{Az, El, } R)\,(\text{dBZ}) = 10\log(P_r) + 20\log(R) - 10\log(L_p) + 10\log(C) \quad (3\text{-}4)$$

وتعتبر هذه المعادلة أكثر المعادلات إفادة لأنها تشير إلى الحاجة لبارامترات نظام مختلفة ومحددة من أجل القيام بقياسات معايرة للانعكاسية. وتشمل هذه البارامترات:

- القدرة التي تُستقبل P_r (W)،
- المدى R (m)،
- زوايا السمت والارتفاع (بالدرجات)،
- خسارة مفرطة في الانتشار L_p (dB)،
- ما يسمى بثابت الرادار C.

ويشمل ثابت الرادار عادةً عناصر مثل سعة حزمة الهوائي وسعة النبضة وكسب تحويل جهاز الاستقبال وخسارة النظام.

وينبغي التأكيد بالنسبة للرادارات التي تتتبع أهدافاً متباعدة، بأن معادلة الرادار توفر إشارة يستقبلها الرادار وتكون متناسبة مع $1/r^4$ (r تشير إلى المسافة). وبالنسبة لرادارات الطقس، فإن الوضع يختلف لأن الأهداف مثل الهطول تملأ عادةً حزمة الرادار الضيقة بكاملها. وفي هذه الحالة، فإن المعادلة توفر إشارة تكون متناسبة مع $1/r^2$. ولهذا فإن للرادارات مدى واسع للكشف، غير أن هذا يعني أيضاً أنها تتسم بحساسية أكبر للتداخلات مقارنةً بالرادارات من نوع رادارات التحكم في الحركة الجوية النمطية.

2.4 رادارات الطقس

1.2.4 متطلبات المستعمل

يستعمل علماء الأرصاد الجوية رادارات الطقس لكشف الأمطار داخل السحب أو الصادرة عنها وتحديد موقعها وقياسها ولقياس سرعة الرياح واتجاهها بتتبع حركة الأمطار أو جزئيات الغلاف الجوي. وتقيس الرادارات شدة الهطول في فترات زمنية محددة وكذا

حركة هذه الهطول أو الجزئيات الجوية وهي تبتعد أو تقترب من هوائي رادار الطقس، مما يتيح لها قياس التناوب بالنسبة للظواهر الجوية. وهذا عنصر حاسم لكشف الظواهر المناخية القاسية مثل أعاصير تورنيدو أو الفيضانات الخاطفة ولإصدار الإنذارات في الوقت المناسب. وتتمثل متطلبات الاستعمال الرئيسية لرادار الطقس في كشف الهطول الصلب والسائل وتقدير معدل الهطول والسرعة نصف القطرية[3].

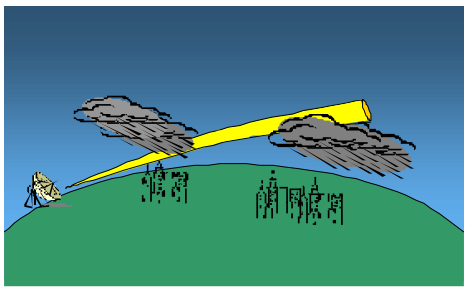
2.2.4 شبكات رادارات الطقس

يتمثل وجه القصور الرئيسي لرادار الطقس في كون شدة الصدى الذي تصدره ظاهرة جوية معينة تنحو إلى التناقص كلما ازدادت المسافة الفاصلة عن الرادار. ولا يقتصر سبب ذلك على التوهين الناجم في الفضاء الحر أو التوهينات الجوية الأخرى، إذ كلما ابتعدنا عن الرادار كلما زاد ارتفاع حزمته عن سطح الأرض (وسبب ذلك هو تحدب الكرة الأرضية وزاوية ارتفاع الحزمة) وزاد اتساعها (انظر الشكل 4-1).

وينتج عن هذا تناقص في نسبة الأحداث الجوية التي تشعها الحزمة. وإذا كان بإمكان الرادار أن يلتقط الأجزاء العليا من الظاهرة الجوية، فإن الأجزاء السفلية من الظاهرة قد تفلت منه. وقد لا يكشف الرادار عن الهطول الذي يحدث على بعد مسافة معينة من الرادار أو قد يظهر على الشاشة بشدة أقل، الأمر الذي يحد من المدى التشغيلي الكمي للرادار.

الشكل 4-1

رسم وصفي لزيادة ارتفاع حزمة الرادار بزيادة المسافة



Meteo-04-0 1

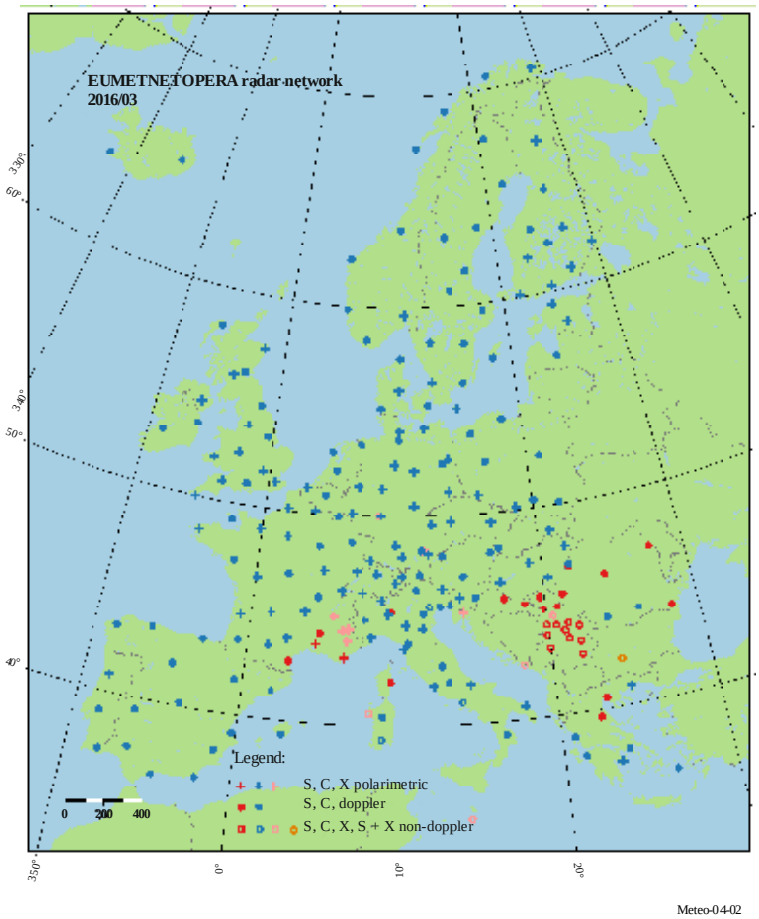
ولتجاوز وجه القصور هذا، يتم توزيع العديد من الرادارات عموماً في إطار شبكات على مسافات متساوية فيما بينها. وتعمل هذه الشبكات على مدار الساعة يومياً وتغطي مناطق شاسعة الأطراف مثل البلدان أو في بعض الأحيان أجزاء من القارات لكشف تطور الظواهر الجوية وتتبعها بغية إصدار الإنذارات بالمخاطر المتصلة بالمناخ. ويرد في الشكل 4-2 شبكة رادارات من هذه الشبكات تضم رادارات في النطاقات S وC وX جرى نشرها في غرب أوروبا.

[3] وهي سرعة الهطول إما باتجاه الرادار أو عندما تبتعد عنه (في اتجاه نصف قطري). ولا تقدم أي معلومات بشأن قوة الهطول. تكون قيمة السرعة سلبية عندما يتجه الهطول نحو الرادار وإيجابية عند الابتعاد عنه. وعندما يتحرك الهطول بشكل متعامد مع حزمة الرادار (في دائرة حول الرادار)، فإن السرعة نصف القطرية تكون قيمتها صفر.

الشكل 4-2

مثال لشبكة رادارات الطقس

(حدث في مارس 2016)



3.2.4 الجوانب التشغيلية للانعكاسية

الانعكاسية مفردة تتصل بالرادار وتشير إلى قدرة هدف الرادار على إعادة الطاقة. وترتبط انعكاسية المطر η بسماحية الماء النسبية ε_r وقُطر القطرة D وطول الموجة λ. وبالنسبة لقطرات المطر المشمولة في الحجم V قيد الدراسة، يمكن أن يعبر عن الانعكاسية بالمعادلة (4-4) التالية:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 \sum_j D_j^6 / V \quad \text{m}^{-1} \tag{4-4}$$

ويساوي $|K|^2$ 0,93 للماء السائل و0,18 للثلج. وتستعمل الانعكاسية لتقدير شدة الهطول ومعدلات التساقطات المطرية وهي قياس للقدرة العائدة.

بالنسبة للأحداث المتصلة بالهطول، عندما يكون حجم قطرة المطر معروفاً (أو مفترضاً)، يمكن أن تُقرن انعكاسية الحجم بإجمالي حجم الماء السائل لكل حجم وحدة. ويتضافر حجم الماء الإجمالي وتوزيع حجم القطرة والسرعة النهائية للقطرة المقابلة لذلك، لحساب معدل التساقط المطري.

ويمكن لعنصر انعكاسية الرادار Z أن يعرف بالمعادلة التالية:

$$Z = \frac{1}{V_e} \sum_i D_i^6 \tag{5-4}$$

حيث:

Z:الحجم الذي يُستخلص من المقطع العرضي في الرادار لمجموع عدد الكويرات في الحجم

D:قُطر قطرة الماء

V_e:حجم القطرة الفعلي.

ويقترن الحجم Z بالمقطع العرضي للرادار لكل حجم وحدة η بواسطة:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 Z \tag{6-4}$$

حيث:

Z:الحجم

η:المقطع العرضي للرادار لكل حجم وحدة

λ:طول موجة الحدث

$|K|$:مؤشر الانكسار المعقد.

وبما أن قُطر قطرات المطر داخل الحجم المتناثر ليس موحداً، يمكن أن تحسب توزيعات قطرة المطر كما يلي:

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D) \tag{7-4}$$

حيث:

$N(D)$:التركيز العددي للقُطر

D: القُطر

ΛD:فارق الحجم

N_0 وΛ:ثابتان لحدث جوي معين.

وعندما يكون توزيع حجم قطرة المطر معروفاً، فإن حاصل $\sum_i D_i^6$ على حجم الوحدة هو:

$$Z = \int_0^\infty D^6 N(D) \mathrm{d}D \tag{8-4}$$

وعندما تكون قيمة سرعة الرياح العمودية هي صفر، يحسب معدل سقوط المطر R كالتالي:

$$R = \frac{\pi\rho}{6} \int_0^\infty D^3 v_t(D) N(D) \mathrm{d}D \tag{9-4}$$

حيث:

R: معدل سقوط المطر

D^3: حجم قطرة المطر التي تتناسب مع Z

$v_t(D)$: السرعة النهائية لقطرة مطر لها القطر D

ρ: كثافة المطر.

وعندما يكون N_0 ثابتاً فإن العلاقة Z-R يمكن أن توصف بالمعادلة التالية (4-10):

$$Z = AR^b \qquad (10\text{-}4)$$

ويعبر عادةً عن Z بأن $10 \log Z\,(\mathrm{mm^6/m^3}) = \mathrm{dBz}$ وأن A وb ثابتان. (A هي ثابت التناثر وb مضاعف المعدل). والعلاقة Z-R الأكثر استعمالاً هي تلك التي تستند إلى قاعدة Marshall-Palmer حيث Z يساوي $200 \cdot R^{1,6}$ ويعبر عن Z بوحدات $\mathrm{mm^6/mm^3}$ وعن R بوحدات mm/h. غير أن العلاقة Z-R ليست بالعلاقة الوحيدة. ويرتبط A وb بتوزيع حجم القطرة (DSD) التي تختلف وفقاً لنوع المطر وشدته.

4.2.4 خطط البث الخاصة برادارات الطقس واستراتيجيات المسح وأساليب التشغيل

1.4.2.4 خطط البث

لضمان معالجة مسح الأحجام فيما يسمى "باستراتيجيات المسح" (عادةً في مهلة تتراوح بين 5-15 دقيقة)، تستعين رادارات الأرصاد الجوية بمجموعة مختلفة من خطط البث على ارتفاعات مختلفة باستعمال مجموعات مختلفة من سعة النبضة وتردد تكرار النبضات (PRF) ومستويات سرعة مختلفة للدوران. وليست هناك خطة "نموذجية" لأنها تختلف باختلاف عدد من العناصر تتصل بقدرات الرادار وبيئته بالنسبة إلى نواتج الأرصاد الجوية المرغوب في قياسها. وبالتالي تكيف الخطط لكي تفي بالمتطلبات لأقصى حد.

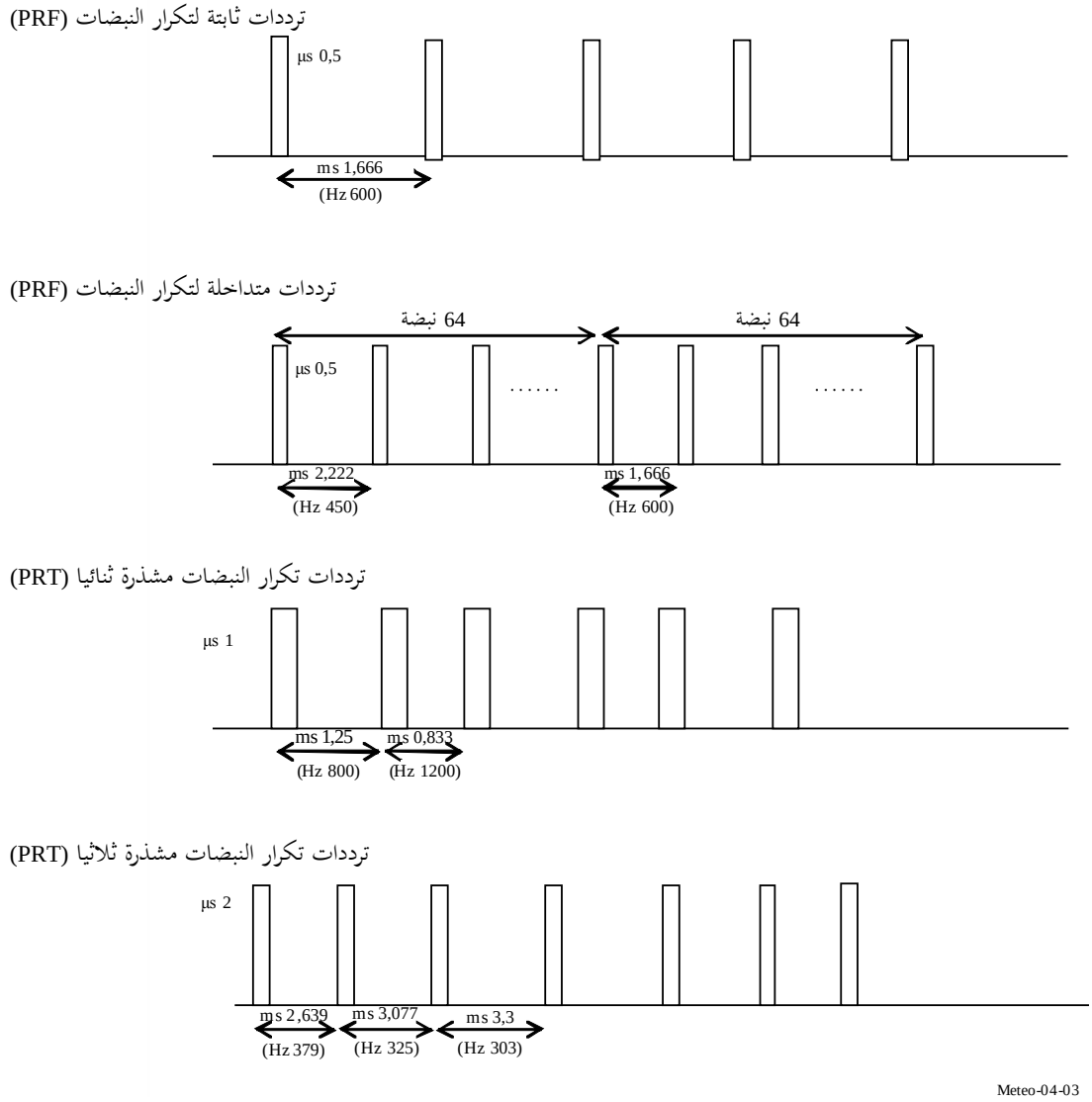
وعلى سبيل المثال، أظهر طلب قُدم مؤخراً لرادارات للطقس تستعمل النطاق C بارامترات مختلفة لخطة البث وهي:

- تتراوح زاوية الارتفاع التشغيلي بين 0 و90 درجة
- عرض النبضة يتراوح من 0,5 إلى 3,3 µs (للرادارات التشغيلية) بالنسبة للنبضات غير المضغوطة، في حين تستعمل بعض الرادارات ضغط النبضات بعرض نبضة يتراوح من 30 إلى 350 µs (مع ملاحظة أن استخدام ضغط النبضات يزيد من عرض النطاق المطلوب (من 3 إلى 6 MHz))
- يتراوح تردد تكرار النبضات (PRF) بين 250 و400 2 Hz (للرادارات التشغيلية). وبعض الرادارات الحالية قادرة على العمل بتردد لتكرار النبضات يصل إلى 000 20 Hz
- تتراوح سرعة الدوران بين 1 و10 rpm
- استعمال رادار معين لخطط بث مختلفة تمزج بين قيم مختلفة لعرض النبضة وتردد تكرار النبضات، وبشكل خاص استعمال ترددات تكرار النبضات (PRF) ثابتة ومتداخلة ومشذرة (مثال، استعمال ترددات مختلفة لتكرار النبضات في نفس الخطة).

وترد أمثلة عن خطط البث المختلفة في الشكل 4-3.

الشكل 4-3

بعض أنواع خطط بث رادارات الطقس



وتستعمل مخططات الإرسال هذه على عدد من الرادارات في استراتيجية المسح الخاصة بها والتي يتم خلالها إرسال مخطط إرسال واحد على ارتفاعات وسرعات دوران مختلفة.

ويجدر التأكيد على أنه من رادار لآخر، تختلف قيم التردد PRF وعرض النبضة المرتبطة بهذه الأمثلة من المخططات وذلك في حدود القيم المحددة أعلاه. كما أنه بالنسبة لأي مخطط معين، يمكن لعروض النبضات أن تختلف من نبضة لأخرى.

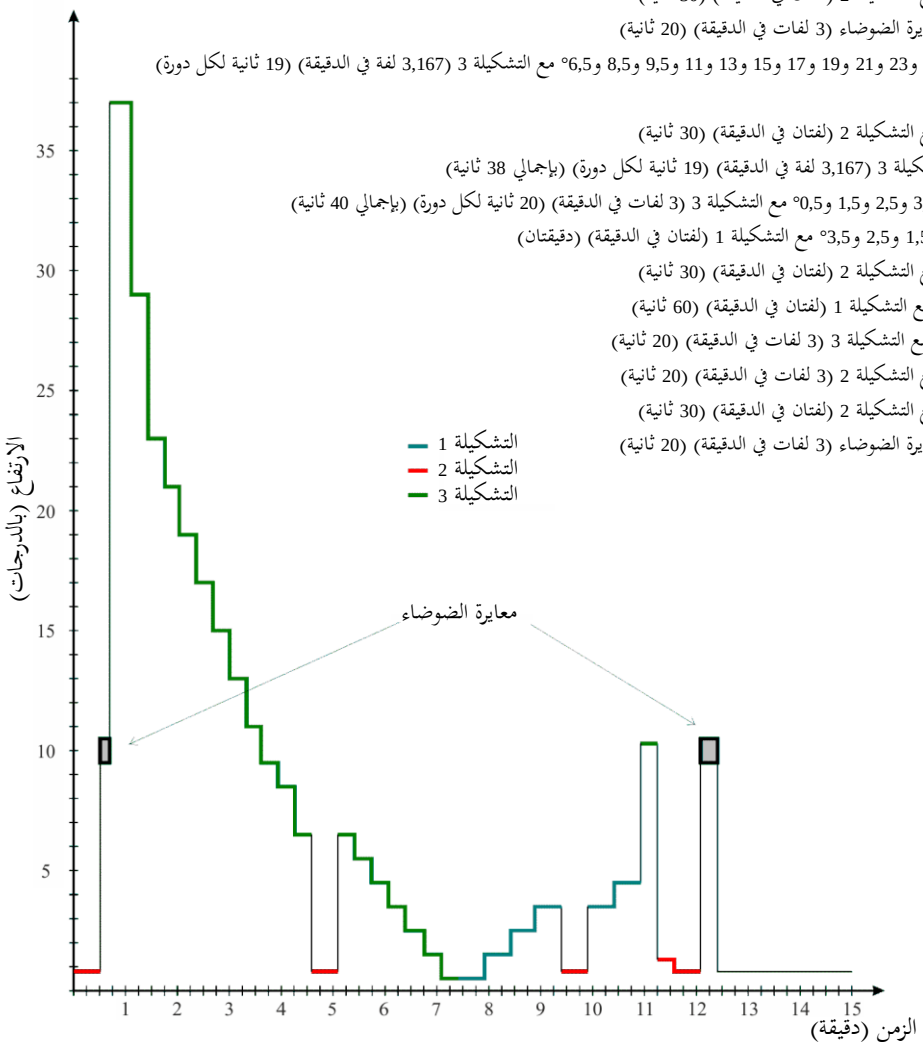
وفيما يلي مثال لاستراتيجية المسح هذه:

الشكل 4-4

وصف لاستراتيجية مسح رادارات الطقس

استراتيجية مسح نموذجية (الزمن الكلي حوالي 15 دقيقة):

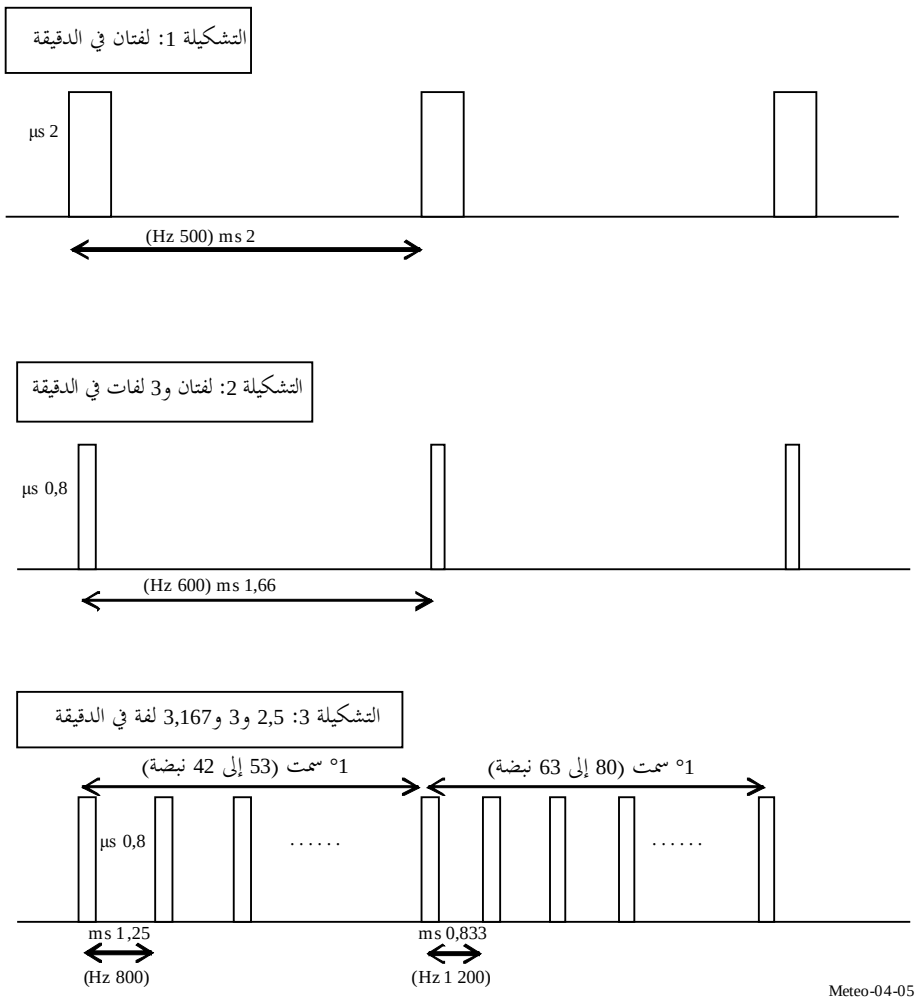
- دورة واحدة على ارتفاع °0,8 مع التشكيلة 2 (لفتان في الدقيقة) (30 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °10 لمعايرة الضوضاء (3 لفات في الدقيقة) (20 ثانية)
- 12 دورة على ارتفاعات 37 و29 و23 و21 و19 و17 و15 و13 و11 و9,5 و8,5 و°6,5 مع التشكيلة 3 (3,167 لفة في الدقيقة) (19 ثانية لكل دورة) (بإجمالي 3 دقائق و47 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °0,8 مع التشكيلة 2 (لفتان في الدقيقة) (30 ثانية)
- دورتان على 6,5 و°5,5 مع التشكيلة 3 (3,167 لفة في الدقيقة) (19 ثانية لكل دورة) (بإجمالي 38 ثانية)
- 5 دورات على ارتفاعات 4,5 و3,5 و2,5 و1,5 و°0,5 مع التشكيلة 3 (3 لفات في الدقيقة) (20 ثانية لكل دورة) (بإجمالي 40 ثانية)
- 4 دورات على ارتفاعات 0,5 و1,5 و2,5 و°3,5 مع التشكيلة 1 (لفتان في الدقيقة) (دقيقتان)
- دورة واحدة على ارتفاع °0,8 مع التشكيلة 2 (لفتان في الدقيقة) (30 ثانية)
- دورتان على ارتفاع 3,5 و°4,5 مع التشكيلة 1 (لفتان في الدقيقة) (60 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °10,5 مع التشكيلة 3 (3 لفات في الدقيقة) (20 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °1,3 مع التشكيلة 2 (3 لفات في الدقيقة) (20 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °0,8 مع التشكيلة 2 (لفتان في الدقيقة) (30 ثانية)
- دورة واحدة على ارتفاع °10 لمعايرة الضوضاء (3 لفات في الدقيقة) (20 ثانية)



Meteo-04-04

الشكل 4-5

خطط البث المرتبطة باستراتيجية المسح المعروضة في الشكل 4-4



2.4.2.4 معايرة الضوضاء

ونظراً لضعف الإشارة العائدة إلى رادارات الأرصاد الجوية، ينبغي إزالة الضوضاء من الإشارة من أجل تحقيق القياسات الأكثر دقة لنواتج الأرصاد.

وإذا اعتبرنا أن N هو مستوى الضوضاء، وS الإشارة المفيدة (مثال، عودة إشارة الأرصاد)، فإن رادارات الأرصاد تقوم بالعمليات التالية:

1 لكل بوابة يقيس الرادار الإشارة العائدة التي تقابل الإشارة المفيدة (S) والضوضاء (N)، مثال $N + S$

2 وللحصول على S يزيل الرادار من $N + S$ مستوى الضوضاء N

3 وانطلاقاً من S يمكن للرادار أن يحدد جميع نواتج الأرصاد مثل الهطول (dBZ) وسرعة الرياح بفضل تحليل دوبلر.

وللحصول على بيانات الأرصاد التي تتسم بأكبر قدر من الدقة، ينبغي للإشارة S أن تكون دقيقة قدر الإمكان، وهذا يعني أن معايرة ضوضاء الرادار، والتي تسمى أيضاً "التحقق الصفري" تكتسي أهمية حاسمة.

ومن ثم، يجري "التحقق الصفري" بشكل منتظم، إما أثناء عمليات البث المنتظمة للرادار (بالتقدير) أو أثناء فترات قياس محددة (راجع المثال أدناه المتصل باستراتيجية المسح) تقاس خلالها الضوضاء.

وفي كثير من الحالات، يتم قياس الضوضاء خارج عمليات بث الرادار (وقد يؤثر هذا بوجهٍ خاص على تصميم بعض النظم الراديوية التي تهدف إلى كشف إشارة الرادار للحد من التداخل).

وفي جميع الحالات، فإن التداخلات التي تستقبل أثناء معايرة الضوضاء ستصيب بالخلل عمليات جمع البيانات كافة إلى أن يتم إجراء عملية المعايرة التالية بدون تداخلات. ويمكن لهذه التداخلات أن تؤدي إلى تقديم معدلات هطول أقل مما هي عليه في الواقع، مع ما يترتب عن ذلك من نتائج بالنسبة للعمليات التشغيلية وتلك المتصلة بالإنذارات.

3.4.2.4 أساليب تشغيل رادارات الأرصاد الجوية

تعمل الرادارات في بعض الشبكات، مثل NEXRAD في الولايات المتحدة الأمريكية، بالاختيار بين أسلوبين للمستعمل: أسلوب الجو الصافي وأسلوب الهواطل. ويحتاج أسلوب الجو الصافي إلى اختياره يدوياً من جانب المستعمل. في حين يمكن اختيار أسلوب الهواطل يدوياً في أي وقت أثناء التشغيل أو يمكن تشغيله أوتوماتياً عندما يكتشف رادار الأحوال الجوية شكلاً ما من أشكال الهواطل (طبقاً لقيم محددة سلفاً ومنطقة التغطية الخاصة بالانعكاسية).

وبوجهٍ عام، تستفيد رادارات الأرصاد الجوية من الأسلوبين على السواء.

1.3.4.2.4 أسلوب الجو الصافي

يتيح أسلوب الجو الصافي لرادارات الأرصاد الجوية القدرة على كشف العلامات المبكرة لنشاط الهواطل.

وهناك بعض المتغيرات في السرعة منخفضة المستوى وكثافة الهواء تسمح باكتشاف الهواطل المحتملة. ويستخدم الرادار سرعة مسح بطيئة بالاقتران مع تردد منخفض لتكرار النبضة (PRF) وذلك لتوظيف إمكانية ذات حساسية عالية. وتعد هذه الحساسية العالية نموذجية بالنسبة للتغيرات الخفيفة في الظروف الجوية على المدى الطويل. ويعتبر أسلوب الجو الصافي مفيداً على نحوٍ خاص عندما يكون هناك نشاط حملي خفيف أو عدم وجود أي نشاط حملي بالمرة داخل مدى إرسال الرادار وهو ملائم تماماً للكشف عن علامات تكوّن العواصف الرعدية أو الأنماط الأخرى للأحوال الجوية الخطيرة.

وتعود الحساسية العالية التي تتسم بها رادارات الأرصاد الجوية إلى مخطط مسح الحجم في أسلوب الجو الصافي. فعن طريق اختيار مخطط معين في أسلوب الجو الصافي؛ يكون بمقدور هوائي الرادار التوقف عن الدوران والثبات لفترة زمنية ممتدة في أي حجم معين من الفضاء بحيث يستقبل العديد من الإشارات المرتدة، مع السماح في نفس الوقت للرادار بالعمل مع قيمة أقل للنسبة إشارة إلى الضوضاء (S/N). ومن شأن استعمال عرض كبير للنبضة وتردد منخفض لتكرار النبضة أن يعطي قدرة إشارة مرتدة تبلغ 8 dB تقريباً بالنسبة لقيمة معينة للانعكاسية dBz.

2.3.4.2.4 أسلوب الهواطل

يؤدي أسلوب الهواطل وظيفة مختلفة تماماً عن أسلوب الجو الصافي. حيث تكون سرعة المسح في أسلوب الهواطل دالة في زاوية الارتفاع. ويسمح هذا الارتباط بأقصى عدد ممكن من زوايا الارتفاع عند اعتيان الحجم الإجمالي لمسح الرادار. ويستفيد أسلوب الهواطل من مخططات متعددة لتغطية حجم المسح (VCP) لتنفيذ أنماط مختلفة من استراتيجيات المسح (انظر المثال الوارد في الفقرة 2.4) مع عينات مختلفة لزوايا الارتفاع. وترتبط الأحداث المتعلقة بالأحوال الجوية التي تُرصد عادة بأسلوب هطول الأمطار بتطور هطول الأمطار الذي يضم عواصف حاملة (الأمطار والبَرَدْ والعواصف الرعدية الشديدة وأعاصير التورنيدو وغيرها) كما ترتبط بالأنظمة الضخمة الشاملة.

4.4.2.4 إزالة الصدى الثابت

يشمل ما يسمى بالصدى الثابت عدداً من المكونات الثابتة الخفية؛ الأول يشمل الانتشار منخفض التردد والثاني يشمل الترددات العليا (بسبب النباتات التي يحركها الريح، مثلاً). ويسمى الصدى الناجم عن أهداف أخرى غير الهطول بالضجيج وينبغي إزالته. وتستعمل أساليب مختلفة لإزالة الضجيج الأرضي في رادارات الطقس القائمة:

- تستخدم عملية الترشيح دوبلر مرشح الترددات العالية لتخفيض الضجيج. وتكون هذه العملية فعالة إذا كانت سرعة الريح نصف القُطرية أكبر من تردد القطع لمرشح دوبلر.
- الترشيح القائم على الإحصائيات الذي يفترض أن التفاوت المتصل بالمطر هو أكبر من التفاوت المتصل بانعكاسية الضجيج الأرضي. وتكون هذه العملية فعالة حتى وإن كانت سرعة الريح نصف القُطرية تساوي صفراً.
- استعمال رادار بالقياس الاستقطابي للمطر ولإزالة الضجيج الأرضي.

5.2.4 رادارات دوبلر

ما فتئت رادارات دوبلر تستعمل لأكثر من 30 عاماً في البحوث المتصلة بالغلاف الجوي لقياس الحمل داخل العواصف الرعدية وعواصف الرياح، وتستخدم حالياً على نطاق واسع في عمليات الأرصاد الجوية. وعلى خلاف الرادارات القديمة، فإن رادارات دوبلر قادرة ليس فحسب على كشف الأهداف الانعكاسية وأوضاعها، وإنما أيضاً على تحديد سرعتها نصف القُطرية. ويتيح هذا قياس سرعة الريح وكشف أعاصير التورنيدو وقياس حقل الريح باستعمال مسح السرعة بشاشة السمت.

ومن بين قدراته الهامة أيضاً إزالة الجلبة الأرضية، وركزت التطورات الجديدة في هذا المجال على أجهزة الإرسال المتماسكة مثل الكليسترون (وهي أحدث التكنولوجيات المتاحة الآن) أو صمامات الموجات المرتحلة (TWT) أو أجهزة أشباه الموصلات. وكان نقاء طور طيف الرادار التقليدي مقيداً بسبب تكنولوجيا المغنيطرون من الجيل السابق، بيد أن نقاء الطور في المغنيطرونات الحديثة يكفي لإلغاء الجلبة بفعالية. غير أن بإمكان المغنيطرونات الحالية أن تنتج بشكل فعال من الناحية الاقتصادية متوسط قدرة عالية لزيادة في نسبة الإشارة/الضوضاء.

6.2.4 رادارات ثنائية الاستقطاب

ترسل رادارات القياس الاستقطابي أو ثنائية الاستقطاب نبضات في كلا الاستقطابين الأفقي (h) والرأسي (v). وتمكن هذه التكنولوجيا من تحديد العناصر المتناثرة باستشعار أشكالها وتجانسها عن بُعد. وتوفر هذه الرادارات تحسينات كبيرة في تقدير معدلات سقوط المطر وتصنيف الهواطل وجودة البيانات والكشف عن أخطار الأحوال الجوية مقارنة بالأنظمة غير الاستقطابية.

وتستفيد تقديرات الهواطل حالياً من حقيقة أن قطرات المطر المتساقطة تميل إلى التسطح (أسطح كروية مفلطحة)، وأن هذا التسطح يزيد بزيادة حجم قطرة المطر في الاتجاه الأفقي. ويمكن الجمع بين الانعكاسية ومجالات الاستقطاب المزدوج من الحصول على تقديرات أفضل للمعاملين A وb في العلاقة Z-R (4-10). وتعتبر الخوارزميات التي تقوم على الطور التفاضلي $\varphi_h - \varphi_v$ والتوهين التفاضلي واعدة بشكل كبير بالنسبة لتحقيق مزيد من التحسينات على التقييم الدقيق لهطول الأمطار.

وإضافةً إلى شكل عناصر الرطوبة الجوية، فهي تتميز بثوابتها العازلة وهو عنصر أساسي لحساب مقاطع الانتثار والتوهين. وتختلف السمات العازلة لعناصر الرطوبة الجوية وفقاً لتردد الرادار، حيث يختلف رد فعل الماء والجليد بشكل متباين. ويتم الاستعانة بهذه الخصائص لتطبيق خوارزميات من أجل التمييز بين المطر والثلج ولقياس كمية الماء السائل والجليد في السحب باستعمال قياسات التوهين التفاضلي.

7.2.4 نواتج البيانات الأساسية من رادارات الأرصاد الجوية التقليدية

يوفر رادار دوبلر للأرصاد الجوية ثلاثة أنواع من نواتج البيانات الأساسية من الإشارة العائدة: الانعكاسية الأساسية متوسط السرعة نصف القُطرية وسعة النطاق. وتولد جميع النواتج ذات المستوى الأعلى من هذه النواتج الأساسية الثلاثة. ويتم تحديد دقة الناتج الأساسي في غالب الأحيان كمطلب أولي لأداء الجهاز عند تصميم الرادار. ولا يمكن الحصول على نواتج مشتقة تكون دقيقة في المستويات العليا إذا انعدمت الدقة في هذه المستوى الأساسي كما هو مبين في الجدول 4-2.

الجدول 4-2

متطلبات دقة البيانات الأساسية للرادار

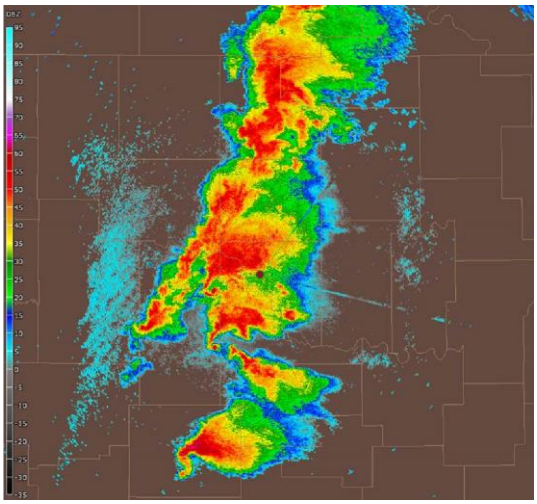
ناتج البيانات الأساسية	مطلب دقة التصميم
الانعكاسية الأساسية	أقل من 1 dB
متوسط السرعة نصف القطرية	أقل من 1 m/s
عرض الطيف	أقل من 1 m/s

1.7.2.4 الانعكاسية الأساسية

تستعمل الانعكاسية الأساسية في تطبيقات رادار الطقس المتعددة، وأهمها تقدير معدل هطول الأمطار. والانعكاسية الأساسية هي شدة النبضات العائدة وتحسب من المتوسط الخطي للقدرة العائدة. وكلما طرأ تداخل مع الرادار إلا وازدادت قدرة النبضة العائدة، مما يؤثر سلباً على قيم الانعكاسية. ويمكن أن تبطل قياسات الانعكاسية إذا تجاوز الفارق المتطلبات المتصلة بدقة البيانات الأساسية.

الشكل 4-6

الانعكاسية من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



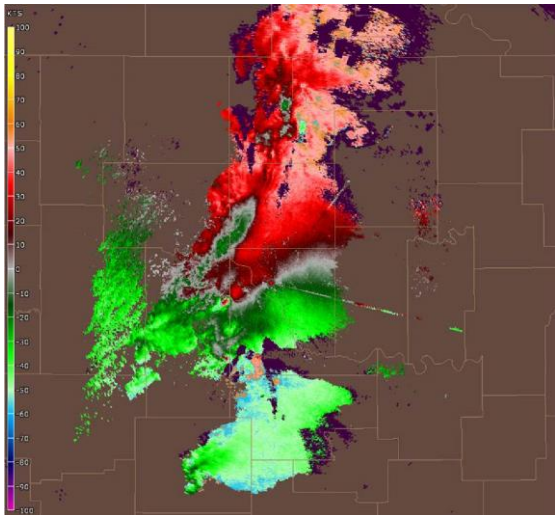
Meteo-0 4-06

2.7.2.4 متوسط السرعة نصف القُطرية

يعرف متوسط السرعة نصف القُطرية أيضاً بمتوسط سرعة دوبلر ويمثل المتوسط المرجح لسرعة انعكاسية الأهداف داخل عينة حجم معين. ويشير متوسط السرعة نصف القُطرية إلى الفترة الأولى لكثافة الطيف، والسرعة نصف القُطرية إلى البيانات الأساسية. وتحدد انطلاقاً من سلسلة متتابعة من النبضات ويتم حسابها من التباين المعقد للفارق الوحيد. ويوفر هذا التباين المشترك المعقد تقديراً للتنقل الزاوي لإشارة دوبلر من نبضة إلى نبضة من نبضات الرادار. وتساوي سرعة زاوية الناقل التنقل المقسم على الفترات الزمنية بين النبضات. ويبين طيف الدوبلر الانعكاسية والتوزيع المرجح للرادار للسرعات داخل حجم الرادار.

الشكل 4-7

السرعة نصف القُطرية من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



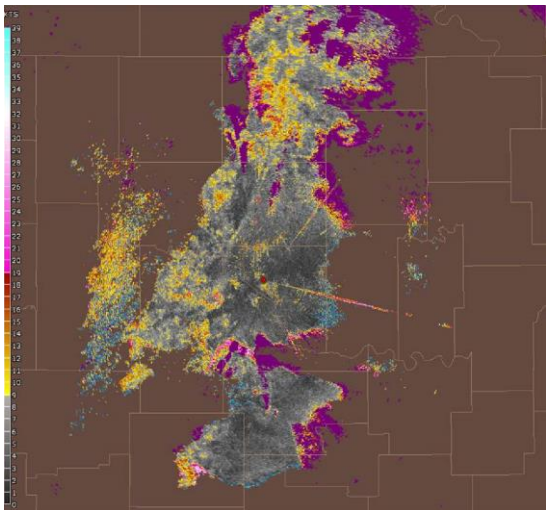
Meteo-04-07

3.7.2.4 عرض الطيف

يحسب عرض الطيف في رادارات الأرصاد الجوية انطلاقاً من ترابط الفارق الوحيد بافتراض كثافة الطيف الغوسية. إنه قياس لتناثر السرعات داخل حجم عينة الرادار وهو الانحراف المعياري لطيف السرعة. ويرتبط عرض الطيف بقياسات الانعكاسية والسرعة مقابل حجم النبضة واضطرابها داخل حجم النبضة [Doviak and Zrnic 1984].

الشكل 4-8

عرض الطيف من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



Meteo-0 4-08

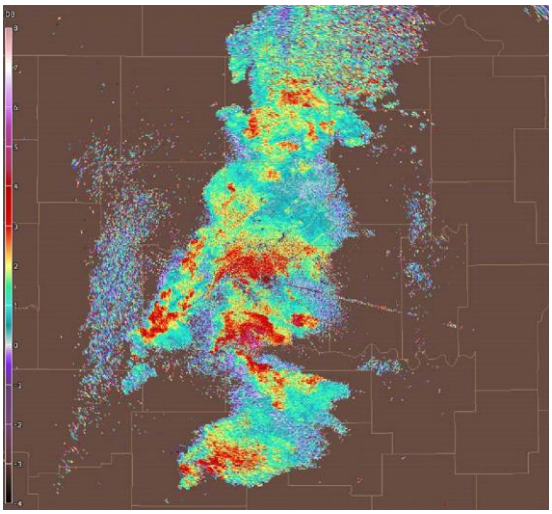
4.7.2.4 نواتج الأرصاد من الرادارات ثنائية الاستقطاب

1.4.7.2.4 الانعكاسية التفاضلية

الانعكاسية التفاضلية هي ناتج يقترن برادارات الأرصاد الجوية ذات القياس الاستقطابي وهي نسبة للقدرة المنعكسة العائدة أفقياً وعمودياً. ويعتبر من بين أمور أخرى مؤشراً جيداً على شكل الجسيم. والشكل بدوره هو تقدير جيد لمتوسط حجم الجسيم.

الشكل 4-9

الانعكاسية التفاضلية من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



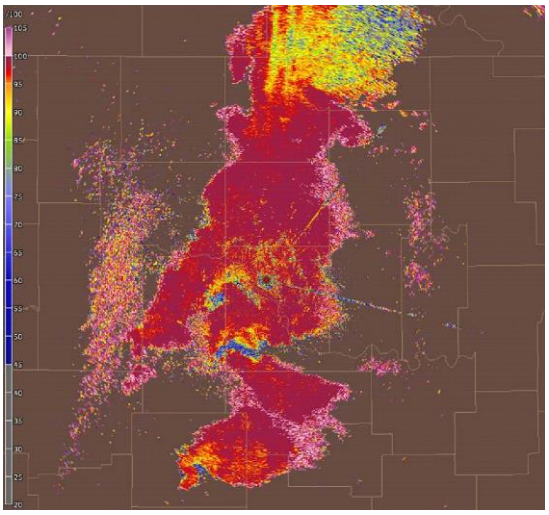
Meteo-0 4-09

2.4.7.2.4 معامل الترابط

معامل الترابط هو ناتج لرادار الأرصاد الجوية ذي القياس الاستقطابي وهو عبارة عن علاقة ترابط إحصائي بين القدرة المنعكسة العائدة أفقياً وتلك العائدة عمودياً. ويصف هذا المعامل أوجه التشابه لخصائص التناثر للصدى المستقطب أفقياً وعمودياً. وهو مؤشر جيد في المناطق التي تشهد أنواعاً مختلطة من الهطول، كالمطر والثلج.

الشكل 4-10

معامل الترابط من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



Meteo-0 4-10

3.4.7.2.4 نسبة إزالة الاستقطاب الخطية

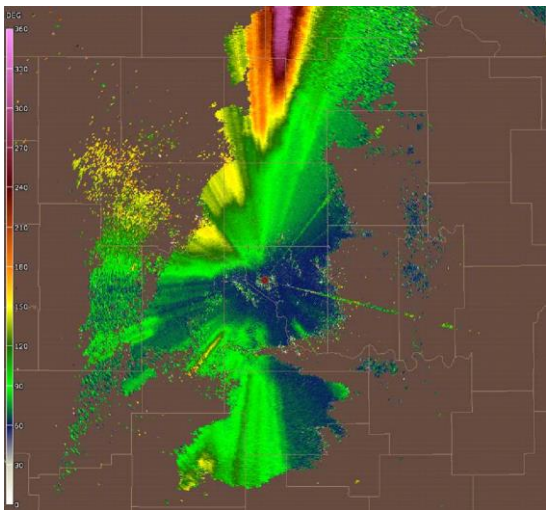
وهي بدورها ناتج آخر لرادار الأرصاد الجوية ذي القياس الاستقطابي، وهي نسبة للقدرة العائدة رأسياً من نبضة أفقية مرسلة أو للقدرة العائدة أفقياً من نبضة رأسية (غير معروضة). وهي، شأنها شأن معامل الترابط، مؤشر جيد في المناطق التي تشهد أنواعاً مختلطة من الهطول.

4.4.7.2.7 الطور التفاضلي

الطور التفاضلي هو مقارنة لفارق الطور العائد بين النبضة الأفقية والنبضة العمودية. وفارق الطور هذا سببه هو الاختلاف في عدد جولات الموجات (أو طول الموجات) على مسار الانتشار للموجات ذات الاستقطاب الأفقي والعمودي. ولا ينبغي أن يخلط بتحول تردد دوبلر الذي ينتج عن حركة جزئيات السحب والهطول. وعلى خلاف الانعكاسية التفاضلية ومعامل الترابط ونسبة إزالة الاستقطاب الخطية التي تعتمد كلها على القدرة العائدة، فإن الطور التفاضلي هو "أثر للانتشار". وهو مؤشر جيد أيضاً لتقدير معدل الأمطار والتوهين الناجم عن الأمطار. والطور التفاضلي المحدد (غير معروض)، المشتق من الطور التفاضلي، يبين المعدل الذي تحدث به زحزحة الطور. وهذا الأمر مفيد بشكلٍ خاص في تحديد المناطق ذات الأمطار الكثيفة.

الشكل 4-11

الطور التفاضلي من الشبكة KOUN الساعة 22:34 بالتوقيت العالمي المنسق يوم 2011/05/24 أثناء وقوع إعصار



Meteo-0 4-11

5.7.2.4 نواتج البيانات المشتقة

يستند مستعمل الرادار إلى نواتج البيانات الأساسية لاشتقاق نواتج المستويات العليا. ولن تخوض هذه الوثيقة في تفاصيل البيانات المشتقة لأنها تختلف باختلاف الرادارات وعدد هذه النواتج كبير جداً. ولضمان دقة نواتج البيانات المشتقة، ينبغي تأمين صيانة نواتج البيانات الأساسية بشكل جيد.

8.2.4 مخططات إشعاع الهوائيات وديناميات الهوائيات

1.8.2.4 مخططات إشعاع الهوائيات

تستخدم رادارات الأرصاد الجوية عادةً هوائيات ذات عواكس مكافئية تنتج مخطط إشعاع رفيع الحزمة للهوائي. ويفترض أن تنتج ديناميات الهوائيات في المستويين الأفقي والرأسي مسحاً ثلاثي الأبعاد. ويشرح في الفقرة 1.4.2.4 أعلاه مثال على هذه الديناميات.

وتستعمل حالياً ثلاثة نماذج رياضية لمخططات إشعاع هوائيات رادارات الأرصاد الجوية على النحو الوارد في التوصيات ITU-R F.699 (الفصوص الجانبية القصوى) وITU-R F.1245 (الفصوص الجانبية المتوسطة) وITU-R M.1652. وفي حين أن هذه التوصيات تعتبر تمثيلية للهوائيات المكافئية، فإنها تنزع إلى الزيادة في تقدير عرض حزمة مخطط الإشعاع رفيع الحزمة.

وجدير بالذكر أنه لا توجد حالياً معادلات محددة لمخططات إشعاع هوائيات الرادارات لدى قطاع الاتصالات الراديوية بحيث تمثل هذه الهوائيات ذات الحزم الرفيعة.

2.8.2.4 حركة هوائي المسح ثلاثي الأبعاد

تتحقق التغطية الأفقية والرأسية اللازمة لمسح ثلاثي الأبعاد بحيث يُنتج جزءٌ من الناتج في الاتجاه الأفقي، عن طريق تدوير الهوائي في المستوي الأفقي بزاوية ارتفاع ثابتة. وتتم زيادة زاوية ارتفاع الهوائي بقيمة محددة سلفاً بعد كل قيمة من الناتج في الاتجاه الأفقي. وتتراوح القيمة الدنيا لزاوية الارتفاع عادةً بين –2º و1º، في حين يتراوح الحد الأقصى بين 20º و30º، على الرغم من أن بعض التطبيقات يمكن أن تستخدم زوايا ارتفاع تصل إلى 60º. ويجري ضبط سرعة الدوران وكذلك مدى زوايا الارتفاع والقفزات الوسيطية في زاوية الارتفاع وتردد تكرار النبضة بحيث يتم الحصول على الأداء الأمثل. وينتج عن الدوران البطيء للهوائي فترة توقف طويلة لكل شعاع لتحقيق الحساسية القصوى.

وتتيح سرعة الدوران العالية للهوائي للمشغل الفرصة لتوليد مسح ثلاثي الأبعاد في فترة زمنية قصيرة عندما يفضل تغطية الحجم بالكامل بأسرع وقت ممكن. ويمكن التغاير في قفزات زوايا الارتفاع وسرعة الدوران أن يؤدي إلى تحقيق أزمنة لحيازة المسح الثلاثي الأبعاد تتراوح من دقيقة واحدة وتصل حتى 15 دقيقة. وتفسر الفترات الزمنية الطويلة اللازمة لتحقيق مسح ثلاثي الأبعاد كامل مقارنةً بالرادارات الأخرى التي تدور بزاوية ارتفاع ثابتة، بضرورة الحصول على اعتيان ذي دلالة إحصائية للنتائج.

3.8.2.4 الاستراتيجيات الأخرى لتحريك الهوائيات

تستخدم رادارات الأرصاد الجوية أيضاً استراتيجيات أخرى لتحريك الهوائيات من أجل بعض التطبيقات الخاصة والأبحاث. ويستخدم المسح القطاعي للحصول على جزء من ناتج الاتجاه الرأسي. ويؤدي المسح القطاعي الثلاثي الأبعاد مسحاً ثلاثي الأبعاد لجزء من دائرة السمت 360º حيث يتخذ الهوائي أجزاءً متعددة من زوايا الارتفاع. وفي الأسلوب الثالث يثبت الهوائي على زاويتي سمت وارتفاع ثابتتين لرصد نقطة محددة في الجو. وتتيح الاستراتيجيات الثلاث جميعها للمشغل التركيز على جزء محدد من الجو.

9.2.4 المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف

وأُسوةً بعدد كبير من التطبيقات الرادارية الأخرى، ينتج اختيار نطاق التردد (أو طول الموجة λ) بشكل أساسي عن المقارنة بين المزايا المرتبطة بالمدى/الانعكاسية، والتي تتفاوت قيمتها حسب توهين المطر، λ^{-4}، ودقة متغيرات الأرصاد الجوية والتكاليف. والتوهين في حالات الهواطل، الذي يقل مع زيادة طول الموجة، بحيث يصل إلى قيمة مهملة عند أطوال موجة في مدى الديسيمترات، يعد من الاعتبارات الهامة. فالنطاق Ka على سبيل المثال (قرابة 35 GHz، طول الموجة 8,6 mm)، يعتبر ملائماً لكشف قطرات الماء الصغيرة التي توجد في السحب غير الممطرة ($\geq$ 200 µm)، في حين يتم اختيار نطاق S (700 2-900 2 MHz، طول الموجة 10 cm) لكشف المطر الغزير على مدى طويل (يصل إلى 300 km) في المناطق ذات المناخ المداري والمناخ المعتدل.

1.9.2.4 نطاقات تردد رادارات الطقس

النطاقات الثلاثة الأكثر شيوعاً والمستخدمة في رادارات الأرصاد الجوية هي النطاق S (التردد الاسمي 700 2-000 3 MHz) والنطاق C (التردد الاسمي 250 5-725 5 MHz) والنطاق X (التردد الاسمي 300 9-500 9 MHz). وترد القيم الفعلية لترددات النطاقات المخصصة في المعايير المتفق عليها (IEEE 2002).

والنطاق S (700 2-000 3 MHz، طول الموجة الاسمي 10,7 cm) هو الاختيار الأفضل لتحقيق دقة كمية وأداء طويل المدى. ويرجع ذلك للقيم المنخفضة للتوهين الخاص بالامتصاص الغازي والتوهين في الهواطل (Fabry، 2015؛ Doviak، 1993). وتساعد أطوال الموجة الأكبر أيضاً في التخفيف من آثار مسائل الالتباس بالنسبة للمدى – دوبلر (Doviak، 1978 و1979). ومع ذلك تعد التكلفة من بين عوامل اختيار النطاق S، لأن أطوال الموجة الأكبر تحتاج إلى مكونات عتاد أكبر حجماً وهوائيات أكبر لتلبية متطلبات بعينها من عرض النطاق والكسب.

ويستخدم النطاق C (250 5-725 5 MHz، طول الموجة 5,4 cm) بوجهٍ عام في المناطق ذات المناخ المعتدل والبلدان ذات المساحات الجغرافية الصغيرة نسبياً والتي تحتاج إلى التغطية. وهو يمثل حلاً وسطاً بين البارامترات المذكورة أعلاه، ويتيح كشف المطر على المدى الطويل (قد يصل إلى 200 km) على الرغم من أن كميات هذه الأمطار لا يمكن تحديدها بدقة لمدى أطول من 100 km، كما يتسم استعمال هذا النطاق بكلفة منخفضة ناجمة عن قدرة أقل وهوائي أصغر مقارنة برادارات الترددات المنخفضة التي لها نفس معدلات الاستبانة.

وتتسم رادارات الطقس العاملة في النطاق X (300 9-500 9 MHz، طول الموجة 3,2-2,5 cm) بحساسية أكبر ويمكنها أن تكشف على جزئيات أصغر؛ وبما أن درجة التوهين فيها أكبر، فهي تستعمل في رصدات المدى القصير جداً (زهاء 50 km). وتستعمل هذه الرادارات في الدراسات المتصلة بتكون السحب لأن بإمكانها كشف الجزئيات المائية الدقيقة جداً، كما تستعمل لكشف الهطول الخفيف كالثلج. وعلاوةً على ذلك، تستعمل رادارات الطقس العاملة في النطاق X، لصغر حجمها، بصفتها أجهزة متنقلة في الكثير من الأحيان. وتستعمل هذه الرادارات أيضاً للكشف عن التغاير في الرياح، خاصةً لأغراض الطيران (قص الريح، والدوامات، وما إلى ذلك).

2.9.2.4 التوهين

تتعرض الموجات الكهرمغنطيسية للتوهين من جراء بخار الماء والامتصاص الغازي والهواطل عند انتشارها في الجو (Fabry، 2015). وحتى الآن، يحدث التوهين الأقصى من جراء الهواطل، خاصةً الأمطار الغزيرة. والخواص الفيزيائية للانتشار تتمثل في أن معدل التوهين (بوحدات dB لكل وحدة من وحدات الأطوال) في النطاق C (cm 5,0) يساوي من 6 إلى 8 أضعاف تقريباً المعدل في النطاق S (cm 10,0) وذلك حسب معدلات سقوط الأمطار (Bean وDutton، 1966 وBurrows وAttwood، 1949). ومشكلة التوهين بالنسبة للنطاق X أسوأ بكثير، حيث تصل معدلات التوهين إلى أكثر من 100 ضعف المعدلات في النطاق S وأكثر من 15 ضعفاً مقارنةً بمعدلات النطاق C بالنسبة لمعدلات هطول أمطار تساوي 6 mm/hr.

والآثار الخطيرة للتوهين على أطوال الموجة الأقصر موثقة بشكل جيد في المراجع العلمية. وفي ثمانينيات القرن الماضي، أجرى المختبر الوطني للعواصف العاتية مقارنات مباشرة بين الرادارات 5 و10 cm وأظهرت هذه الاختبارات أن استخدام طول الموجه 5 cm في ظروف الأمطار الغزيرة يمكن أن يؤثر بشكل كبير على التنبؤ بالعواصف العاتية وعلى عمليات الإنذار (Allen، 1981).

ويمثل تصويب التوهين معضلة بالنسبة لأطوال الموجة الأقصر نظراً إلى الحاجة إلى قياسات بالغة الدقة للقدرة (Hitschfeld، 1954). والمتطلبات الخاصة بدقة معايرة الانعكاسية اللازمة للنطاقين C وX لدعم خوارزميات تصويب التوهين تتجاوز المتطلبات الحالية لبرنامج الجيل المقبل من الرادارات بالولايات المتحدة (NEXRAD) ويصعب تحقيقها عملياً. وقد غير إدخال مفهوم قياس الاستقطاب على رادارات الطقس من هذا الوضع إلى حد كبير نظراً إلى أن الطور التفاضلي يوفر تقديرات للتوهين لا تعتمد على دقة معايرة الانعكاسية.

وهناك مسألة ذات صلة إلى حدٍ ما بالتوهين أفرزت الحاجة إلى أن تستخدم رادارات الأرصاد الجوية الاستقطاب الخطي. وفي بداية نشر رادارات النطاق S لمراقبة الطقس للبرنامج NEXRAD للولايات المتحدة – الرادار Doppler لعام 1988 (WSR-88D)، استخدم النظام الاستقطاب الإهليلجي. وتم اللجوء إلى ذلك من أجل تصميم العتاد الخاص بإرسال واستقبال الإشارة RF بشكل يتسم بالكفاءة والفعالية من حيث التكلفة. بيد أن مديري الأنظمة اكتشفوا سريعاً أن إزالة الاستقطاب في ظروف الأمطار الغزيرة تؤثر بشكل كبير على العمليات وقد تم تعديل الرادارات بحيث تستخدم الاستقطاب الأفقي الخطي (Sirmans، 1993). ولما كان الاستقطاب أحد العوامل المفترض مراعاتها عند بحث إمكانية التعرض للتداخلات، فإنه ينبغي الحفاظ على القدرة الحالية على استخدام الاستقطاب الخطي (الأفقي و/أو الرأسي).

3.9.2.4 تقديرات الحد الأقصى للمدى والسرعة غير المبهمين

كما يحدد اختيار تردد رادار الأرصاد الجوية خصائص الأداء المتصلة بسرعة الريح القصوى والمدى الأقصى اللذان يمكن قياسهما. وفي الرادارات النبضية، تحدد الفترات الفاصلة بين النبضات المدى الأقصى غير المبهم[4] للرادار. وينبغي أن يعود الانعكاس من النبضة إلى جهاز الاستقبال قبل إرسال النبضة الموالية، وإلا تصبح النبضة التي وصلت مبهمة. وفي نظم رادار دوبلر، يحدد تردد تكرار النبضات (PRF) الحد الأقصى للمدى والسرعة غير المبهمين الذي يمكن للرادار قياسهما (Doviak، 1979). وأثناء التصميم ينبغي إيلاء العناية لثابت يتصل بالعلاقة غير المبهمة بين المدى والسرعة:

$$R_m \cdot V_m = c\frac{\lambda}{8} \qquad (11\text{-}4)$$

حيث:

R_m: مدى الرادار غير المبهم (أقصى مدى يمكن أن يقيسه الرادار)

[4] المدى الأقصى غير المبهم هو أطول مدى يمكن للنبضة المرسلة أن تقطعه قبل أن تعود إلى الرادار وقبل أن ترسل النبضة التالية. وبمعنى آخر، المدى الأقصى غير المبهم هو المسافة القصوى التي يمكن لطاقة الرادار أن تقطعها ذهاباً وإياباً والفاصلة بين نبضتين مع توفير المعلومات التي يمكن الاعتماد عليها.

V_m:سرعة الرادار غير المبهمة (أقصى سرعة يمكن أن يقسها الرادار)

c: سرعة الضوء (3×10^8 m/s)

λ:طول موجة الإشارة

ويعتبر طول الموجة الذي يحدده تردد الرادار البارامتر الوحيد بحوزة مصمم الرادار من أجل الزيادة قدر الإمكان في المدى الأقصى وقياس السرعة القصوى للرادار. وكلما تناقص طول الموجة إلا وتناقص المدى الفعلي وتراجعت قدرة قياس السرعة القصوى، أو الاثنين معاً بنفس القوة بزيادة التردد. وللحد من أثر الإبهام وتحسين ناتج العلاقة بين المدى والسرعة، تستعمل رادارات الطقس الحديثة عادةً ولا سيما تلك العاملة في النطاق C خطط بث مختلفة تمزج بين قيم مختلفة لتردد تكرار النبضات (PRF) (انظر الفقرة 4.2.4).

وتُعطى القيم لتكنولوجيات مختلفة: بالمغنيطرون والكليسترون وصمام الموجات المتنقلة (TWT)، وهذه الفئة الأخيرة لها القدرة على بث نبضات قصيرة تتسم بأطياف إرسال أوسع نطاقاً. وتتيح بعض المغنيطرونات طور تردد يقل عن 1 MHz في تشكيلة واسعة من درجات الحرارة البيئية. أما الرادارات سريعة المسح فتتطلب قدراً كبيراً من الطيف، 10 MHz مثلاً، نظراً لاستعمال انضغاط النبضات.

حتى في أطوال الموجة الأكبر للنطاق S، قد يكون من الصعب تحقيق أداء مقبول للرادار عبر المديات الطويلة وتغطية سرعات كبيرة. فعلى سبيل المثال، يستخدم البرنامج NEXRAD الخاص بالولايات المتحدة أساليب تخفيف عديدة مثل عمليات المسح المتعددة على نفس زاوية الارتفاع باستعمال قيم مختلفة لتردد تكرار النبضات وتشفير طور نظامي. وتفرز هذه المسائل تحديات أكبر بكثير في أطوال الموجة الأقصر.

4.9.2.4 تماسك الصدى

يتحدد القيد على السرعة غير المبهمة (تردد نيكويست) بالعلاقة بين تردد تكرار النبضات (PRF) وطول الموجه. ويتناسب فاصل نيكويست المشترك (مدى السرعات غير المبهمة) تناسباً طردياً مع طول الموجة. وفيما يلي المعادلة ذات الصلة:

$$V_a = \frac{\lambda \cdot PRF}{4}$$

لذا، فإنه بالنسبة لتردد PRF معين، يحدد طول الموجة فاصل نيكويست المشترك الذي يقيد بدوره دقة التقديرات الدوبلرية من منظور عرض الطيف. وعندما يصبح عرض الطيف أكبر بالنسبة لفاصل نيكويست المشترك، تصبح عينات الرادار غير متماسكة بين النبضات وتقل دقة التقديرات. ويمكن لعرض الطيف أن يزيد (التوسيع الطيفي) ويصبح جزءاً كبيراً من الطيف نتيجة لعوامل عديدة من بينها الاضطراب والقص وسرعات السقوط (Fabry، 2015 الفقرة 2.5). وإذا ما تجاوز عرض الطيف أكثر من $(2\pi)^{-1}$ من فاصل نيكويست المشترك تقريباً، فإن التغاير في تقدير السرعة الدوبلرية يزيد بمعدل أسي (Doviak، 1978).

ونظراً لتأثيرات زيادة الاضطراب والقص بزيادة حجم عينات الرادار، فإن عرض الطيف يكون دالة في عرض النطاق والمدى الفعليين للرادار. ويمكن تعريف "مدى التماسك" بأنه المدى الأقصى الذي يمكن الحصول فيه على تقديرات دوبلرية ذات جودة مقبولة. وبالنسبة لعرض نطاق معين، تفضل أطوال الموجة الأكبر (مثل 10 cm للنطاق S).

5.9.2.4 تأثيرات الرنين – قياسات الكثافة الكمية

يعتمد المقطع العرضي الفعلي للانتشار العكسي للجسيمات الكروية بشكلٍ كبير على طول موجة الإشارة الساقطة إضافةً إلى قطر الكرة (Rheinstein، 1968). ومن أجل الحصول على تقديرات دقيقة للانعكاسية والتي تعد مقياساً للمقاطع العرضية للانتشار العكسي، ينبغي للقدرة المرتدة أن تكون دالة خطية في حجم القطرة. ويقتضي ذلك تفادي حدوث الانتشار العكسي للرادار في منطقتي Rayleigh وMie، حيث يكون لا خطياً بدرجة كبيرة، وذلك بالنسبة لأقطار قطرات المطر المتوقعة عادةً

(Fabry، 2015). وتأثيرات الرنين إضافةً إلى التوهين يمكن أن تؤثر بالسلب على تقديرات متغيرات الاستقطاب (Zrnic، 2000). وكما يوضح Zrnic، فإنه عند طول موجة يساوي 5 cm، يحدث الرنين للقطرات التي تكون أحجامها أكبر من 5 mm تقريباً ويظهر متغير الاستقطاب سلوكاً غير خطي (غير رتيب) مما يجعل الحصول على تقديرات كمية دقيقة أمراً مستحيلاً. وتكون التأثيرات على معامل الارتباط أكثر وضوحاً في النطاق C بوجه خاص بالنسبة لقيم للانعكاسية تزيد عن 30 dBz (Ryzhkov، 2005).

وعدم اليقين في العلاقة بين قطر القطرة والمقطع العرضي للانتثار العكسي في منطقة ماي، يمكن أن يؤدي إلى تقديرات مقبولة للانعكاسية في أطوال الموجة الأقصر. وعند أطوال الموجة الموهِّنة، فإن الأخطاء الطفيفة في ثوابت معايرة الرادار تؤدي إلى أخطاء كبيرة في المعدلات المقدرة لهطول الأمطار (Hitschfeld، 1954).

6.9.2.4 الاستنتاجات

يرتبط اختيار مدى الترددات لرادارات الأرصاد الجوية بمدى التغطية اللازم. فإذا كانت هناك حاجة إلى مدى طويل للتغطية أو في المناطق الجغرافية التي تشهد هطول أمطار غزيرة عادةً، فإن النطاق S يمكن من تحقيق تقديرات ذات جودة عالية للمعلمات القائمة على الكثافة وللتقديرات الدوبلرية. وفي المناطق الجغرافية الأخرى أو في المديات الأقصر، فإن النطاقين C وX يعدان أكثر ملائمة، بالترتيب. ومن بين الاعتبارات الأخرى عدم القدرة على التخفيف الكافي من آثار الالتباس في قياس المدى والسرعة من جراء مديات الرحلات الأولى الأقصر التي تحتمها الترددات PRF التي يجب أن تكون عالية بما يكفي للسماح بمعالجة تقديرات دوبلرية دقيقة. وتعود التأثيرات الأخرى على دقة البيانات إلى تأثيرات الرنين (انتثار Mie مقابل Rayleigh) مما يؤدي إلى علاقات غير خطية بين القدرة المرتدة (إشارة الانتثار العكسي) وتوزيعات أحجام القطرات الخاصة بالهواطل. ويحول ذلك دون الحصول على تقديرات دقيقة بشأن معدلات هطول الأمطار ويصيب خوارزميات التعرف العملية بخلل كبير.

10.2.4 أوجه قصور رادارات الطقس

ويحدد رادار الطقس المدى الفاصل بينه وبين الأهداف (المتصلة بالطقس) بقياس الزمن اللازم للإشارة بعد إرسالها لكي تقطع المسافة الفاصلة بين جهاز الإرسال والهدف ذهاباً وإياباً إلى الموقع الرادار. ويرتبط زمن الرحلة بطول المسار، والدقة التي يمكن أن يُقاس بها ترتبط بشكل حاسم بزمن صعود وهبوط النبضة. ويقاس وقت وصول النبضة العائدة بالحافة الأمامية أو الخلفية للنبضة؛ كلما كان قصيراً إلا وازدادت دقة القياس.

وللحفاظ على فترات زمنية قصيرة لأطوار النبضة، ينبغي أن يكون الطور خطياً في جهازي الإرسال والاستقبال في نطاق عريض نسبياً. وتتناسب سعة النطاق اللازمة عموماً مع أقصر طور من الطورين الزمنيين للنبضة، وجميع المحاولات الرامية إلى تقليص سعة النطاق اللازمة للإشارة التي يتم إرسالها (بإضافة مرشاح إضافي، إلى غير ذلك) دون المستوى المطلوب إنما تؤثر سلباً على دقة النظام. وكثيراً ما يستغرب المرء غير الملم بنظم الرادار لسعة النطاق اللازمة. كما أن التداخل في سعة النطاق اللازمة للرادار يضر أيضاً بأدائه.

ويجب القول مجدداً أن أغلب نظم التراسل في الاتصالات الراديوية لا تستدعي إلا مسار تراسل واحد بين هوائيات لها نفس الخصائص، في حين ينبغي لإشارة الرادار أن تقطع المسار مرتين مع الانعكاس المتداخل من بعض الأشياء (قطرات المطر، كويرات البَرَدْ، والجزيئات الناجمة عن الريح) التي لم تخصص لهذا الغرض. ولهذا فإن الإشارات التي تصل تكون ضعيفة جداً.

ولا تزال الرادارات تتأثر كثيراً بالضوضاء والتداخل على الرغم من استعمال قدرات الإرسال الهائلة في الكثير من الأحيان والاعتماد على أجهزة الاستقبال كبيرة الحساسية.

1.10.2.4 أنواع التداخل المحتملة

يمكن أن تتضرر قدرة رادار الطقس فيما يخص وصف أوضاع الغلاف الجوي وصفاً دقيقاً بسبب أشكال مختلفة من التداخل الذي يمكن أن يحد من قدرة الرادار أو في أسوأ الحالات أن يبطل هذه القدرة على كشف سرعة الرياح واتجاهها على ارتفاعات مختلفة، وأن يوفر التقدير الكمي السليم لمعدلات هطول الأمطار وتراكمها، وأن يحدد موقع أعاصير الهوريكين والتيفون والتورنيدو والأنواء

والظواهر الأخرى ذات الصلة بالعواصف وأن يتتبعها. ونظراً لحساسية الرادارات، يمكن للإشارات الدخيلة أن تقلص بشكل كبير من أداء رادار الطقس. ولهذا ينبغي تحديد أنواع التداخل التي من شأنها أن تضر بالقدرات التشغيلية للرادارات.

تعتبر الإشارات الاقتحامية التي تشبه النبضات وتكون قارة وبفترات زمنية مختلفة هي أولى أنواع هذا التداخل الذي يمكن أن تتعرض له رادارات الطقس. وبعد تحديد جميع أنواع هذه التداخلات، يمكن تحديد العتبات القصوى التي يمكن لرادارات الأرصاد الجوية أن تتحملها دون تقويض قدراتها على التنبؤ.

وتوجد مستويات معايير الحماية الخاصة برادارات الأرصاد الجوية في التوصيات ITU-R M.1849-1، علماً أن هناك حد أقصى للتداخل المستمر هو I/N = –10 dB.

2.10.2.4 أثر التداخل المستمر

1.2.10.2.4 التغطية الجغرافية

يمكن للتداخل المستمر أن يقلص من المدى التشغيلي للرادار مما يؤدي إلى تقليص المنطقة الجغرافية التي يغطيها الرادار بسبب الزيادة المتزامنة في الضوضاء.

تقابل معايير الحماية للنسبة I/N التي تبلغ –10 dB زيادة في الضوضاء أو الطاقة مقدارها 0,5 dB.

وعلى أساس أن الرادارات تُعاير لكي تتطابق مع مستوى ضوضاء المستقبل (أي –113 dBm تقريباً) مع مستوى انعكاسية 0 dBz عند 100 km، فإنه تحدث زيادة في الضوضاء تغير من الشروط الاسمية للرادار مما يؤدي إلى خفض المدى التشغيلي للرادار.

وتصل التغطية الحالية لرادارات الأرصاد الجوية إلى 200 km تقريباً. ويلخص الجدول 4-3 زيادة خسارة المدى والتغطية مقابل الزيادة في التداخل والضوضاء.

الجدول 4-3

الخسارة في المدى والتغطية

زيادة الضوضاء (dB)	القيمة I/N المقابلة (dB)	خسارة في التغطية (km)	خسارة في التغطية (% بالنسبة إلى السطح)
0,5	10–	11	%11
1	6–	22	%21
2	2,3–	42	%38
3	0	59	%50
4	1,8	75	%61
5	3,3	88	%69
6	4,7	100	%75
7	6	111	%80
8	7,3	121	%84
9	8,4	130	%88
10	9,5	137	%90

2.2.10.2.4 معدل المطر

كما يؤدي التداخل المستمر إلى زيادة الطاقة التي يستقبلها الرادار والتي يمكنها أن تؤثر على قياس الانعكاسية المرتبطة بأشكال مختلفة من الهطول (مثلاً المطر والثلج والبَرَدْ). ويلخص الجدول 4-4 زيادة النسب المئوية لأنواع مختلفة من الهطول وفقاً لزيادة التداخل (الضوضاء).

وطبقاً للوصف الوارد في الفقرة 2.1.4، فإن معدل الهواطل المقابل لمستوى معين من الانعكاسية (dB) يتحصل عليه من:

$$z = AR\hat{}B$$

حيث:

z:الانعكاسية

A:ثابت التشتت

B:مضاعف نسبة

و

$$10 \log z\ (dBz) = z$$

حيث:

dBz:الانعكاسية (dB).

وبإعادة ترتيب الحدود والحل للمعادلة R، نحصل على المعادلة التالية:

$$R_{(mm/h)} = \left(\frac{10^{\left(\frac{dBz}{10}\right)}}{200} \right)^{\left(\frac{1}{1,6}\right)}$$

وبفرض زيادة ثابتة في الطاقة C، فإن معدل هطول الأمطار الناتج يساوي:

$$R_{(mm/h)} = \left(\frac{10^{\left(\frac{dBz + C}{10}\right)}}{200} \right)^{\left(\frac{1}{1,6}\right)}$$

والزيادة في معدل هطول الأمطار كنسبة مئوية تكون بعد ذلك مقداراً ثابتاً يتحصل عليه من:

$$p(R_{(mm/h)}) = 100 \times \left(10^{\left(\frac{C}{16}\right)} - 1 \right)$$

ويدرج الجدول 4-4 ثوابت الانتشار النمطية ومضاعفات المعدلات لأنماط الهواطل العديدة[5].

الجدول 4-4

ثوابت التشتت ومضاعفات النسب لأحداث هواطل مختلفة

المتغيرات	الأمطار الستراتوسفيرية	أمطار الحمل	الثلج	البَرَد
ثوابت الانتشار (A)	200	500	2 000	2 000
مضاعفات المعدلات (B)	1,6	1,5	2	1,29

ويوجز الجدول 4-5 الزيادة في النسبة المئوية للمطر للعديد من حالات الهواطل.

الجدول 4-5

زيادة معدل الهطول

زيادة الضوضاء (dB)	القيمة *I/N المقابلة* (dB)	زيادة معدل الأمطار الستراتوسفيرية (%)	زيادة معدل أمطار الحمل (%)	زيادة معدل الثلج (%)	زيادة معدل البرد (%)
0,5	10–	7,5	8,0	5,9	9,3
1	6–	15,5	16,6	12,2	19,5
2	2,3–	33,4	35,9	25,9	42,9
3	0	54,0	58,5	41,3	70,8
4	1,8	77,8	84,8	58,5	104,2
5	3,3	105,4	115,4	77,8	144,1
6	4,7	137,1	151,2	99,5	191,8
7	6	173,8	192,9	123,9	248,8
8	7,3	216,2	241,5	151,2	317
9	8,4	265,2	298,1	181,8	398,5
10	9,5	321,7	364,2	216,2	495,9

وتبين هذه الحسابات أنه بصرف النظر عن قيمة المطر ونمط هطول الأمطار، فإن النسبة المئوية للتقدير الزائد المقابلة لزيادة معينة ثابتة في الطاقة تكون هي الأخرى ثابتة ومن ثم لا يمكن إهمالها.

كما أنه بالنظر إلى أن حساب الانعكاسية لبيكسل معينة والذي يقوم على المتوسط (dBz) عبر كل التقديرات والانحراف المعياري ذي الصلة، تجدر الإشارة هنا إلى أن زيادة ثابتة في الطاقة الخاصة لكل التقديرات ستزيد من هذا المتوسط وإن كانت لن تغير في الانحراف المعياري. وجدير بالذكر أن زيادة التداخل لن يعدل قدرة الرادار على كشف خلايا المطر (مثال، فالقياس الذي لا يعتبر خلية مطر لن يعتبر خلية مطر مع ذلك)، وإنما سيؤثر على كشف معدل المطر.

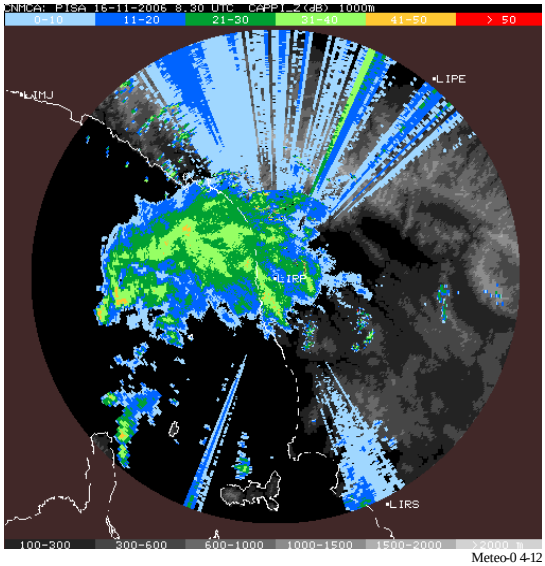
[5] ثوابت الانتشار ومضاعفات المعدلات للأمطار الستراتوسفيرية وأمطار الحمل والثلج والبَرَد تشتق من القياسات.

ومن المفيد أن نذكر أيضاً أنه سواء بالنسبة لخسارة التغطية أو التقدير المفرط في معدل المطر، فإن معايير الحماية المتفق عليها حالياً التي هي I/N dB 10– تمثل نسبة تدني في أداء الرادار تتراوح بين 7 و11 بالمائة، وهي تساوي النسب المتفق عليها عموماً في جميع خدمات الاتصالات الراديوية.

ويرد في الشكل 4-12 مثال على أثر التداخل المستمر على قياس الهطول للرادار. وينبغي التشديد على أنه بالرغم من التداخل المستمر فإن التباين في الأثر يعود إلى دوران الهوائي، والتداخل الأقصى (بالأخضر في الصورة) تم تحديده في زاوية السمت لمصدر التداخل.

الشكل 4-12

مثال للتداخل على قياس الهطول لرادار الطقس



Meteo-0 4-12

3.2.10.2.4 قياس الريح

في حالة قياسات دوبلر، يختلف تقييم أثر التداخل المستمر نوعاً ما، ويرتبط بشكلٍ خاص بكيفية تعديل طور الإشارة الدخيلة لطور الإشارة المطلوبة مما يؤثر على قياسات الريح المستخلصة.

وليس من السهل تحديد هذه الفرضية الأخيرة، لأنها تقترن بالإشارة و/أو بالبيئة، غير أنه يقترح الإمعان في مختلف الحالات التالية:

– *الحالة 1* – إذا كان طور الإشارة الدخيلة التي كشفها الرادار عشوائياً، معنى ذلك أن المتجه الناتج عن ذلك يساوي إحصائياً صفراً، مهما كان مستواه. ومن الناحية النظرية لن يكون لذلك أي أثر على قياسات الريح.

– *الحالة 2* – على عكس ذلك، إذا لم يكن هذا الطور عشوائياً وكاد يكون ثابتاً، فإنه سيؤدي إلى متجه ثابت بزجلة معينة والأثر على قياس الريح سيرتبط بالطور وزجلة هذا المتجه في نفس الوقت. غير أنه ليس من السهل تحديد مثل هذا الأثر حتى بالنسبة للتداخل المستمر، لهذا يُستغنى عن تحديده عند هذا الحد.

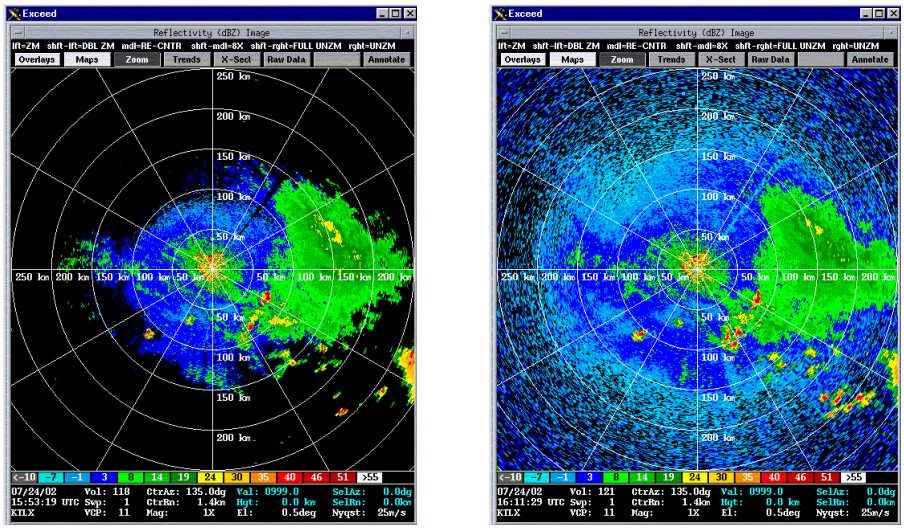
وعلاوةً على ذلك، يمكن أن يُفترض أيضاً إن كان مستوى التداخل أقل بكثير من الإشارة المطلوبة، فإن طور هذه الأخيرة لا يعدل، في حين إذا وقع العكس إذا كانت الإشارة الدخيلة أعلى بكثير، فإن الطور الذي يكشفه الرادار سيكون طور الإشارة الدخيلة. وفي هذه الحالة الأخيرة، تبقى المناقشة قائمة بشأن الحالتين 1 و2 أعلاه. أما ما بين الحالتين، مثلاً عندما تتساوى الإشارة الدخيلة بالإشارة المطلوبة، يكون من الصعب أن نعرف أياً من الإشارتين سيتحكم في كشف الطور.

3.10.2.4 أثر التداخل النبضي

يمكن أن يكون للتداخل النبضي أثر ملحوظ على بيانات الانعكاسية ويمكن أن ينتج بيانات مرتدة لا يمكن الاعتماد عليها لاستخراج صور الأهداف في الغلاف الجوي. ويرد مثال على ذلك في الشكل 4-13.

الشكل 4-13

مقارنة بين حالتي التداخل وعدم التداخل في قياس الهطول من رادار الطقس



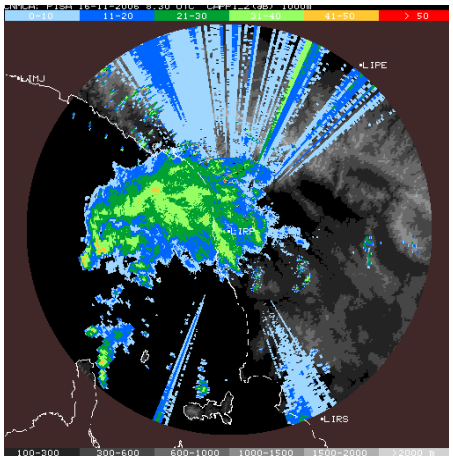
Interference free *Interference corrupted*

Meteo-0 4-13

ويمكن الاطلاع على مثال آخر لتداخل على رادار أرصاد جوية من مرسل وحيد منخفض القدرة داخل المباني وذلك في الشكل 4-14.

الشكل 4-14

التداخل على رادار الأرصاد الجوية (أسلوب قياس الهواطل)



Meteo-04 -14

4.10.2.4 التداخل من حقول الريح

وفي السنوات الأخيرة، تزايد تشييد تربينات رياح أكبر وقد زادت بشكل كبير أعداد مرافق توليد الطاقة النمطية (أو حقول الريح، بما في ذلك الكثير من تربينات الرياح). ويمكن لتربينات الرياح وحقول الرياح حتى وإن كانت بعيدة بمسافة كبيرة عن الرادارات أن تلحق الضرر ببيانات الأرصاد الجوية في مناطق شاسعة جداً وأن تؤثر بشكل لا يستهان به على التنبؤ بالطقس الآني والمستقبلي.

وللتنبؤ بالطقس بشكل دقيق، تصمم رادارات الطقس لكي توجه في اتجاه نطاق ارتفاع ضيق نسبياً. ونظراً لحساسية الرادارات، وإذا ما تم نشر تربينات الرياح على خط موقع مرفق الرادار، يمكنها أن تحجب الانتشار إلى الأمام للإشارات الرادارية مما يتسبب في انعكاس جلبة ينتج عنها إشارات رادارية ضعيفة مرتدة مستحثة من أثر الاضطراب. وقد تؤدي آليات التداخل هذه إلى تقديرات زائفة للرادار بشأن تراكم الهواطل وعلامات زائفة بشأن الأعاصير والنوّات والخطأ في تحديد سمات العواصف الرعدية والتعريف الخطأ لخلية العاصفة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لآليات التداخل هذه أن تؤدي إلى انحطاط في أداء الرادار والتأثير بالسلب على عمليات التنبؤ والإنذار. وهناك ثلاث آليات يمكن أن يحدث الخلل في الداء من خلالها، وهي التقنيع والجلبة والانتشار العكسي.

1.4.10.2.4 التقنيع

يمكن أن يكون للتضاريس الجغرافية الفاصلة بين الرادار والهدف أثر مظلل أو مكون لقناع. ويمكن لتربينات الريح وفقاً لحجمها أن يكون لها آثار مظللة. وتختلف هذا الآثار باختلاف أبعاد التربينة ونوع جهاز رادار الإرسال والنسبة الباعية للتربينة بالنسبة للرادار (ارتفاعها وزاوية ريشتها وسرعة الدوران وموقع التوربينة بالنسبة إلى الرادار).

2.4.10.2.4 الجلبة

يمكن أن تعود إلى الرادار إشارات من أي سطح عاكس لإشارات الرادار. وفي بعض المناطق الجغرافية، أو في ظل ظروف جوية معينة، يمكن أن يتأثر أداء الرادار سلباً بسبب الإشارات العائدة غير المرغوب فيها والتي يمكن أن تحجب الإشارات المفيدة. وتعرف هذه الإشارات غير المرغوب فيها بالجلبة الرادارية. وبالنسبة للمتخصص في الأرصاد، إذا كانت تربينة رياح أو عدة تربينات قريبة من موقع رادار الطقس، فقد يؤثر ذلك سلباً على عمليات هذا الرادار.

وتتسم إشارات الجلبة الأرضية بانعكاسية كبيرة، وبزحزحة دوبلر تكاد تقترب من الصفر وبسعة طيف صغيرة كما يمكن تحديد موقعها بشكل متسق. ويعتبر التداخل بسبب تربينات الريح تحدياً أكثر صعوبة مقارنة بالجلبة الأرضية (GC) الشائعة، لأن الانعكاسات ستصل من البرج (موقعه ثابت) ومن الريشات (موقعها غير ثابت) معاً. وإسوةً بالجلبة الأرضية، ينبغي لإشارة الجلبة من تربينة الريح (WTC) أن يكون لها مع ذلك انعكاسية كبيرة مع إمكانية التشكيل بسبب دوران الريشة مما يؤدي إلى تباين في مقطع الرادار.

وتتأثر زحزحة دوبلر بعناصر متعددة، بما فيها سرعة دوران الريشة واتجاه العنصر الدوار بالنظر إلى حزمة الرادار. وينبغي للسرعات المقيسة بدوبلر أن تكون في أقصاها عندما تكون زاوية العنصر الدوار تساوي 90 درجة من مدى رؤية الرادار أو تقرب من الصفر عندما يكون العنصر الدوار إما في اتجاه الرادار أو عكس ذلك. وبما أنه من المحتمل أن يشمل حجم استبانة الرادار هيكل تربينة الريح بكاملها، من المتوقع أن تتمدد عرض الطيف بشكل كبير. وسبب ذلك هو دوران الريشة باتجاه الرادار وعكس ذلك. أما التربينات المتعددة في حجم استبانة واحد فسيزيد من حدة هذا الأثر.

3.4.10.2.4 طاقة الانتشار العكسي من الدوامات المضطربة

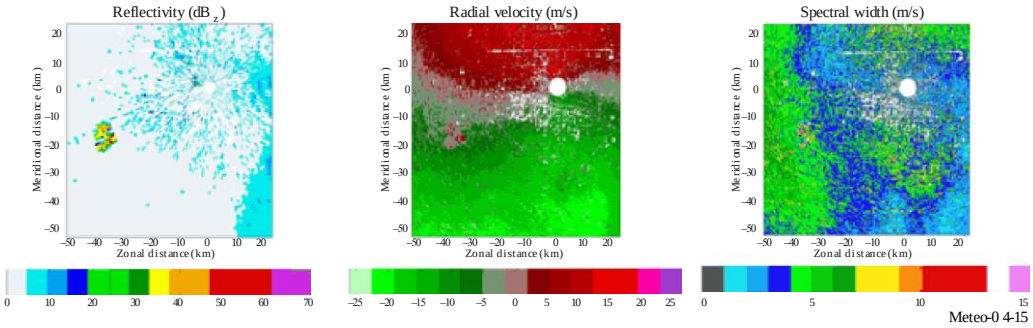
وبالإضافة إلى إشارات الجلبة من تربينة الريح (WTC) الناجمة عن الانعكاسات من تربينات الريح القائمة، يمكن رصد طاقة الانتشار العكسي من الدوامات المضطربة عند يقظة حقل الريح. ومن المتوقع أن تتسم عناصر الصدى هذه بخصائص تشبه الانتشار العائد في الجو الصافي من التقاطعات في مؤشر الانكسار على سلم براج (Bragg) للرادار. وسينحرف هذا الصدى الناجم عن هذه اليقظة داخل حقل الريح ومن المحتمل أن يكون له انعكاسية أقل بكثير مقارنة بالانعكاسات المباشرة من التربينات. ومع ذلك يمكن أن تكون سبباً في توسيع رقعة تغطية الرادار الخاضع لأثر الجلبة من تربينة الريح (WTC) وهذا سيزيد من حدة المشكلة.

4.4.10.2.4 أمثلة عن التشويس من تربينة الريح

ورد مثالان عن التداخل من حقول الريح[6] في الشكل 4-15 [Palmer and Isom, 2006]. وكما يتوقع، يكون للانعكاسية قيم عالية تناهز 45 dBZ مع سعة طيف كبيرة من حين لآخر تزيد عن 10 m/s. وتظهر بشكل واضح في الجنوب الغربي منطقة صغيرة نسبياً تسجل انعكاسية كبيرة، وتتطابق مع موقع حقل الريح الذي يقع على بعد 45 km تقريباً عن موقع رادار الطقس.

الشكل 4-15

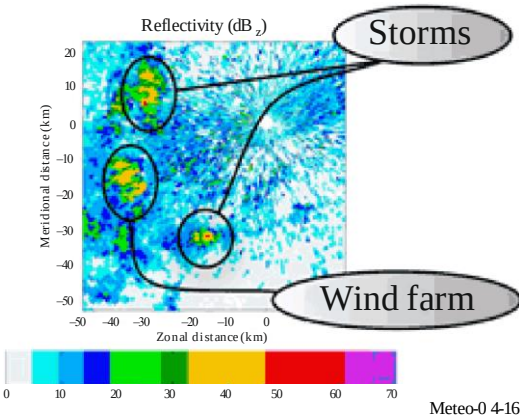
أمثلة عن التداخل من حقل الريح مع رادار الطقس في ظروف الجو الصافي



ويبين الشكل 4-16 حقل الريح نفسه أثناء عاصفة رعدية.

الشكل 4-16

مثال على التداخل من حقل الريح وأثره على الانعكاسية أثناء عاصفة رعدية محددة

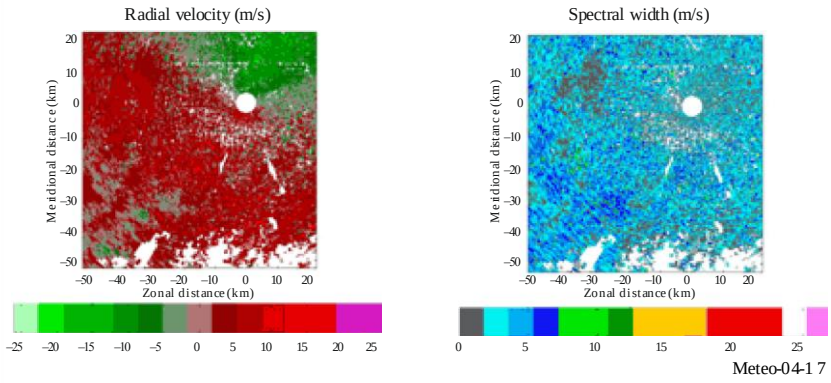


ومن الصعب جداً التمييز بين التشويش من تربينة الريح (WTC) والعواصف الرعدية دون سابق معرفة بذلك. وبما أن الريشات تدور باتجاه الرادار وبعيداً عنه، فقد نتوقع متوسط سرعة مقاسة بدوبلر تكاد تقرب الصفر. وتساهم بطبيعة الحالة عرض الطيف الكبيرة في تدني دقة القياس المقدر لسرعة دوبلر كما يظهر ذلك في الشكل 4-17 بواسطة الانحرافات الصغيرة عن الصفر.

6 حقول الريح هي مجموعة من تربينات الريح تستعمل لتوليد الطاقة.

الشكل 4-17

أمثلة عن بيانات السرعة المقدرة المقيسة بدوبلر أثناء عاصفة رعدية



5.4.10.2.4 أثر التشويش من تربينة الريح (WTC) على عمليات الرادار الخاصة بالأرصاد الجوية وعلى دقة التنبؤ

أثبتت الدراسات الميدانية الحديثة أثر التشويش من تربينة الريح (WTC) على رادارات الطقس. قد بينت هذه الدراسات أن حقول تربينات الريح يمكن أن يكون لها أثر كبير على رادارات الأرصاد الجوية ويمكنها بالتالي أن تضر بدقة كشف الظواهر المناخية القاسية.

كما أظهرت هذه التحاليل بشكل واضح أن التشويش الصادر عن تربينة الريح يكون حاضراً في قطاع شاسع (عشرات الدرجات) مقارنة مع اتجاه تربينة الريح حتى على مسافات كبيرة نوعاً ما. ولهذا لا ينبغي الاستخفاف بأثر تربينات الريح على عملية الانعكاس لرادارات الطقس.

وقد أثبت التحليل بشكل خاص أن تأثير تربينة واحدة على رادارات دوبلر للطقس له وقع كبير ولو كانت المسافة تساوي عشرات الكيلومترات. وينبغي التأكيد أنه إذا ما كانت المسافة تقل عن 10 km، فإن جميع بيانات الرادار تكون خاطئة في كل سمت، حتى على 180 درجة من القطاع الذي يوجد فيه حقل الريح.

وهناك حاجة لبعض أساليب الحد من التشويش من تربينة الريح (WTC) لحماية الرادارات من التداخل الضار من حقول تربينات الريح. وقبل تحديد الاستنتاجات النهائية الخاصة بأساليب الحد من التشويش من تربينة الريح، هناك حاجة لدراسات إضافية لظاهرة التشويش من تربينة الريح لفهم مدى هذه الظاهرة ووقعها على رادارات الأرصاد الجوية. وبعد ذلك، يمكن تطوير الأساليب الكفيلة بالتخفيف من حدة التشويش من تربينة الريح، لا سيما وأنه من المتوقع أن تزداد نظم توليد الطاقة المستمدة من الرياح.

وفي انتظار ما ستخلص إليه نتائج الدراسات السارية بشأن الحد من التشويش من تربينة الريح (WTC) فإن الحلول الراهنة لتفادي أثر حقول الريح أو الحد منه هو ضمان مسافة فاصلة بين النظامين. على سبيل المثال، تدرس بعض البلدان الأوربية التوصيات التالية:

1 لا يمكن نشر تربينة الريح على مسافة من هوائي الرادار يكون أقل من:

- 5 km للرادارات العاملة في النطاق C
- 10 km للرادارات العاملة في النطاق S

2 وأن مشاريع حقول الريح ينبغي أن تخضع لدارسات الوقع عندما تتعلق بمدى أقل من:

- 20 km للرادارات العاملة في النطاق C
- 30 km للرادارات العاملة في النطاق S.

11.2.4 أوجه قصور النظم التي تتقاسم الطيف مع رادارات الطقس

وجرت الإشارة أعلاه إلى أن قدرة جهاز الإرسال وكسب الهوائي لرادارات الأرصاد الجوية يكونان عادةً كبيرين للتعويض عن طول المسار (عادةً dBW 100 ذروة .e.i.r.p). وتؤدي هذه الخصائص إلى الزيادة في المدى الذي يمكن أن يتسبب الرادار فيه في التداخل مع نظم أخرى على نفس التردد (مع ضمان سعة قناة الرادار اللازمة). وهناك حالات لم تبق فيها وصلات الرادار والموجات الصغرية متوائمة بعد أن تعايشت لبعض الوقت، بعد أن تحول نظام الموجات الصغرية من التجهيزات التماثلية إلى الرقمية مع ما لذلك من أثر كبير على التداخل النبضي.

12.2.4 الاتجاهات المستقبلية

جاري حالياً تنفيذ تحديثات العتاد الرئيسية على أنظمة رادارات الأرصاد الجوية بالإدارات المختلفة. ويتمثل التحسين المستمر في إدخال الرادار ثنائي الاستقطاب، حيث سيضاف الاستقطاب الرأسي إلى الموجات الرادارية الأفقية المستخدمة حالياً. وحتى 2016، تم تحديث جميع الرادارات NEXRAD في الولايات المتحدة ونصف الرادارات OPERA تقريباً في أوروبا، حيث أصبحت ثنائية الاستقطاب.

كما أن هناك تقنيات إضافية قيد التنفيذ لزيادة تحسين أداء رادارات الأرصاد الجوية. وأبرز هذه التقنيات عبارة عن خوارزميات مختلفة لتحليل مظاهر الالتباس في المدى/السرعة ولزيادة سرعة الاستحواذ بالنسبة للبيانات والحد من تأثير الأخطاء البشرية وتقليل الجلبة والمعالجة الفعالة للإشارات لتوفير تقديرات أرصاد جوية تكون دقيقة بقدر الإمكان. ومن بين المساعي الأخرى الاستعمال المشترك لكل من رادارات الأرصاد الجوية ورادارات تحديد الخصائص. وهناك جهد لا بأس به موجه للدراسات المتعلقة بالبرق وأخطاره لتحديد إمكانية التنبؤ ببدايته ونهايته.

وقام الباحثون بتكييف تكنولوجيا رادار الصفيف المتطاور، المتحد في الطور، لاستعمالها في تطبيقات مراقبة الطقس. وسيستعاض في رادار الصفيف المتطاور عن الهوائيات الطبقية المكافئية ذات التوجيه الميكانيكي بهوائي صفيفي بتوجيه إلكتروني. وسيوفر هذا التغيير المزيد من استراتيجيات المسح المرنة وزيادة في سرعة تحديث ظروف الطقس المتغيرة. وقد أثبتت الاختبارات المبكرة لنظام رادار الصفيف المتطاور إمكانياته الواعدة. وستزيد تكنولوجيا الصفيف المتطاور من الفهم الجوهري لتطور العاصفة وهو ما يؤدي بدوره إلى تحسين النماذج الحاسوبية وزيادة دقة التنبؤات والتبكير أكثر بالنسبة للإنذارات. كما أن هذه التكنولوجيا تنطوي على إمكانية زيادة متوسط مهلة الإنذار بالنسبة للأعاصير بحيث تزيد كثيراً عن المتوسط الحالي والذي يبلغ 13 دقيقة. ولا توجد تغييرات بالنسبة لقدرة خرج المرسل أو للمتطلبات الخاصة بالطيف في أنظمة الهوائيات الحالية مقارنة بالصفيفات المتطاورة. ويجرى تنفيذ تحسينات النظام بشكل اقتصادي أكبر عبر إدخال تحسينات على المستقبل وعلى أنظمة المعالجة الفرعية للإشارة. وهناك احتمال ألا يُعاد في التحديث الخاص بالصفيف المتطاور (حال تنفيذه) استعمال المرسل الحالي، حيث سيستعاض عنه بوحدات إرسال/استقبال موزعة في الصفيف المتطاور. وقد تم النظر في إمكانية تنفيذ رادار الأرصاد الجوية ذي الصفيف المتطاور في بعض المناطق.

وهذا الاحتمال لا ينطبق على نشر أنظمة رادارات الطقس للنطاق X التابعة لمركز الاستشعار الجوي التكيفي التعاوني (CASA) العاملة في حدود الجزء 8 000 إلى 12 000 MHz من الطيف الترددي. وقد أنشأت مؤسسة العلوم الوطنية مركز أبحاث هندسية جديداً من أجل الاستشعار الجوي التكيفي التعاوني (CASA) في سبتمبر 2003 لتطوير رادارات صغيرة منخفضة التكلفة من أجل الاستشعار عالي الاستبانة لطبقات الجو الأدنى. وتتسم ظروف الأرصاد الجوية في طبقات الجو الأدنى بالانخفاض الكبير في كم العينات وبكبح التنبؤات وبدء نموذجي في منطقة تكوُّن العواصف. ورادارات CASA ذات الكثافة الفضائية الكبيرة سيكون لديها إمكانية اكتشاف أنماط الطقس المتطورة في منطقة الطبقات الأدنى التي تقع عادةً أسفل مناطق التغطية للرادارات الدوبلرية العاملة حالياً (أي في الثلاثة كيلومترات الأدنى). وستوضع رادارات CASA على أبراج الهواتف الخلوية أو البنى التحتية الأخرى القائمة ذات القدرات العالية في إرسال البيانات. وخلافاً لشبكات الرادار المبرمجة مسبقاً الحالية، تقوم رادارات CASA التعاونية بالاتصال ببعضها وتقوم بتكييف استراتيجيات الاستشعار الخاصة بها في استجابة مباشرة للطقس المتطور والاحتياجات المتغيرة للمستعمل النهائي. ويمكن دمج بيانات هذه الرادارات ضمن نماذج عددية للتنبؤ بالطقس لتوليد بيانات أكثر اكتمالاً.

وينبغي في نهاية المطاف الإشارة إلى المشروع SENSR في الولايات المتحدة الذي سيتم فيه الجمع بين رادارات الطقس ورادارات مراقبة الحركة الجوية (على أساس أولي وثانوي) في نظام راداري واحد (نهج نظام يصلح لجميع الأغراض).

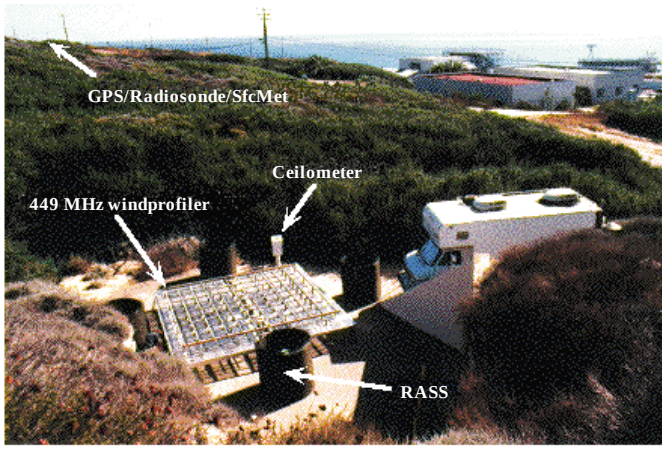
ولسوف يلزم تتبع هذه الاتجاهات المستقبلية، فمع تطور التكنولوجيات سيكون لهذه الاتجاهات تأثير على أي استراتيجيات مستقبلية لتخفيف التداخل وعلى تحديد معايير الحماية.

3.4 رادارات تصوير الريح (WPR)

تستعمل رادارات تصوير الرياح للحصول على المقاطع العمودية للريح في المناطق غير الآهلة وفي بعض الأحيان في المناطق النائية وذلك بواسطة كشف الجزيئات الدقيقة من الطاقة المتناثرة العائدة بعد إرسالها من الاضطراب في الجو الصافي. ويمثل الشكل 4-18 صورة لمنشأة رادارية لتصوير الريح.

الشكل 4-18

صورة لمنشأة رادارية لتصوير الريح



Meteo-04-14

ومن مزايا رادارات تصوير الريح مقارنة مع نظم قياس الريح الأخرى، قدرتها على مراقبة حقل الريح بشكل متواصل. وعلاوةً على ذلك، يمكن استعمالها أيضاً لكشف الهطول وقياس السمات الرئيسية في حقل السرعة العمودية (أمواج الجاذبية والحمل الصاعد)، وتقدير اضطراب الشدة واستقرار الغلاف الجوي. كما يمكنها أن توفر معلومات مفصلة عن المواصفة الرأسية لدرجات الحرارة الافتراضية للجو من خلال إضافة نظام الرصد الراديوي–الصوتي (RASS)[7].

1.3.4 احتياجات المستعمل

كطريقة جيدة لدراسة أثر متطلبات المستعمل على بارامترات التشغيل لجهاز تصوير الريح وتصميمه، يمكن أن نستعرض المعادلة البسطة التالية القائمة على [Gossard and Strauch, 1983]:

$$SNR = \text{const} \frac{\overline{P}_t A_e \Delta_z \lambda^{1/6} t_{obs}^{1/2}}{T_{sys}} \frac{C_n^2}{z^2} \quad (12\text{-}4)$$

[7] يستعمل نظام الرصد الراديوي–الصوتي (RASS) مصدراً صوتياً مطابقاً في التردد لكي يتطابق طول الموجة للموجة الصوتة مع نصف طول الموجة للموجة الكهرمغنطيسية التي يرسلها الرادار (شرط براغ). ويقيس نظام الرصد اللاسلكي–الصوتي سرعة الموجة الصوتية التي ترتبط بدراجات الحرارة. وبهذه الطريقة فإن نظام الرصد الراديوي–الصوتي يوفر قياساً عن بُعد لدرجات الحرارة الافتراضية للغلاف الجوي.

حيث:

$\overline{P_t}$:متوسط القدرة المرسلة (بالواط)

A_e:الفتحة الفعلية (بالدرجات)

Δ_z:استبانة الارتفاع (بالأمتار)

z:الارتفاع (بالأمتار)

λ:طول الموجة (بالأمتار)

t_{obs}:وقت الرصد (تحديد المتوسط) (بالثواني)

T_{sys}:درجة حرارة ضوضاء النظام (بالكلفن)

C_n^2 :بارامتر الهيكل (بدون أبعاد).

وهذه المعادلة صالحة فقط في شبه المدى العطالي للاضطراب الجوي. ويقلص هيكل الاضطراب الجوي بالفعل بشكل مادي من مدى طول الموجات لرادار تصوير الرياح القابل للاستعمال إلى نحو 10-0,2 m (30 إلى 500 1 MHz). ويلاحظ أن الاضطراب يتبدد بسرعة بسبب الحرارة الناجمة عن اللزوجة تحت الحد الأدنى لشبه المدى العطالي. ولهذا السبب لا يمكن استخدام أطوال الموجة الأقصر في تصوير الرياح نظراً لعدم وجود تغايرات قابلة للقياس في مؤشر الانكسار في المقياس بالغ الصغر.

وتعد معلمة هيكل مؤشر الانكسار مستقلة عن التردد داخل مدى براغ ذي الصلة لأطوال الموجة المحدد بحدي شبه المدى العطالي، غير أنها تعتمد بشدة على الارتفاع. ويوجد كل ما يتبقى من اعتماد على التردد تقريباً في عنصر طول الموجة، حيث تتضمن درجة حرارة ضوضاء النظام مساهمة هامة من الضوضاء الكونية بالنسبة لأطوال الموجة التي تزيد عن 1 m.

ويخفض حاجة المستعمل للاستبانة الزمنية العالية نسبة الإشارة مقابل الضوضاء بتخفيض الوقت المتوسط. يمكن استيفاء الطلب بانتقاء تركيبة من تركيبات العناصر التالية:

- فتحة واسعة؛
- قدرة ذروة عالية وتردد عال لتكرار النبضات (PRF) للزيادة من القدرة المتوسطة؛
- موجة طويلة؛
- عمليات على مدى ارتفاعات قرب الرادار حيث تردد تكرار النبضات (PRF) لا يؤدي إلى مشاكل إبهام في المدى، والتناثر العائد ومعكوس مربع الارتفاع في الغلاف الجوي يتسمان بالاتساع نسبياً.

ويخفض حاجة المستعمل للاستبانة العمودية العالية نسبة الإشارة مقابل الضوضاء بالمطالبة بالنبضات القصيرة وبتخفيض القدرة المتوسطة نتيجة لذلك. وتستدعي الاستبانة العمودية العالية سعة نطاق كبيرة. ويمكن استيفاء هذا الطلب بانتقاء تركيبة من تركيبات العناصر التالية:

- فتحة واسعة؛
- قدرة ذروة عالية وتردد عال لتكرار النبضات (PRF) وضغط النبضة للزيادة من القدرة المتوسطة؛
- موجة طويلة؛
- عمليات على مدى ارتفاعات قرب الرادار حيث تردد تكرار النبضات (PRF) لا يؤدي إلى مشاكل إبهام في المدى، والتناثر العائد ومعكوس مربع الارتفاع في الغلاف الجوي يتسمان بالاتساع نسبياً.

وينبغي الإشارة إلى أن ضغط النبضة (للزيادة من طول النبضة) يعني أن بوابة المدى الأكثر انخفاضاً ينبغي أن يُزاد في ارتفاعها.

ويخفض حاجة المستعمل للحصول على بيانات الريح في الارتفاعات العالية نسبة الإشارة مقابل الضوضاء بتخفيض الارتفاع العكسي التربيعي وتقليص بارامتر الهيكل وفقاً للارتفاع، ولو لم يكن ذلك جلياً في المعادلة، وضغط شبه المدى العطالي من طول الموجة القصيرة (التردد العالي) لينتهي بزيادة الارتفاع. ويمكن استيفاء هذا الطلب بانتقاء تركيبة من تركيبات العناصر التالية:

- فتحة واسعة؛
- قدرة ذروة عالية وتردد عال لتكرار النبضات (PRF) وضغط النبضة للزيادة من القدرة المتوسطة؛
- موجة طويلة؛
- فترات متوسطة طويلة.

وتستدعي حاجة المستعمل لجميع العمليات المتصلة بالطقس التي يمكن أن يعول عليها نسبة ملائمة للإشارة مقابل الضوضاء في ظل ظروف التناثر المنخفض في الغلاف الجوي. ومن الحالات التقليدية، تحدر الإشارة إلى فترات الرطوبة المنخفضة في فصل الشتاء وفي حالات الاضطراب المنخفض، أي في قلب التيارات jet streams على ارتفاعات تتراوح بين 10 و15 km. ويمكن استيفاء هذا الطلب بانتقاء تركيبة من تركيبات العناصر التالية:

- نطاق التردد؛
- قدرة متوسطة عالية وفتحة هوائي واسعة؛
- حساسية أكبر لجهاز الاستقبال؛
- مستوى منخفض من التداخل ومن الضوضاء.

2.3.4 الجوانب التشغيلية وتلك المتصلة بالتردد

تعتبر الهوائيات واسعة الفتحة ومتوسط القدرة العالي التي يتم إرسالها باهضة الكلفة. ويمثل الهوائي ومضخم القدرة لرادارات تصوير الرياح في غالب الأحيان أكثر من نصف إجمالي كلفة التجهيزات المركبة. ولهذا فإن المستجدات التكنولوجية في هذه المجالات تعتبر خيارات باهظة التكلفة لتحسين الأداء.

غير أنه في حالة فتحة الهوائي، يوجد عنصر آخر ينبغي أن يراعى، خاصة وأنه يحدد الحجم الأدنى. وتعمل رادارات تصوير الرياح على أرجحة الحزمة الرئيسية بشكل متعاقب في ثلاثة اتجاهات مستقلة على أقل تقدير. وتستخدم الأنظمة الحالية عادةً زاويتي سمت أو أربع زوايا متعامدة على ارتفاع تبلغه زاويته 75 درجة وغالباً بشكل عمودي للحصول على البيانات. وتسمح التصميمات الأحدث للهوائيات بمرونة أكبر إلى حد كبير في توجيه الحزم. وينبغي أن يكون عرض الحزمة ضيقاً بما يكفي لتحديد مواقع الحزمة المتعددة. ويستخدم عرض حزمة بالكامل يبلغ 3 dB بزاوية تتراوح بين 5 و10 درجات ويقابل كسب الهوائي الذي يتراوح بين 33 و27 dBi، على الترتيب. ويحدد الكسب الفتحة الفعلية بواسطة المعادلة التالية (13-4):

$$A_e = 10^{G/10}\,\lambda^2/4\pi \qquad (13\text{-}4)$$

ولا يمكن اختيار ترددات رادارات تصوير الرياح بحُرية نظراً للتداخل والازدحام في طيف الترددات الراديوية وما ترتب عن ذلك من لوائح تنظيمية. وهناك بعض التطبيقات التي تتطلب موارد كبيرة من الطيف مثل رادار MU في اليابان والرادارات في مدى الإطلاق الشرقي والغربي بالولايات الأمريكية المتحدة، والتي أدت إلى استعمال رادارات ترصد مساحات شاسعة (000 10 m^2) لها قدرة كبيرة (250 kW أو أكثر في الذروة، 12,5 kW أو أكثر في المتوسط) وبنبضة قصيرة (1 µs) وتُشغل زهاء 50 MHz. وشغل الباحثون أجهزة تصوير الرياح على أساس ينحي التداخل في ترددات تتراوح بين 40 و70 MHz.

وقد صممت أجهزة تصوير الرياح العاملة في ترددات تتراوح بين 400 MHz و500 MHz لكي تقوم بما يلي:

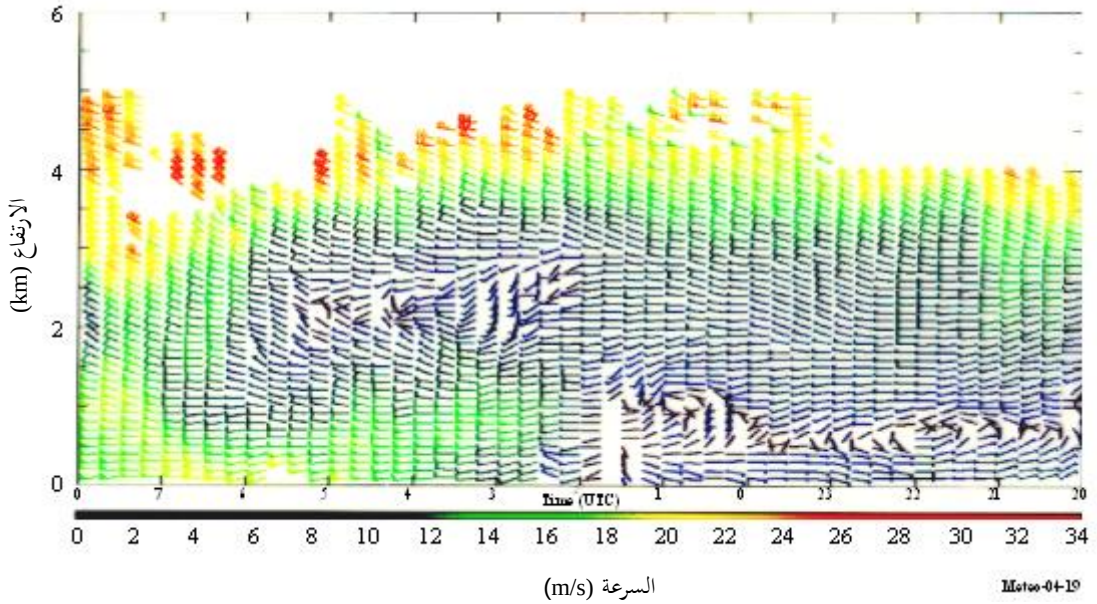
- قياس مقاطع للرياح على ارتفاع يتراوح بين نصف كيلومتر و16 km فوق الرادار باستبانة عمودية تبلغ 150-250 متراً في الارتفاعات المنخفضة و300-000 1 متر في الارتفاعات العليا واستعمال هوائيات يبلغ كسبها 32-34 dBi.
- يتراوح متوسط القدرة بين 500 و000 2 واط في الارتفاعات المنخفضة والارتفاعات العليا على التوالي.
- تعمل بعروض نطاقات لازمة تبلغ أقل من 2 MHz.

وعند الزيادة في التردد الذي يعمل فيه رادار تصوير الرياح، يتيح ذلك درجة أكبر من الاستبانة في القياسات على حساب تخفيض قياسات الارتفاع بشكل عام. ولهذا، فإن أجهزة تصوير الرياح العاملة في 915 MHz و270 1-375 1 MHz، تعتبر عموماً على أنها أجهزة التصوير في الطبقات الحدودية لقدرتها على قياس البيانات الوصفية للرياح فقط في الكيلومترات القليلة الدنيا من الغلاف الجوي. وتقوم بهذه العمليات باستبانة عمودية تبلغ 100 متر تقريباً وباستعمال هوائيات يبلغ كسبها أقل من 30 dBi ومتوسط قدرة يبلغ زهاء 50 واط عند التشغيل بعرض النطاق الضروري البالغ 2,5 MHz تقريباً.

وهذا مثال على نظام متنقل لتصوير الرياح يعمل على 924 MHz ويقدم بيانات متقاطعة بشأن سرعة الرياح مقابل الارتفاع (الشكل 4-19). يمثل اتجاه كل شعاع اتجاه الريح حسب الارتفاع (المحور العمودي) والوقت (المحور الأفقي) في حين يمثل اللون سرعة الرياح.

الشكل 4-19

سرعة الرياح مقابل الارتفاع



3.3.4 المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف

رادارات تصوير الرياح هي نظم مقامة على الأرض لها هوائيات بارتفاع يتراوح بين متر ومترين ولها حزمة عمودية الاتجاه. وتمثل الفواصل الجغرافية والتضاريس حماية فعلية من التداخل من أجهزة تصوير أخرى أو إلى هذه الأجهزة. ويمكن لشبكة من رادارات تصوير الرياح بكلفة معقولة أن تعمل على نفس التردد إذا كانت متباعدة بمسافة 50 km على الأقل على مستوى الأرض وبعيدة عن التضاريس الوعرة أو المناطق كثيفة الأشجار. وفي ظل هذه الظروف يمكن أن تكون هذه الرادارات متوافقة مع أغلب الخدمات الأخرى المقامة على الأرض.

ومن المعهود بشكل عام أن هناك حاجة لعرض نطاق تتراوح بين 2 و3 MHz قرب 400 MHz و2,5 MHz قرب 1 000 MHz أو 1 300 MHz، ويمكن الافتراض أن أحكام القرار **217 (WRC-97)** الصادر عن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 1997 أدناه كافية لاستيفاء هذه الاحتياجات:

"... يحث الإدارات على وضع رادارات لتصوير الرياح بصفتها نظماً لخدمة التحديد الراديوي للموقع في النطاقات التالية، مع مراعاة إمكانية انعدام التوافق مع خدمات وتخصيصات أخرى لمحطات في هذه الخدمات، آخذين بذلك في الاعتبار مبدأ الفصل الجغرافي، ولا سيما بالنظر إلى بلدان الجوار وآخذين في الحسبان فئة الخدمة لكل خدمة من هذه الخدمات:

- 68-46 MHz وفقاً للرقم **162A.5**
- 450-440 MHz
- 494-470 MHz وفقاً للرقم **291A.5**
- 928-904 MHz في الإقليم 2 فقط
- 1 295-1 270 MHz
- 1 375-1 300 MHz؛"

"... وأنه إذا كان من المستحيل تحقيق التوافق بين رادارات تصوير الرياح وتطبيقات راديوية أخرى عاملة في النطاق 450-440 MHz أو 494-470 MHz، يمكن النظر في استعمال النطاقين 420-435 MHz و438-440 MHz؛"

4.3.4 جوانب التقاسم المتصلة بأجهزة تصوير الريح

وقد تم انتقاء النطاقات التي تستعملها أجهزة تصوير الرياح في المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 1997 بعناية كبيرة تفادياً لاحتمال التداخل بينها وبين المستعملين الآخرين لهذه النطاقات. وقبل تحديد النطاقات التي خصصت لرادارات تصوير الرياح، تم إقامة شبكة تجريبية في النطاق 406-400,15 MHz. وأثبتت الاختبارات على أن تشغيل الرادارات في هذا النطاق يحدث تداخلاً على خدمة COSPAS-SARSAT.

ونتيجة لذلك، يحدد القرار **217 (WRC-97)** الطيف الذي يتعين استخدامه في رادارات تصوير الرياح، وينص صراحةً على أن رادارات تصوير الرياح لا ينبغي أن تستعمل النطاق 406-400,15 MHz. وأتاحت هذه الشبكة التجريبية توفير معلومات هائلة بشأن التوافق بين رادارات تصوير الرياح وخدمات أخرى. وتساوي الكثافة الطيفية (e.i.r.p.) لرادارات تصوير الرياح في الاتجاه الأفقي:

- 18– dB(W/kHz) عند التردد المركزي (449 MHz)
- 36– dB(W/kHz) على بعد 0,5 MHz
- 55– dB(W/kHz) على بعد 1 MHz
- 70– dB(W/kHz) على بعد 2 MHz
- 79– dB(W/kHz) على بعد 4 MHz.

وعندما تقرن هذه القيم المنخفضة بارتفاعات الهوائي المنخفضة وبخسارة المسار المتناسبة مع $1/r^4$ للانتشار على سطح الكرة الأرضية، فإن ذلك يساعد على أن يجعل من الفاصل الجغرافي أداة فعالة جداً للتقاسم.

غير أنه في الحزمة الرئيسية تكون الكثافة الطيفية للقدرة المشعة المكافئة المتناحية أكبر بمقدار 57 dB، ونتيجة لذلك، تكون أجهزة الاستقبال من المركبات الفضائية وتلك القائمة على السواتل عرضة لمستوى أكبر بكثير من التداخل. وتتفاقم المشكلة بسبب خسارة المسار المتناسبة مع $1/r^2$. وأظهرت الجهود الرامية إلى التخفيف من حدة المشكلة المتصلة برادارات تصوير الرياح في النطاق 406-400,15 MHz أن التشكيل الذي تستعمله رادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 404 MHz له وقع كبير على

خصائصها المتعلقة بالتقاسم. ويتم تشفير النبضات حالياً حسب الطور لتمييز "العنصرين" أو "العناصر" الثلاث في كل نبضة لتحقيق ضغط النبضة. ولو انعدم التشفير الإضافي، فإن الطيف المرسل سيتخذ شكل خطوط يفصلها تردد تكرار النبضات (PRF). غير أن عنصراً واحداً من سلسلة شفرة الطور شبه العشوائية التي يبلغ طولها 64 بت تم فرضه على كل نبضة على التوالي بشكل جعل خطوط الطيف تظهر على فترات فاصلة لتردد تكرار النبضات (PRF)/64 مع تخفيض قدرات الخط بمعامل 64. علاوةً على ذلك، يتم إطفاء أجهزة إرسال رادار تصوير الرياح بفضل مراقبة الحاسوب كلما ظهر ساتل لخدمة COSPAS-SARSAT في زاوية تبلغ أكثر من 41 درجة فوق أفق رادار التصوير. (وبما أن عدد هذا النوع من السواتل قليل جداً، لا يؤثر هذا إلا قليلاً على فقدان بيانات أجهزة تصوير الرياح).

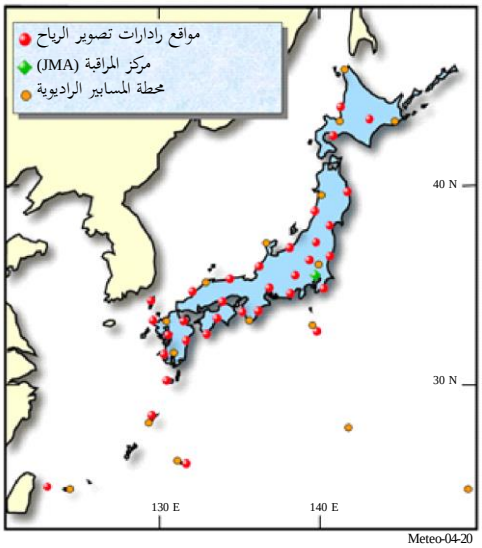
وينبغي "فك" شفرة الطور المطبق على عمليات البث لجهاز تصوير الرياح في نطاق 404 MHz في جهاز الاستقبال. ونتيجة لذلك، يبدو التداخل من نظم أخرى غير نظم رادارات تصوير الرياح تداخلاً غير متسق ويشبه الضوضاء بالنسبة للرادار. ويكون الحد الأدنى لالتقاط إشارة رادار تصوير الرياح هو –170 dBm في حين يكون التداخل ضاراً عندما يصل إلى مستويات –135 dBm أو أكثر.

وهناك مثال آخر على التقاسم هو النطاق 215 1-300 1 MHz الذي خصصه المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2000 (WRC-2000) لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية. وفي هذه الأثناء، أجريت دراسات تقنية لتقييم التوافق بين نظم خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) ورادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 270 1-295 1 MHz. وتوجد نتائج هذه الدراسات في التقرير ECC Report 90. وخلص هذا التقرير إلى أن نظم خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) يمكنها في ظل ظروف معينة أن تلحق تداخلاً ضاراً بعمليات رادارات تصوير الرياح، ولا سيما تلك التي تعمل بثلاث حزمات. غير أن هذا التقرير يشير إلى قائمة من تقنيات الحد من هذا التداخل (سواء بالتجهيزات أو البرمجيات) التي يمكنها أن تساعد على تذليل هذه الصعوبات. وتشمل هذه التقنيات اختيار توجيه الهوائي أو إضافة الحزمات أو تشغيل ترددات ورادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 274 1 أو 294 1 MHz، على أصفار تشكيلات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، باعتبار هذه الأخيرة الأسهل تطبيقاً.

وتقوم وكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA) بتشغيل شبكة لرادارات تصوير الرياح وشبكة لنظام اقتناء البيانات (WINDAS) لأغراض مراقبة تطور ظواهر الطقس القاسية والتنبؤ بها. وتشمل هذه الشبكة 33 راداراً لتصوير الرياح بتردد 1,3 GHz تم نشرها على أراضي اليابان كما جرى وصلها بمركز المراقبة الذي يوجد بمقر وكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA) بطوكيو (الشكل 4-20).

الشكل 4-20

مثال لشبكة رادارات لتصوير الرياح



بعد ذلك، يتم توزيع البيانات على العالم برمته بواسطة النظام العالمي للاتصالات كما يمكن الحصول عليها من موقع الويب لوكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA): (http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html). وعلاوةً على ذلك، تضاف هذه البيانات إلى بيانات رادارات دوبلر والبيانات الصادرة عن الطائرات التجارية لتوفير "تحليل لرياح الهواء العلوي" يكون شاملاً.

الفصل الخامس

الاستشعار عن بُعد السلبي والنشيط من الفضاء لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

الصفحة

1.5 مقدمة 78

2.5 الاستشعار المنفعل بقياس الإشعاع بالموجات الصغرية 80

1.2.5 الاحتياجات من الطيف 80

2.2.5 رصد خصائص سطح الأرض 84

3.2.5 معايير الأداء 86

4.2.5 ظروف التشغيل الاعتيادية لأجهزة الاستشعار المنفعل 87

5.2.5 الخصائص التقنية الرئيسية 88

6.2.5 معايير الأداء والتداخل 89

7.2.5 القياس ثلاثي الأبعاد لبارامترات الغلاف الجوي 89

3.5 أجهزة الاستشعار النشيط 99

1.3.5 مقدمة 99

2.3.5 رادارات الفتحة الاصطناعية (SAR) 100

3.3.5 أجهزة قياس الارتفاع 101

4.3.5 أجهزة قياس الانتشار 103

5.3.5 رادارات الهواطل 104

6.3.5 رادارات تصوير مقاطع السحب 105

7.3.5 التداخل بين أجهزة الاستشعار ومعايير الأداء 106

8.3.5 مستويات كثافة تدفق القدرة (pfd) 107

1.5 مقدمة

إن سواتل الأرصاد الجوية معروفة في العديد من أنحاء العالم والصور التي تلتقطها تبث بانتظام على شاشات التلفزيون وتستنسخها الصحف الشعبية ومواقع الإنترنت. وقد اعتاد الجمهور اليوم على مشاهدة الصور الملونة على الخرائط والتي يظهر عليها غطاء السحب ودرجات حرارة السطح وغطاء الثلج وبعض ظواهر الطقس الأخرى، أو بوتيرة أقل الصور التي تعرض حرائق الغابات وما يترتب عنه من سحب الدخان ورماد البراكين ودرجات حرارة سطح البحر التي بدأ يهتم بها الجمهور بشكل كبير بسبب ظاهرة *النينيو*.

وما يسم أغلب هذه الصور هو أنها تمثل بشكل أساسي نتاج البيانات التي تسجلها أجهزة الاستشعار في الحيز المرئي وتحت الأحمر. غير أن العديد من هذه النواتج ونواتج أخرى يتم إنتاجها باستعمال مجموعة من ترددات الموجات الصغرية سواء لوحدها أو بالاقتران بقياسات على ترددات أخرى.

وليس من المعروف على نطاق واسع أن الاستشعار عن بُعد من الفضاء لسطح الكرة الأرضية وغلافها الجوي، وذلك باستعمال الترددات العالية جداً (VHF) والموجات الصغرية والمناطق العليا في الطيف، يضطلع بدور أساسي ويزداد أهمية في الأرصاد التشغيلية والبحوث المتصلة بالأرصاد الجوية، ولا سيما من أجل التخفيف من حدة الكوارث المتصلة بالطقس والمناخ وبغية التوصل إلى فهم علمي لتغير المناخ وآثاره ومراقبته والتنبؤ به.

إن التقدم المهول الذي شهده في السنوات الأخيرة تحليل المناخ والطقس والتنبؤ بهما، بما في ذلك الإنذارات بظواهر الطقس الخطيرة (المطر الغزير والعواصف والأعاصير) التي تؤثر سلباً على الأشخاص والاقتصاد، يعود بشكلٍ كبير إلى البيانات المستقاة من عمليات الرصد من الفضاء وإدماجها في النماذج العددية.

وتؤكد الدراسات الحديثة في أوروبا أن سواتل Metop التي تحمل على متنها العديد من أدوات الاستشعار عن بُعد المختلفة (منفعلة ونشيطة) تسهم بشكلٍ كبير في التنبؤ العددي بأحوال الطقس (NWP) بما يعادل 25% من الانخفاض في أخطاء التنبؤات لمدة 24 ساعة نتيجةً لعمليات الرصد التي تستوعبها النماذج في الوقت الفعلي. ونتيجةً لهذه المساهمة الكبيرة في خفض أخطاء التنبؤات، فإن جزءاً كبيراً من الفوائد الاجتماعية–الاقتصادية عالية القيمة للتنبؤ بالطقس – تقدر بنحو 61,4 مليار يورو في السنة في الاتحاد الأوروبي – يمكن أن يعزى إلى السواتل Metop برقم في حدود 4,9 مليار يورو في السنة.

وهناك فئتان من أنشطة الاستشعار عن بُعد من الفضاء المستعملة على نطاق واسع، وهما **الاستشعار المنفعل والاستشعار النشيط** اللذان يمارسان في إطار خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS)، على سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض حصراً في الوقت الراهن.

ويشمل **الاستشعار المنفعل** استعمال أجهزة استقبال من دون أجهزة الإرسال. ويتم الإشعاع الذي تبحث عنه أجهزة الاستقبال بشكل طبيعي، وعادةً على مستويات قدرة منخفضة جداً، والتي تشمل المعلومات الأساسية بشأن العمليات الفيزيائية قيد البحث. ومن المسائل الهامة، هناك ذروات الإشعاع التي تشير إلى وجود مواد كيميائية معينة، أو غياب بعض الترددات الذي يشير إلى امتصاص غازات الغلاف الجوي لإشارات التردد. وتستعمل قوة الإشارة أو غيابها في ترددات معينة لتحديد مدى تواجد بعض الغازات الخاصة (الرطوبة والملوثات هما من الأمثلة الواضحة) وما هي كميتها وموقعها. ويمكن استشعار تشكيلة واسعة من المعلومات البيئية بفضل أجهزة الاستشعار المنفعل التي تعمل في نطاقات التردد التي تحددها خصائص فيزيائية ثابتة (الرنين أو الامتصاص الإشعاعي الجزيئي) للمادة قيد الفحص والتي لا يمكن أن تستنسخ خصائصها الفيزيائية في نطاقات تردد أخرى. وقد ترتبط قوة الإشارة في تردد معين بعدة متغيرات، وتستعمل العديد من الترددات اللازمة لمطابقة العناصر المجهولة المتعددة. ويعتبر استعمال الترددات المتعددة التقنية الأولية لقياس الخصائص المختلفة للغلاف الجوي ولسطح الأرض.

ويختلف **الاستشعار النشيط** عن الاستشعار المنفعل بكون النوع الأول يشمل أجهزة الإرسال والاستقبال معاً على متن السواتل. والساتل الذي يرسل عادةً الإشارة هو نفسه الذي يستقبلها، بيد أن الحال ليس كذلك دائماً. ومن بين استعمالات الاستشعار النشيط، على سبيل الذكر وليس الحصر، قياس خصائص سطح البحر مثل علو أمواج البحر والرياح كما يمكن أن يقيس كثافة الأشجار في الغابة المدارية.

وتطرح مسألة التوافق بالنسبة لفئتي الاستشعار عن بُعد وتشمل المشاكل نفسها كتلك التي تطرح بالنسبة للخدمات الفضائية الأخرى: التداخل المتبادل بين جهاز استقبال الساتل ومحطات الإرسال بالترددات الراديوية الأخرى، سواء كانت مقامة على الأرض أو في الفضاء. ويستدعي حل هذه المشاكل تقنيات معروفة تتصل عادة بالتنسيق مع المستخدمين الآخرين على أساس الحد من القدرة وتحديد خصائص الهوائي وتقاسم الوقت والتردد.

ونذكر من بين أوجه القصور التي تسم سواتل الاستشعار المنفعل عن بُعد ولا سيما تلك التي لها عينة قياس شاسعة المساحة، أن كل قياس يمكن أن يتعرض للإشعاع المتراكم من مجموعة من أجهزة الإرسال المقامة على الأرض، سواء من داخل النطاق أو من خارجه. وإذا كان جهاز إرسال أرضي واحد لا يصدر ما يكفي من القدرة لكي يتسبب في أخطاء في قياسات الاستشعار المنفعل، فإن تجمع مجموعة من أجهزة الإرسال هذه يمكنها أن تلحق الضرر بالقياسات التي تؤخذ بسبب تراكم إشاراتها المسببة للتداخل. وهذا الأمر هو أساس الانشغالات المتصلة ببعض المسائل مثل إرسالات الخدمة الثابتة عالية الكثافة (HDFS)، أو تطبيقات النطاق العريض جداً (UWB) أو الأجهزة قصيرة المدى (SRD) أو الأجهزة الصناعية أو العلمية أو الطبية (ISM). وتكمن المشكلة في الكثافة الفضائية لأجهزة الإرسال هذه ضمن منطقة قياس بعينها إلى جانب خصائصها الفردية. ويزداد الوضع خطورة كلما زادت كثافة هذه الأجهزة الأرضية النشيطة، وقد بلغ عن بعض حالات التداخل الضار.

وتساهم العديد من المعلمات الجيوفيزيائية وعلى مستويات مختلفة في الانبعاثات الطبيعية لمعلمة محددة يتم رصدها في تردد معين. ولهذا ينبغي القيام بالقياسات في ترددات مختلفة في طيف الموجات الصغرية بشكل متزامن من أجل تحديد وسحب كل مساهمة فردية من المساهمات في الانبعاثات الطبيعية برمتها، واستخلاص البارامترات المعنية في كل مجموعة من القياسات. ونتيجةً لذلك، يمكن للتداخل الذي يؤثر على نطاق من نطاقات التردد "المنفعلة" أن يكون له بالتالي أثر على مجموع القياسات لمكون معين من مكونات الغلاف الجوي التي يتحصل عليها عبر مجموعة من الترددات المحددة.

وفي حالة أزواج أجهزة الإرسال والاستقبال، تكون طبيعة خصائص الإشارة معروفة ومن السهل نسبياً تحديد إذا ما كانت الإشارة يتم استقبالها بشكلٍ سليم أم لا. والدراسات حافلة بتقنيات تتناول أساليب كشف الأخطاء وتصحيحها في نظم الاتصالات الراديوية، غير أن هذه التقنيات تنتفي جدواها عندما تكون خصائص مختلف الإشارات التي يتم استقبالها مجهولة. وهذا ما يقع بالضبط في حالة الاستشعار المنفعل عن بُعد الذي يعتبر أكثر عرضة للتداخل بسبب الطبيعة غير المحددة للإشارة الطبيعية التي صُمم جهاز الاستشعار الطبيعي ليستقبلها ومستوى القدرة المنخفض جداً للإشعاع الطبيعي المقاس.

ويمكن للتداخل وإن كانت مستوياته منخفضة جداً أن يلحق الضرر ببيانات أجهزة الاستشعار المنفعل، غير أن الخطر الأكبر يكمن في عدم كشف التداخل واعتبار البيانات الخاطئة على أنها بيانات صحيحة، وتكون بالتالي الاستنتاجات المستخلصة من تحليل هذه البيانات خاطئة. وفي أغلب الحالات، لا يمكن لأجهزة الاستشعار المنفعل أن تميز بين الإشعاعات الطبيعية والإشعاعات من صنع الإنسان، ولا يمكن بالتالي كشف الأخطاء في البيانات الناتجة أو تصحيحها. ولهذا يبدو أن الحفاظ على سلامة البيانات يرتبط حالياً فقط بالوقاية من التداخل واستعمال حدود تنظيمية صارمة على مستويات التداخل والقدرة القصوى للإرسال على المستوى العالمي. ويمكن الإشارة إلى أن العديد من أحكام لوائح الراديو تستعين بحدود القدرة هذه لأجهزة الإرسال للخدمة النشيطة لأغراض حماية أجهزة الاستشعار المنفعل من التداخل سواء من داخل النطاق أو من خارجه.

وفي السنوات الأخيرة، تزايد الاهتمام باستعمال رادارات السحب العاملة بالأمواج الملميترية في التطبيقات الخاصة بالبحوث. وتكتسي الحاجة لفهم أفضل لدور السحب في نظام المناخ أولوية قصوى في مجال البحوث الخاصة بتغير المناخ. وبالإضافة إلى التقدم التكنولوجي الذي شهدته في السنوات الأخيرة الرادارات العاملة بالأمواج الملميترية، تعتبر الاحتياجات المتصلة بالبحوث المحفز الذي دفع إلى تطوير رادارات تصوير السحب العاملة بالأمواج الملميترية. وتشغل بشكل أساسي قرب 36 GHz (نطاق Ka) وقرب 94 GHz (نطاق W)، كما توفر هذه الرادارات حالياً جميع المعلومات اللازمة، من ناحية النوعية والكمية، للباحثين في مجال المناخ. وتتميز هذه الرادارات بحساسيتها الكبيرة إزاء مكونات الرطوبة الجوية واستبانتها الفضائية العالية وتأثرها القليل من الضجيج الأرضي وحجمها الصغير نسبياً، وكلها سمات تجعل منها أداة ممتازة للبحوث الخاصة بالسحب. ويمكنها أن تشغل من منصة ثابتة أو متنقلة أو من مركبة فضائية أو منصات فضائية.

2.5 الاستشعار المنفعل بقياس الإشعاع بالموجات الصغرية

يعتبر قياس الإشعاع السلبي بالموجات الصغرية أداة حاسمة جداً لرصد الكرة الأرضية. وفي إطار خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) تعمل أجهزة استشعار منفعلة صممت لاستقبال وقياس الانبعاثات الطبيعية الصادرة عن سطح الأرض وعن الغلاف الجوي. إن تواتر هذه الانبعاثات الطبيعية وقوتها هي التي تميز نوع ووضع عدد من البارامترات الجيوفيزيائية الهامة المتصلة بالغلاف الجوي وسطح الأرض (الأرض والبحر والثلج) التي تصف نظام الأرض/الغلاف الجوي/المحيطات وآلياته:

- بارامترات سطح الأرض كرطوبة التربة ودرجات حرارة سطح البحر وقوة رياح المحيط ومدى الجليد وعمره وغطاء الثلج وتساقط المطر على الأرض، وغيرها، ثم
- بارامترات الغلاف الجوي ثلاثية الأبعاد (الغلاف المنخفض والمتوسط والأعلى)، كمقاطع درجات الحرارة ومحتوى بخار الماء ومقاطع التركيز للغازات الهامة من الناحية الإشعاعية والكيميائية (مثال، الأوزون وأكسيد النيتروز والكلورين).

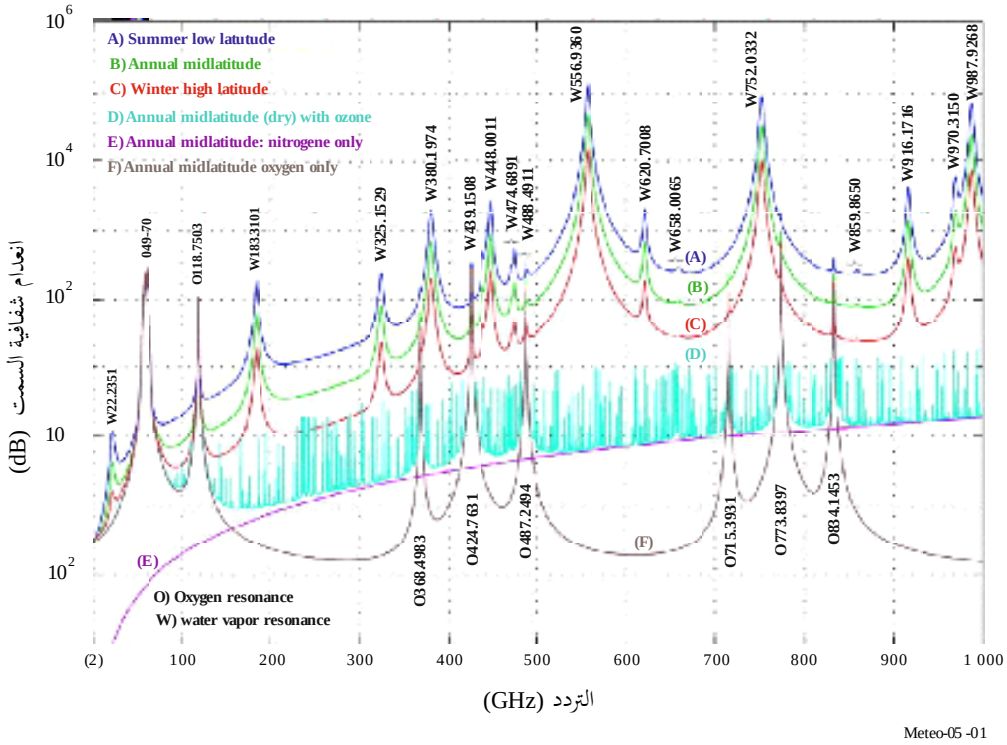
وتتيح تقنيات الموجات الصغرية رصد سطح الأرض وغلافه الجوي من مدار الأرض، حتى وإن كانت هناك السحب التي تكون شفافة بشكل كبير في ترددات تحت GHz 100. وهذه القدرة على الرصد كيفما كانت الطقس لها أهمية بالغة بالنسبة لرصد الأرض لأن أكثر من 60 بالمائة من سطح الأرض تغطيه السحب في غالبية الأحيان. وبالإضافة إلى هذا القدرة المذكورة، يمكن أخذ القياسات السلبية بالموجات الصغرية في أي وقت لأنها لا ترتبط بضوء النهار. ويعتبر الاستشعار المنفعل بالموجات الصغرية أداة هامة شائعة الاستعمال في الأرصاد الجوية وعلم المناخ وفي المراقبة والمسح البيئيين (التطبيقات التشغيلية والعلمية) التي تحتاج إلى التغطية العالمية والتي يمكن أن تُكرر وأن يُعتمد عليها.

1.2.5 الاحتياجات من الطيف

وتساهم عموماً العديد من البارامترات الجيوفيزيائية وعلى مستويات مختلفة في هذه الانبعاثات الطبيعية التي يمكن رصدها في تردد معين. ولهذا ينبغي القيام بالقياسات في ترددات مختلفة في طيف الموجات الصغرية بشكل متزامن من أجل تحديد وسحب كل مساهمة فردية من هذه المساهمات. وتتسم خصائص الامتصاص للغلاف الجوي كما ورد ذلك في الشكل 5-1 بذروات الامتصاص الناجمة عن الرنين الجزيئي لغازات الغلاف الجوي، وبمنحنى بخار الماء الذي يتزايد كثيراً بتزايد التردد.

الشكل 5-1

انعدام شفافية السمت للغلاف الجوي بسبب بخار الماء والمكونات الجافة



ويرتبط اختيار أفضل الترددات الملائمة للاستشعار السلبي عن بُعد وبشكل كبير بخصائص الغلاف الجوي:

- يتم اختيار ترددات لرصد بارامترات السطح تحت GHz 100، حيث يسجل امتصاص الغلاف الجوي أضعف معدل، ويلزم الأمر متوسط تردد واحد لكل أوكتاف (octave)؛ ثم
- يتم اختيار ترددات لرصد بارامترات الغلاف الجوي بعناية فائقة وفي أغلب الحالات فوق GHz 50 داخل ذروات الامتصاص لغازات الغلاف الجوي.

ترد الترددات والسعات المعنية دون GHz 1 000 في الجدول 5-1. وتشمل أغلب الترددات المخصصة فوق GHz 100 حدود امتصاص للمركبات الكيميائية الهامة الموجودة في الغلاف الجوي.

الجدول 5-1

نطاقات التردد وسعاتها ذات الجدوى العلمية لأنشطة الاستشعار الساتلي السلبي دون GHz 1 000*

نطاق التردد الموزع (GHz)	عرض النطاق الموزع و{المطلوب} (MHz)	القياسات الرئيسية
1,427-1,37	57	مؤشر رطوبة التربة، الملوحة، درجة حرارة سطح المحيط، الغطاء النباتي
2,7-2,64	60	ملوحة المحيط، رطوبة التربة، مؤشر الغطاء النباتي
4,4-4,2	200	درجة حرارة سطح المحيط
7,25-6,425 (لوائح الراديو 458.5)	350	درجة حرارة سطح المحيط (لا توزيع)

الجدول 5-1 (*تابع*)

نطاق التردد الموزع (GHz)	عرض النطاق الموزع و{المطلوب} (MHz)	القياسات الرئيسية
10,7-10,6	100	معدل الأمطار، محتوى الماء الثلجي، تشكل الجليد، حالة البحر، سرعة رياح المحيط
15,4-15,2	200	بخار الماء، معدل الأمطار
18,8-18,6	200	المطر، حالة البحر، جليد المحيط، بخار الماء، الثلج، سرعة رياح المحيط، إشعاعية ورطوبة التربة
21,4-21,2	200	بخار الماء، ماء السحب السائل
22,5-22,21	290	بخار الماء، ماء السحب السائل
24-23,6	400	بخار الماء، الماء السائل للسحاب، القناة المرتبطة لسبر الغلاف الجوي
31,8-31,3	500	جليد البحر، بخار الماء، البقع النفطية، السحب، الماء السائل، حرارة السطح، النافذة المرجعية للمدى 50-60 GHz
37-36	1 000	معدلات الأمطار، ثلج، جليد البحر، سحب
50,4-50,2	200	نافذة السحاب المرجعية لتحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (حرارة السطح)
59,3-52,6	6 700 [1]	تحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (خطوط امتصاص O_2)
92-86	6 000	سحب، بقع نفطية، جليد، ثلج، مطر، نافذة مرجعية لسبر الحرارة قرب 118 GHz
102-100	2 000	N_2O، NO
111,8-109,5	2 300	O_3
116-114,25	1 750 [1]	CO
122,25-115,25	7 000 [1]	تحديد نمط حرارة الغلاف الجوي (خطوط امتصاص O_2)
151,5-148,5	3 000	N_2O، حرارة سطح الأرض، معلمات السحاب، نافذة مرجعية للسبر الحراري
158,5-155,5	3 000	معلمات الأرض والسحاب
167-164	3 000	N_2O، ماء وجليد السحب، مطر، CO، ClO
191,8-174,8	17 000 [1]	N_2O، تحديد نمط بخار الماء، O_3
209-200	9 000 [2]	N_2O، ClO، بخار الماء، O_3
231,5-226	5 500	سحب، رطوبة، (N_2O (226,09 GHz، (CO (230,54 GHz، (O_3 (231,28 GHz، نافذة مرجعية
238-235	3 000 [2]	O_3
252-250	2 000 [2]	N_2O
285,4-275	10 400 [2]	N_2O، ClO
306-296	10 000 [2]	قناة جناح لسبر الحرارة، أكسجين، HNO_3، HOCl، N_2O، O_3، $O^{17}O$

الجدول 5-1 (*تتمة*)

نطاق التردد الموزع (GHz)	عرض النطاق الموزع و{المطلوب} (MHz)	القياسات الرئيسية
355,6-313	42 100 (2)	تحديد نمط بخار الماء، سحب، قناة جناح لسبر الحرارة، HDO، ClO، HNO_3، H_2O، O_3، HOCl، CH_3Cl، $O^{18}O$، CO، BrO، CH_3CN، N_2O، HCN
365-361,2	3 800 (2)	O_3
391,2-369,2	22 000 (2)	تحديد نمط بخار الماء، H_2O
399,2-397,2	2 000	تحديد نمط بخار الماء
411-409	2 000	سبر الحرارة
433,46-416	17 460 (2)	أكسجين، تحديد نمط الحرارة، O_2
466,3-439,1	27 200	تحديد نمط بخار الماء، سحب، HNO_3، H_2O، O_3، N_2O، CO
496,75-477,75	19 000	أكسجين، تحديد نمط الحرارة، O_2
502-497	5 000 (2)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء، O_3، N_2O، BrO
527-523	4 000 (2)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء
581-538	43 000 (2)	تحديد نمط بخار الماء، ClO، H_2O، O_3، HNO_3
629,7-611,7	18 000 (2)	تحديد نمط بخار الماء، أكسجين، H_2O، ClO_2، SO_2، HNO_3، BrO، CH_3CN، ($H^{37}Cl$)، H_2O_2، HOCl، O_3، HO_2، $H^{35}Cl$، CH_3Cl، $O^{18}O$
654-634	20 000 (2)	قناة جناح لتحديد نمط بخار الماء، HOCl، $H_2{}^{18}O$، SO_2، ClO، HO_2، BrO، HNO_3، O_3، NO، N_2O
692-656,9 (لوائح الراديو 565.5)	35 100 (2)	تحديد نمط بخار الماء، سحب، H_2O، HO_2، ClO، CH_3Cl، CO
717,4-713,4	4 000 (2)	O_2
733-729	4 000 (2)	HNO_3، $O^{18}O$
754-750	4 000 (2)	H_2O
775,8-771,8	4 000 (2)	O_2
845,15-823,15	22 000 (2)	O_2
854-850 (لوائح الراديو 565.5)	4 000 (2)	NO
861,9-857,9	4 000 (2)	H_2O
882-866	16 000 (2)	سحب، نافذة
927,17-905,17	22 000 (2)	H_2O
956-951	5 000 (2)	H_2O، NO، O_2
972,31-968,31	4 000 (2)	H_2O
989,9-985,9	4 000 (2)	H_2O

* **ملاحظة** – للمعلومات المقدمة بشأن الترددات المخصصة للاستشعار السلبي، يحال القارئ على جدول توزيعات الترددات في المادة 5 من لوائح الراديو، ولمزيد من المعلومات بشأن الترددات المفضلة للاستشعار السلبي، يحال القارئ إلى آخر نص منقح للتوصية ITU-R RS.515.

(1) يشغل عرض النطاق هذا العديد من القنوات.

(2) يشغل عرض النطاق هذا العديد من أجهزة الاستشعار.

2.2.5 رصد خصائص سطح الأرض

ولقياس بارامترات السطح (مثل بخار الماء ودرجة حرارة سطح البحر وسرعة الريح ومعدل الأمطار، وغيرها)، ينبغي اختيار ما يسمى القنوات "النافذة" لقياس الإشعاع لتحديد عينة تحديداً منتظماً على طيف الموجات الصغرية بين 1 و90 GHz (بمتوسط تردد واحد/أوكتاف واحد). غير أن الأمر لا يستدعي تحديد الترددات بشكل دقيق جداً لأن الانبعاثات الطبيعية لا تتأثر كثيراً بالتردد. وتساهم عموماً العديد من البارامترات الجيوفيزيائية وعلى مستويات مختلفة في هذه الانبعاثات الطبيعية التي يمكن رصدها في تردد معين. وهذا وارد في الشكلين 5-2 و5-3 اللذين يمثلان حساسية الانبعاثات الطبيعية في الموجات الصغرية إزاء العديد من البارامترات الجيوفيزيائية وفقاً للتردد. ودرجة حرارة اللمعان هي قياس شدة الإشعاع الذي يرسله حرارياً عنصر معين، وتقدم في شكل وحدات لدرجات الحرارة لأن هناك اقتران بين شدة الإشعاع الذي يُرسل ودرجات الحرارة الفيزيائية للعنصر المشع.

1.2.2.5 الرصد فوق سطح المحيطات

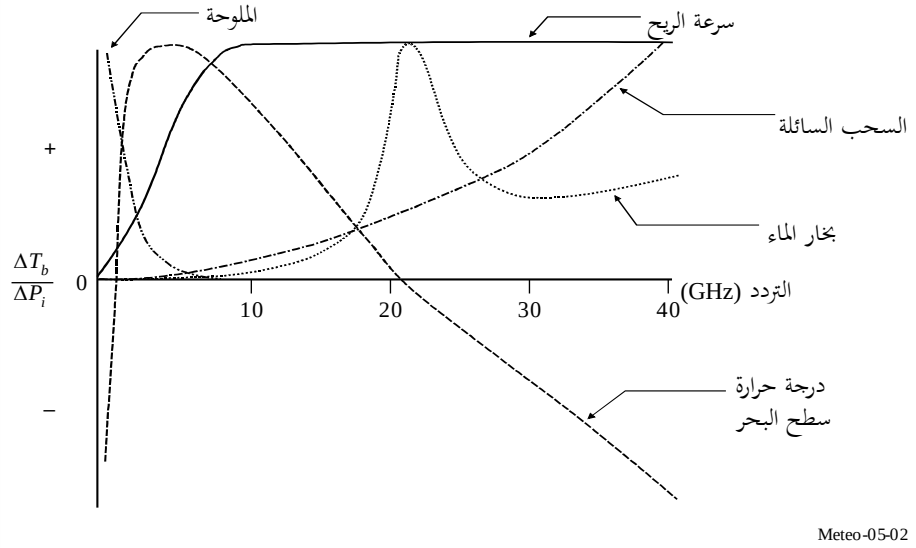
يستخدم الاستشعار عن بُعد فوق المحيطات لقياس العديد من البارامترات الشبيهة بتلك التي تقاس فوق سطح الأرض (مثل بخار الماء ومعدل الأمطار وسرعة الريح)، وكذا البارامترات التي توفر معلومات بشأن حالة المحيط نفسه (مثل درجة حرارة سطح المحيط وملوحة المحيط وكثافة جليد البحر، وغيرها).

ويبين الشكل 5-2 حساسية درجة حرارة اللمعان إزاء البارامترات الجيوفيزيائية فوق سطح المحيط:

- تتيح القياسات على التردد المنخفض عادةً GHz 1,4 الحصول على بيانات ملوحة المحيط؛
- تضمن القياسات قرابة GHz 6 أفضل حساسية بالنسبة لدرجة حرارة سطح البحر، غير أنها تحمل مساهمة بسيطة بسبب الملوحة وسرعة الريح والتي يمكن استخلاصها باستعمال القياسات قرابة GHz 1,4 و10 GHz؛
- الحيز بين 17 و19 GHz حيث يسجل فيها أقل درجة حرارة سطح البحر وبخار ماء الغلاف الجوي، يعتبر الحيز الأمثل للانبعاث من سطح المحيط الذي يرتبط مباشرةً بسرعة الرياح قرب السطح أو بوجود جليد البحر. كما أن لدرجة حرارة سطح المحيط بعض الحساسية إزاء المحتوى الإجمالي لبخار الماء وللسحب السائلة؛
- يمكن قياس المحتوى الإجمالي لبخار الماء قرابة GHz 24 في حين قياس السحب السائلة يمكن الحصول عليه قرب GHz 36؛
- تعتبر خمسة ترددات (6 و10 و18 و24 و36 GHz) ضرورية لتحديد البارامترات المهيمنة.

الشكل 5-2

حساسية درجة حرارة اللمعان إزاء البارامترات الجيوفيزيائية فوق سطح المحيط



2.2.2.5 الرصد فوق سطح الأرض

يعتبر الاستشعار عن بُعد فوق سطح الأرض أكثر تعقيداً نظراً للتباين الكبير في عنصري الزمان والمكان فيما يتصل بخصائص سطح الأرض (تختلف بين المناطق التي يغطيها الثلج/الجليد والصحاري والغابات المدارية). وعلاوةً على ذلك، فإن الإشارة قبل وصولها إلى جهاز الاستشعار تكون قد انتشرت عبر العديد من الوسائط: التربة بشكل أساسي وربما الثلج و/أو الجليد والغطاء النباتي والغلاف الجوي والسحب، وفي بعض الأحيان المطر والثلج. أما العنصر الثاني الذي ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار، فهو أنه بالنسبة لكل واسطة من هذه الوسائط يمكن للعديد من العناصر أن يكون له أثر على الإشعاع الذي تم إرساله. على سبيل المثال، ستكون للتربة درجة حرارة لمعان مختلفة باختلاف درجات حرارة التربة ومحتوى رطوبة التربة وخشونة السطح وتركيبة التربة. كما ستقترن مساهمة الغطاء النباتي بدرجات حرارة الغطاء النباتي وبنيته من خلال انعدام الشفافية ومعدل الانتشار (نسبة الانعكاس مقارنة بالضوء الساقط، على سبيل المثال). وترتبط الأساليب التي تؤثر بها هذه العناصر على الإشارة بالترددات. ويبين الشكل 5-3 الحساسية المعيارية للعديد من البارامترات الأساسية وفقاً للترددات.

كما يبين الشكل 5-3 على أنه في منطقة متوسطة الاعتدال وفوق السطح ينبغي الحصول على ما يلي:

- تردد منخفض لقياس رطوبة التربة (قرابة 1 GHz)؛
- قياسات قرابة 5 إلى 10 GHz لتقدير الكتلة الأحيائية للنباتات بعد قياس مساهمة رطوبة التربة؛
- ترددان قرابة ذروة امتصاص بخار الماء (عادةً 18-19 GHz و23-24 GHz) لتقدير مساهمة الغلاف الجوي؛
- تردد قرابة 37 GHz لتقدير ماء السحب السائل (باستعمال 18 GHz) و/أو بنية النباتات (باستعمال 10 GHz) خشونة السطح (باستعمال 1 GHz و5 GHz أو 10 GHz).

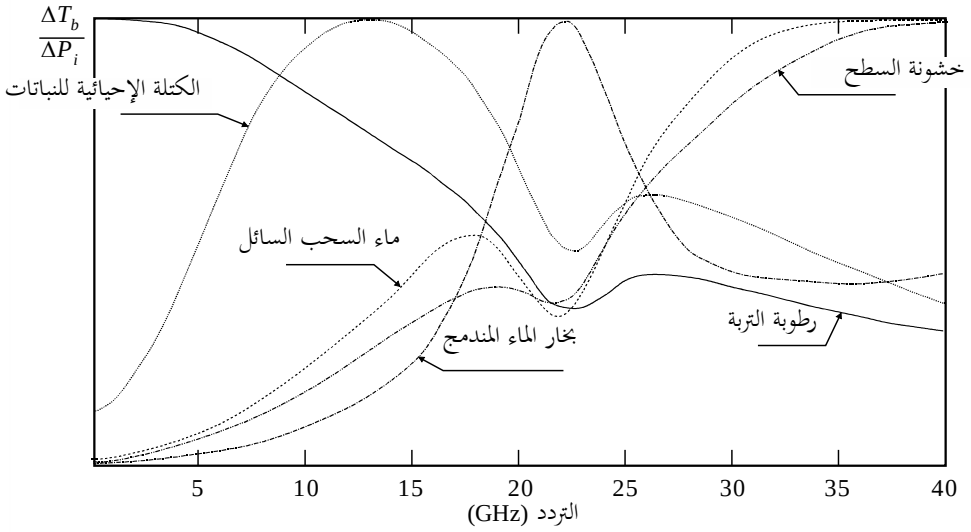
ويعتبر تردد 85 GHz أو 90 GHz مفيداً لمراقبة تساقط المطر، شريطة أن يتم تقييم جميع العناصر المساهمة الأخرى بالترددات المنخفضة.

وقد أثبتت الدراسات التي استعانت بجهاز القياس بالمسح الراديوي المتعدد القنوات بالموجات الصغرية (SMMR) وبجهاز التصوير الخاص بالاستشعار بالموجات الصغرية (SSM/I) على أن هناك العديد من المتغيرات الأخرى التي يمكن استخلاصها. وتشمل درجة حرارة السطح (أقل دقة مقارنةً بالقياسات تحت الحمراء غير أنها لها قدرة القياس في جميع أحوال الطقس) وذلك باستعمال قناة قريبة من 19 GHz عندما يكون بالإمكان تقييم مساهمات السطح والغلاف الجوي.

ومن المهم مراقبة المناطق التي يغطيها الثلج، وهنا تتبين ثانية أهمية ضرورة إجراء القياسات على عدة ترددات. وينبغي التمييز بين الجليد والثلج وكذا مدى طزاجة الثلج. وترتبط الإشارة المتصلة به ببنية طبقات الثلج وأحجام البلور. وللحصول على مثل هذه المعلومات، من الثابت أن الأمر يحتاج إلى عدة ترددات، وتكون عادةً 19 GHz و37 GHz و85-90 GHz.

الشكل 3-5

حساسية درجة حرارة اللمعان إزاء البارامترات الجيوفيزيائية فوق سطح الأرض



Meteo-05-03

3.2.2.5 البارامترات الثانوية لأدوات الاستشعار عن بُعد الأخرى

تشغل حالياً أجهزة قياس الارتفاع للرادارات المحملة على المركبات الفضائية عالمياً فوق سطح المحيطات وسطح الأرض مرفوقة بتطبيقات هامة في علم المحيطات وعلم المناخ (انظر الفقرة 3.2.5). ولإزالة آثار الانكسار الناجم عن الغلاف الجوي، فإن استعمال بيانات عالية الدقة من أجهزة قياس الارتفاع الملتقطة حول 13,5 GHz يستدعي استكمالها بمجموعة من القياسات السلبية الثانوية قرابة 18,7 و24 و36 GHz.

وللتمييز بين مختلف المساهمات في الإشارات التي يقيسها الساتل، من الضروري الاستعانة بشكل متزامن بقياسات من خمسة ترددات مختلفة عل الأقل.

3.2.5 معايير الأداء

تتميز أجهزة الاستشعار المنفعل بحساسية قياس الإشعاع وباستبانتها الهندسية.

1.3.2.5 حساسية قياس الإشعاع

يتم التعبير عادةً عن هذه البارامتر على أنه أقل فارق لدرجة الحرارة ΔT_e يمكن لجهاز الاستشعار أن يستكشفه. ΔT_e هو:

$$\Delta T_e = \frac{\alpha T_s}{\sqrt{B\tau}} \qquad \text{K} \tag{1-5}$$

حيث:

B: سعة نطاق جهاز الاستقبال (Hz)

τ:فترة الاندماج (s)

α:ثابت نظام جهاز الاستقبال (يرتبط بالتشكيلة)

T_S:درجة حرارة ضوضاء نظام الاستقبال (K).

2.3.2.5 الحد الأدنى لأجهزة قياس الإشعاع ΔP

هذا هو أصغر تغير للقدرة التي يمكن لجهاز الاستشعار أن يكشفها. ويحدد ΔP بالمعادلة التالية:

$$\Delta P = k\Delta T_e B \quad \text{W} \tag{2-5}$$

حيث:

$k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ (J/K): ثابت بولتزمان

ويحسب ΔP باستعمال ΔT_e ويستعمل في تحديد التداخل الأقصى المسموح به الذي يمكن لجهاز الاستشعار تحمله دون الحط من القياسات. وفي المستقبل تتناقص T_s وكذا ΔT_e (راجع المعادلة (5-1)). وعليه، فإنه لأغراض حماية عمليات أجهزة الاستشعار المنفعلة في المستقبل، يجب حساب ΔP باستعمال قيمة ΔT_e تكون معقولة بدلاً من تكنولوجيا الحالية ΔT_e. وعلى نفس المنوال، من المحتمل أن تزداد فترة الاندماج، τ، بتطور تكنولوجيا الاستشعار عن بُعد مستقبلاً (مثلاً مفهوم "pushbroom"). وعليه ينبغي اختيار فترة الاندماج استناداً إلى التوقعات المستقبلية المعقولة.

3.3.2.5 الاستبانة الهندسية

في حالة القياسات ثنائية الأبعاد لبارامترات السطح، يعتبر بشكل عام أن فتحة الهوائي بقيمة –3 dB تحدد الاستبانة المستعرضة. وفي حالة القياسات الثلاثية الأبعاد لبارامترات الغلاف الجوي، ينبغي أن يراعى أيضاً الاستبانة الطولية على طول محور الهوائي. وتعتبر هذه الاستبانة الطولية وظيفة معقدة تشمل خصائص الغلاف الجوي المرتبطة بالتردد والضوضاء وأداء عرض النطاق لجهاز الاستقبال.

4.3.2.5 فترة الاندماج

تستشعر أجهزة الاستقبال لقياس الإشعاع الانبعاثات الحرارية الشبيهة بالضوضاء التي يجمعها الهوائي والضوضاء الحرارية لجهاز الاستقبال. وبفضل إدماج الإشارة التي تم التوصل بها، يمكن تخفيض تباينات الضوضاء العشوائية والقيام بتقديرات دقيقة لمجموع ضوضاء جهاز الاستقبال وقدرة ضوضاء الانبعاث الحرارية الخارجية. وفترة الاندماج هي بكل بساطة كمية الوقت اللازمة لجهاز الاستقبال ليدمج الإشارة التي توصل بها. وتعتبر فترة الاندماج أيضاً معياراً هاماً للاستشعار السلبي عن بُعد وهي حصيلة معقدة تأخذ في الاعتبار بشكل خاص الاستبانة الهندسية وتشكيل المسح لجهاز الاستشعار وسرعته فيما يتعلق بموضوع الرصد.

4.2.5 ظروف التشغيل الاعتيادية لأجهزة الاستشعار المنفعل

يتم نشر أجهزة الاستشعار المنفعل بشكلٍ أساسي على نوعين متكاملين من نظم السواتل: السواتل ذات المدار الأرضي المنخفض والسواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض.

1.4.2.5 سواتل المدار الأرضي المنخفض

تستعمل نظم السواتل في المدارات القطبية المنخفضة والمتزامنة مع الشمس (مثلاً، في مدار حيث يحلق الساتل على أي نقطة من سطح الأرض في نفس التوقيت المحلي الشمسي) لاقتناء بيانات بيئية عالية الاستبانة على المستوى العالمي. وتحد طبيعة هذه المدارات من معدل تكرار القياس. ويتم الحصول يومياً على تغطيتين عالميتين كل 12 ساعة كحدٍ أقصى باستعمال ساتل واحد. وتحلق حالياً أجهزة قياس الإشعاع العاملة على الترددات دون 100 GHz على السواتل منخفضة المدار. ويعود سبب ذلك بشكل أساسي إلى

صعوبة الحصول على استبانة هندسية ملائمة في الترددات المنخفضة نسبياً من المدارات العالية، غير أن هذا الوضع قد يتغير في المستقبل.

2.4.2.5 السواتل المستقرة بالنسبة للأرض

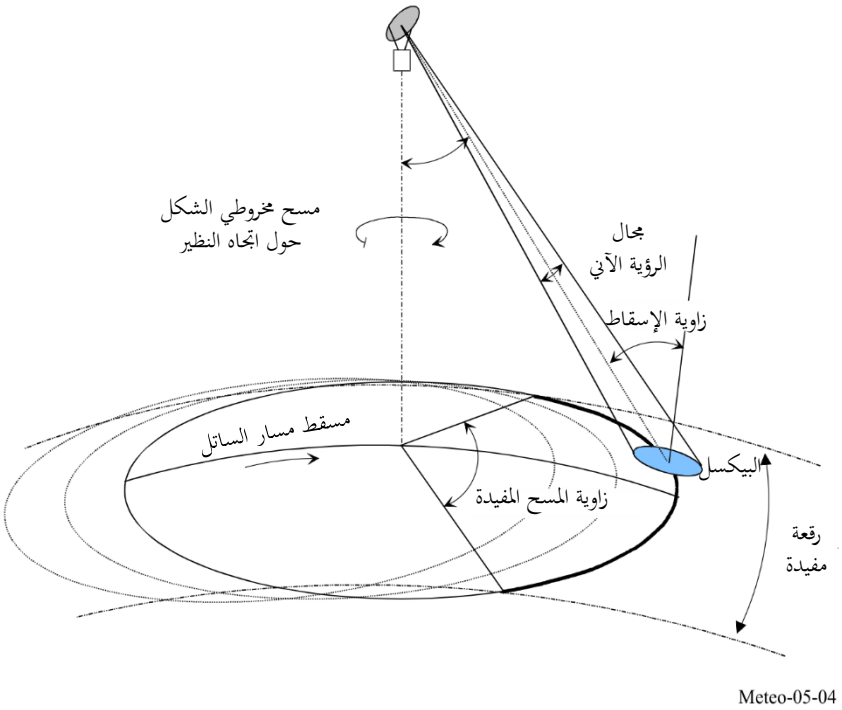
وتستعمل النظم التي تشمل السواتل المستقرة بالنسبة للأرض لجمع البيانات منخفضة أو متوسطة الاستبانة على مستوى الإقليم. ولا يحد في معدل التكرار إلا تكنولوجيات التجهيزات المستعملة. وتجمع عادة البيانات في كل إقليم كل نصف ساعة تقريباً.

5.2.5 الخصائص التقنية الرئيسية

وتستعمل أغلب أجهزة الاستشعار المنفعل بالموجات الصغرية التي صممت لتصوير خصائص الأرض تشكيل مسح مخروطي الشكل (الشكل 5-4) يتمركز على اتجاه النظير (مثلاً، يكون طرفه متعامد مع الساتل)، لأنه من المهم بالنسبة لتفسير قياسات السطح الاحتفاظ بزاوية إسقاط أرضي ثابتة على طول خطوط المسح كلها. وجرى وصف هندسة أدوات المسح مخروطية الشكل في الشكل 5-4.

الشكل 5-4

الهندسة الاعتيادية لأجهزة قياس الإشعاع السلبي بالموجات الصغرية العاملة بالمسح المخروطي



Meteo-05-04

وهذه هي الخصائص الهندسية الاعتيادية (على ارتفاع 803 km):

- تبلغ زاوية الإسقاط الأرضي زهاء 55 درجة
- تبلغ زاوية نصف المخروط 46,7 درجة من اتجاه النظير
- سعة المسح: 1 600 km (وفقاً لتشكيل المسح)، مما يسمح بضمان تغطيتين كاملتين في اليوم بأداة واحدة على خطوط العرض المتوسطة والعليا
- يتباين حجم البيكسل وفقاً للتردد وحجم الهوائي، عادةً من 50 km عند 6,9 GHz إلى 5 km عند 89 GHz (على أساس هوائي يبلغ قطره الفعلي مترين)

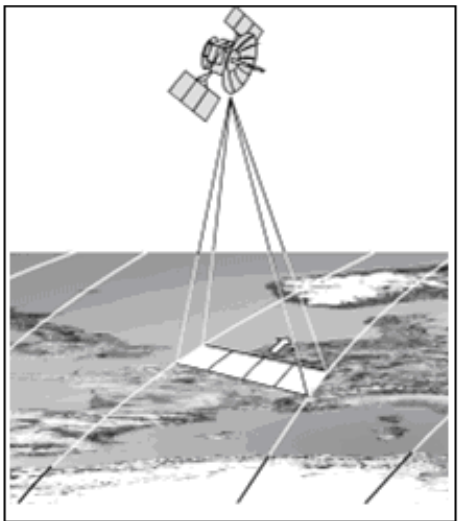
– يتم اختيار فترة المسح وترتيبات تغذية الهوائي من أجل ضمان التغطية الكاملة وفترة الاندماج المثلى (وبالتالي استبانة قياس الإشعاع) في جميع الترددات التي يتم القياس فيها، كلما زادت التجهيزات تعقيداً.

كما يمكن استعمال أدوات المسح غير الشبيهة بالنظير لتوفير البيانات الثانوية لبعض التطبيقات، بعد سحب آثار الغلاف الجوي من قياسات الارتفاع للرادار. ولتيسير وضع هذه الأدوات على متن السواتل، يتم تطوير بعض تقنيات التداخل بغية تحسين الاستبانة الفضائية بشكل أساسي على الترددات المنخفضة. وستستعمل أجهزة الاستشعار هذه صفيقات ثابتة من الهوائيات الصغيرة بدل هوائيات المسح الكبيرة.

إن جهاز الاستشعار من نوع "push-broom" (على طول المسار) هو نظام للاستشعار يشمل خطاً من أجهزة الاستشعار التي تم ترتيبها بشكلٍ متعامد مع اتجاه تحليق المركبة الفضائية كما يظهر ذلك في الشكل 5-5. ويتم استكشاف مناطق مختلفة من السطح أثناء رحلة المركبة. وجهاز قياس الإشعاع من نوع "push-broom" هو أداة ساكنة تماماً وليس له أي عضو متحرك. وتتمثل الخاصية الرئيسية في جهاز قياس الإشعاع من نوع "push-broom" في كون جميع البكسيلات في خط المسح يتم اقتناؤها بشكل متزامن وليس متتابع كما هو الحال بالنسبة لأجهزة الاستشعار بالمسح الميكانيكي، ويتيح هذا الزيادة في قدرات الاستبانة لقياس الإشعاع لهذا النوع من أجهزة الاستشعار. ويمكن استعمال أجهزة الاستشعار من نوع "push-broom" في العديد من التطبيقات بما فيه قياسات مقاطع درجات الحرارة في الغلاف الجوي ورطوبة التربة وملوحة المحيط.

الشكل 5-5

الهندسة الاعتيادية لأجهزة قياس الإشعاع السلبي بالموجات الصغرية من نوع "push-broom"



Meteo-05 -05

6.2.5 معايير الأداء والتداخل

ترد معايير الأداء والتداخل لأجهزة الاستشعار المنفعلة من المركبات الفضائية العاملة في خدمة استكشاف الأرض الساتلية في التوصية ITU-R RS.2017.

7.2.5 القياس ثلاثي الأبعاد لبارامترات الغلاف الجوي

يحتوي الطيف الكهرمغنطيسي على العديد من نطاقات التردد التي يتيح فيها الرنين الجزئيي استحداث آليات للامتصاص من قبل بعض غازات الغلاف الجوي (الشكل 5-1). وتحدد الترددات التي تحدث فيها هذه الظواهر خصائص الغازات (مثال O_2، O_3، H_2O، ClO). ويرتبط معامل الامتصاص بطبيعة الغاز وتركيزه ودرجة حرارته. ويمكن القيام بقياسات سلبية مشتركة حول هذه الترددات من المنصات المحمولة على المركبات الفضائية لاستخلاص مقاطع درجات الحرارة و/أو تركيز الغازات الممتصة. ومن العناصر

الهامة بالنسبة لأجهزة الاستشعار المنفعل عن بُعد العاملة في الترددات دون 200 GHz، نذكر ترددات رنين الأكسجين بين 50 و70 GHz على 118,75 GHz، وتردد رنين بخار الماء على 183,31 GHz.

ويصدر عن الغاز الممتص على طول الموجة λ إشعاع الطاقة (على نفس التردد) بمستوى يتناسب مع درجة الحرارة T ومع معدل امتصاصه $\alpha = f(\lambda)$. ويتحكم في هذا العلاقة التي ترد في المعادلة (3-5) أدناه:

$$l = \alpha \cdot L \qquad (3\text{-}5)$$

حيث:

l: اللمعان الطيفي للغاز على درجة الحرارة T

$L = 2 \cdot k \cdot T/\lambda^2$: اللمعان الطيفي للعضو الأسود T (W/(m^2 · sr · Hz))

$k = 1{,}38 \times 10^{-23}$: ثابت Boltzman (J/K)

α: تحدد خصائص الغاز (O_2، CO_2، H_2O، O_3، إلخ)

ويلعب غازان اثنان وهما ثاني أكسيد الكربون والأكسجين دوراً مهيمناً في الاستشعار المنفعل لأغراض الأرصاد الجوية لأن تركيزهما وضغطهما في الغلاف الجوي (برامتران يحددان معدل الامتصاص α) ثابتان تقريباً ومعروفان في العالم بكامله. وبالتالي يمكن استخلاص مقاطع درجات الحرارة من قياسات الإشعاع على مختلف الترددات في نطاقات الامتصاص الملائمة (عادةً في المنطقة دون الحمراء قرابة 15 µm لثاني أكسيد الكربون، وفي منطقة الموجات الصغرية قرابة 60 GHz و118,75 GHz للأكسجين).

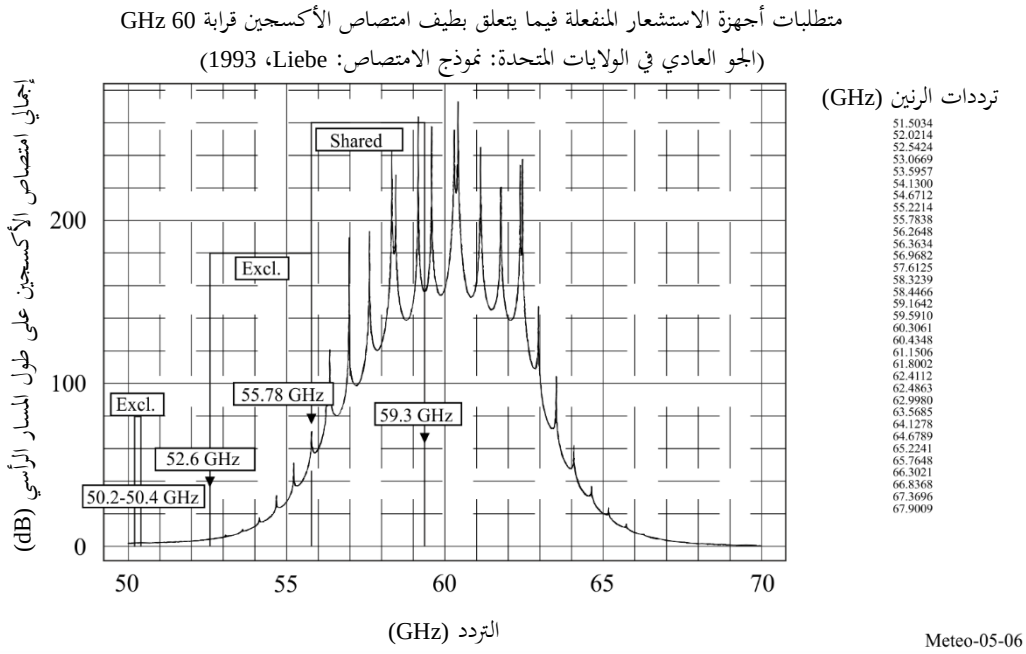
وتُجمع أيضاً قياسات الإشعاع في نطاقات الامتصاص الخاصة لغازات هامة أخرى من الناحية الإشعاعية والكيميائية في الغلاف الجوي وتختلف أحياناً من حيث التركيز وأحياناً أخرى يجهل تركيزها (H_2O، O_3، CH_4، CIO، إلخ.). غير أن في هذه الحالة، يستدعي الأمر معرفة مقاطع درجات حرارة الغلاف الجوي من أجل استخلاص مقاطع التركيز الرأسية المجهولة لهذه الغازات.

1.7.2.5 مسابير الغلاف الجوي الرأسية السلبية بالموجات الصغرية

سبر الغلاف الجوي هو قياس للتوزيع الرأسي للخصائص الفيزيائية لعمود هذه الغلاف مثل الضغط ودرجة الحرارة وسرعة الرياح واتجاهها ومحتوى الماء السائل وتركيز الأوزون والتلوث وخصائص أخرى. إن مسابير الغلاف الجوي الرأسية (الأدوات التي تقوم بقياسات السبر للغلاف الجوي، على سبيل المثال) هي أجهزة استشعار تتجه في اتجاه النظير، وتستعمل بشكل أساسي لاستخلاص المقاطع الرأسية لدرجات حرارة الغلاف الجوي وللرطوبة. وتستعمل قنوات تردد يتم اختيارها بعناية فائقة داخل أطياف امتصاص الأكسجين والماء في الغلاف الجوي. وترد في الأشكال 5-6 إلى 5-8 تفاصيل بشأن أطياف الامتصاص بجوار الترددات الرئيسية لرنينها دون 200 GHz. لاحظوا التباين الهام جداً لطيف امتصاص بخار الماء قرابة 183 GHz وفقاً للمنطقة المناخية ولظروف الطقس المحلية.

الشكل 5-6

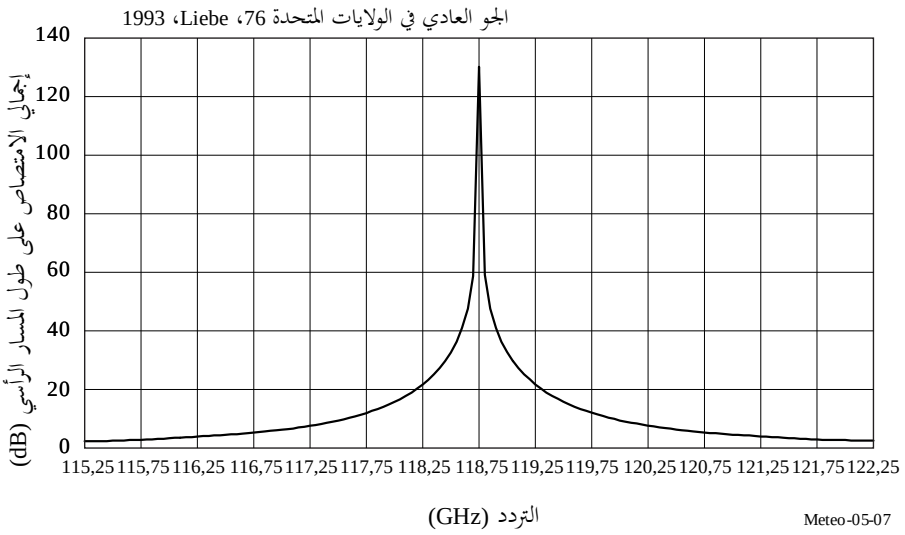
طيف امتصاص الأكسجين على طول المسار الرأسي قرابة 60 GHz
(خطوط امتصاص متعددة)



ملاحظة – الشكل 5-6 يصف موقع توزيعات خدمة استكشاف الأرض الساتلية ووضعها بين 50 و60 GHz ((50,4-50,2 GHz) (حصري) و55,78-52,6 GHz (حصري) و59,3-55,78 GHz (مُتقاسم)).

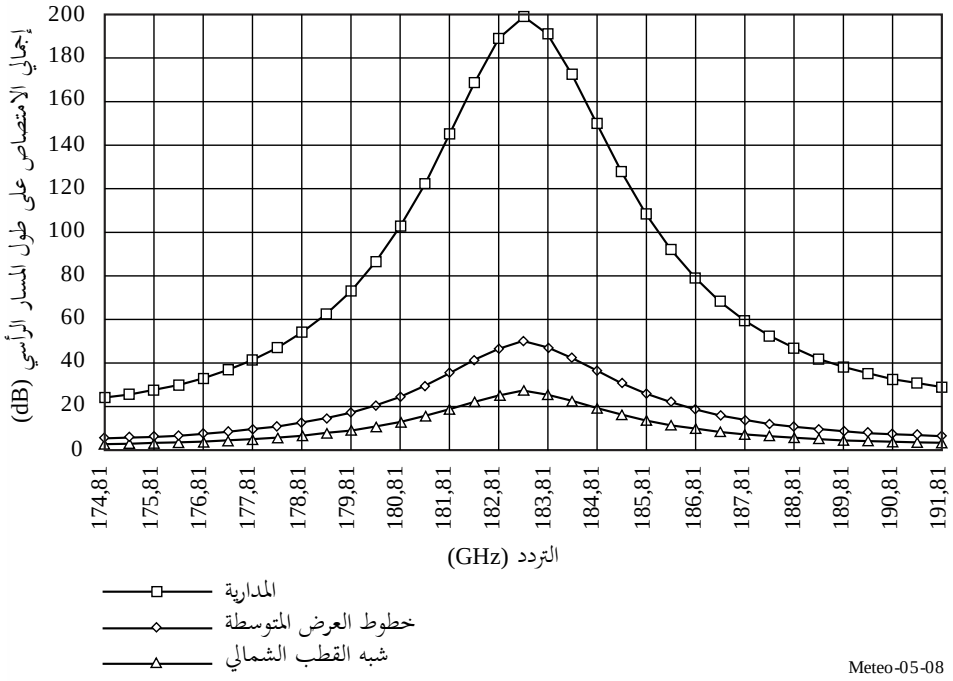
الشكل 5-7

طيف امتصاص الأكسجين على طول المسار الرأسي قرابة 118,75 GHz
(خط امتصاص واحد)



الشكل 5-8

طيف امتصاص بخار الماء على طول المسار الرأسي قرابة GHz 183,31



2.7.2.5 آلية السبر الرأسي للغلاف الجوي

وفي حالة السبر الرأسي للغلاف الجوي من الفضاء، يقيس جهاز قياس الإشعاع على ترددات مختلفة (دون الحمراء (IR) أو بالموجات الصغيرة جداً) جميع مساهمة الغلاف الجوي من السطح إلى الأعلى.

وتصدر كل طبقة (وفقاً لخاصية ارتفاعها) إشعاع طاقة بشكل يتناسب مع درجة حرارتها المحلية ومعدل امتصاصها. ويتم امتصاص الطاقة الصاعدة (باتجاه جهاز قياس الإشعاع) جزئياً من طرف الطبقات العليا، كما تقوم الطبقة بدورها بامتصاص الانبعاثات الصاعدة من الطبقات السفلى.

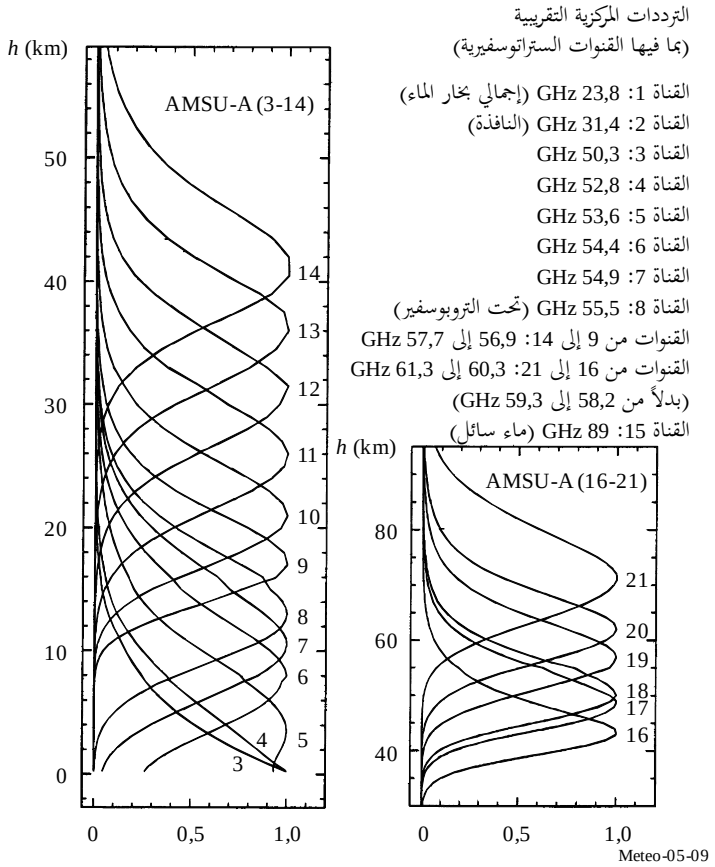
إن إدماج معادلة النقل الإشعاعي على طول المسار من سطح الأرض إلى الساتل يعكس هذه الآلية ويؤدي إلى وظيفة الترجيح التي تصف المساهمة النسبية لكل طبقة من طبقات الغلاف الجوي وفقاً لارتفاعها والتي تمثل أيضاً الاستبانة العرضية (الرأسية) لجهاز الاستشعار.

وقد تقع ذروة وظيفة الترجيح في أي ارتفاع من الارتفاعات وترتبط بمعدل الامتصاص في التردد المعني. وعند التردد التي يسجل امتصاصاً منخفضاً، تكون الذروة قريبة من سطح الأرض. أما عند التردد الذي يكون فيه الامتصاص مرتفعاً، تكون الذروة قريبة من أعلى الغلاف الجوي. ويدمج المسبار العديد من قنوات التردد (الشكل 5-9 على سبيل المثال). ويتم اختيارها بعناية فائقة داخل نطاق الامتصاص لتغطي تشكيلة واسعة من مستويات الامتصاص من أجل الحصول على أفضل العينات في الغلاف الجوي بدءاً من السطح وانتهاءً بطبقة الستراتوسفير.

وترد في الشكل 5-9 وظائف ترجيحية معهودة لمسبار قياس درجة الحرارة بالموجات الصغرية يعمل في نطاق GHz 60.

الشكل 5-9

الوظائف الترجيحية المعهودة لمسبار قياس درجة الحرارة بالموجات الصغرية يعمل قرب نطاق 60 GHz



وإلى جانب ذلك يجب التأكيد على الأهمية الخاصة للقنوات 1 (23,8 GHz) و2 (31,5 GHz) و15 (90 GHz) (غير مبينة في الشكل 5-9 أعلاه). وهي قنوات ثانوية تلعب دوراً مهيمناً في عملية استخلاص القياسات التي تتم في طيف امتصاص الأكسجين. ولهذا ينبغي أن يكون لها نفس الأداء من ناحية البعد الهندسي وقياس الإشعاع وأن تتمتع بنفس الحماية من التداخل.

- القناة 1 قريبة من ذروة امتصاص الماء. وتستعمل لاستخلاص مجموع محتوى بخار الماء على طول خط الرؤية، وتحديد التصحيحات اللازمة في القنوات الأخرى.
- القناة 2 أقل قدر من الآثار المتراكمة الناجمة عن الأكسجين وبخار الماء. إنها قناة النافذة المثلى لرؤية الأرض وهي المرجع بالنسبة للقنوات الأخرى.
- تستكشف القناة 15 الماء السائل في الغلاف الجوي وتستعمل لإزالة التلوث الناجم عن آثار الهطول عن القياسات التي تتم في القنوات الأخرى.

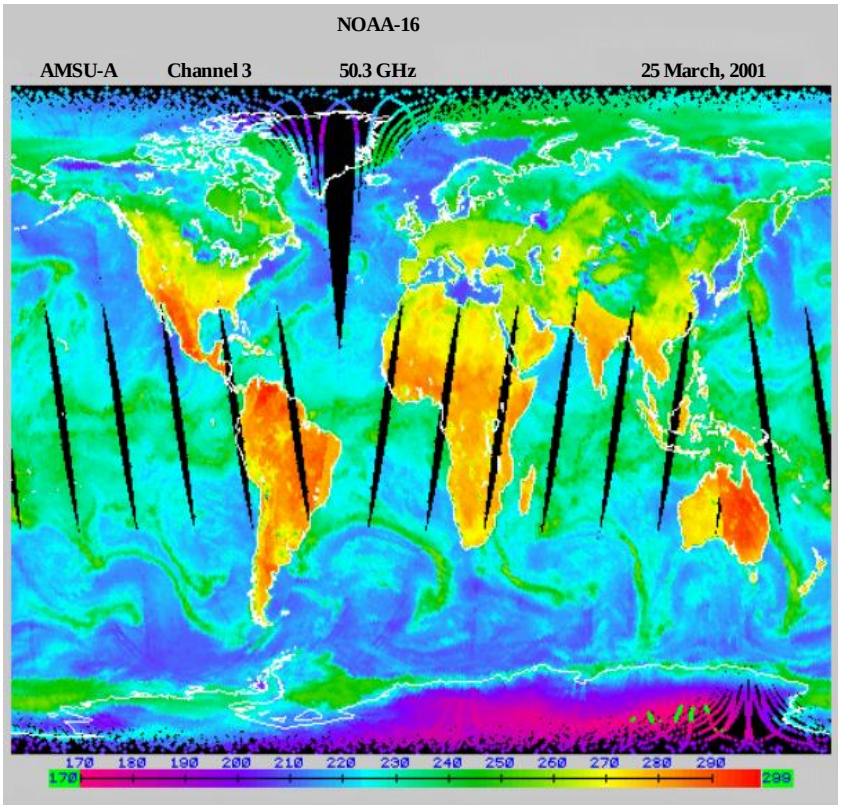
3.7.2.5 استخدام السبر الرأسي للغلاف الجوي

تستخدم المقاطع الرأسية لدرجات الحرارة وللرطوبة بشكل أساسي بصفتها مدخلات لنماذج التنبؤ العددي بالطقس (NWP) والتي تحتاج لقياسات جديدة كل 6 ساعات على الأقل. وتستخدم النماذج العالمية للتنبؤ العددي بالطقس (NWP) لوضع تنبؤات بالطقس تتراوح بين 5 و10 أيام وباستبانة جغرافية تبلغ نحو 10 km. وبدأ يتزايد كذلك تطبيق النماذج الإقليمية والمحلية لوضع تنبؤات أكثر دقة تبلغ استبانتها الجغرافية (بضع كيلومترات) على المدى القصير (من 6 إلى 48 ساعة). ويظهر في الشكل 5-10 القياسات المركبة لدرجات الحرارة (K) العالمية من جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية (AMSU-A)، وتشمل قياسات تؤخذ

على رأس كل 12 ساعة تقريباً. ونجد في هذه القياسات الانبعاث والانعكاس من السطح إضافة إلى الانبعاث من الأكسجين في أغلب الحالات في طبقة 5 km فوق السطح (الشكل 5-9).

الشكل 5-10

القياسات المركبة لدرجات الحرارة (K) العالمية من جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية



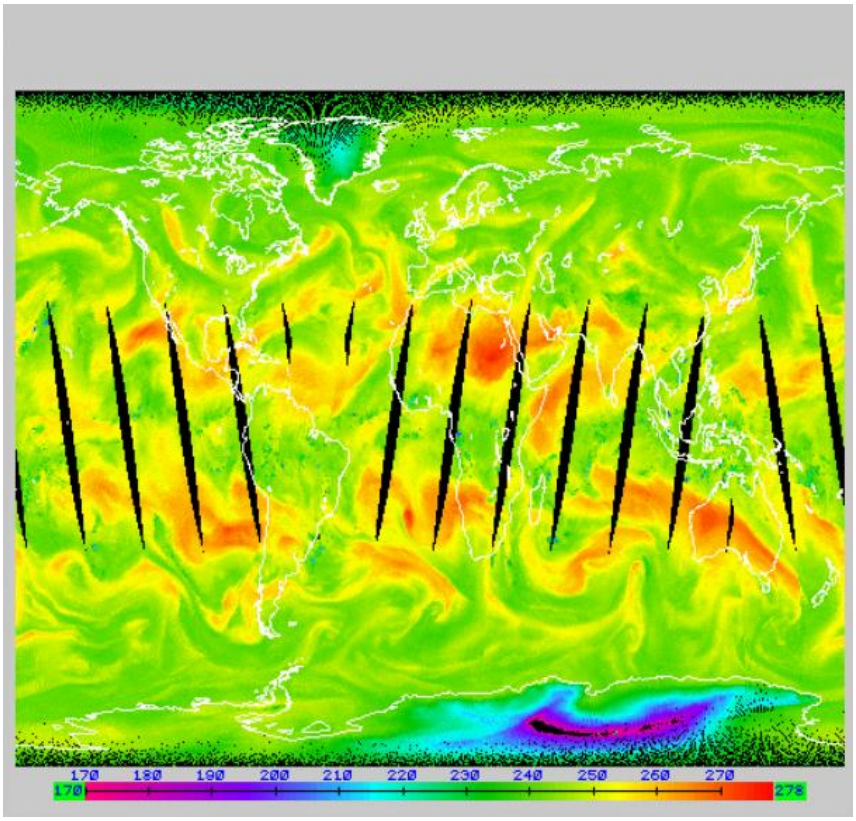
Meteo-05 -10

ويظهر في الشكل 5-11، القياسات المركبة لدرجات الحرارة (K) العالمية من جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية (AMSU-B)، وتشمل قياسات تؤخذ على رأس كل 12 ساعة تقريباً. ويشغل جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية (AMSU-B)، مع جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية (AMSU-A)، لتحسين الاستشعار ببخار الماء في طبقة التروبوسفير. ويرصد جهاز قياس الإشعاع على 183 GHz، درجات الحرارة العليا (اللون البرتقالي/اللون الأحمر) في المناطق المدارية وعلى خطوط الطول المتوسطة عندما تكون الطبقات العليا من التروبوسفير جافة ويكون الجهاز يرصد قرب السطح، ويرصد درجات حرارة اللمعان المنخفضة (اللون الأخضر) عندما تكون الرطوبة عالية ويكون مصدر الإشعاع هو الارتفاعات العليا.

وتستعمل نماذج التنبؤ العددي بالطقس (NWP) معادلات التفاضل الجزئي Navier-Stokes. وبما أنها تحاكي آليات الغلاف الجوي منعدمة الاستقرار بشكل كبير، فإن لها حساسية عالية بالنسبة لنوعية المقاطع المصورة الأولى ثلاثية الأبعاد. وقد وصف Lorentz هذه المشكلة التي أصبحت تفسر بشكل واضح بفضل "نظرية الفوضى". وتحتاج نماذج التنبؤ العددي بالطقس (NWP) إلى أكبر الحواسيب قدرة لتشغيلها.

الشكل 5-11

القياسات المركبة لدرجات الحرارة (K) العالمية من جهاز القياس السلبي بالموجات الصغرية (AMSU-B)



Meteo-05 -11

ولكي تكون نماذج التنبؤ العددي بالطقس (NWP) أكثر فعالية، سيكون من الضروري تحسين والرفع من دورات القياس لهذه النماذج كل 6 ساعات على الأقل في العالم كله وباستبانة تبلغ 50 km بالنسبة للنماذج العالمية و10 km للنماذج الإقليمية/المحلية. وفي المستقبل، سيكون من الضروري الحصول على المعلومات التي تسمح بتشغيل النماذج NWP كل ثلاث ساعات تقريباً.

4.7.2.5 خصائص أجهزة الاستشعار المنفعل باتجاه النظير العاملة في مدى 60 GHz

إن أغلب أجهزة الاستشعار المنفعل بالموجات الصغرية التي صممت لقياس البارامترات في التروبوسفير/الستراتوسفير كلها أدوات باتجاه النظير. وتستعمل تشكيلاً ميكانيكياً (حالياً) أو من فئة push-broom (مستقبلاً) للمسح بمسار متقاطع على مستوى ناظمي بالنسبة لسرعة الساتل الذي يشمل اتجاه النظير. ويوفر هذا التشكيل أفضل مجال للرؤية (FOV) وأفضل متوسط لنوعية البيانات. ووردت في الجدول 5-2 الخصائص التقليدية لأجهزة السبر لدرجات الحرارة العاملة قرابة 60 GHz وعلى متن سواتل المدار الأرضي المنخفض.

الجدول 5-2

الخصائص التقليدية لأجهزة السبر الرأسي بالأمواج الصغيرة جداً في مدى التردد 60 GHz

الخاصية	المسح المكانيكي (حالياً)	المسح من فئة Push-broom (مستقبلاً)
سعة نطاق القناة (MHz)	400	15
فترة الاندماج (s)	0,2	2,45
قطر الهوائي (cm)	15	45
مجال الرؤية الآنية عند 3 dB (بالدرجات)	3,3	1,1
مجال الرؤية عبر المسارات (بالدرجات)	±50	±50
كسب الهوائي (dBi)	36	45
كسب الفصوص البعيدة (dBi)	–10	–10
نجاعة الحزمة (%)	<95	<95
استبانة قياس الاشعاع (K)	0,3	0,1
سعة الشريط (km)	2 300	2 300
حجم بيكسل ندير (km)	49	16
عدد بيكسل/خط	30	90

5.7.2.5 مسابير حافة الغلاف الجوي السلبية العاملة بالموجات الصغرية

تستعمل مسابير حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية (MLS) التي ترصد الغلاف الجوي في اتجاهات تتماس مع طبقات هذا الغلاف لدراسة الطبقات السفلى والعليا من الغلاف الجوي حيث تتفاعل الأنشطة المتصلة بالكيمياء الضوئية لتؤثر أثراً كبيراً على مناخ الأرض. تجدون أدناه أهم الخصائص لقياسات انبعاثات الإشعاع المتماسة:

- يستعمل أطول مسار لتحسين نوعية الإشارات الصادرة عن المكونات البسيطة ذات التركيز المنخفض في الغلاف الجوي، ليصبح السبر ممكناً على الارتفاعات العليا؛
- تحدد الاستبانة الرأسية بفضل النقل الإشعاعي في الغلاف الجوي وبمجال الرؤية الرأسي للهوائي. وورد مثال معروف في الشكل 5-12؛
- تحدد الاستبانة الأفقية العادية على خط الرؤية بشكل أساسي بواسطة مجال الرؤية الأفقي للهوائي والتبقع الناجم عن حركة الساتل؛
- تحدد الاستبانة الأفقية العادية على خط الرؤية بشكل أساسي بواسطة النقل الإشعاعي داخل الغلاف الجوي؛
- تكون الخلفية الفضائية مثلى لمعايرة قياسات الانبعاث؛
- قياسات الإشعاع معرضة للتداخل بشكل كبير بسبب الوصلات الساتلية.

وأطلقت مسابير حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية لأول مرة عام 1991 وتقوم بالوظائف التالية:

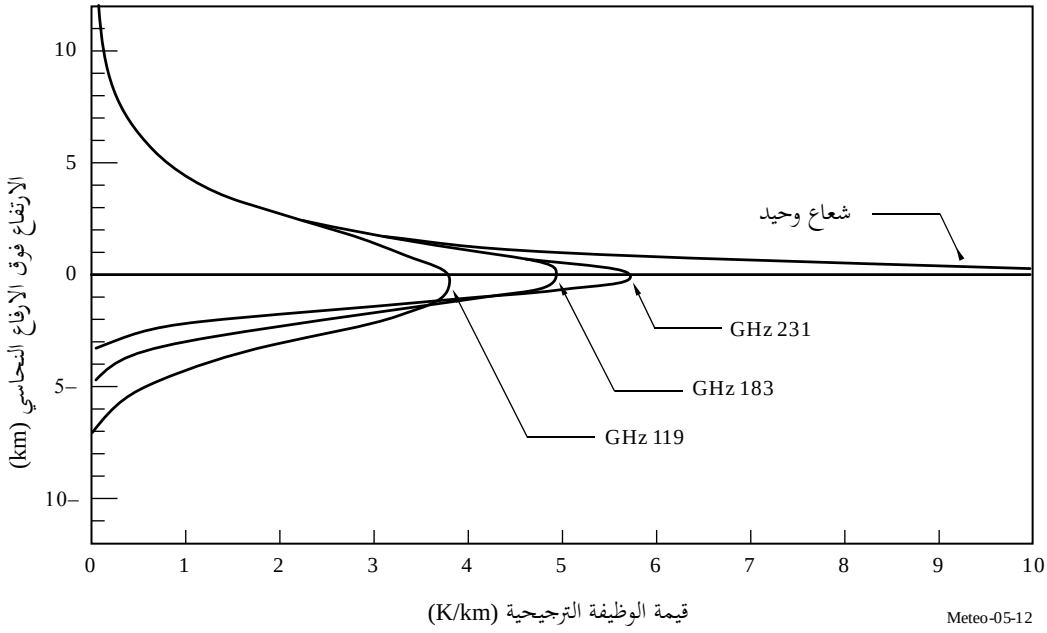
- مسح الغلاف الجوي رأسياً في مدى الارتفاع الذي يتراوح بين 15 و120 km في اتجاهين متعامدين؛
- تتراوح الاستبانة الرأسية المعتادة لقياسات المقاطع (سعة نطاق الوظائف الترجيحية بنصف القيمة) بين 3 و6 km، كما يظهر في الشكل 5-12؛
- تبلغ الاستبانة الأفقية المعتادة 30 km بشكل متقاطع مع اتجاه الرصد و300 km على طول هذا الاتجاه؛

– يتم الحصول على مقاطع كاملة في أقل من 50 ثانية؛

– يتم رصد الانبعاث الحراري لحافة الغلاف الجوي في 5 مناطق طيف الموجات الصغرية (الجدول 5-3).

الشكل 5-12

الوظائف الترجيحية الرأسية لسبر حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية
(استناداً إلى هوائي يبلغ قطره 1,6 متر وعلى ارتفاع 600 km)



الجدول 5-3

أمثلة عن أهداف القياس لمسابير حافة الغلاف الجوي المعتادة
العاملة بالموجات الصغرية ومناطق الطيف

المعلمات الجيوفيزيائية	الحيز الطيفي (GHz)	الارتفاع (km)	ضوضاء جذر متوسط التربيع (الوقت)
الضغط الجوي	60-50	70-30	1% (2 s)
سرعة الريح	119	110-70	2-10 m/s (10 s)
درجة الحرارة		100-20	0,5-3 K (2 s)
O_2		120-80	3×10^{-3} v/v (2 s)
المجال المغنطيسي		110-80	0,3-1 m Gauss (10 s)
H_2O	183	90-15	1×10^{-7} v/v (2 s)
ClO	205	40-20	2×10^{-10} v/v (10 s)
O_3		90-15	1×10^{-8} v/v (2 s)
H_2O_2		50-20	9×10^{-10} v/v (10 s)
O_3	231	90-15	1×10^{-8} v/v (2 s)
CO		100-15	1×10^{-7} v/v (10 s)

ويقيس الجيل الجديد من مسابير حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية درجات الحرارة وتركيز H_2O، O_3، ClO، BrO، HCl، OH، HO_2، HNO_3، HCN، N_2O، في الطبقات الدنيا الستراتوسفورية وما لها من آثار على انكماش الأوزون وتحويل غازات الدفيئة والتأثير الإشعاعي لتغير المناخ، وكشف هذه الظواهر. كما تقيس مسابير حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية (MLS) H_2O وO_3 وCO_2 وHCN وآثارها على التأثير الإشعاعي لتغير المناخ واستكشاف التبادل بين طبقة التروبوسفير وطبقة الستراتوسفير.

وترصد مسابير الإشعاع بالموجات الصغرية تفاصيل كيمياء الأوزون بقياس العديد من القيم الجذرية والبالوعات وغازات المنشأ في الدورات الكيميائية التي تدمر الأوزون. وتوفر هذه المجموعة من القياسات اختبارات صارمة بشأن فهم كيمياء طبقة الستراتوسفير، وتساعد على تفسير الاتجاهات التي ترصد في طبقة الأوزون ووضع الإنذارات المبكرة بشأن أي تغير يلاحظ في كيمياء هذه الطبقة.

وأثبتت مسابير الإشعاع الأصلية بالموجات الصغرية قدرتها على قياس مقاطع بخار الماء في الارتفاعات العليا لطبقة التروبوسفير. وتعتبر هذه المعلومات أساسية لفهم تقلبية المناخ والاحترار الدولي، علماً بأنه كان من الصعب جداً رصده بشكل موثوق على المستوى العالمي.

ويمكن لمسابير الإشعاع بالموجات الصغرية المستقبلية أن ترصد مكونات وفئات إضافية من كيمياء الغلاف الجوي على ترددات أخرى.

6.7.2.5 المسابير المنفعلة العاملة بالموجات الصغرية وقابليتها للتعرض للتداخل

وترصد مسابير الاستشعار المنفعل جميع الانبعاثات الطبيعية (المطلوبة) والبشرية المنشأ (غير المطلوبة). وليس بإمكانها بشكل عام التمييز بين هذين الفئتين من الإشارات لأن الغلاف الجوي واسطة منعدمة الاستقرار بشكل كبير وله خصائص تتغير بسرعة من حيث المكان والزمان. ونذكر من بين المشاكل المطروحة بشكل خاص بالنسبة لأجهزة الاستشعار المنفعل تواجد عدد كبير من أجهزة الإرسال منخفضة القدرة داخل منطقة قياس أجهزة الاستشعار المنفعل. ومن بين أجهزة الإرسال منخفضة القدرة هذه، هناك نبائط النطاق العريض جداً (UWB) والتطبيقات الصناعية والعلمية والطبية (ISM) ونبائط المدى القصير (SRD). ويزداد الوضع حساسية بازدياد كثافة هذه النبائط النشيطة، لا سيما وأنه تم التبليغ عن حالات من التداخل الضار.

لهذا تعتبر قياسات أجهزة الاستشعار المنفعل سهلة التأثر بالتداخل حتى على مستويات القدرة المنخفضة جداً والتي يمكن أن تكون لها نتائج وخيمة:

- لقد تأكد أن عينات البيانات الساتلية الملوثة حتى وإن كانت بنسبة مئوية ضئيلة لا تتجاوز 0,1% يمكن أن تكون كافية لتوليد أخطاء غير مقبولة في التنبؤات العددية بالطقس، وتقويض الثقة في هذه القياسات السلبية الفريدة للطقس.

- إن الحذف المباشر للبيانات التي يحتمل أن تكون تأثرت بالتداخل (إن أمكن اكتشافها) قد يفضي إمكانية فقدان مؤشرات حيوية لبعض العواصف الخطيرة التي تتطور بسرعة، واستحالة تنفيذ أنظمة طقس متطورة جديدة.

- وإذا كان التداخل بمستوى قدرة منخفض بما فيه الكفاية بحيث لا يتم اكتشافه، وهذا من المحتمل جداً، فإن البيانات الملوثة يتم اعتبارها بالخطأ على أنها بيانات صحيحة ويفضي التحليل الذي يستند إليها إلى نتائج خاطئة.

- بالنسبة للدارسات الخاصة بعلم المناخ ولا سيما مراقبة "تغير المناخ العالمي"، قد يفضي التداخل إلى سوء تفسير إشارات المناخ.

وتقدم التوصية ITU-R RS.2017، مستويات الأداء المطلوبة في قياس الإشعاع ومستويات التداخل المقبولة، التي يمكن في إطارها تحقيق الأداء المطلوب.

3.5 أجهزة الاستشعار النشيط

1.3.5 مقدمة

الغرض من هذا الجزء هو تقديم وصف الاحتياجات من تردد الطيف الراديوي لأجهزة الاستشعار من مركبة فضائية، ولا سيما المسابير المستخدمة في مراقبة ظواهر الأرصاد الجوية. ويتمثل الهدف في تقديم الفئات الفريدة للمسابير وخصائصها التي تحدد احتياجاتها الخاصة من الترددات، وعرض معايير الأداء والتداخل اللازمة لدراسات التوافق مع خدمات أخرى في نطاقات الترددات المعنية ووصف الوضع الراهن بشأن دراسات التوافق بين المسابير النشيطة العاملة من مركبات فضائية وخدمات أخرى، وإثارة بعض المسائل والانشغالات الأخرى.

وهناك خمس فئات رئيسية من المسابير النشيطة في هذا الدليل:

الفئة 1: رادارات الفتحة الاصطناعية (SAR) – وهي مسابير موجهة إلى جانب واحد من مسار النظير، وتراكم المعلومات بشأن الطور والزمن لصدى الرادار المتناغم الذي يستند إليه عادةً لوضع صورة رادار لسطح الأرض.

الفئة 2: أجهزة قياس الارتفاع – وهي مسابير موجهة باتجاه النظير تقيس بدقة التوقيت بين حدث الإرسال وحدث الاستقبال لاستخلاص الارتفاع بدقة لسطح المحيط في الأرض، بما في ذلك مياه السواحل والجزر.

الفئة 3: أجهزة قياس التناثر – وهي مسابير موجهة نحو أبعاد مختلفة على جوانب مسار النظير، وتستعمل قياس تباين قدرة الصدى العائد مع زاوية البعد لتحديد اتجاه الريح وسرعتة على سطح المحيط في الأرض، بما في ذلك مياه السواحل والجزر. ويستعمل الانتثار الخلفي أيضاً لدراسة جميع الأسطح على البر بتوفير ظروف سطح الأرض مثل رطوبة التربة والأمطار على البر.

الفئة 4: رادارات الهطول – وهي مسابير تمسح بشكل متعامد مع مسار النظير، وتقيس صدى الرادار العائد من المطر المتساقط لتحديد معدل الهطول على سطح الكرة الأرضية وتحديد الهيكل ثلاثي الأبعاد للهطول.

الفئة 5: رادارات تصوير مقاطع السحب – وهي مسابير تقيس صدى الرادار العائد من السحب لتحديد مقطع انعكاس السحب على سطح الكرة الأرضية.

وجرى تلخيص خصائص الفئات الرئيسية الخمس للمسابير الإيجابية من المركبات الفضائية في الجدول 5-4.

الجدول 5-4

خصائص أجهزة الاستشعار النشيطة من المركبات الفضائية

الخصائص	فئات أجهزة الاستشعار				
	رادارات الفتحة الاصطناعية (SAR)	**جهاز قياس الارتفاع**	**جهاز قياس الانتثار**	**رادارات الهطول**	**رادارات تصوير مقاطع السحب**
هندسة التسديد	مسح جانبي عند 10°-55° من النظير	باتجاه النظير مسح بزوايا سقوط متعددة	– ثلاث/ست حزم مروحية في السمت – حزمة أو أكثر للمسح المخروطي	مسح عبر مسار حول النظير	باتجاه النظير
الرقعة/–الدينامية	– ثابت في جانب واحد – ScanSAR – الإضاءة الموضعية	ثابت عند النظير مسح بزوايا سقوط متعددة	– ثابت في السمت – حزم متعددة للمسح المخروطي	مسح عبر مسار النظير	ثابتة عند النظير
حزمة الهوائي	حزمة مروحية	حزمة ضيقة	– حزم مروحية – حزم ضيقة	حزمة ضيقة	حزمة ضيقة

الجدول 5-4 (*تتمة*)

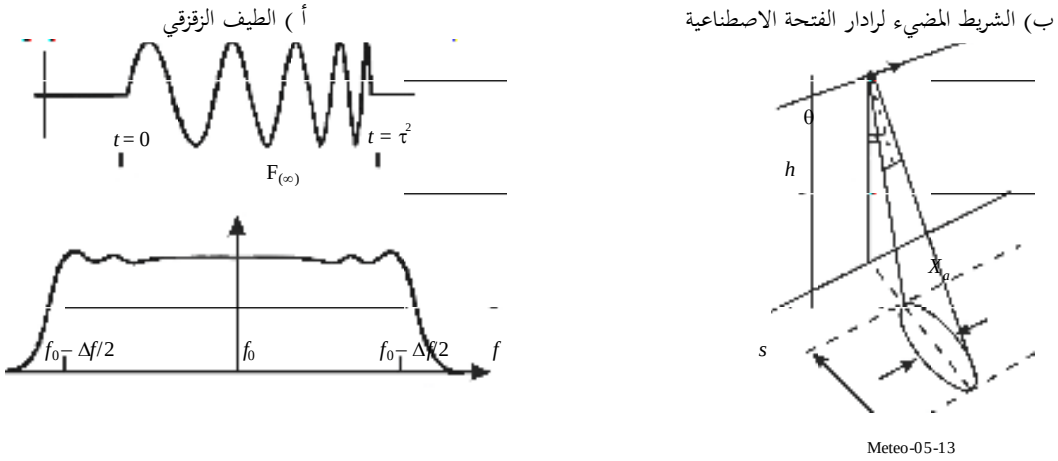
الخصائص	فئات أجهزة الاستشعار				
	رادارات الفتحة الاصطناعية (SAR)	**جهاز قياس الارتفاع**	**جهاز قياس الانتشار**	**رادارات الهطول**	**رادارات تصوير مقاطع السحب**
قدرة الذروة المشعة (W)	8 000-1 500	20	5 000-100	600	1 500-1 000
شكل الموجة	نبضات خطية FM	نبضات خطية FM	موجة حاملة متقطعة أو نبضات قصيرة (المحيطات) أو نبضات FM خطية (البر)	نبضات قصيرة	نبضات قصيرة
عرض النطاق	MHz 1 200-20	MHz 500/320	kHz 80-5 (المحيطات) أو MHz 4-1 (البر)	MHz 14	kHz 300
عامل التشغيل (%)	30-1	46	31 (المحيطات) أو 10 (البر)	0,9	14-1
منطقة الخدمة	سطح الأرض/السواحل/ المحيطات	المحيطات/الجليد/ مياه السواحل والجزر	المحيطات/الجليد/ البر/ السواحل	سطح الأرض/المحيطات	سطح الأرض/المحيطات
نطاقات التردد النمطية	GHz 1,3 وGHz 5 وGHz 9 وGHz 36	GHz 5 وGHz 13 وGHz 36	GHz 1,3 وGHz 5 وGHz 13	GHz 36 وGHz 78	GHz 94 وGHz 138 وGHz 238

2.3.5 رادارات الفتحة الاصطناعية (SAR)

تلتقط رادارات الفتحة الاصطناعية صوراً لسطح الأرض. ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح الأرض مع حقل EM. وتؤثر عرض النطاق للتردد الراديوي في استبانة بيكسل الصورة. ويظهر في الشكل 5-13 أ)، النبضة الزقزقية كما يظهر في الحيز الأسفل سعة نطاق التردد المقابلة. وتبلغ استبانة المدى ($c/2/(BW \sin \theta)$)، حيث c هي سرعة الضوء، وBW سعة نطاق التردد الراديوي، وθ زاوية الإسقاط. وللحصول على استبانة بمدى متر في زاوية إسقاط تبلغ 30 درجة، على سبيل المثال، ينبغي أن تبلغ سعة نطاق التردد MHz 300. وتضئ العديد من رادارات الفتحة الاصطناعية الشريط من جهة واحدة باتجاه السرعة كما يظهر ذلك بالشكل 5-13 ب). ويعاد أي مصدر من مصادر التداخل داخل منطقة الشريط المضيء إلى جهاز الاستقبال لرادار الفتحة الاصطناعية ويحط من جودة بيكسلات الصور. ويحدد مستوى التدهور المقبول لنوعية بيكسل الصورة مستوى التداخل المقبول. وتظهر في الشكل 5-14 صورة للبحر الميت بين إسرائيل والأردن التقطها رادار الفتحة الاصطناعية.

الشكل 5-13

الطيف الزقزقي والشريط المضيء لرادار الفتحة الاصطناعية



الشكل 5-14

صورة للبحر الميت على طول الضفة الغربية بين إسرائيل والأردن التقطها رادار الفتحة

Meteo-05 - 14

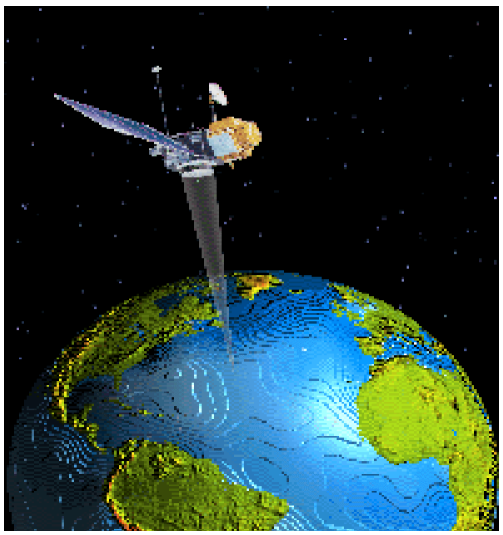
3.3.5 أجهزة قياس الارتفاع

توفر هذه الأجهزة قياسات لارتفاع سطح المحيط. والصور 5-15 و5-16 أ) و5-16 ب)، هي أمثلة لجهاز قياس الارتفاع الساتلي ودقة القياس المعهودة. ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح المحيط مع حقل EM. ويتيح تشغيل التردد

الثنائي تعويض التأخير الأيونوسفيري. على سبيل المثال، يعتبر استعمال الترددات قرب GHz 13,6 وGHz 5,3 إحدى الترتيبات للتردد الثنائي. وتؤثر سعة نطاق التردد على دقة قياس الارتفاع. وتتناسب دقة الاختلاف الزمني Δt عكسياً مع BW التي هي سعة نطاق التردد الراديوي RF. ويحدد مستوى التدهور المقبول لدقة الارتفاع، مستوى التداخل المقبول. وقد قاست بعض أجهزة قياس الارتفاع على متن السواتل سطح المحيط بدقة بلغت 4,2 cm. وتحدد التوصية ITU-R RS.1166-4 الانحطاط المقبول في الأداء بالقيمة 4%.

الشكل 5-15

جهاز قياس الارتفاع الساتلي بالموجات الصغرية

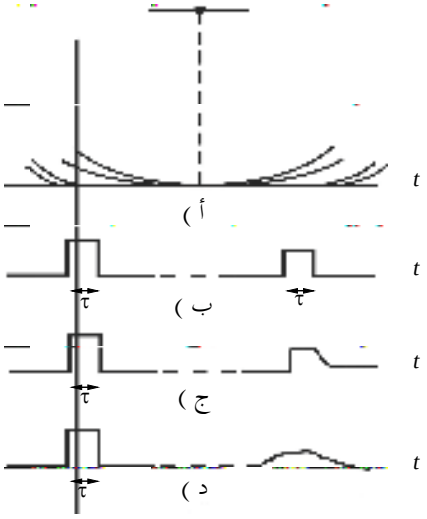


Meteo-05 - 15

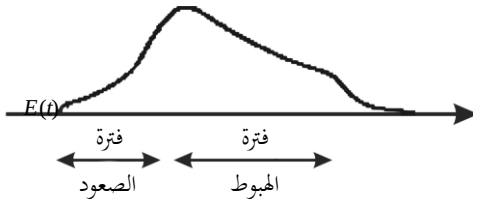
الشكل 5-16

مثال للنبضة العائدة لجهاز قياس الارتفاع وانتشار النبضة العائدة

أ) مثال للنبضة العائدة لجهاز قياس الارتفاع



ب) انتشار النبضة العائدة



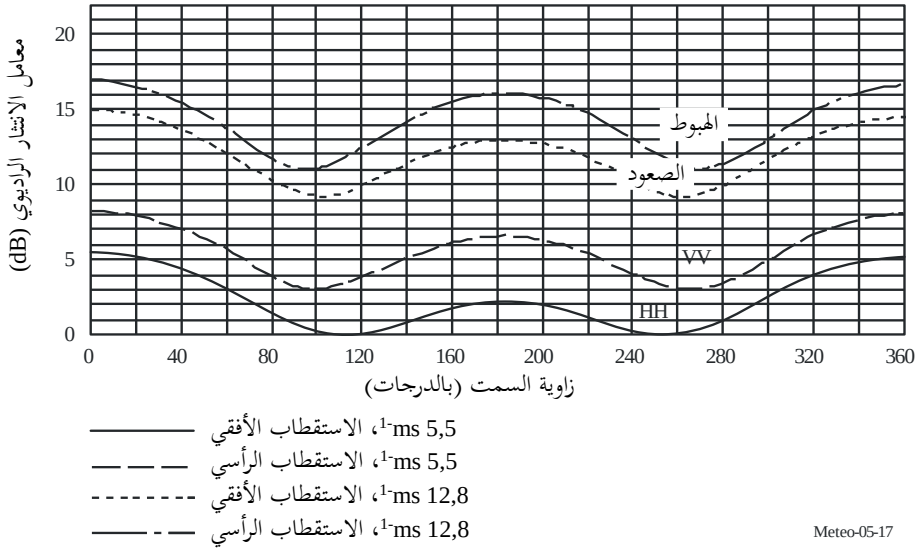
Meteo-05-16

4.3.5 أجهزة قياس الانتشار

توفر أجهزة قياس الانتشار بشكل أساسي قياسات اتجاه وسرعة الريح فوق سطح محيطات الأرض ومستوى جليد البحر وخصائصه. ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح المحيط مع حقل EM وتباينه على زاوية المنظر. ويظهر في الشكل 5-17 تباين مستوى الانتشار الخلفي مع زاوية المنظر بالنسبة لاتجاه سرعة الريح.

الشكل 5-17

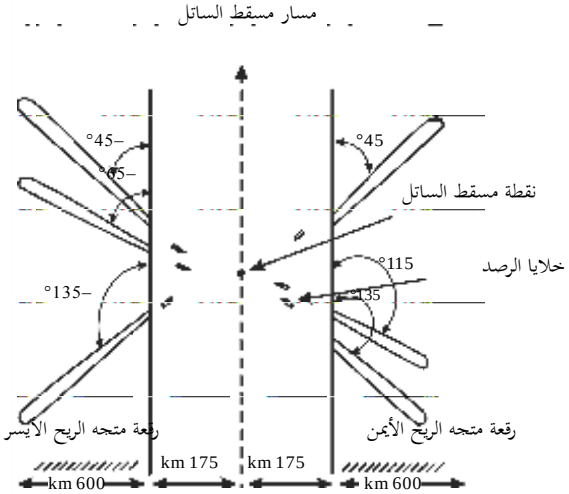
تباين مستوى الانتشار الخلفي مع الزاوية الباعية



وكما يظهر في الشكل 5-18، يضيء جهاز قياس الانتشار سطح الأرض في عدة زوايا باعية ثابتة مختلفة. وفي الشكل 5-19، تضيء حزمة ضيقة للمسح لجهاز قياس الانتشار مناطق مسح في زاويتين مختلفتين للرؤية من اتجاه النظير ومناطق مسح تبلغ 360 درجة بالقرب من اتجاه النظير في زاوية السمت. وتوفر سعة نطاق التردد الراديوي استبانة خلية القياس اللازمة.

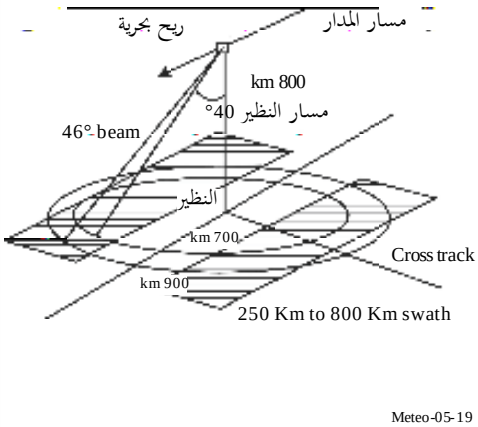
الشكل 5-18

بصمة ثابتة لجهاز قياس الانتثار



الشكل 5-19

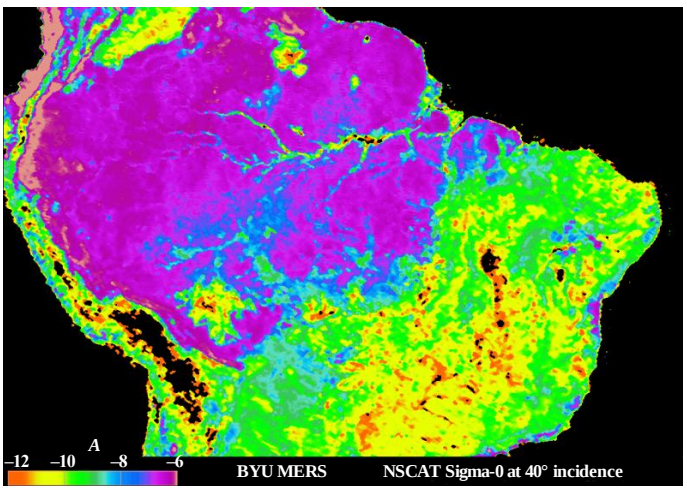
مسح بحزمة جهاز قياس الانتثار



وتتمثل الوظيفة الأساسية لجهاز قياس الانتثار في دراسة الريح فوق المحيطات، بيد أن العلماء استنبطوا طريقة لدراسة التغيرات في الانتثار الخلفي لجهاز الرادار لتتم ايضاً دراسة جميع السطوح البرية الأخرى، بتوفير ظروف سطح الأرض مثل رطوبة التربة والأمطار على البر. يتضمن الشكل 5-20 مثالاً عن صورة رادار التقطت من جهاز قياس الانتثار (NSCAT) لغابة الأمازون المدارية في أمريكا الجنوبية. ورادار قياس الانتثار حساس للظروف السائدة على سطح الأرض، مثل نمط الغلاف النباتي وكثافته.

الشكل 5-20

صورة رادار من جهاز قياس الانتثار (NSCAT) لغابة الأمازون المدارية في أمريكا الجنوبية



5.3.5 رادارات الهواطل

تقدم رادارات الهواطل قياسات للهواطل على سطح الأرض، وتركز بشكل خاص على تساقط المطر في المناطق المدارية.

ويرتبط اختيار التردد الراديوي المركزي بتفاعل الهطول مع المجال المغنطيسي. ومعادلة المقطع العرضي للانتثار الخلفي للرطوبة الجوية الكروية هي:

$$\sigma_b = \pi^5 |K_W|^2 D^6/\lambda^4 = \pi^5 |K_W|^2 Z/\lambda^4 \qquad (4\text{-}5)$$

حيث:

$|K_W|^2$: متعلق بالمؤشر الانكساري لماء القطرة

D: قطر القطرة (m)

λ: طول موجة الرادار (m)

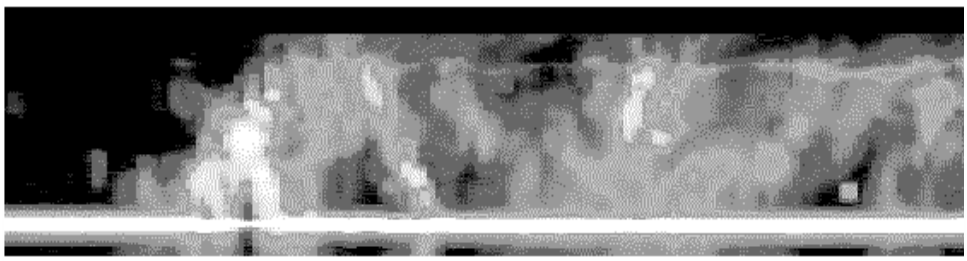
Z: عامل انعكاسية الرادار.

ويزداد الانتثار الخلفي بصفته القدرة الرابعة للتردد الراديوي.

ويظهر في الشكل 5-21 مثال عن مقطع عرضي رأسي لعامل انعكاسية الرادار. وتوفر سعة نبضة إشارة التردد الضيقة استبانة مدى القياس اللازمة. ويستعمل رادار الهطول مثلاً نبضة تبلغ سعتها 1,6 µs، على الرغم من أن هذه القيمة يمكن أن تختلف باختلاف النظم الأخرى. ويحدد مستوى تدهور انعكاسية الهطول الأدنى المقبول، مستوى التداخل المقبول.

الشكل 5-21

انعكاسية مركبة من قياسات انعكاسية الهطول



Meteo-05 -21

6.3.5 رادارات تصوير مقاطع السحب

توفر رادارات تصوير مقاطع السحب مقاطع ثلاثية الأبعاد لانعكاسية السحب على سطح الأرض. ويبين الشكل 5-22 تمثيلاً لانعكاسية الانتثار الخلفي مقابل الارتفاع.

ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح المحيط مع حقل EM وتباينه على زاوية المنظر.

وتقدم المعادلة (5-5) عناصر حساب مستوى القدرة العائدة للسحب.

$$\tilde{P} = \frac{\pi^5 10^{-17} P_r G^2 t \theta_r^2 |K_W|^2 Z_r}{6.75 \times 2^{14} (\ln 2) r_0^2 \lambda^2 l^2 l_r} \quad \text{mW} \qquad (5\text{-}5)$$

$\tilde{P}$: مستوى القدرة العائدة للسحب (mW)

P_r: قدرة إرسال الرادار (W)

G: كسب الهوائي (رقمي)

t: سعة النبضة (µs)

θ_r: سعة حزمة الهوائي 3 dB (بالدرجات)

K_W: عامل العازل لمحتوى ماء السحب

Z_r: عامل انعكاسية السحب (mm^6/m^3)

r_0: مسافة المدى (km)

λ: طول موجة الرادار (cm)

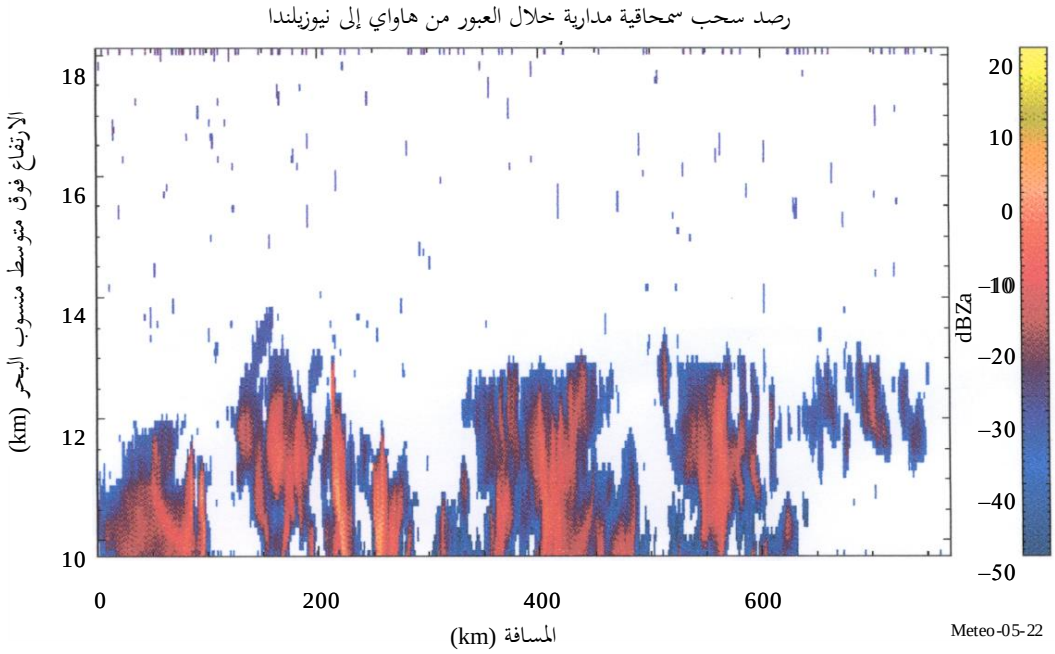
l: خسارة الإشارة بسبب امتصاص الغلاف الجوي

l_r: خسارة نظام الرادار.

وكما يظهر في هذا المعادلة، تتناقص القدرة العائدة مع مربع طول الموجة. وبما أن التردد الراديوي متناسب عكسياً مع طول الموجة، فإن القدرة العائدة تتزايد مع مربع التردد الراديوي. وفي حالة الجزيئات الصغيرة (نظام Rayleigh)، تتزايد القدرة العائدة مع التردد أربعة أضعاف، لأن العلاقة تعتمد على حجم الجزيئات النسبي مقارنةً بطول الموجة. ولهوائيات رادارات تصوير السحب نتوءات جانبية ضعيفة القدرة جداً تتيح عزل الإشارة العائدة من السحب عن الإشارة العائدة من السطح المضيء.

الشكل 5-22

مثال لانعكاسية سحب سمحاقية



7.3.5 التداخل بين أجهزة الاستشعار ومعايير الأداء

وترد معايير الأداء والتداخل المسموح به في التوصية ITU-R RS.1166 لفئات مختلفة من أجهزة الاستشعار النشيطة من المركبات الفضائية. وتراجع التوصية دورياً لإبراز التعديلات التنظيمية مثل منح توزيع جديد للخدمة EESS (النشطة) والتغييرات في أحدث أجهزة الاستشعار التي من شأنها أن تؤثر على المعايير القائمة للأداء والتداخل المسموح به.

8.3.5 مستويات كثافة تدفق القدرة (pfd)

وتشير خصائص الفئات المختلفة من أجهزة الاستشعار النشيط من المركبات الفضائية الواردة في الجدول 5-4 إلى أن أكبر قدر من القدرة التي تُرسل وبالتالي مستويات القدرة التي تستقبل على سطح الأرض ستكون مختلفة في المستويات. يبين الجدول 5-5 مستويات كثافة تدفق القدرة لجهاز الاستشعار النشيط على سطح الأرض لبعض التشكيلات التقليدية لهذا الجهاز.

الجدول 5-5

مستويات كثافة تدفق القدرة على سطح الأرض

البارامترات	نوع جهاز الاستشعار				
	رادارات الفتحة الاصطناعية	جهاز قياس الارتفاع	جهاز قياس الانتثار	رادارات الهطول	رادارات تصوير مقاطع السحب
القدرة المشعة (W)	1 500	20	100	578	630
كسب الهوائي (dB)	36,4	43,3	34	47,7	63,4
المدى (km)	695	1 344	1 145	350	400
كثافة تدفق القدرة ($dB(W/m^2)$)	59,67–	77,25–	78,17–	46,55–	31,64–

الفصل السادس

نظم الاتصالات الراديوية الأخرى لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

الصفحة

1.6 مقدمة 110

2.6 نظم التوزيع 110

3.6 النظم الهيدرولوجية 110

4.6 الاتصالات الراديوية لأغراض نظم الأرصاد الجوية والبيئية العاملة عن بُعد 111

5.6 استعمالات الأرصاد الجوية للنظم العالمية للسواتل لأغراض الملاحة (GNSS)..... 112

6.6 نظم كشف البرق 112

7.6 الاستشعار عن بُعد من الأرض..... 115

8.6 نظم الطائرات بلا طيار..... 115

1.6 مقدمة

جرت الإشارة في الفصل الأول إلى أن خدمات الأرصاد الجوية تحتاج إلى جمع بيانات عمليات الرصد من مواقع نائية من الأرض والبحر على حد السواء. ولهذا فإن نظام الرصد الجوي يعتمد على العديد من خدمات الاتصالات الراديوية بالإضافة إلى خدمات الأرصاد الجوية الساتلية ومساعدات الأرصاد الجوية والتحديد الراديوي للموقع وخدمة استكشاف الأرض الساتلية التي تم وصفها في الفصول الأولى من هذه الدليل.

ومن الحاسم جداً أن يوزع المتخصصون في الأرصاد المعلومات والإنذارات على الزبائن في أقرب وقت ممكن في الأماكن ذات الكثافة السكانية الكبيرة أو في المناطق النائية وغير الآهلة. وإلى جانب ذلك، تقدم خدمات الأرصاد الجوية لتقديم الدعم للعمليات البحرية والجوية في شتى أنحاء العالم. ولتحقيق ذلك، تستعمل نظم التوزيع الخاصة بنواتج الأرصاد الجوية تشكيلة واسعة من خدمات الاتصالات الراديوية.

2.6 نظم التوزيع

يتسم توزيع التنبؤات بنفس الأهمية التي يكتسيها جمع البيانات وحفظها وإعداد التنبؤات. ويعتبر توفير هذه التنبؤات للجمهور شرطاً أساسياً لإنقاذ الأرواح، لتمكين الجمهور من اتخاذ الخطوات اللازمة لحماية أرواحهم وممتلكاتهم.

وجرى تطوير مجموعة من النظم الراديوية المتخصصة بمرور السنين تستعمل لتوزيع التنبؤات والبيانات الخاصة بالأرصاد الجوية. ومن أبسط هذه النظم، نذكر الإذاعة الصوتية، التي تستعمل التردد العالي جداً ولا تحتاج إلا للحد الأدنى من المعدات ليستعملها الجمهور. وتستعمل هذه النظم لإنذار الجمهور من العواصف التي تهددهم والفيضانات ودرجات الحرارة القاسية وبعض المخاطر الأخرى سواء أكانت طبيعية أم من منشأ بشري. كما يمكن تحسين هذه النظم بإضافة عناصر لإرسال البيانات للصم وذلك باستعمال معدات خاصة. ويمكن أيضاً تصميم هذه التجهيزات لتوفير البيانات بشكل متواصل أو يمكن أن تبقى صامتة إلى حين إشعالها بصوت إنذار يبلغ بحادث خاص يتصل بحالة الطقس القاسي أو بخطر محدق. ويمكن لخدمات توزيع المعلومات أن تكون ضمن الخدمات الثابتة أو المتنقلة، بما فيها الخدمة المتنقلة البحرية. كما تُشغل نظم التوزيع الأخرى من خلال البث الإذاعي والتلفزيوني (الأرضي والساتلي) وبواسطة الوصلات الهابطة لخدمات الأرصاد الجوية الساتلية.

وبمرور السنوات، استعملت الإدارات الترددات الراديوية العالية لتوفير المعلومات والإنذارات المتصلة بالطقس للبواخر في عرض البحار وللطائرات. وتوفر هذه النظم عادة إرساليات صوتية وبواسطة الفاكس (WEFAX). وانتقلت العديد من هذه النظم إلى أنماط إرسال أخرى مثل الإرسال الساتلي نظراً لطبيعة التردد العالي الذي لا يمكن الاعتماد عليه.

وينبغي الإشارة في الختام إلى أن نظم الخدمة الساتلية الثابتة، ومن خلال التحميل التجاري بالمقابل في النطاق C (400 3-200 4 MHz) والنطاق Ku (700 10-700 11 MHz) تُستعمل عالمياً في الوقت الحالي لتوزيع المعلومات المتصلة بالطقس والماء والمناخ، بما فيها الإنذارات بالكوارث على وكالات الأرصاد الجوية والمستعملين. ويكتسي استعمال السواتل التي تستخدم النطاق C أهمية خاصة في المناطق التي يصعب فيها الانتشار (مثلاً الأمطار الغزيرة في المناطق المدارية والاستوائية) وبالتالي استعمال نظم الاتصالات الأخرى.

3.6 النظم الهيدرولوجية

تعتبر الفيضانات ظواهر طبيعية وهي جزء من الحياة اليومية في العديد من مناطق العالم، كما أن النظم التي يمكنها أن تساعد على التنبؤ بحدوثها وتحديد موقعها وقوتها قد أنقذت العديد من الأرواح وقدراً كبيراً من الممتلكات. وتتيح المعلومات إخلاء الفئات المستضعفة وبناء الحواجز والسدود وترحيل الأملاك القيمة والقابل للتدهور.

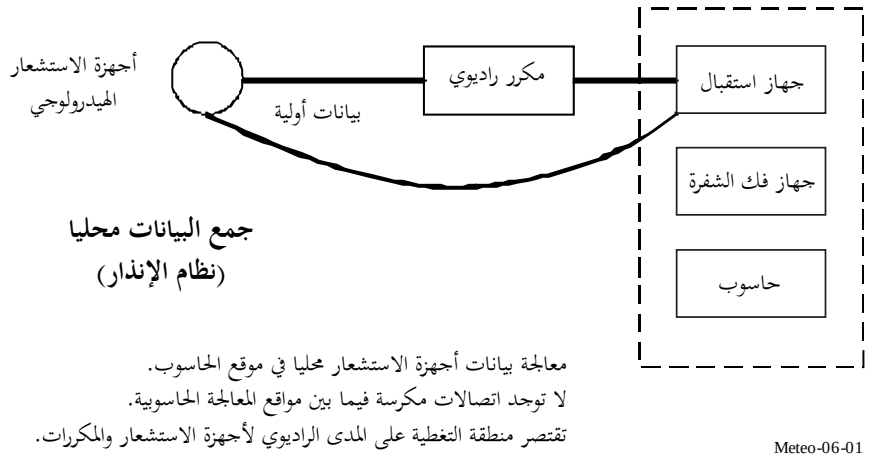
وكمكمل لشبكات رادارات الأرصاد الجوية (انظر الفصل الرابع) التي تعد حالياً أداة أساسية في العمليات الهيدرولوجية، تُستعمل أيضاً بعض النظم الهيدرولوجية عادةً في قياس الهواطل وارتفاع التيار وعمق كتلة الثلج، وكلها عناصر ضرورية للتنبؤ بالفيضانات والإنذار المبكر بها. كما تعتبر هذه النظم مفيدة لتقييم الموارد المائية المتوفرة.

تلحق الفيضانات أضراراً يبلغ متوسطها السنوي في الولايات المتحدة الأمريكية لوحدها 4 مليارات دولار أمريكي تقريباً. وتسعى الفئات التي تتعرض كثيراً للمشاكل المتصلة بالفيضانات والتي من شأنها أن تتكبد خسائر كبيرة عندما تتعرض للفيضانات إلى إيجاد السبل الكفيلة بالتخفيف من هذه الخسائر. وتعتبر النظم الهيدرولوجية المؤتمتة حلاً جذاباً نظراً لقلة كلفتها من حيث التشغيل، كما يمكنها أن تعزز تشغيل أنماط الحد الأخرى من مخاطر الفيضانات، مثل عمليات استحداث مستودعات صرف الفيضان والتأمين من الفيضان وإدارة السهول الفيضية.

ويشمل النظام الهيدرولوجي المؤتمت أجهزة الاستشعار للتبليغ بالحوادث المتصلة بالأرصاد الجوية والهيدرولوجيا، وأجهزة الاتصالات الراديوية والحواسيب والبرمجيات. وترسل الإشارات المشفرة في شكلها المبسط بواسطة تجهيزات الاتصالات الراديوية، عادةً على نطاق الترددات العالية جداً (VHF) أو الترددات فوق العالية (UHF) في إطار الخدمات الثابتة أو المتنقلة، إلى محطة قاعدية من خلال مواقع المكررات عادةً (الشكل 6-1). وتجمع المحطة القاعدية هذه الإشارات المشفرة وتحولها بعد المعالجة إلى معلومات لها معنى بالنسبة للأرصاد والهيدرولوجيا يمكن عرضها على نظام الإنذار أو إقرانها به، ويمكنها أن تبلغ المسؤولين بحالات الطوارئ عند تجاوز بعض المؤشرات التي يتم تحديدها مسبقاً.

الشكل 6-1

رسم لنظام هيدرولوجي



4.6 الاتصالات الراديوية لأغراض نظم الأرصاد الجوية والبيئية العاملة عن بُعد

تتفاوت الخصائص التقنية لهذه النظم بما فيها ترددات التشغيل بشكلٍ كبير، ويمكن استعمال أي نطاق من نطاقات التردد الراديوي التي تستعملها الأرصاد الجوية. ويتم اختيار النطاق في أغلب الحالات استناداً إلى السعة اللازمة التي تُحدد وفقاً لنوع وكمية المعلومات التي ينبغي حملها. وتستجيب النظم الثابتة عن بُعد لأغراض الأرصاد الجوية لتشكيلة واسعة من الأهداف وتعمل في عدد من نطاقات الترددات الراديوية. وتعمل هذه النظم في توزيعات ثابتة كما يظهر من تسمياتها. وتشمل هذه الاستعمالات عادةً:

الإبراق الصوتي أو وصلات المغذي التي تستعمل لحمل إشارات المراقبة أو إشارات البيانات إلى مواقع أجهزة الإرسال الخاصة بتوزيع البيانات، التي تكون عادةً في مواقع بعيدة (على قمم الجبال مثلاً) من أجل ضمان التغطية القصوى.

الاستشعار بالرادار عن بُعد الذي يستعمل لنقل الإشارات العائدة للرادار من الرادار نفسه (يكون موقعه بعيداً عادةً) إلى المكتب الذي تعالج فيه البيانات. ويستخدم العاملون الترددات الراديوية أيضاً لمراقبة التجهيزات عن بُعد في موقع الرادار.

جمع البيانات تنقل البيانات التي جمعتها أجهزة الاستشعار الجوية والهيدرولوجية من مواقع جمع هذه البيانات الواقعة عن بُعد إلى مستودع مركزي أو مرفق لمعالجتها، وتتعلق هذه البيانات بقياس الريح والمطر ودرجات الحرارة وعمق الثلج وهزات الأرض (لكشف الزلازل والتنبؤ بها) أو أي ظاهرة أخرى من الظواهر الطبيعية.

5.6 استعمالات الأرصاد الجوية للنظم العالمية للسواتل لأغراض الملاحة (GNSS)

ويستعمل المتخصصون في الأرصاد الجوية إشارات النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) التي تُرسل حالياً على 1 575,42 MHz (ويدعى L1) وعلى 1 227,6 MHz (ويدعى L2) (وتلك التابعة لنظام GLONASS) في الأغراض التالية:

- *تحديد مواقع منصات الرصد المتنقلة:* على سبيل المثال المسابير الراديوية على متن المناطيد، والمسابير الهابطة بواسطة المظلات، والطائرة بدون طيار والتي تحمل أجهزة استشعار خاصة بالأرصاد الجوية (انظر الفصل الثالث)، أو نظم الرصد البحري كالمنصات العائمة.
- *التزامن الدقيق جداً للتوقيت:* بين مواقع الرصد عن بُعد كما هو مطلوب مثلاً بالنسب لنظم كشف البرق (راجع الجزء 5.6).
- *قياس إجمالي بخار الماء في الغلاف الجوي:* ويُستخلص من تأخر الطور في إشارات النظام العالمي لتحديد المواقع التي تستقبلها أجهزة الاستقبال القائمة على الأرض. ويستدعي حساب إجمالي بخار الماء حسابات دقيقة للغاية لموقع مختلف سواتل النظام العالمي لتحديد المواقع وتوقيت ساعات الساتل. وينبغي أن يكون موقع جهاز الاستقبال الأرضي معروفاً أيضاً بشكلٍ دقيق جداً. وتركب أجهزة الاستقبال للنظام العالمي لتحديد المواقع عادةً على منصة ثابتة وملائمة للمتابعة الدقيقة للموقع على سطح الأرض ولتوفير المعلومات المتصلة بالأرصاد الجوية أيضاً. ويمكن بالتالي وضع هذه القياسات بصفتها نتاجاً فرعياً للرصدات الأرضية والجوفية أو من أجهزة الاستشعار التي ينشرها المتخصصون في الأرصاد الجوية. ويتم تحديد تأخر الطور المدمج في تراسل الإشارة بواسطة الايونيسفير انطلاقاً من الاختلافات في تأخر الطور بين الترددين L1 وL2 للنظام العالمي لتحديد المواقع. إذا كان الضغط ودرجات الحرارة معروفة، يمكن تقييم تأخر الطور الهيدروستاتي الجاف الذي أدمجه الغلاف الجوي، ويكون تأخر الطور المتبقي متناسب مع إجمالي بخار الماء على طول المسار إلى الساتل. ويستقبل جهاز الاستشعار للنظام العالمي لتحديد المواقع على السطح إشارات النظام العالمي لتحديد المواقع من العديد من الاتجاهات في فترة قصيرة. وعليه، يمكن تقييم إجمالي بخار الماء في الاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي حول جهاز الاستشعار. ولهذه التقنية أهميتها بالنسبة لدراسات الانتشار في الغلاف الجوي، لأنها تسمح القياس المباشر لمحتوى بخار الماء على طول ميلان المسار بين جهاز الاستقبال الأرضي والساتل. راجع أيضاً [Coster *et al.*, 1997].
- *قياس درجات الحرارة والرطوبة الإشعاعية بدلالة الارتفاع المشتق من القياسات القائمة على الفضاء لإشارات النظام العالمي لتحديد المواقع:* وفي هذه التطبيق، يستقبل جهاز الاستقبال على ساتل مستقل إشارات من مجموعة سواتل النظام العالمي لتحديد المواقع التي تمر في الغلاف الجوي على زاوية إسقاط إزاء سطح الأرض. ويتم قياس انكسار إشارات النظام العالمي لتحديد المواقع في مجموعة من الارتفاعات على سطح الأرض. وهذا يسمح باشتقاق مؤشر الانكسار للهواء بصفته وظيفة للارتفاع. وفي الارتفاعات العليا، في الغلاف الجوي المحايد، تكون الرطوبة النسبية منخفضة جداً، ويمكن الافتراض أن مؤشر انكسار الهواء يعتمد مباشرةً على درجات الحرارة. وعلى الارتفاعات القريبة من السطح تحت طبقة التروبوسفير، وتؤثر درجة الحرارة والضغط الجزئي لبخار الماء على المؤشر الانكساري. ويمكن تقييم الضغط الجزئي لبخار الماء إذا كانت درجة الحرارة معروفة من مصدر آخر. وستكون لقياس متغيرات الأرصاد المشتقة من هذه التقنية استبانة رأسية أفضل مقارنةً مع الناتج الصادر عن أجهزة قياس الإشعاع السلبي باتجاه النظير (انظر الفصل الخامس)، غير أن المتوسطات سيتم تحديدها على مسافات أطول نسبياً على المستوى الأفقي. وإسوةً بقياس إجمالي بخار الماء، تستدعي هذه التقنية توقيتاً دقيقاً للغاية ومعرفة دقيقة بالساتلين. وخطط لأجهزة الاستقبال التابعة للنظام العالمي للسواتل لأغراض الملاحة لتكون ضمن الجيل المقبل من سواتل الأرصاد الجوية قطبية المدار.

6.6 نظم كشف البرق

تزايدت حاجة الأرصاد الجوية التشغيلية لاستشعار أنشطة البرق عن بُعد وتعد حالياً من الأدوات الهامة التي يستعملها الخبراء العاملون في مجال الأرصاد الجوية التشغيلية. وتطورت متطلبات الزبون مع التطور الذي شهده استعمال رادار الطقس ونواتج سواتل الأرصاد الجوية، وأصبحت لها أولوية قصوى بالنظر إلى الحاجة إلى أتمتة عمليات رصد الطقس على السطح في العديد من البلدان

المتقدمة. ويرتبط التشغيل الملائم لهذه النظم باعتبارات تتصل بالسلامة العامة أرضاً وبحراً وجواً. وتؤثر خدمة التنبؤ الفعال على فعالية الأنشطة التجارية وأنشطة الدفاع. كما أن السلامة المهندسين المنهمكين في إصلاح خطوط الإمداد بالطاقة أو العمال الذي يناولون النبائط المتفجرة هي أمثلة عن الأنشطة التي تستفيد من التنبؤات الفعالة بالبرق.

ويعتبر كشف البرق نشاطاً سلبياً يشمل استعمال أجهزة استقبال راديوية لكشف جبهات موجات الناجمة عن البرق. ويمكن توزيع البيانات من مواقع الكشف المتعددة بأي وسيلة من وسائل التوزيع المعتادة بما فيها الوصلات الثابتة والهاتف والإنترنت، وغيرها.

وفي النظم التشغيلية الحالية، يتم تحديد وميض البرق إما بقياس اتجاه وصول موجة الغلاف الجوي، أو بقياس زمن وصول موجة الغلاف الجوي، أو بالجمع بينهما معاً.

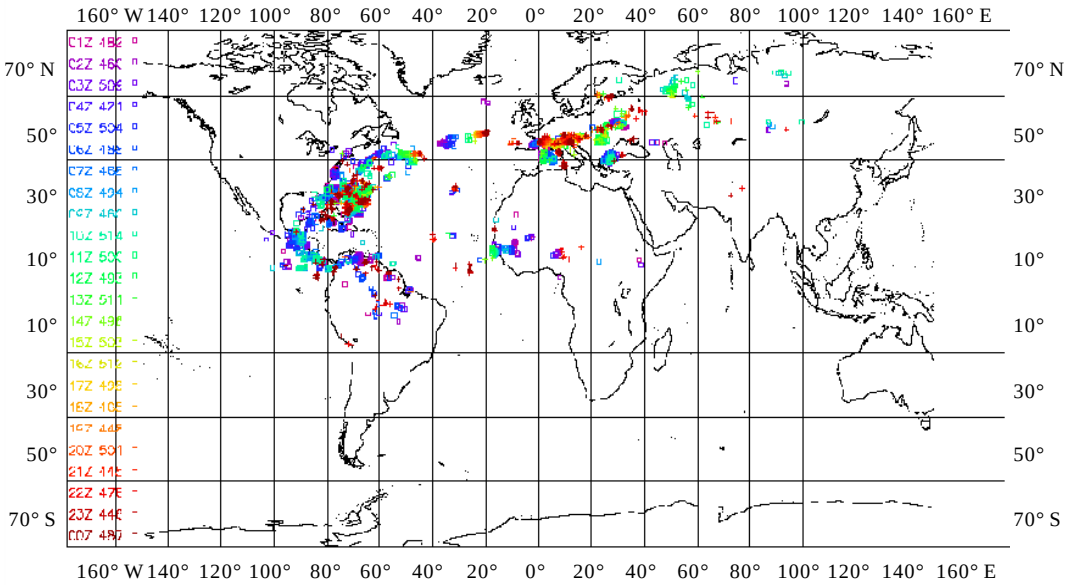
ويلزم الأمر القيام بقياسات في أكثر من ثلاثة مواقع للاستشعار تكون المسافة بينها كافية. غير أن عدد المواقع المستعملة عملياً لأخذ القياسات يكون دوماً أكثر من الحد الأدنى من أجل تحسين التنبؤ بمواقع البرق. وتعتبر النظم التي تقيس زمن الوصول أكثر دقة من حيث تحديد المواقع مقارنة مع النظم التي تستند إلى تحديد الاتجاه عندما يتعلق الأمر بالرصد على عدة مئات من الكيلومترات. وهذا ناجم عن اتجاه استقبال موجات السماء التي يتم استشعارها في الموقع والذي يختلف عادةً عن الاتجاه الحالي لتفريغ الحمولة وسيختلف بالتالي وفقاً لوضع طبقات السطح قرب موقع الاستشعار. وتعتمد النظم التي القائمة على زمن الوصول عادةً وبكثرة على إشارة الملاحة الراديوية للنظام العالمي لتحديد المواقع لتحقيق التزامن اللازم في مختلف مواقع الاستشعار. كما تعتمد جميع النظم على الاتصالات ذات الكلفة الناجعة والتي يمكن أن يُعول عليها بين مواقع الاستشعار البعيدة والمحطة المركزية لمعالجة البيانات. ويختلف التردد الراديوي الذي يستعمل لتحديد موقع نشاط البرق وفقاً لمنطقة المراقبة اللازمة والغرض الخاص للنظام.

ويتم القيام بعمليات الرصد للمواقع طويلة المدى جداً بمسافات تبلغ عدة آلاف من الكيلومترات على الموجات المركزية البالغة 10 kHz (2-15 kHz) (راجع الشكل 6-2)، مثل النظام ATDNET الذي يشغله مكتب الأرصاد الجوية بالمملكة المتحدة. وفي هذه النظام، تُستقبل الموجات في المحطات الخارجية البعيدة والمنشورة في أرجاء العالم، علماً بأن المسافة الفاصلة بينها قد تصل إلى 2 000 km. ويتم تحليل الموجات وفقاً لقاعدة Fournier ودمغها زمنياً في مواقع أجهزة الاستشعار. ويتم إعادة إرسال العينات التي تم دمغها زمنياً فوراً إلى محطة المراقبة المركزية لحساب مواقع انطلاق البرق بالاعتماد على الاختلافات في زمن الوصول إلى المواقع. ويمكن معالجة المستويات المنخفضة من التداخل باستعمال مرشح منع نطاقي قابل للتعديل في المواقع المعنية، غير أن المستويات الكبيرة من التداخل تحلق ضرراً كبيراً بعمل النظام.

ومع مراعاة أهمية شبكة الكشف عن البرق طويلة المدى هذه والحاجة إلى اعتراف عالمي، منح توزيع محدد لخدمة مساعدات الأرصاد الجوية، يقتصر على أجهزة الاستشعار المنفعلة، في المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2012 في النطاق 8,3-11,3 kHz.

الشكل 6-2

خريطة لبيانات البرق ليوم واحد على نظام المدى الطويل



سجلات عواصف رعدية بلغ عددها 581 11 في مدة 24 ساعة

Meteo-06-02

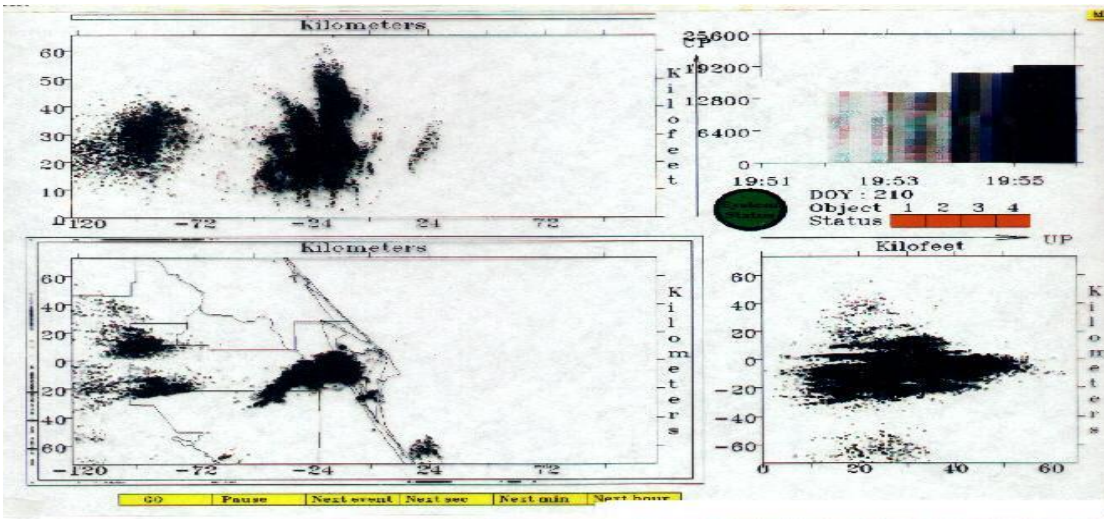
وتغطي النظم المستعملة على نطاق واسع منطقة محدودة وبشكل مفصل. وفي هذه الحالة، يتم رصد الموجات على ترددات عالية يكون مركزها على 200 kHz (وتكون أجهزة الاستشعار عريضة النطاق المستعملة أكثر حساسية في وسط المدى من 1 إلى 350 kHz)، أما مواقع الاستشعار فتكون عموماً متباعدة فيما بينها بمسافة تتراوح بين 100 و400 km، حسب نوع التركيز، إما على الوميض من السحب إلى الأرض أو من السحب إلى السحب. وعلى هذه الارتفاعات العليا، يمكن التعرف على انطلاقة البرق من السحب إلى الأرض بالزيادة الواضحة في الحجم الذي يحدد حافة مقدمة الموجة. ويمكن تحديد وقت وصول حافة المقدمة هذه بدقة. وترسل الأوقات من شبكة المواقع إلى المحطة المركزية لمعالجة البيانات لحساب مواقع انطلاق البرق. وفي العديد من الحالات، وبالإضافة إلى الاختلافات في زمن الوصول، يتم الاستعانة بشكل متزامن بنظم التحديد المغناطيسي للاتجاه التي جرى تركيبها قبل سنوات. واستعرض [Holle and Lopez, 1993] نظماً مختلفة لكشف البرق أما [Diendorfer *et al.*, 1994] فناقش عمليات الرصد انطلاقاً من الشبكة في النمسا.

وعلاوةً على ذلك، من اللازم في بعض المناطق رصد جميع التفريغات الكهربائية المرتبطة بأنشطة العواصف الرعدية، سواء من السحب إلى الأرض أو من السحب إلى السحب. ويتم هذه الرصد على ترددات عالية جداً (ويستعمل نظام كشف البرق وقياسه (LDAR) 63 MHz و225 MHz، في حين يستعمل نظام المراقبة والإنذار بالرعد بالمسابير العاملة بالموجات متناهية الصغر (SAFIR) من 110 إلى 118 MHz). ويظهر في الشكل 6-3 بيانات نظام كشف البرق وقياسه في الوقت الفعلي. وينبغي أن تبقى العواصف داخل خط الرؤية لرصد النشاط بكامله. ويتطلب هذا أن تكون أجهزة الاستشعار المقامة على الأرض غير بعيدة عن بعضها البعض – المسافة الفاصلة بينها 30 km وزهاء 50 متر عن سطح الأرض لاستيفاء المعايير الأفقية للرادار. غير أن بعض نظم رصد النشاط من السحب إلى السحب يتم تشغيلها بأجهزة استشعار تكون مسافة التباعد بينها أكبر مع الاعتماد على نظم الرصد من السحب إلى الأرض على الترددات المنخفضة للحصول على التفاصيل المتصلة بالتفريغات على المستويات الدنيا.

الصورة في أسفل اليسار الشكل 6-3 تبين بيانات نظام كشف البرق وقياسه (LDAR) على خريطة للساحل الشرقي لفلوريدا (يظهر جزئياً). أسقطت البيانات على لوحة شرق–غرب مقابل الارتفاع (أعلى اليسار) وعلى لوحة شمال جنوب مقابل الارتفاع (أسفل اليمين، دارت هذه اللوحة بزاوية 90 درجة). (أعلى اليمين)، تعرض اللوحة البيانات في شكل خمس حصص تبلغ كل واحدة منها دقيقة.

الشكل 6-3

بيانات نظام كشف البرق وقياسه في الوقت الفعلي



Meteo-06-03

7.6 الاستشعار عن بُعد من الأرض

لقد شُرح السبر الرأسي للغلاف الجوي باستعمال الاستشعار المنفعل عن بُعد من السواتل بشكل مفصل في الجزء 1.5. غير أن المتخصصين في الأرصاد الجوية الذي يضعون التنبؤات المحلية الدقيقة أو العلماء الذي يقومون ببحوث عالمية يحتاجون إلى سبر الغلاف الجوي باستبانة رأسية أكبر قرب سطح الأرض مقارنة بما لا يمكن أن توفره نظم السواتل.

ويعتبر الاستشعار المنفعل عن بُعد باتجاه السماء من بين السبل الكفيلة بتوفير هذه ا لمعلومات، باستعمال جهاز لقياس الإشعاع يركب على سطح الأرض. وتستعمل أجهزة قياس الإشعاع مجموعة من القنوات في نطاق الأكسجين بين 50 و58 GHz لوضع قياس لبنية درجات الحرارة. وتستعمل القنوات بين 21 و24 GHz لتوفير المعلومات بشأن التباين في بخار الماء على المستوى الأفقي، وتستعمل نافذة في منطقة 30 GHz لرصد السحب. ويستفيد قياس بخار الماء من الرصدات الإضافية في الطبقات السفلى في نطاق امتصاص بخار الماء على 183 GH.

وتوجد قنوات الاستشعار عن بُعد القائمة على الأرض الخاصة بدرجات الحرارة والرطوبة في نفس المنطقة التي توجد فيها أجهزة الاستشعار المنفعل الساتلي، ومع ذلك فهي تستعمل بوجه عام نطاقات أوسع تضم نطاقات متقاسمة مع خدمات أخرى. وفي بعض نطاقات التردد، لا سيما تلك التي يتناولها الرقم **340.5** من لوائح الراديو، تتمتع أجهزة قياس الإشعاع المقامة على الأرض بنفس الحماية الممنوحة للاستشعار الساتلي عن بُعد، بيد أن هذه الأجهزة قد تحتاج إلى حماية خاصة في نطاقات أخرى. ومازال عدد أجهزة قياس الإشعاع القائمة على الأرض العاملة قليل نسبياً، غير أنه يتوقع نشر أعداد أكبر في المستقبل القريب. وينبغي اعتماد نمط واقعي للتقاسم عند نشر أجهزة قياس الإشعاع لتفادي التداخل مع الخدمات الأخرى.

كما يستفيد الاستشعار المنفعل عن بُعد لمكونات أخرى من الغلاف الجوي، مثل الأوزون (بشكل خاص على 142 GHz) من عدد كبير من أجهزة قياس الإشعاع القائمة على الأرض.

8.6 نظم الطائرات بلا طيار

بدأت نظم الطائرات بلا طيار (UAS) تزداد أهمية في عمليات استكشاف الأرض وفي الأرصاد الجوية. وتستجيب نظم الطائرات بلا طيار للمتطلبات المتصلة بالرصد في المناطق التي لا يمكن فيها نشر نظم الرصد التقليدية أو عندما يكون من المستحيل إرسال طائرات بطيار بسبب طول مسافة الرحلة أو عند وجود ظروف محفوفة بالمخاطر (مثل الأعاصير والأعاصير الحلزونية). وتستعمل

نظم الطائرات بلا طيار (عام 2008) لأغراض الأرصاد الجوية عادةً الطيف غير المرخص به للتحكم في الطائرة ومراقبتها، على الرغم من أن بعض النظم تستعمل الترددات المرخص بها. وتستخدم نظم الطائرات بلا طيار للتطبيقات التي تشمل الإطلاق الاعتيادي للمسابير الهابطة في مناطق المحيط التي تحتاج إلى الرصد لجمع البيانات بشأنها، والقيام برحلات داخل عواصف والهوركين والأعاصير لجمع البيانات *الموقعية*، ورحلات التحليق للرصد المناطق المتضررة من الطقس القاسي أو من نوبات الجفاف ومراقبة ذوبان جليد القطب الشمالي.

ويتيح استعمال نظم الطائرات بلاطيار في عمليات الأرصاد الجوية تحسين القدرة على التنبؤ بوصول عواصف والهوركين إلى اليابسة وزيادة الوقت المتاح قبلها للجمهور ويسمح بزيادة فهم المناخ. وهناك حاجة إلى الطيف لضمان تراسل البيانات إضافة إلى التحكم في نظم الطائرات بلا طيار ومراقبتها. ويمكن تحقيق هذه الهدف بتخصيص النطاقات الملائمة لأغراض الأرصاد الجوية (مساعدات الأرصاد الجوية) أو بالاستعانة بنطاقات أخرى للتردد وفقاً لحجم البيانات المعنية.

المراجع

ALLEN, R. H, BURESS, D. W. and DONALDSON, R. J. [1981] *Attenuation Problems Associated with a 5 cm Radar*, Bulletin of the American Meteorological Society, 62, No. 6, June 1981.

BEAN, B. R. and DUTTON, E. J. [1966] *Radio Meteorology*, National Bureau of Standards Monograph 92, US Government Printing Office, Washington DC, United States.

BURROWS, C. R. and ATWOOD, S. S. [1949] *Radio Wave Propagation, Consolidated Summary Technical Report of the Committee on Propagation of the National Defense Research Committee*, Academic Press, New York, United States.

COSTER, A. J., NIELL, A. E., BURKE, H. K. and CZERWINSKI, M. G. [17 December 1997] *The Westford water vapor experiment: use of GPS to determine total precipitable water vapour*. MIT/Lincoln Laboratories.

DIENDORFER *et al.* [1994] *Results of performance analysis of the Austrian lightning location network.* ALDIS, 22nd International Conference on Lightning Protection, Budapest, Hungary.

DOVIAK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1984] *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.

DOVIAK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1993] *Doppler radar and weather observations,2nd Ed*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.

DOVIAK, R. J., ZRNIC, D. and SIRMANS, D. [November 1979] *Doppler Weather Radar*. *Proc. IEEE*, Vol. 67, **11**.

DOVIAK, R. J., SIRMANS, D., ZRNIC, D., AND WALKER, G. B. [1978] *Considerations for Pulse-Doppler Radar Observations of Severe Thunderstorms*, Journal of Applied Meteorology, **17** No. 2, February 1978, American Meteorological Society.

FABRY, F. [2015] *Radar Meteorology – Principles and Practice, Cambridge University Press*, University Printing House, Cambridge United Kingdom.

GOSSARD, E. E. and STRAUCH, R. G. [1983] *Radar Observation of Clear Air and Clouds*. Elsevier, New York, United States of America, 280 pages.

HITSCHFELD, W. and BORDAN, J. [1954] *Errors Inherent in the Radar Measurement of Rainfall at Attenuating Wavelengths*, Journal of Meteorology, **11**, February 1954, American Meteorological Society.

HOLLE, R. L. and LOPEZ, R. E. [1993] *Overview of real-time lightning detection systems and their meteorological uses*. NOAA Technical Memorandum ERL NSSL-102, National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma, United States of America, p. 68.

IEEE [2002] *IEEE Standard Letter Designations for Radar Frequency Bands*, IEEE New York, United States.

PALMER, R. and ISOM, B. [February 2006] Mitigation of Wind Turbine Clutter on the WSD88D Network. School of Meteorology. University of Oklahoma, Radar Operations Center Presentation.

RHEINSTEIN, J. [1968] *Backscatter from Spheres: A Short Pulse View*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **AP16**, No. 1, January 1968.

SIRMANS, D, WSR-88D *Antenna Polarization Change*, Titan Corporation, report to the WSR-88D Operational Support Facility, January 15, 1993, available from the WSR-88D Radar Operations Center.

RYZHKOV, A. and ZRNIC, D. [2005], *Radar Polarimetry at S, C, and X Bands Comparative Analysis and Operational Implications*, 32nd Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society.

SKOLNIK, M., [1990] Radar Handbook, Ch. 6, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, United States.

ZRNIC, D. S., KENNAN, T., CAREY, L. D and MAY, P. [2000] *Sensitivity Analysis of Polarimetric Variables at a 5-cm Wavelength in Rain*, Journal of Applied Meteorology, **39**, September 2000.

نصوص قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

Recommendation ITU-R F.699-7 – Reference radiation patterns for fixed wireless system antennas for use in coordination studies and interference assessment in the frequency range from 100 MHz to about 70 GHz

Recommendation ITU-R F.1245-2 – Mathematical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point fixed wireless system antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz

Recommendation ITU-R M.1652-1 – Dynamic frequency selection in wireless access systems including radio local area networks for the purpose of protecting the radiodetermination service in the 5 GHz band

Recommendation ITU-R M.1849-1 – Technical and operational aspects of ground-based meteorological radars

Recommendation ITU-R RS.515 – Frequency bands and bandwidths used for satellite passive sensing

Recommendation ITU-R RS.577 – Frequency bands and required bandwidths used for spaceborne active sensors operating in the Earth exploration-satellite (active) and space research (active) services

Recommendation ITU-R RS.1166 – Performance and interference criteria for active spaceborne sensors

Recommendation ITU-R RS.2017 – Performance and interference criteria for satellite passive remote sensing

بيبليوغرافيا

BROOKNER, E. (Ed.) [1988] *Aspects of Modern Radar*. Artech House, Boston, United States of America.

DIBBERN, J., MONNA, W., NASH, J. and PETERS, G. (Ed.) [March 2000] COST Action 76. Development of VHF/UHF wind profilers and vertical sounders for use in European observing systems, Final Report. European Commission, Directorate-General Science, Research and Development.

DOVIAK, R. J. and ZRNIC, D. S. [1993] Doppler radar and weather observations. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.

DOVIAK, R., ZRNIC, D. and SIRMANS, D. [November 1979] Doppler Weather Radar. Proc. IEEE, Vol. 67, 11.

ECC Report 90 – Compatibility of wind profiler radars in the Radiolocation Service (RLS) with the Radionavigation Satellite Service (RNSS) in the band 1 270-1 295 MHz.

ELACHI, DR. C. *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques*. IEEE Press, New York, United States of America.

Elena SALTIKOFF, John Y. N. CHO, Philippe TRISTANT, Asko HUUSKONEN, Lynn ALLMON, Russell COOK, Erik BECKER, and Paul JOE "*The threat to weather radars by wireless technology*" Bulletin of the American Meteorological Society, July 2016.

HOBAN, N. P., CUNNINGHAM, J. G. and Zittel, D. W. [2014] *Estimating Systematic WSR-88D Differential Reflectivity (ZDR) Biases Using Bragg Scattering*, 30th Conference on Environmental Information Processing Technology, American Meteorological Society.

Intercomparison of Techniques to Correct for Attenuation of C-Band Weather Radar Signals. J. Applied Meteorology: Vol. 37, 8, p. 845-853.

KAWASAKI, Z. I., YAMAMOTO, K., MATSURA, K., RICHARD, P., MATSUI, T., SONOI, Y. and SHIMOKURA, N. [1994] *SAFIR operation and evaluation of its performance*. Geophys. Res. Lett., Vol. 21, **12**, p. 1133-1136.

LAW, D. et al. [March 1994] Measurements of Wind Profiler EMC Characteristics, NTIA Report 93-301, 63 pages. National Telecommunications and Information Administration.

LEE, A. C. L. [1986] *An experimental study of the remote location of lightning flashes using a VLF arrival time difference technique*. Quarterly J. R. Meteorological Society.

LENNON, C. and MAIER, L. [1991] *Lightning mapping system. Proc. of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity*, Cocoa Beach, FL., United States of America. NASA Conf. Pub. 3106, Vol. II, p. 89-1, 89-10.

MAMMEN, T. [1998] Weather radars used by members, WMO instruments and observing methods, Report No. 69.

MCLAUGHLIN, D. J., CHANDRASEKAR, V., DROEGEMEIER, K., FRASIER, S., KUROSE, J., JUNYENT, F., PHILIPS, B., CRUZ-POL, S. and COLOM, J. [January 2005] Distributed Collaborative Adaptive Sensing (DCAS) for Improved Detection, Understanding, and Prediction of Atmospheric Hazards. Ninth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), American Meteor. Society.

PROBERT-JONES, J. R. [1962] *The Radar Equation in Meteorology*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 88.

SESSIONS, W. B. [December 1995] SARSAT SARP instrument performance when receiving emissions from NOAA 404 MHz wind profiler radars, NOAA, NESDIS, E/SP3, 87 pages.

SKOLNIK, M. [1990] Radar Handbook. Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, United States of America.

WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation, No. 8, World Meteorological Organization.

الملحق 1

المختصرات شائعة الاستعمال في الأرصاد الجوية

A

A/D	تماثلي–إلى–رقمي
AAAS	الرابطة الأمريكية للنهوض بالعلم
AARS	نظام الإبلاغ الجوي الأوتوماتي
ABSN	الشبكة السينوبتيكية الأساسية في المنطقة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا)
ACARS	نظام توجيه اتصالات الطائرات والإبلاغ الجوي
ACCAD	اللجنة الاستشارية للتطبيقات والبيانات المناخية
ACMAD	المركز الإفريقي لتطبيقات الأرصاد الجوية لأغراض التنمية
ADAS	نظام الحصول على البيانات من مركبة فضائية
ADC	محوّل البيانات التماثلية إلى رقمية
ADEOS	الساتل المتقدم لرصد الأرض (اليابان)
ADP	المعالجة الأوتوماتية للبيانات
ADPE	نظام المعالجة الأوتوماتية للبيانات
AFC	التحكم الأوتوماتي في الترددات
AFOS	نظام التنبؤ والرصد الأوتوماتي
AGC	التحكم الأوتوماتي في الكسب
AGRHYMET	المركز الإقليمي للتدريب على الأرصاد الجوية الزراعية والهيدرولوجيا التطبيقية وتطبيقاتها
AIRS	مسبار الأشعة دون الحمراء المتقدم (أداة هيئة NASA)
ALC	التحكم الأوتوماتي في المستوى
AM	تعديل تضمين سعة الموجه
AMDAR	بث بيانات الأرصاد الجوية الصادرة عن الطائرات
AMI	الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية
AMSR	مسبار رصد درجة الحرارة المتقدم
ANSI	المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية
AOPC	فريق الخبراء المعني برصد الغلاف الجوي للأغراض المناخية
AOS	التقاط الإشارة
APT	الإرسال الأوتوماتي للصور
ARGOS	نظام جمع البيانات وتحديد المواقع على متن سواتل هيئة NOAA
ASCII	الشفرة المعيارية الأمريكية لتبادل المعلومات
ASIC	دارة التطبيق الخاص المتكاملة
ATMS	مسبار الموجات الصغرية بالتكنولوجيا المتقدمة (NPOESS/NASA)
ATOVS	المسبار الرأسي المتطور الشغال الخاص بالساتل للرصد التلفزيوني بالأشعة تحت الحمراء
ATSR	المقياس الإشعاعي للمسح على طول المسار
AVCS	نظام جهاز التصوير الفيديوي المتقدم
AVHRR	جهاز قياس الإشعاع المتطور عالي الاستبانة جداً
AWIPS	نظام معالجة معلومات الطقس المتقدم

B

BCD	العشرية ثنائية التشفير
BER	معدل خطأ البتة
BPS	عدد البتات في الثانية
BPSK	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة
BR	مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات
BW	عرض النطاق

C

C/N_0	نسبة الموجة الحاملة إلى كثافة الضوضاء
C&DH	التحكم في البيانات ومناولتها
CaeM	لجنة الأرصاد الجوية للطيران
CAgM	لجنة الأرصاد الجوية الزراعية
CAS	لجنة علوم الغلاف الجوي
CBS	لجنة النظم الأساسية
CCD	صفيفة من الأجهزة المتقارنة بواسطة الشحنات

C (*تابع*)

CCIR	اللجنة الاستشارية الدولية للراديو (انظر قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات)
CCl	لجنة علم المناخ
CCRS	المركز الكندي للاستشعار عن بُعد
CCSDS	اللجنة الاستشارية لنظم البيانات من الفضاء
CDA	التحكم والحصول على البيانات
CDAS	محطة التحكم والحصول على البيانات
CEOS	لجنة السواتل لرصد الأرض
CERES	نظام الطاقة الإشعاعية للسحب والأرض
CGMS	فريق تنسيق السواتل الخاصة بالأرصاد الجوية
CHy	لجنة الهيدرولوجيا
CIESIN	اتحاد الشبكة الدولية لمعلومات علوم الأرض
CIMO	لجنة أدوات وطرق الرصد
CIMSS	معهد التعاون لدراسات سواتل الأرصاد الجوية
CLICOM	الحساب الآلي للمناخ
CLINO	المعدلات المناخية
CLIPS	خدمات المعلومات والتنبؤات المناخية
CLIVAR	تقلبية المناخ وإمكانية التنبئ به
CMA	إدارة الأرصاد الجوية الصينية
CMD	التحكم وإصدار الأوامر
CMIS	المرسام المخروطي لمسح الأعماق بالموجات متناهية الصغر
CMM	لجنة الأرصاد الجوية البحرية
CNES	المركز الوطني للدراسات الفضائية
CNIE	اللجنة الوطنية للأبحاث الفضائية
COADS	البيانات الشاملة للغلاف الجوي للمحيطات
CONUS	المنطقة القارية بالولايات المتحدة
COP	اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية
COPUOS	لجنة الاستخدامات السلمية للفضاء الخارجي
CORSSAC	اللجنة الاستشارية لساتل الاستشعار عن بُعد العامل لأغراض مدنية
COSPAS	نظام البحث والإنقاذ عن متن ساتل روسي (راجع SARSAT)
CPCSA	أنشطة تنسيق ودعم برنامج المناخ
CPR	مقياس الإشعاع لكيمياء السحب أو إعادة إحياء القلب والرئتين
CPU	وحدة المعالجة المركزية
CRC	اختبار التكرار الدوري/شفرة التكرار الدوري
CrIS	مسبار الأشعة دون الحمراء عرضي المسار (أداة NPOESS)
CrMIS	مسبار–جهاز التصوير بالموجات الصغرية عرضي المسار (أداة NPOESS)
CRT	أنبوب الشعاع الكاثودي
CSA	وكالة الفضاء الكندية
CS&C	مراقبة الاتصالات وتبديلها
CSIRO	منظمة الكمنولث للبحوث العلمية والصناعية
CSIS	النظام المركزي لمعلومات الخاصة بالعواصف
CSM	مراقبة النظام المناخي
CSMA/CD	النفاذ المتعدد لاستشعار الموجة الحاملة بكشف التصادم
CSTR	مجلس البحوث العلمية والتقنية
CTCS	نظام القياس عن بُعد والتحكم
CW	موجة مستمرة
CZCS	ماسحة لونية للمناطق الساحلية

D

D/A	رقمي–إلى–تماثلي
DAAC	مراكز الأرشفة الفعلية للبيانات
DADS	نظام أرشفة البيانات وتوزيعها
DAPS	نظام المعالجة الأوتوماتي لنظام جمع البيانات
DAS	نظام الحصول على البيانات
DAS	نظام إدارة قاعدة البيانات
DAS	نظام النفاذ المباشر
dB	ديسيبل
DB	البث المباشر
DBMS	نظام إدارة قواعد البيانات
DCPLS	نظام تحديد موقع منصة جمع البيانات
DCP	منصة تجميع البيانات
DCPI	استفسار منصة تجميع البيانات
DCPR	استقبال منصة تجميع البيانات
DCR	مقياس الإشعاع للارتباط التفاضلي
DCS	نظام تجميع البيانات

D (*تابع*)	
DEMUX	جهاز الإرسال المتعدد
DIFAX	جهاز الفاكس الرقمي
DIR	الأشعة دون الحمراء في فترة النهار
DLI	واسطة الوصلة الهابطة
DLM	جهاز مراقبة الوصلة الهابطة
DLR	وكالة الفضاء الألمانية
DMSP	برنامج التوابع الإصطناعية الخاصة بالأرصاد الجوية للأغراض الدفاعية
DN	عقدة هبوط
DOMSAT	ساتل الاتصالات المحلية
DPT	الجهاز الطرفي للصورة الرقمية
DR	القراءة المباشرة
DRGS	محطات القراءة المباشرة الأرضية
DS	Dwell Sounding or Sounding (GOES-4/7 VAS operating node)
DSARS	نظام الأرشفة والسحب التابعة لساتل DAMUS
DSB	المنار المباشر للمسبار
DSB	الإرسال المباشر لبيانات السبر الجوي
DSN	شبكة الفضاء السحيق
DUS	نظام استعمال البيانات
E	
EBR	مسجل حزمة الإلكترون
EC/AGE	الفريق الاستشاري التابع للمجلس التنفيذي والمعني بتبادل بيانات ونواتج الأرصاد الجوية ومعايرة الإلكترونيات
ECMWF	المركز الأوروبي للتنبؤات المتوسطة المدى
EDC	مركز بيانات "ايروس"
EDIMS	نظم إدارة البيانات البيئية والمعلومات
EES	ساتل استكشاف الأرض
EESS	خدمة السواتل الخاصة باستكشاف الأرض
EIRP	القدرة المشعة المكافئة المتناحية
EIRPSD	الكثافة الطيفية للقدرة المشعة المكافئة المتناحية
ELT	جهاز إرسال لتحديد الموقع في حالات الطوارئ
ELV	مركبة الإطلاق القابلة للتمدد
EMC	التوافق الكهرمغنطيسي
EMI	التداخل الكهرمغنطيسي
ENSO	ظاهرة التنينو/التذبذب الجنوبي
ENVISAT	السواتل البيئية
EOS	سواتل رصد الأرض
EPIRB	منار راديوي للاستدلال على موقع الطوارئ
EPOCS	دراسات مناخ المحيط الهادي الاستوائي
EPS	جهاز استشعار الجزيء الطاقي
ERB	حصيلة الإشعاع الأرضي
ERBE	تجربة ميزانية الإشعاع الأرضي
ERL	مختبر البحوث البيئية
EROS	نظام رصد الموارد الأرضية
ESA	وكالة الفضاء الأوروبية
ESD	التفريغ الكهروستاتي
ETA	وقت الوصول المقدر
ETM	نموذج الاختبار الهندسي
ETM	جهاز رسم الخرائط المواضيعي
ETS	الساتل المخصص للاختبارات الهندسية
EUMETSAT	المنظمة الأوروبية لاستخدام السواتل الخاصة بالأرصاد الجوية
EUV	الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى
F	
FAX	الفاكس
FC	لون خاطئ
FCC	مركب اللون الخاطئ
FCC	اللجنة الفيدرالية للاتصالات
FDM	طريقة تعدد الإرسال بتعدد التردد
FFT	محول فوريه السريع
FIFO	من يدخل الأول يخرج الأول
FM	تشكيل التردد
FOV	حقل الرؤية
fps	الإطارات في الثانية
FSK	تضمين التردد بالزحزحة
FSS	خدمة السواتل المستقرة
FSS	نظام برمجية برمجة الرحلات الجوية
G	
GAC	تغطية المنطقة الشاملة
GAME	تجربة الموسميات الآسيوية
GARP	برنامج بحوث الغلاف الجوي

G (*تابع*)

GARS	نظام الأرشفة والسحب من السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض
GAW	برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي
GCIP	المشروع الدولي على النطاق القاري
GCM	نموذج للدوران العام
GCOS	النظام العالمي لرصد المناخ
GDTA	الفريق المعني بتطوير الاستشعار عن بُعد من الفضاء الجوي
GEO	المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض
GEWEX	التجربة العالمية لدورتي الطاقة والماء
GHz	جيغاهرتز (ألف مليون دورة في الثانية)
GIMGSP	مشروع النظام المقام على الأرض لساتل (GOES I-M)
GIMTACS	نظام القياس عن بُعد والتحكم لساتل (GOES I-M)
GIS	نظم المعلومات الجغرافية
GMACS	نظام المراقبة والتحكم للسواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض
GMDSS	النظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحار
GMS	السواتل المستقرة المدار
GMT	توقيت غرينيتش
GNSS	الأنظمة الساتلية للملاحة العالمية
GOES	ساتل يستخدم للمسح البيئي ثابت بالنسبة للأرض
GOMS	ساتل الأرصاد الجوية التشغيلي الثابت بالنسبة إلى الأرض
GOOS	النظام العالمي لرصد المحيطات
GOS	النظام العالمي لرصد المناخ
GOSSP	النظم العالمية للرصد الفضائي
GPCP	المشروع العالمي لعلم المناخ الخاص بالهطول
GPS	النظام العالمي لتحديد المواقع
GPSOS	جهاز استشعار النظام العالمي لتحديد المواقع
GRC	مركز جلين للبحوث، مركز لويس للبحوث سابقاً
GRS	محطة الاستقبال الأرضي
GRT	قاعدة البيانات الوقت الفعلي للسواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض
GSFC	مركز غودارد للطيران الفضائي
GSN	شبكة السطح للنظام العالمي لرصد المناخ
GSTDN	شبكة البيانات الأرضية والخاصة بتتبع الرحلات الفضائية
G/T	كسب الهوائي مقابل نسبة درجة حرارة ضوضاء النظام
GTOS	النظام العالمي لرصد الأرض
GTS	النظام العالمي للاتصالات
GUAN	شبكة رصد الهواء العلوي
GVAR	متغير السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض
GWC	المركز العالمي للطقس

H

H1/3	ارتفاع الأمواج ذي الدلالة
HEPAD	كاشف ألفا والبروتون ذي الطاقة العالية
HiRID	بيانات جهاز التصوير عالية الاستبانة
HIRS	مسبار الأشعة دون الحمراء عالي الاستبانة (أداة TIROS)
HOMS	النظام الهيدرولوجي التشغيلي متعدد الأغراض
HRD	يوم البحوث بشأن عواصف الهوركين
HRD (10)	يوم البحوث بشأن عاصفة الهوركين – ساتل المدار المستقر يمسح شرقاً كل 10 دقائق في أوقات معينة
HRIS	مسبار دون الأشعة الحمراء عالي الاستبانة أو مسبار قياس التداخل عالي الاستبانة
HRPT	جهاز لاستقبال بث الصور عالية الاستبانة
HRSD (S)	يوم مسح عاصفة الهوركين – ساتل المدار المستقر يمسح شرقاً كل 7 1/2
Hz	هرتز سابقاً جولات لكل ثانية

I

I/O	مدخلات/نواتج
I/S	جهاز التصوير والمسبار
IAHS	الرابطة العالمية للعلوم الهيدرولوجية
IAMAS	الرابطة الدولية للأرصاد الجوية وعلوم الغلاف الجوي
IASI	مقياس التداخل لسبر الغلاف الجوي بالأشعة دون الحمراء
ICES	المجلس الدولي لاستكشاف البحار
ICSAR	اللجنة الدولية للبحث والإنقاذ
ICSU	المجلس الدولي للعلوم

I (*تابع*)

IEEE	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
IF	التردد المتوسط
IFOV	مجال الرؤية الآنية
IFRB	المجلس الدولي لتسجيل الترددات
IGBP	البرنامج الدولي للغلاف الأرضي والغلاف الحيوي
IGF	مرفق استصدار الصور
IGFOV	مجال الرؤية الهندسية الآنية
IGOSS	النظام العالمي المتكامل لخدمات المحيطات
IHP	البرنامج الهيدرولوجي الدولي
INDOEX	تجربة المحيط الهندي
INPE	المعهد الوطني لبحوث الفضاء
INR	الملاحة والتسجيل الخاصة بالصور
INR	التداخل مقابل نسبة الضوضاء
INSAT	السواتل الهندية
IOC	اللجنة الفنية المشتركة المعنية بعلوم المحيطات
IODE	نظام التبادل الدولي للبيانات والمعلومات الأوقيانوغرافية
IPCC	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
IPD	الأشعة دون الحمراء
IR	ساتل مخصص للرصد التلفزيوني بالأشعة تحت الحمراء
IRIG	مجموعة الأدوات داخل المدى
IRIS	الرصد الطيفي والقياس والإشعاعي بالموجات دون الحمراء
IRS	الساتل الهندي للاستشعار عن بُعد
IRU	الوحدة المرجعية العطالية
ISETAP	المجلس الاستشاري الحكومي الدولي لهندسة العلوم والتكنولوجيا
ISO	المنظمة الدولية للتوحيد القياسي
ITOS	الساتل التشغيلي المحسّن "تايروس"
ITPR	مقياس إشعاع مقطع درجة الحرارة المستخلصة
ITU	الاتحاد الدولي للاتصالات
ITU-R	قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

J

JDIMP	الهيئة المشتركة لإدارة البيانات والمعلومات بين GCOS وGOOS وGTOS
JERS	الساتل الياباني للموارد الأرضية
JIC	المركز المشترك للجليد
JMA	وكالة الأرصاد الجوية اليابانية
JPL	مختبر الدفع النفثي
JSC	مركز الفضاء التابع للجنة العلمية المشتركة جونسون
JSTC	اللجنة العلمية والتقنية المشتركة

K

K	كيلفين
kbit	كيلوبتة
kB	كيلوبايت
kbit/s	كيلوبتة في الثانية
keV	آلف فولت إلكترون
kHz	كيلوهرتز
KSC	مركز كنيدي للفضاء
KSPS	كيلو عينة في الثانية

L

LANDSAT	الساتل الخاص باستشعار الأرض عن بُعد التابع للولايات المتحدة الأمريكية
LANDSAT-TM	أداة وضع الخرائط المواضيعية التابع لساتل LANDSAT
LaRC	مركز لانغلي للبحوث
LAT/LON	العرض/ الطول
LE	استخراج علامة أرضية
LEO	السواتل العاملة في مدار منخفض بالنسبة للأرض
LEOP	الإطلاق وطور المدار المبكر
LeRC	مركز "لويس" للبحوث
LGSOWG	الفريق العامل المعني بعمليات المحطة المقامة على الأرض لساتل LANDSAT
LHCP	الاستقطاب الدائري من اليسار
LIDAR	الأجهزة الضوئية للاكتشاف وتحديد المدى
LMT	التوقيت المحلي
LOS	خسارة الإشارة
LPA	مضخم القدرة المنخفضة
lpi	خطوط لكل بوصة
lpm	خطوط لكل دقيقة
LRIT	بث المعلومات المنخفض المعدل

L (*تابع*)	
LRPT	بث الصور المنخفض المعدل
LUT	وحدة طرفية محلية (للمستعملين)
LW	إشعاع الموجات الطويلة الهابط
LWIR	إشعاع الموجات تحت الحمراء الطويلة الهابط
M	
mb	ميليبار
Mbit/s	ميغابتة/ثانية
MB/s	عدة ميغابايت/ثانية
MCC	مركز مراقبة الرحلات
MCDW	البيانات المناخية الشهرية للعالم
MCS	دعم قناة الرطوبة
MDHS	نظام التعامل مع بيانات الأرصاد الجوية
MDUS	محطات متوسطة الحجم لاستخدام البيانات
MEO	مدار الأرض المتوسط
MEPED	كاشف الإلكترون والبروتون متوسط الطاقة
MetAids	مساعدات الأرصاد الجوية
METEOSAT	الجيل الثاني من سلسلة السواتل لأوروبا الوسطى والشرقية
METOP	السواتل التشغيلية الأوروبية للأرصاد الجوية في المدار القطبي
MetSat	سواتل الأرصاد الجوية
MeV	مليون فولت إلكترون
MeV/n	مليون فولت إلكترون لكل نوية
MHS	مسبار الرطوبة بالموجات الصغرية
MHz	ميغاهرتز
MLS	مسبار بالموجات الصغرية
MODEM	مشكل ومزيل التشكيل
MODIS	تطبيقات موديس (الاستبانة المعتدلة للتصوير بالمقاس الطيفي الراديوي) (أداة هيئة NASA)
MOPITT	قياس التلوث في طبقة التروبوسفير (هيئة NASA)
MOS	ساتل الرصد البحري (اليابان)
MPERSS	نظام دعم التصدي لطوارئ التلوث البحري
mr	ميليراديانز
MSFC	مركز مارشال لرحلات الفضاء
MSI	التصوير متعددة الطيف
MSS	الخدمة المتنقلة الساتلية
MSS	الماسح المتعدد الطيف
MSU	وحدة للسبر بالموجات الصغرية
MTBF	متوسط الوقت بين الأعطال
MTF	وظيفة تحويل التشكيل
MUX	جهاز تعدد الإرسال
MW	عجلة الزخم الموجة المتوسطة ميغاواط للموجات الصغرية
N	
N/S	شمال/جنوب
NASA	الإدارة الوطنية لشؤون الطيران والفضاء
NASCOM	شبكة الاتصالات التابعة للإدارة الوطنية لشؤون الطيران والفضاء
NASDA	الوكالة الوطنية للتنمية الفضائية
NCDC	مركز البيانات المناخية الوطنية
NE-delta-N	التغير المقابل للضوضاء في الإشعاعية
NE-delta-T	التغير المقابل للضوضاء في درجة الحرارة
NERC	المجلس الوطني للبحوث البحرية
NESDIS	الدائرة الوطنية للمعلومات والبيانات والسواتل البيئية
NF	العدد الخاص بالضوضاء
NHC	المركز الوطني للأعاصير المدارية
NHS	مركز وطني للهيدرولوجيا
NIR	الأشعة دون الحمراء في الليل أو التي تكاد تكون دون الحمراء
NMC	مركز وطني للأرصاد الجوية
NMS	مرفق وطني للأرصاد الجوية والهيدرولوجيا
NNODS	نظام بيانات المحيط التابعة لهيئة NOAA/NOSS
NOAA	الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي
NOAA	ساتل ميتسات القطبي
NOS	المسح الوطني للمحيط
NPOESS	النظام الوطني للسواتل البيئية العاملة القطبية
NRCT	المجلس الوطني للبحوث بتايلاند
NROSS	نظام استشعار المحيط عن بُعد التابع للقوات البحرية
NRSA	الوكالة الوطنية للاستشعار عن بُعد
NRZ	لا يمكن العودة إلى الصفر
NRZ-L	لا يمكن العودة إلى مستوى الصفر

N (*تابع*)

NSSFC	المركز الوطني للتنبؤ بالعواصف القاسية
NSSL	المختبر الوطني للعواصف القاسية
nT	نانو تيسلا
NWP	التنبؤ العددي بالطقس
NWS	المرفق الوطني للطقس

O

O&M	العمليات والصيانة
OAD	تحديد المدار والارتفاع
OAR	مكتب البحوث بشأن المحيط والغلاف الجوي
OCTS	جهاز استشعار درجة حرارة المحيط
OHP	برنامج الهيدرولوجيا التشغيلية
OMI	مقياس الأوزون
OMPS	جهاز رسم مقاطع وخرائط الأوزون
OOPC	فريق الخبراء المعني برصد المحيطات للأغراض المناخية
OQPSK	إبراق رباعي بزحزحة الطور متخالف

P

P/SEC	نبضات في الثانية
P-P	من ذروة إلى ذروة
PA	مضخم القدرة
PAM	تعديل سعة النبضة
PCM	تعديل الشفرة النبضية
PDL	شحنة بيانات المعالج
PDR	ترحيل البيانات المعالجة
PE	معادلة بدائية
PEP	قدرة ذروة غلافية
PEP	حماية من الخطأ الاسمي المتعدد
PFD	كثافة تدفق الطاقة
Pixels	عناصر الصورة
PKM	Perigee Kick Motor
PLL	عروة الطور المغلقة
PM	تشكيل الطور
PN	يشبه الضوضاء
POES	التوابع الإصطناعية قطبية المدار العاملة
PPM	أجزاء في المليون
PPS	نبضات في الثانية
PR	رادار الهطول
PRF	تردد تكرار النبضات
PROFS	البرنامج الخاص بالرصد الإقليمي وخدمة التنبؤ
PROMET	الفريق العامل الخاص بتوفير معلومات الأرصاد الجوية
PSK	تشكيل الإبراق بزحزحة الطور
PWM	تشكيل سعة النبضة

Q

QC	مراقبة الجودة
QPSK	إبراق رباعي بزحزحة الطور

R

R	رايلا غ
RA	أجهزة القياس من الارتفاع بواسطة الرادار
R/Y	roll/yaw
R&D	البحث والتطوير
RBSN	الشبكة السينوبتيكية الأساسية الإقليمية
RCS	نظام مراقبة رد الفعل
RF	الترددات الراديوية
RFI	تداخل الترددات الراديوية
RGB	أحمر/أخضر/أزرق
RH	الرطوبة النسبية
RHCP	الاستقطاب الدائري من اليمين
RMDCN	الشبكة الإقليمية لتوصيل بيانات الأرصاد الجوية
RMS	جذر متوسط المربعات
RPM	الدورات في كل دقيقة
RSS	جذر مجموع المربعات
RSU	وحدة الاستشعار عن بُعد
RT	الوقت الحقيقي
RW	عجلة رد الفعل
RWA	مجموع عجلة رد الفعل

S

S/C	مركبة فضائية
S/N	نسبة الإشارة مقابل الضوضاء
S/N0	نسبة الإشارة مقابل كثافة الضوضاء
S-VAS	مسبار المسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد للغلاف الجوي

S (*تابع*)

S-VISSR	مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد
SAD	مسبار/بيانات ثانوية
SAGE	تجربة الهباء والغاز في الستراتوسفير
SAR	فتحة الرادار الاصطناعية، أو البحث والإنقاذ
SARSAT	ساتل البحث والإنقاذ – المساعدة على التتبع
SATCOM	شبكة الاتصالات بواسطة التوابع الإصطناعية
SBUV	الأشعة فوق البنفسجية لجهاز الانتشار الشمسي
SC/N0	نسبة الحاملة الفرعية مقابل كثافة الضوضاء
SC/OMS	اللجنة الفرعية المعنية بسواتل الأرصاد الجوية العاملة
SC/OES	اللجنة الفرعية المعنية بسواتل المسح البيئي العاملة
SCHOTI	المؤتمر الدائم لرؤساء مؤسسات التدريب التابعة للمرافق الوطنية للأرصاد الجوية
SCIAMACHY	مطياف الامتصاص الضوئي التصويري بالمسح لأغراض إعداد خرائط الغلاف الجوي
SCO	مذبذب الموجة الحاملة الفرعية
SCSMEX	تجربة الموسميات جنوب الصين
SDUS	محطة استعمال البيانات صغيرة الحجم
SeaWiFS	رؤية البحر – مسبار بحقل رؤية واسع
SEC	ثانية
SEM	جهاز رصد البيئة الفضائية
SEU	حادث وحيد
SGLS	نظام الوصل الأرضي مع الفضاء
SIGWX	الأحوال الجوية الهامة
SIR	رادار التصوير للمكوك الفضائي
SIRS	مطياف الأشعة دون الحمراء المحمول على السواتل
SIT	فريق التنفيذ الاستراتيجي التابع للجنة سواتل رصد الأرض
SLAR	رادار جوي للرؤية الجانبية
SN	شبكة الفضاء
SNR	نسبة الإشارة إلى الضوضاء (الضجيج)
SOCC	مركز التحكم في عمليات المركبة الفضائية
SOES	اللجنة الفرعية المعنية بسواتل المسح البيئي العاملة
SOLAS	الاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح في البحار
SPM	جهاز مراقبة البروتون الشمسي
SPOT	الساتل التجريبي لرصد الأرض
SQPSK	رباعية تشكيل الإبراق بزحزحة الطور
SPREP	البرنامج البيئي الإقليمي لجنوب المحيط الهادي
SR	مقياس إشعاع عن طريق المسح
sr	الزاوية القوية
SR-IR	قناة مقياس الإشعاع بالمسح بالأشعة دون الحمراء
SR-VIS	قناة مقياس الإشعاع بالمسح بالأشعة المرئية
SSA	أنشطة دعم نظام المراقبة العالمية للطقس
SSM/I	جهاز التصوير الخاص للاستشعار بالموجات الصغرية
SST	درجة حرارة سطح البحر
SSU	وحدة سبر طبقة الستراتوسفير
STA	وكالة العلوم والتكنولوجيا
STC	اللجنة العلمية والفنية
Ster	الزاوية القوية
STS	نظام النقل الفضائي
SW	الموجة القصيرة
SW	التحول
SWIR	طيف الإشعاع دون الأحمر للطول الموجي القصير
SXI	جهاز تصوير بالأشعة السينية الشمسية
SXT	تلسكوب بالأشعة السينية الشمسية

T

T/P	تجربة طوبوغرافيا/أسطح المحيطات
T/V	فراغ حراري
T&C	القياس عن بُعد والتحكم
TBUS	رمز من أربعة حروف من أجل رسالة بيانات للتقويم الفلكي
TDM	قناة تعدد إرسال بتقسيم الزمن
TDRS	الساتل المخصص للتتبع وترحيل البيانات
TDRSS	شبكة السواتل المخصصة للتتبع وترحيل البيانات
TED	كاشف الطاقة الاجمالية
TEMS	نظام مراقبة النظام الإحيائي الأرضي
TES	مقياس طيف الانبعاث في طبقة التروبوسفير
TIP	معالج المعلومات الخاص بنظام TIROS
TIR	طيف الأشعة دون الحمراء الحرارية
TIROS	المسبار الرأسي المتطور الشغال الخاص بالسائل للرصد التلفزيوني بالأشعة تحت الحمراء

T (*تابع*)	
TLM	القياس عن بُعد
TM	جهاز رسم الخرائط المواضيعي
TMI	جهاز التصوير بالموجات الصغرية لبعثة قياس الأمطار المدارية
TMR	الأرصاد الجوية المدارية
TO	مدار النقل الأرضي التزامني
TOGA	المحيطات المدارية والغلاف الجوي العالمي
TOPC	فريق الرصد الأرضي المعني بالمناخ
TOMS	الأوزون الكلي من المحيطات الأرضية في الاتحاد الإقليمي السادس
TOS	النظام التشغيلي الخاص بنظام TIROS
TOVS	المسبار الرأسي التشغيلي الخاص بنظام TIROS
TRMM	بعثة قياس الأمطار في المناطق المدارية
TRUCE	تجربة المناخ الحضري في المناطق المدارية
TT&C	التتبع والقياس عن بُعد
TV	الفراغ الحراري أو التلفزيون
TVM	النقل على نمط VAS
U	
UHF	تردد فوق العالي
UNEP	برنامج الأمم المتحدة للبيئة
µrad	ميكروراديان
µs	ميكروثانية
UTC	التوقيت العالمي المنسق
UV	الأشعة فوق البنفسجية
V	
VAS	مسبار للغلاف الجوي لقياس الموجات المرئية والأشعة دون الحمراء
VCP	برنامج التعاون التطوعي
VDB	قاعدة البيانات الخاصة بمقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد
VDUC	مركز استعمال بيانات VAS
VHF	تردد عالي جداً
VIIRS	مقياس الإشعاع/جهاز التصوير بالأشعة المرئية ودون الحمراء
VIP	معالج الصورة VAS
VIRGS	نظام تسجيل الصور الخاص بمقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد
VISSR	مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد
VOS	سفينة رصد طوعية
VREC	مسجل البيانات لمقياس الإشعاع باستبانة عالية جداً
VSWR	نسبة القدرة بالفولت مقابل الموجة
VTPR	مقياس إشعاعي (راديومتر) لقياس التوزيع الرأسي للحرارة
W	
WAFC	المركز العالمي للتنبؤات المساحية
WCASP	البرنامج العالمي للتطبيقات والخدمات المناخية
WCDA	محطة Wallops للتحكم والحصول على البيانات
WCDMP	البرنامج العالمي للبيانات المناخية ومراقبة المناخ
WCFP	البرنامج العالمي للبيانات المناخية
WCP	برنامج المناخ العالمي
WCRP	البرنامج العالمي للبحوث المناخية
WDC	المركز العالمي للبيانات
WEFAX	نظام نسخ خرائط الأرصاد الجوية عن بُعد
WHYCOS	النظام العالمي لرصد الدورة الهيدرولوجية
WMO	المنظمة العالمية للأرصاد الجوية
WRC	المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية
WSFO	مكتب خدمة التنبؤ بالطقس
WSFO-Tap	وصلة الاتصالات المقامة على الأرض التابعة لمكتب خدمة التنبؤ بالطقس المعنية بنقل بيانات السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض
WWRP	البرنامج العالمي لبحوث الطقس
WWW	المراقبة العالمية للطقس
WX	الطقس
X	
XBT	جهاز قياس حرارة الأعماق اللا مستبعد
XRI	جهاز تصوير بالأشعة السينية الشمسية
XRS	مسبار بالأشعة السينية الشمسية
Y	
yr	سنة
Z	
Z	مختصر شائع لتوقيت غرينتش أو التوقيت الدولي

الاتحاد الدولي للاتصالات
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

ISBN 978-92-61-24886-4 SAP id 41425

طبع في سويسرا
جنيف، 2017

إصدار الصور: Shutterstock