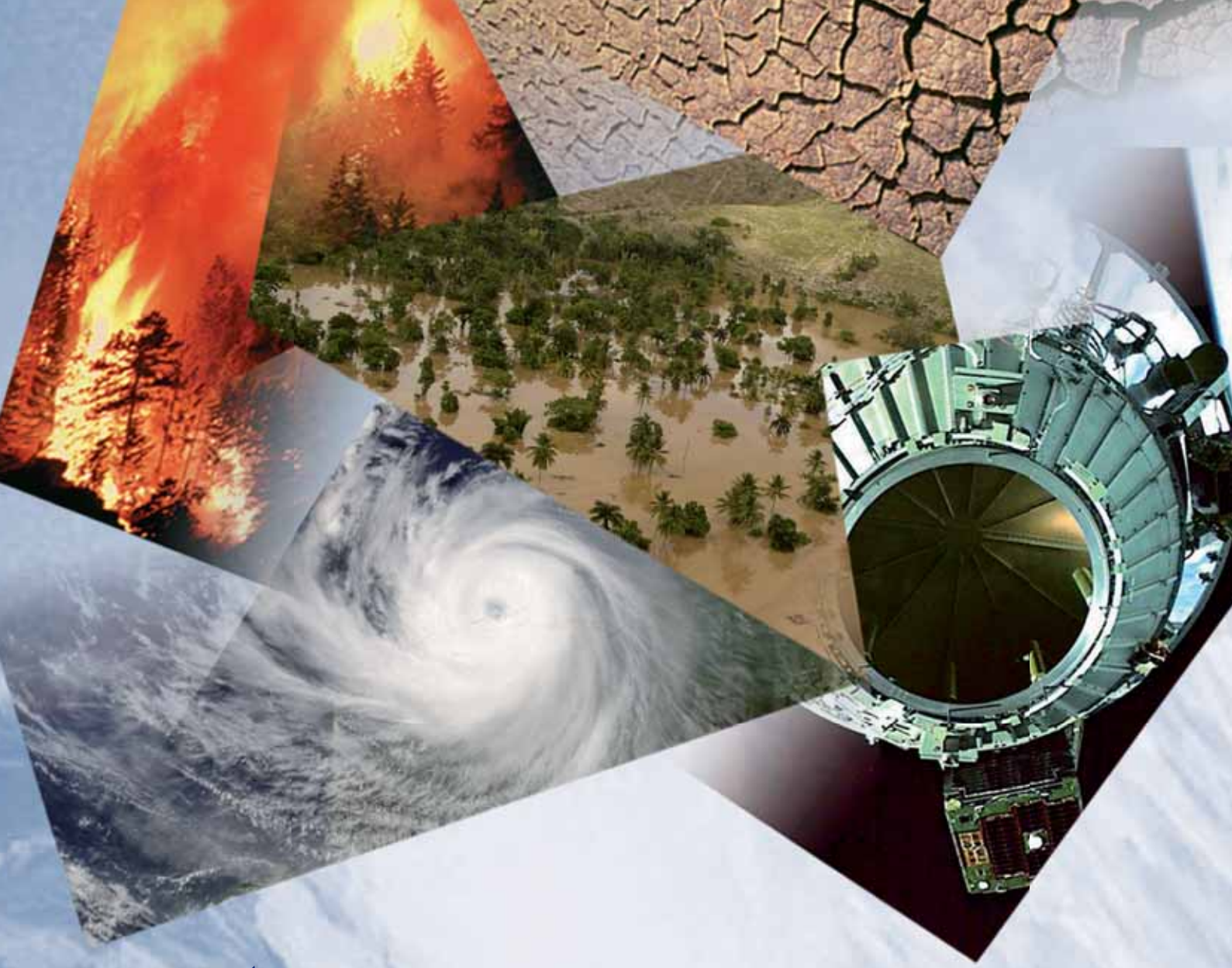


دليل

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

طبعة 2008
مكتب الاتصالات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات

World Meteorological Organization

OMW

ITU and Climate Change

دليـــل

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

طبعة 2008

مكتب الاتصالات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

World Meteorological Organization WMO

© WMO-ITU 2009

جميع الحقوق محفوظة. يُحظر استنساخ أي جزء من هذا المطبوع بأي وسيلة كانت من دون الموافقة المكتوبة والمسبقة من الاتحاد الدولي للاتصالات.

تمهيد

"تغير المناخ هو التحدي الأخلاقي الذي يواجهه جيلنا..."

بان كي-مون، الأمين العام للأمم المتحدة

المؤتمر العالمي للأرصاد الجوية لعام 2007،
في قراره 4 (Cg-XV)

وإذ يأخذ في اعتباره:
الأهمية الحاسمة لنطاقات الترددات الراديوية لأنشطة الأرصاد الجوية وما يتصل بها من الأنشطة البيئية وأنشطة البحوث، للحد من مخاطر الكوارث؛

...

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 تتمتع بالحماية المطلقة 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 الحماية المطلقة لنطاقات الترددات الراديوية للاستشعار السلبي؛
(2) إيلاء العناية الواجبة لمتطلبات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المتصلة بتخصيص الترددات الراديوية والأحكام التنظيمية المتصلة بعمليات وبحوث الأرصاد الجوية والعمليات والبحوث البيئية المتصلة بها؛

...

المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (جنيف، 2007)،
في قراره 673 (WRC-07)

"إذ يضع في اعتباره

أ) أن قدرات رصد الأرض في الموقع وعن بُعد تعتمد على تيسّر الترددات الراديوية في إطار عدد من الخدمات الراديوية، شاملة مجموعة كبيرة من التطبيقات السلبية والنشيطة في المنصات الساتلية أو الأرضية؛

...

ج) 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؛

...

يقرر أن يدعو قطاع الاتصالات الراديوية

إلى إجراء دراسات تتناول السبل الممكنة لتحسين الاعتراف بالدور الأساسي والأهمية العالمية لتطبيقات الاتصالات الراديوية لرصد الأرض والمعارف والدراية لدى الإدارات بصدد استخدام هذه التطبيقات ومنافعها،"

....

أودت أكثر من 7000 كارثة طبيعية بين 1980 و2005 في شتى أنحاء العالم بحياة أكثر من مليوني شخص وخلفت خسارة اقتصادية قدرت بأكثر من 1,2 تريليون دولار أمريكي. وتسببت المخاطر المتصلة بالطقس والمناخ والماء، مثل نوبات الجفاف والفيضانات والعواصف القاسية والأعاصير المدارية في 90 بالمائة من هذه الكوارث الطبيعية، و72 بالمائة من الضحايا و75 بالمائة من الخسائر الاقتصادية. وتعتبر التطبيقات الراديوية مثل أجهزة الاستشعار عن بعد 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.

وهناك تعاون وشراكة ممتازان منذ 135 عاماً بين المنظمة العالمية للأرصاد الجوية والاتحاد الدولي للاتصالات. وإذا كانت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية تركز جهودها على الاستجابة للاحتياجات من المعلومات البيئية ومصادر طيف الترددات المتصلة بها، فإن الاتحاد الدولي للاتصالات، بصفته هيئة مشرفة على إدارة الطيف، يوزع الترددات الراديوية اللازمة لضمان التشغيل السليم الخالي من التداخلات للتطبيقات القائمة على الترددات الراديوية ولنظم الاتصالات الراديوية (الأرضية والفضائية) التي تُستعمل لمراقبة المناخ والتنبؤ به والتنبؤ بالطقس واستشعار الكوارث والإنذار المبكر بها.

وقد أخذت المؤتمرات العالمية المتتالية للاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات في اعتبارها حاجة المنظمة العالمية للأرصاد الجوية لضمان توافر نطاقات التردد الراديوي وحمايتها لأدوات الرصد كالمسابير الراديوية ورادارات الطقس ورادارات تصوير الريح والمسابير العاملة بالأشعة تحت الحمراء وبالموجات الصغيرة جداً من مركبة فضائية.

وتعتبر تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) الأخرى التي لم يتناولها هذا الدليل، كوصلات الاتصالات السلكية والساتلية والحواسيب، أيضاً مكونات أساسية في نظام المعلومات للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WIS). ويستعان بالعديد من المعايير التقنية للاتحاد الدولي للاتصالات (توصيات قطاع الاتصالات الراديوية وقطاع تقييس الاتصالات) لتطوير هذا النظام وتشغيله.

إن هذه الطبعة الجديدة من "دليل استعمال الطيف الراديوي في الأرصاد الجوية: المراقبة والتنبؤ فيما يتعلق بالطقس والماء والمناخ" برهان آخر على التعاون الممتاز بين الاتحاد الدولي للاتصالات والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. إنه ثمرة عمل مشترك بين الخبراء التابعين لفرقة العمل 7C لقطاع الاتصالات الراديوية تحت رئاسة السيد E. Marelli (ESA) من لجنة الدراسات 7 (خدمات العلوم) والفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية التابع للجنة النظم الأساسية (CBS)، تحت رئاسة السيد P. Tristant من مرفق الأرصاد الفرنسي (Météo France).

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، والاستشعار عن بعد من مركبة فضائية. وهو موجه للمتخصصين في الأرصاد الجوية (الطقس والماء والمناخ، على سبيل المثال) وفي هيئات الاتصالات الراديوية، بما فيها المؤسسات الحكومية، وقطاع الصناعة وعامة الجمهور.

الدكتور حمدون توريه
الأمين العام
الاتحاد الدولي للاتصالات

السيد ميشال جارود
الأمين العام
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

جدول المحتويات

الصفحة

توطئة vii

مقدمة ix

الفصل الأول – الهيكل العام لنظم الأرصاد الجوية 1

الفصل الثاني – الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat) 7

الفصل الثالث – خدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids) 17

الفصل الرابع – رادارات الأرصاد الجوية 33

الفصل الخامس – الاستشعار عن بعد السلبي والنشيط من الفضاء لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية 63

الفصل السادس – نظم الاتصالات الراديوية الأخرى لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية 91

الملحق 1– المختصرات الشائعة الاستعمال في الأرصاد الجوية 99

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، بديسلدورف.

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 في 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 بانشغالاتنا المعتادة. ولاشك أن برنامج التنبؤ بأحوال الطقس هو أكثر البرامج شعبية في التلفزيون والراديو في الوقت الراهن. لأن ذلك لا يؤثر على طريقتنا في اللباس أو على تحديد الأنشطة التي سنقوم بها فحسب؛ وإنما قد يكون له أيضاً العديد من الآثار على سلامة الجمهور. وتعتمد المواصلات العامة أيما اعتماد على الأرصاد الجوية، لأن القدرة على التنبؤ بالطقس بشكل دقيق تعتبر عنصراً أساسياً لضمان أعلى مستوى من السلامة. 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 لاشك 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 تكون على درجة عالية 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 والمناخ و/أو الكوارث، وسيكون بالتالي من الصعب جداً إن لم يكن من المستحيل في بعض الأحيان القيام بالتوقعات.

ويسرني بالغ السرور بصفتي رئيساً للجنة الدراسات 7 أن أقدم هذا الدليل لمستعملي معايير الأرصاد الجوية وللمتخصصين في إدارة الترددات بشكل 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). غير أن عمل المقررين بالنسبة لمختلف أجزاء الدليل كان ممتازاً، وينبغي توجيه الشكر الخاص للسيد David Franc من الولايات المتحدة الأمريكية والسيد Jean-Michel Rainer من المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، ولرئيس فرقة العمل 7C التابع لقطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات، السيد Edoardo Marelli (ESA)، ولرئيس الفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية السيد Philippe Tristant من مرفق الأرصاد الفرنسي (Météo France) على أدوارهم الرائدة في هذا المشروع. كما نعرب عن امتناننا الخاص أيضاً للسيد A. Vassiliev من مكتب الاتصالات الراديوية الذي اضطلع بدور هام في نشر هذا الدليل.

Vincent Meens
رئيس لجنة الدراسات 7 في قطاع الاتصالات الراديوية

مقدمة

الإنذار في الوقت المناسب بالكوارث الطبيعية والبيئية الوشيكة، والتنبؤ الدقيق بالمناخ، والفهم المفصل لوضع موارد المياه في العالم: جميع هذه المسائل تكتسي أهمية حاسمة في الحياة اليومية للمجتمع الدولي. وتعتبر المرافق الوطنية للأرصاد الجوية في شتى أنحاء العالم الهيئات المسؤولة عن توفير هذه المعلومات التي تعتبر ضرورية لحماية البيئة والتنمية الاقتصادية (النقل، والطاقة، والزراعة، وغيرها) ولسلامة الأرواح والممتلكات.

وتعتبر الترددات الراديوية موارد نادرة وأساسية تستعملها المرافق الوطنية للأرصاد الجوية لقياس وجمع بيانات الرصد التي تستند إليها أو تعالج بفضلها التحليلات والتنبؤات بما فيها الإنذارات، ولتوزيع هذا المعلومات على الحكومات وواضعي السياسات، ومنظمات إدارة الكوارث وأصحاب المصالح التجارية وعلى عامة الجمهور.

وينبغي التشديد بشكل أكبر عموماً على الأهمية القصوى للترددات الراديوية لجميع أنشطة رصد الأرض، ولا سيما على ضوء الأنشطة المتصلة بالاحترار العالمي وتغير المناخ.

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)، والرادارات (الهطول وأجهزة تصوير مقاطع الريح) والاستشعار القائم على الراديو (على سبيل المثال، الاستشعار الساتلي السلبي عن بعد واستشعار البرق).

لهذا فإن الترددات الراديوية تعتبر مورداً نادراً وحاسماً للمتخصصين في الأرصاد الجوية.

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 بشكل خاص هو الاستشعار الساتلي السلبي 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 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 4 (المؤتمر 15) الاتحاد الدولي للاتصالات 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،
- 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 السياق، وزع المؤتمران العالميان الأخيران للاتصالات الراديوية (WRC-03 وWRC-07) العديد من الترددات ذات الصلة ولا سيما تلك المتصلة بحماية الاستشعار الساتلي السلبي في إطار خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) (السلبية). كما أن المؤتمرات العالمية للاتصالات الراديوية التي ستعقد مستقبلاً، كالمؤتمر المقبل في عام 2011، ستنظر في تخصيص المزيد من الترددات للعديد من خدمات العلوم التي ستؤدي إلى تحقيق التحسن بالنسبة للأرصاد الجوية و/أو حماية هذه الأخيرة.

وقد أثمرت المسائل المتصلة بالتقاسم التي طرحت مؤخراً بخصوص نطاقات التردد التي تستعملها نظم الأرصاد الجوية عدداً كبيراً من الدراسات في الاتحاد الدولي للاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية (ITU-R) التابع له في إطار السعي إلى تحديد السبيل إلى توفير الطيف لتطبيقات راديوية جديدة. وقد ركزت هذه الدراسات بشكل واسع النطاق على متطلبات الطيف والمسائل المتصلة بالتوافق التقني– هل يمكن للتكنولوجيا الناشئة، وفي ظل أي شروط، أن تتقاسم الطيف مع نظم الأرصاد القائمة والمستقبلية. وقد أظهرت هذه الدراسات في بعض الحالات أن تقاسم القناة أمر مستحيل وأن توفير مزيد من الطيف للتكنولوجيا الناشئة سيتطلب ترحيل المستعملين الحاليين، وهذا يطرح حتماً بعض الأسئلة من قبيل:

- هل تعتبر متطلبات الطيف المتوقعة للتكنولوجيا الجديدة متطلبات واقعية؟
- هل ينبغي إجبار المستعملين الحاليين على إفراغ نطاق كامل أو أجزاء كبيرة منه؟
- هل يمكن للمتخصصين في الأرصاد أن ينتقلوا بيسر إلى نطاق جديد؟ وينبغي أن نتذكر أن جميع النظم القائمة حالياً لا تشغلها الدول الغنية أو هيئات لأغراض الربح، وأن نطاقات الترددات المستعملة للاستشعار السلبي بشكل خاص تمليها قوانين الفيزياء ولا يمكن بالتالي تحويلها إلى حيز آخر من الطيف.
- وإذا اقتضى الأمر، هل يمكن توفير المساعدة المالية بفضل التكنولوجيا الجديدة المتوقع أن تكون مربحة؟ وكيف يمكن المقارنة بين هذه المزايا المتوقعة والآثار الاقتصادية والاجتماعية للأرصاد الجوية؟
- وإذا تمت عملية الترحيل، ما هو الأجل المعقول اللازم الذي ينبغي منحه للمستعملين الحاليين للنطاق لتمكينهم من الانتقال إلى نطاقات أخرى؟

وفي إطار السعي لوضع هذه الدراسات في سياقها، قامت فرقة العمل 7C المكلفة بدراسة "الاستشعار عن بعد" والتابعة للجنة الدراسات 7 والفريق التوجيهي المعني بتنسيق الترددات الراديوية (SG-RFC) بإعداد هذا الدليل، 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.

ويشمل هذا الدليل عروضاً لنظم 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 (MetSat)

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 بعد 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	رصد السطح.....	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.....	6
1.2.1	المراقبة العالمية للغلاف الجوي للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (GAW).....	6
2.2.1	النظام العالمي لرصد المناخ (GCOS)	6
3.2.1	برنامج الهيدرولوجيا وموارد المياه	6
3.1	الخطط المستقبلية لنظم الرصد للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية: النظم العالمية المتكاملة للرصد (WIGOS)...	6

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 187 دولة عضواً لتوفير معلومات الأرصاد والمعلومات الجيوفيزيائية المتصلة بها بغية تقديم الخدمات الفعالة في جميع البلدان.

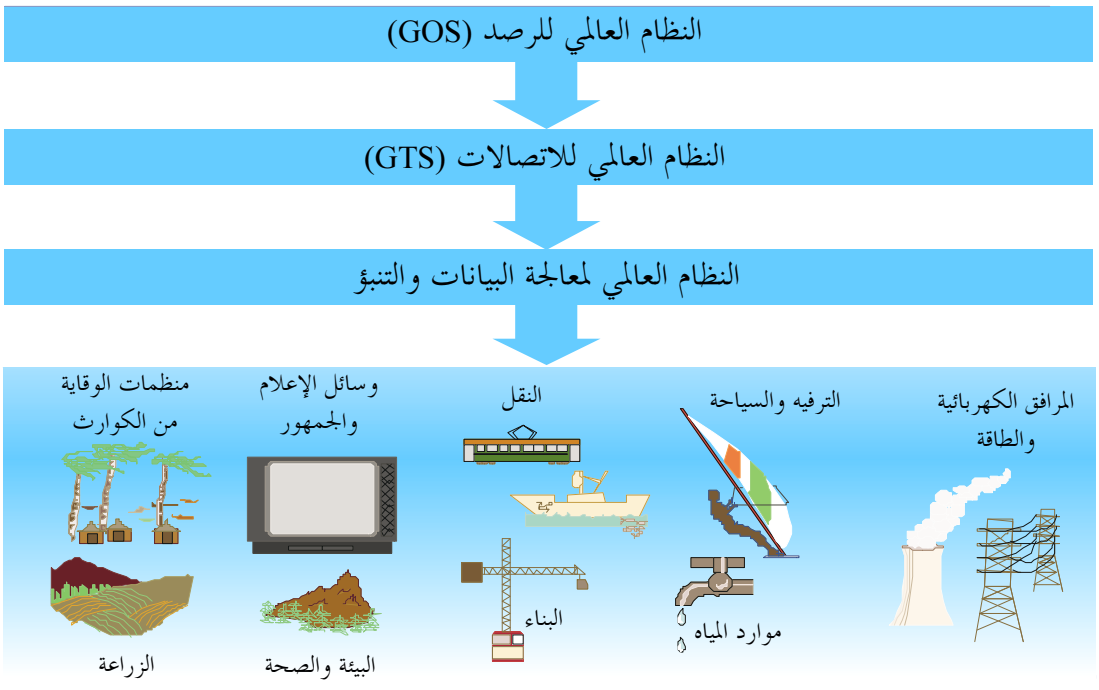
وتقوم المنظمة العالمية للأرصاد الجوية بالتنسيق والإشراف على برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW) بغية التأكد من حصول كل بلد على جميع المعلومات التي يحتاج إليها لتوفير خدمات الطقس (التحليل والإنذارات والتنبؤات) على أساس يومي وكذا لأغراض التخطيط طويل الأمد والبحوث. ويقدم جزء هام ومتزايد من برنامج المراقبة 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 (انظر الرسم 1-1) :

- يقدم **النظام العالمي للرصد** (GOS) عمليات رصد عالية الجودة وموحدة للغلاف الجوي وسطح المحيطات من جميع أنحاء العالم ومن الفضاء الخارجي.
- يضمن **النظام العالمي للاتصالات** (GTS) التبادل في الوقت الفعلي لبيانات الأرصاد الجوية والنواتج المعالجة والمعلومات **المتصلة** بها بين المرافق الوطنية للأرصاد الجوية والهيدرولوجيا.
- يوفر **النظام العالمي لمعالجة البيانات والتنبؤ** نواتج الأرصاد المعالجة (التحليل والإنذارات والتنبؤات) التي تنتجها شبكة مراكز الأرصاد العالمية ومراكز الأرصاد الإقليمية المتخصصة.

الرسم 1-1

نظم برنامج المراقبة العالمية للطقس (WWW)



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 الرسم 1-2 من محطات للرصد تقع على سطح الأرض وفي البحر وعلى متن الطائرات وسواتل الأرصاد.

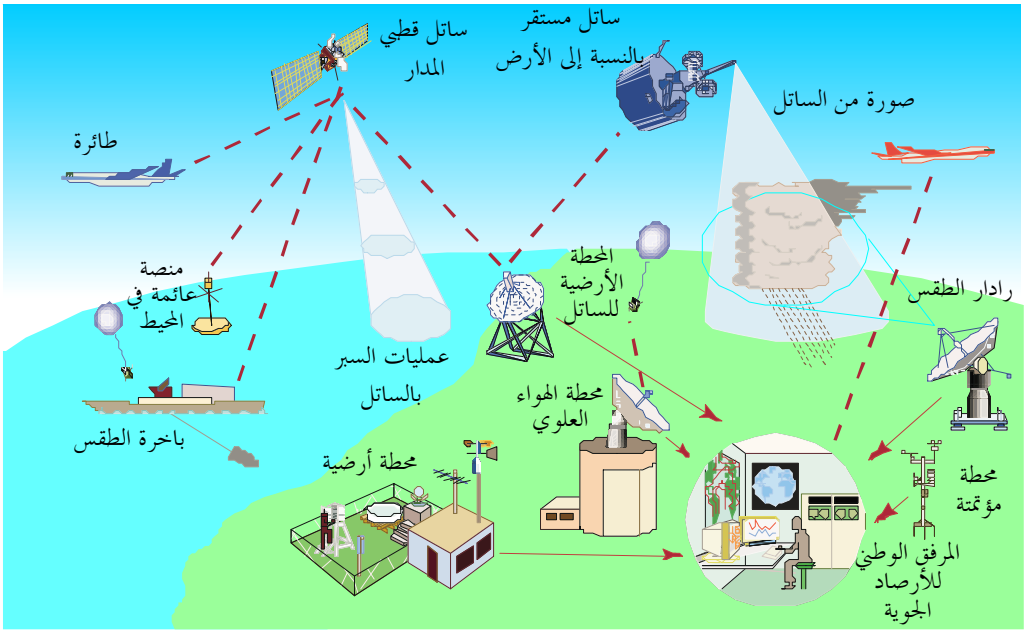
ومن بين مزايا النظام العالمي للرصد البديهية، نذكر حماية الأرواح والممتلكات من خلال الكشف والتنبؤ والإنذار بظواهر الطقس القاسية كالعواصف المحلية وأعاصير التورنيدو، والهوركين، والأعاصير المدارية وشبه المدارية. ويوفر النظام العالمي للرصد بشكل خاص بيانات الرصد للأرصاد الزراعية والأرصاد الجوية للطيران ولعلم 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/www/OSY/GOS.html

الرسم 1-2

النظام العالمي للرصد في المنظمة العالمية للأرصاد الجوية



1.1.1.1 رصد السطح

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 بيانات هذه الرصدات في شبكة السطح للنظام العالمي لرصد المناخ (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 كلم. وفي المحيطات، تقوم المسابير بالرصدات على متن 15 باخرة 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 3000 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 عدد البيانات الواردة من الطائرات بشكل كبير في السنوات الأخيرة ليصل إلى 000 300 تقرير في اليوم. 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 مجموعة من السواتل العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض وسواتل للرصد في المدار المنخفض بالنسبة للأرض (تدور بالقرب من القطب) كما هو مبين في الرسم 1-3. تجدون قائمة سواتل الأرصاد الجوية العاملة حالياً و البارامترات الخاصة بها على الموقعين أدناه:

السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSgeo.html

السواتل ذات المدار المنخفض بالنسبة إلى الأرض: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSleo.html

وعلاوة على ذلك، هناك عدد من السواتل الخاصة بالتطوير والبحث (على سبيل المثال: Aqua, CBERS, CloudSat, ERS, SPOT, TRMM, Landsat, QuikSCAT، وغيرها) التي تشمل مكونات خاصة تتصل بالأرصاد الجوية أو بعلم المناخ والتي تساهم أيضاً في النظام العالمي للرصد (GOS). تجدون قائمة السواتل الخاصة بالتطوير والبحث والبارامترات الخاصة بها على الموقع أدناه:

http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSresearch.html

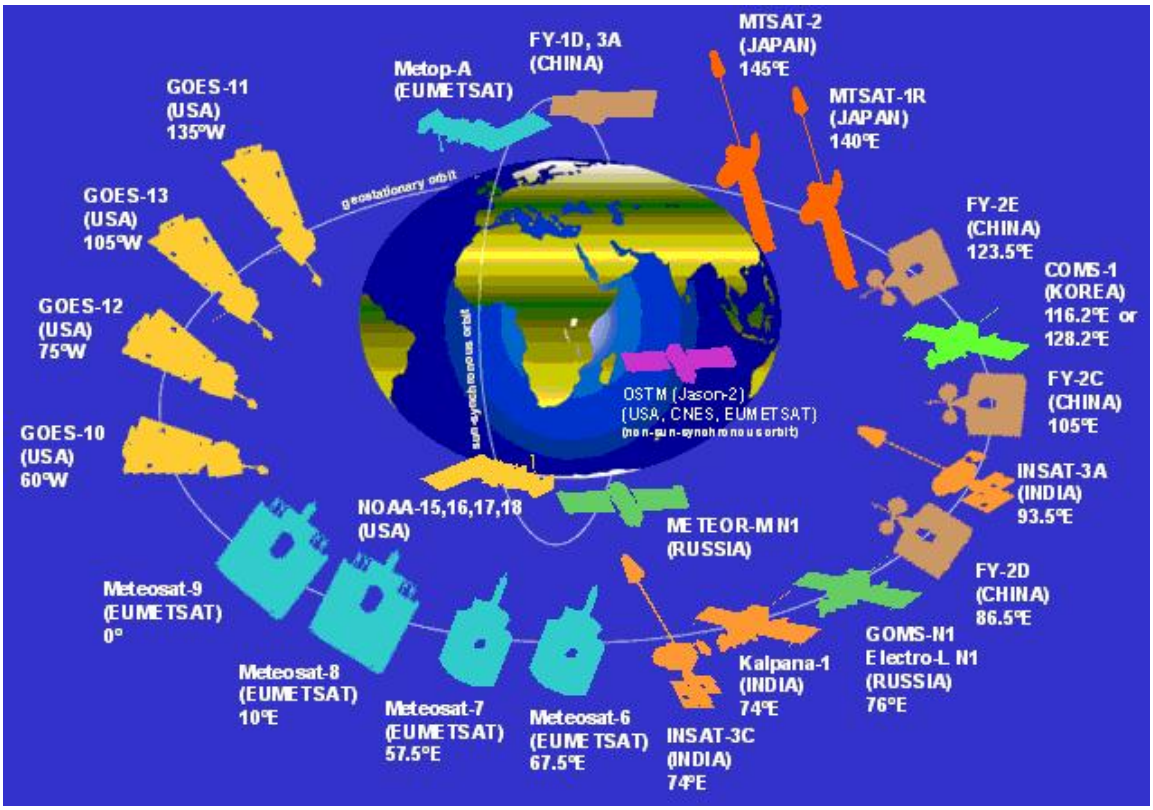
وعادة ما تكون السواتل القطبية المدار والثابتة المدار بالنسبة للأرض مجهزة بأجهزة التصوير و المسابير العاملة بشكل مرئي أو بالأشعة تحت الحمراء والتي يمكن الحصول بفضلها على العديد من بارامترات الأرصاد الجوية. وجهزت العديد من السواتل ذات المدار القطبي بأدوات السبر العاملة بالأمواج الصغيرة جداً التي يمكن أن 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 مباشرة 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.

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 مثن بعثات البحث والتطوير إما بيانات لا توفرها سواتل الأرصاد الجوية القائمة أو تحسن من نظم التشغيل الحالية.

الرسم 1-3

مجموعة سواتل الأرصاد الجوية للنظام العالمي للرصد(GOS)، للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (وضعها عام 2008)



Meteo-01-3

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 الإحيائية. 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 الخطط المستقبلية لنظم الرصد للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية: 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 الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat) والترددات الموزعة لها.....	8
1.1.2	المفهوم العام لنظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.....	9
2.2	نظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل في المدار المستقر بالنسبة للأرض	10
1.2.2	عمليات إرسال البيانات الخام من أجهزة الاستشعار على سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض.....	10
2.2.2	توزيع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض	11
1.2.2.2	توزيع الصور عالية الاستبانة (HRI).....	11
2.2.2.2	مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد (S-VISSR)	11
3.2.2.2	متغير السواتل البيئية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GOES) (GVAR)	11
4.2.2.2	خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX).....	11
5.2.2.2	إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT)	12
6.2.2.2	إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT)	12
3.2.2	منصات جمع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض (DCP) ...	12
3.2	نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض	13
1.3.2	عمليات إرسال البيانات الخام من أدوات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض.....	14
2.3.2	توزيع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض	14
1.2.3.2	الإرسال الأوتوماتي للصور (APT).....	14
2.2.3.2	إرسال الصور المنخفضة الاستبانة (LRPT)	14
3.2.3.2	إرسال الصور العالية الاستبانة (HRPT).....	14
4.2.3.2	البيانات المنخفضة المعدل (LRD)	15
3.3.2	نظم جمع البيانات في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض (DCS).....	15
4.2	آليات توزيع البيانات البديلة	15

1.2 تعريف الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (MetSat) والترددات الموزعة لها

جرى تعريف الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية في المادة 1.52 من لوائح الراديو بصفتها "خدمة ساتلية لاستكشاف الأرض لأغراض الأرصاد الجوية". وتؤمن عمليات الاتصالات الراديوية بين المحطات الأرضية ومحطة أو أكثر من المحطات الفضائية مع وصلات من أجل توفير:

- معلومات تتصل بخصائص الأرض وظواهرها الطبيعية الصادرة عن أجهزة الاستشعار النشيطة والسلبية على سواتل الأرض.
- معلومات تجمع من المحطات الفضائية أو القائمة على الأرض.
- معلومات توزع على المحطات الأرضية.

ويشمل هذا الفصل الخاص بتطبيقات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية عمليات الإرسال الراديوي التالية (بعض هذه النظم تعرف أيضاً باسم خدمات جمع البيانات المباشر):

- عمليات إرسال بيانات الرصد إلى محطات الاستقبال الرئيسية؛
- عمليات إعادة إرسال البيانات بعد معالجتها إلى محطات الأرصاد الجوية للمستعمل؛
- عمليات البث المباشر إلى محطات الأرصاد الجوية للمستعمل؛
- عمليات توزيع البيانات البديلة على المستعملين.

ويبين الجدول 2-1 نطاقات الترددات الراديوية (RF) المخصصة لإرسال البيانات في إطار الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.

الجدول 2-1

نطاقات الترددات الراديوية التي تستعملها سواتل الأرصاد الجوية لإرسال البيانات

نطاق التردد (MHz)	توزيع نطاقات الترددات
138-137	أولي لاتجاه فضاء–أرض
401-400,15	أولي لاتجاه فضاء–أرض
403-401	أولي لاتجاه أرض–فضاء
470-460	ثانوي لاتجاه فضاء–أرض
1 710-1 670	أولي لاتجاه فضاء–أرض
7 550-7 450	أولي لاتجاه فضاء–أرض للسواتل المستقرة بالنسبة للأرض فقط
7 850-7 750	أولي لاتجاه فضاء–أرض للسواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض فقط
8 400-8 025	أولي لاتجاه فضاء–أرض لسواتل استكشاف الأرض (الملاحظة 1)
8 215-8 175	أولي لاتجاه أرض–فضاء
18 300-18 000	أولي لاتجاه فضاء–أرض في الإقليم الثاني للسواتل المستقرة بالنسبة للأرض فقط
18 400-18 100	أولي لاتجاه فضاء–أرض في الإقليمين الأول والثالث للسواتل المستقرة بالنسبة للأرض فقط
27 000-25 500	أولي لاتجاه فضاء–أرض لسواتل استكشاف الأرض (الملاحظة 1)

الملاحظة 1: بما أن الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية هي فئة فرعية لخدمة سواتل استكشاف الأرض، فإن توزيعات النطاقات لخدمة سواتل استكشاف الأرض (مثال: 500 25-000 27 ميغاهرتز) يمكن استعمالها في تشغيل تطبيقات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.

1.1.2 المفهوم العام لنظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية

يجمع نظام السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية بشكل عام مجموعة من البيانات بواسطة أجهزة تصوير مرئية وبالأشعة تحت الحمراء وكذا أدوات الاستشعار السلبي والنشيط التي تستعمل ترددات الموجات الصغيرة جداً المخصصة لهذا الغرض (راجع الفصل الخامس).

ترسل البيانات الخام التي تجمع بواسطة الأدوات المحملة على متن سواتل الأرصاد الجوية إلى محطة أرضية أولية للوكالة المشغلة لتعالج وتوزع على مختلف المراكز الوطنية للأرصاد والأرشيف الرسمي وعلى المستعملين التجاريين. وتشمل البيانات الخام على سبيل المثال صوراً للأرض تلتقط على طول موجات مختلفة لكي توفر تشكيلة من بيانات القياس. وعادة ما يعاد إرسال البيانات بعد معالجتها إلى ساتل الأرصاد الذي يعيد بثها مباشرة إلى محطات الاستعمال بواسطة الإشارات الرقمية المنخفضة المعدل و/أو المرتفعة المعدل أو توزيعها باستعمال وسائل بديلة لتوزيع البيانات.

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

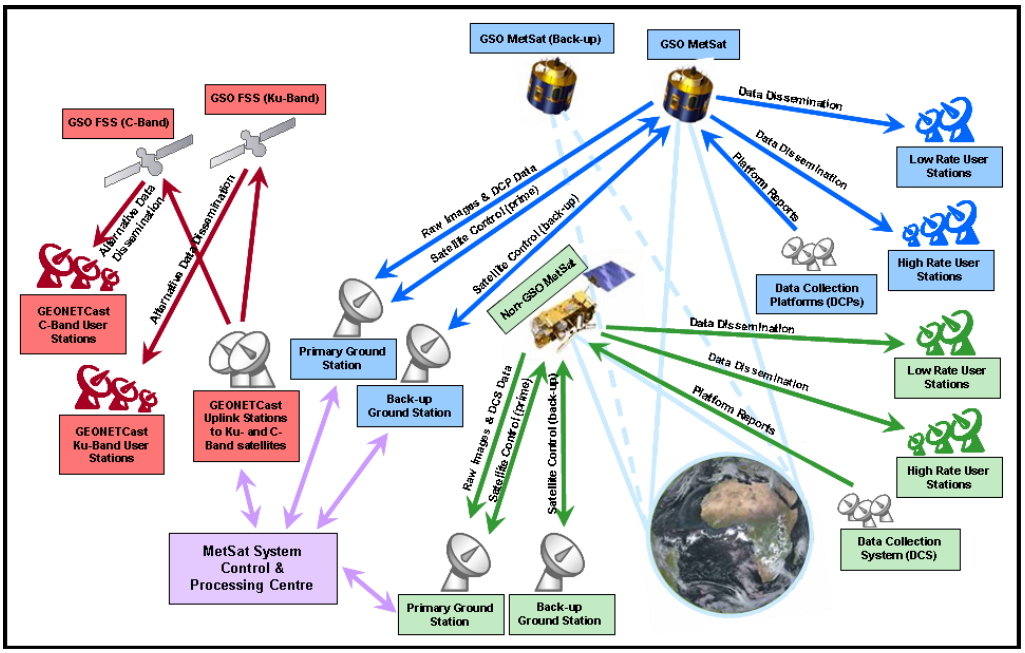
وتستعمل منصات جمع البيانات التي تكون عادة قائمة على الأرض والطائرات والبواخر والمنصات العائمة، النطاق 401-403 ميغاهرتز لكي ترسل إلى سواتل الأرصاد المستقرة بالنسبة للأرض، المعلومات التي جمعتها عن بارامترات مثل درجات حرارة السطح وسرعة الرياح ومعدل الهطول وعلو الجريان، والغازات في الغلاف الجوي وفي حالة 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 أرجوس مثلاً فإنها تبث إلى السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض في النطاق 401,690-401,580 ميغاهرتز. 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 الرسم 2-1 المعمارية العامة لنظام في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية

الرسم 2-1

المعمارية العامة لنظام في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية



Meteo-02-1

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

يُشغل حالياً وفي إطار النظام العالمي للرصد التابع لبرنامج المراقبة العالمية للطقس، عدد من سواتل الأرصاد لضمان الرصد الشامل للأرض من المدار المستقر بالنسبة للأرض (راجع الرسم 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 إما لتحل محل بعض نظم السواتل الأخرى أو لتكميل نظم السواتل القائمة.

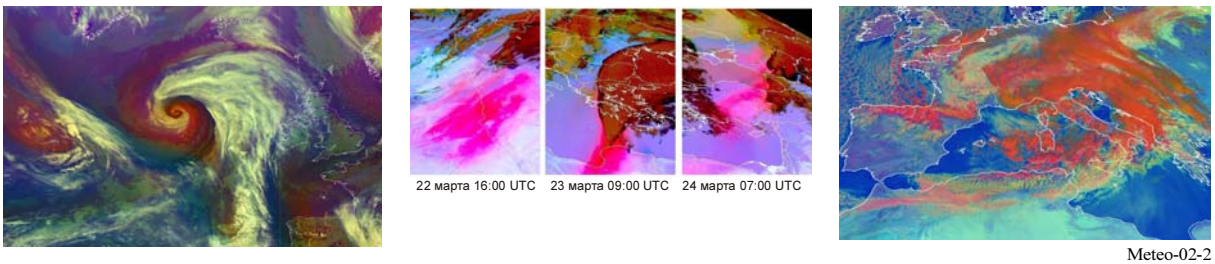
1.2.2 عمليات إرسال البيانات الخام من أجهزة الاستشعار على سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض

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 عادة محطات القيادة أو محطات اقتناء البيانات (CDA)) في النطاق 1670-1690 ميغاهرتز.

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

الرسم 2-2

صور بيانات بعد معالجتها على متن ساتل للأرصاد الجوية عامل في مدار مستقر بالنسبة للأرض



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)

ولا توجد إلا بضع محطات من هذه الفئة في العالم، عادة محطة واحدة أو محطتان لكل نظام ساتلي. وهي مجهزة بهوائيات يتراوح قطرها بين 10 و18 متراً تقريباً، وعادة ما تبلغ زاوية ارتفاعها 3 درجات كحد أدنى. أما قياس الأداء لهذا النوع من المحطات فيبلغ زهاء 23 ديسيبل/ك. أما سعة النطاق المعتادة لعمليات الإرسال من الجيل الحالي لشبكات السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية العاملة في مدارات مستقرة بالنسبة للأرض فتتراوح بين 2 و20 ميغاهرتز وفقاً لخصائص الأداة وأساليب التشكيل المستخدمة.

وتجدر الإشارة في هذه السياق إلى أن نظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي جرى التبليغ بالتخصيصات المتصلة بها بعد 1 يناير/كانون الأول 2004 في النطاق 670 1-675 1 ميغاهرتز 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 نظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية (من المزمع تشغيلها في عام 2015) فإن معدلات البيانات ومتطلبات سعة النطاق للوصلة الهابطة لبيانات الأداة المتصلة بها ستزداد بشكل كبير (زهاء 100 إلى 300 ميغابتة/ثانية). ومن ثمة الحاجة إلى ترددات أعلى مثل النطاقات 450 7-550 7 ميغاهرتز، 18,3-18,0 جيغاهرتز (الإقليم الثاني)، 18,4-18,1 جيغاهرتز (الإقليم الأول والإقليم الثالث)، و25,5-27 جيغاهرتز.

2.2.2 توزيع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض

تصف الفقرات من 1.2.2.2 إلى 6.2.2.2 وظائف التوزيع المباشر لنظم السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل المدار المستقر بالنسبة للأرض في إطار النظام العالمي للرصد التابع لبرنامج المراقبة العالمية للطقس.

1.2.2.2 توزيع الصور عالية الاستبانة (HRI)

تعمل خدمة توزيع الصور عالية الاستبانة (HRI) بواسطة الجيل الأول من مركبات الفضاء ميتيوسات (Meteosat-6 وMeteosar-7). وتُبث الإشارة الرقمية بمعدل إرسال يساوي 166,7 كيلوبتة/ثانية باستعمال التشكيل PCM/PM/SPL . وشكل توزيع الصور عالية الاستبانة (HRI) خاص بميتيوسات، كما أن منطقة التغطية تتطابق مع منطقة الاتصالات لميتيوسات (مثال، موقع المدار المستقر بالنسبة للأرض على 57,5 درجة شرقاً و67,5 شرقا)، وتشمل البيانات التي تُرسل صوراً عالية الاستبانة بما فيها معلومات متصلة بالمعايرة والملاحة. أما أول المستعملين فهم مراكز الأرصاد الوطنية والجامعات وهيئات الأرصاد الخاصة وبرامج التنبؤ بأحول الطقس في التلفزيون.

ويتم توزيع البيانات المتصلة بالصور عالية الاستبانة (HRI) على المستعملين في نطاق التردد الفرعي 1690-1698 ميغاهرتز، مع ترددات مركزية في 694,5 1 ميغاهرتز و691 1 ميغاهرتز. أما سعة النطاق فتبلغ 660 كيلوهرتز وقياس الأداء لمحطات الاستقبال فهو 10,5 ديسيبل/ك، وقطر الهوائي عموماً هو 3 أمتار وزاوية الارتفاع 3 درجات.

2.2.2.2 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 السواتل FY-2C وFY-2D وFY-2E التابعة لنظام Feng-Yun-2 الصيني للسواتل المخصصة للأرصاد العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض.

وترسل البيانات التي تلتقطها مسابير VISSR إلى المحطات الأرضية الرئيسية للعمليات التابعة لنظام ميتسات. 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 (MDUSs). وتوجد أكثر من مائة محطة استقبال من هذا النوع قيد الخدمة. والمستعملون الرئيسيون لهذه الخدمة هم مرافق الأرصاد والجامعات.

ويتم إرسال البيانات بمقياس S-VISSR في نطاق التردد الفرعي 683 1-690 1 ميغاهرتز. أما سعة النطاق فتبلغ عموماً 6 ميغاهرتز وقياس الأداء لمحطات الاستقبال فهو 10,5 ديسيبل/ك، وزاوية ارتفاع الهوائي فهو 5 درجات كحد أدنى.

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

ترسل السواتل البيئية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض التابعة للولايات المتحدة الأمريكية 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 ميغاهرتز بسعة نطاق تكاد تبلغ 5 ميغاهرتز، بشكل أساسي من الصور وبيانات المسبار مع معلومات إضافية تتصل بالمعايرة والملاحة والقياس عن بعد والرسائل النصية والعديد من النواتج الثانوية الأخرى.

4.2.2.2 خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX)

الخدمة التماثلية لخرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) التي ما زالت تستخدم اليوم 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 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. وتُشغل خدمات خرائط الطقس بالفاكس بفضل سواتل ميتيوسات-6 ميتيوسات-7 وFY-2C وFY-2D وFY-2E.

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. كما أن محطات الاستقبال لخرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) معروفة بصفتها محطات المستعمل للبيانات الثانوية (SDUS) (ميتيوسات) أو محطات LR-FAX (FY-2).

يتم إرسال خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) في النطاق الفرعي 690 1-698 1 ميغاهرتز. وأغلب هذه الخدمات لها تردد مركزي يبلغ 691 1 ميغاهرتز وسعة نطاق تتراوح بين 0,03 و0,26 ميغاهرتز. 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 يبلغ 2,5 ديسيبل/ك. وترسل خدمات خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) مقاطع من الصور التي تلتقطها السواتل ونواتج الأرصاد في شكل مصور، وصور اختبار ورسائل إدارية تحتوي على معلومات ألفا–رقمية في شكل مصور.

5.2.2.2 إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT)

إن خدمة إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT) خدمة جديدة أطلقت عام 2003 على سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية البيئية والمدار المستقرة بالنسبة للأرض (GOES) للإرسال إلى محطات المستعمل منخفضة الكلفة. والغرض من هذه الخدمة هي أن تحل محل خدمة خرائط الطقس بالفاكس (WEFAX) على سواتل ميتسات الأخرى العاملة على مدارات مستقرة بالنسبة للأرض لكي تقدم الخدمة لنفس المستعملين. ومن المتوقع أن تكون هناك الآلاف من محطات الاستعمال التي تسمى محطات الاستعمال منخفضة المعدل (LRUS).

يتم إرسال المعلومات المنخفض المعدل (LRIT) في النطاق الفرعي 690 1-698 1 ميغاهرتز مع ترددات مركزية على 691 1 ميغاهرتز. وتصل سعة النطاق إلى 600 كيلوهرتز. ويتراوح قطر هوائيات محطة المستعمل بين متر واحد و1,8 متر وتعمل بزاوية ارتفاع دنيا تبلغ 3 درجات. ويبلغ قياس الأداء لمحطات الاستعمال منخفضة المعدل (LRUS) 5 إلى 6 ديسيبل/ك، حسب موقع محطة المستعمل.

6.2.2.2 إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT)

بدأ العمل بإرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT) في يناير/كانون الثاني 2004 بعد تشغيل أول ساتل (ميتيوسات–8) من فئة سواتل الجيل الثاني لميتيوسات. وببدء تشغيل الساتل الياباني MTSAT-1R في يونيو/حزيران 2005، تم استبدال خدمات HRI وS-VISSR بخدمة إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT) من الساتل الياباني.

وتعمل خدمة إرسال المعلومات المرتفع المعدل (HRIT) في النطاقين الفرعيين 684 1-690 1 ميغاهرتز أو 690 1-698 1 ميغاهرتز. أما طول الهوائي في محطات المستعمل المرتفعة المعدل (HRUS) أو المتوسطة الحجم (MDUS) فيبلغ 4 أمتار وزاوية الارتفاع الدنيا، 3 درجات. ويبلغ قياس الأداء لمحطات الاستعمال 12 إلى 14 ديسيبل/ك حسب موقع محطة المستعمل.

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 بعد. ويتم الإرسال من كل منصة من بين هذه المنصات وساتل الأرصاد في نطاق التردد 401–403 ميغاهرتز. وتُشغل منصات جمع بيانات بأسلوب التتابع الزمني. وتبلغ عادة الفترات الزمنية للإرسال دقيقة واحدة ومعدلات الإرسال 100 بتة/ثانية. وبدأ العمل بمنصات جمع بيانات بمعدلات إرسال أعلى (300 بتة/ثانية و1200 بتة/ثانية) 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 واط كيلوهرتز لمعدل 300 بتة/ثانية و2,2510 واط كيلوهرتز لمعدل 1200 بتة/ثانية.

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 وحدة 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 سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية في المدار المستقر بالنسبة للأرض (MetSats) الترددات في المدى 401,1-402,4 ميغاهرتز مع تخصيص 402-402,1 ميغاهرتز للاستعمال الدولي (33 قناة بسعة نطاق تبلغ 3 كيلوهرتز). ويتيح استعمال النطاقات الضيقة (لدرجة تصل فيها إلى 0,75 كيلوهرتز) وتخفيض فترات إرسال التقارير إلى 10 ثوان عادة، استقبال البيانات من عدد كبير من هذه المنصات. وعلى سبيل المثال، في حالة سواتل المسح البيئي العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض (GEOS)، سجلت عام 2007 زهاء 27000 منصة لجمع البيانات و400000 رسالة في اليوم، ومن المقرر أن ترتفع هذه الأرقام بشكل كبير. ومن شأن هذا أن يؤدي إلى زيادة الطلب على استعمال الطيف في ترددات أعلى والانتقال إلى 403 ميغاهرتز بالنسبة لهذه المنصات التي ترسل التقارير.

3.2 نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض

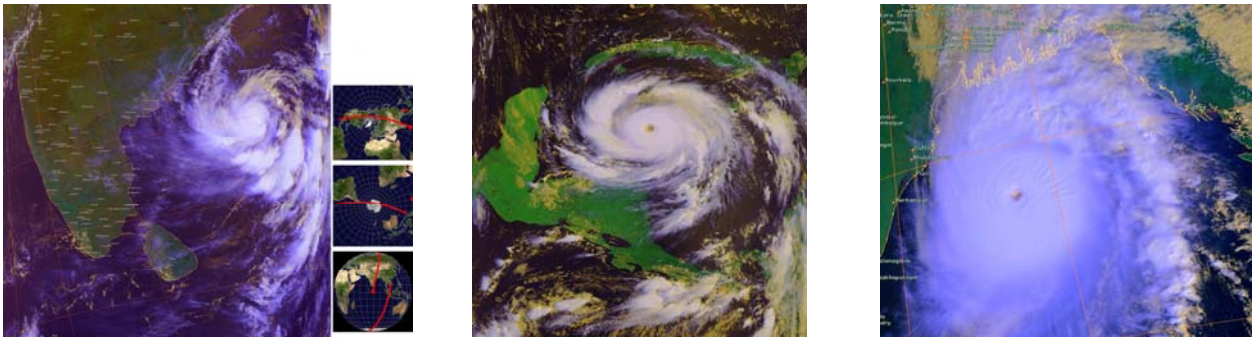
وعلاوة على العدد الكبير من سواتل الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية العاملة في المدار المستقر بالنسبة للأرض، فإن نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض تُكمل قاعدة السواتل التي تساهم في النظام العالمي للرصد بواسطة بيانات القياسات التي تضمن تغطية عالمية من تشكيلة من 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 الوطنية والإقليمية في العالم.

ويعطي الرسم 2-3 أمثلة عن جهاز قياس الإشعاع المتطور العالي 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 2-3

عينات من صور التقطها جهاز قياس الإشعاع المتطور العالي الاستبانة جداً



Meteo-02-3

1.3.2 عمليات إرسال البيانات الخام من أدوات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض

ترسل البيانات الخام من بعض السواتل قطبية المدار والمخصصة للأرصاد الجوية في نطاق التردد 750 7-850 7 ميغاهرتز إلى المحطات الرئيسية الواقعة في خطوط العرض العليا. وتتم عمليات الإرسال في شكل رشقات عند مرور الساتل على المحطة الرئيسية، في حين تكون أجهزة الإرسال مطفأة في بعض الأحيان الأخرى. وتستعمل بعض نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض أو ستستعمل نطاق التردد 025 8-400 8 ميغاهرتز (مثال: FY-3 وMETEOR وNPP) أو 25,5-27 جيغاهرتز (مثال: NPOESS) للوصلة الهابطة لبيانات الأداة الخام.

2.3.2 توزيع بيانات الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض

تصف الفقرات 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 الإرسال الأوتوماتي للصور (APT)

بدأ العمل بخدمة الإرسال الأوتوماتي للصور (APT) على بعض المركبات الفضائية في الستينات وأصبح نظام الاستعمال الأكثر نجاحاً للتوزيع المباشر للبيانات في مجال الأرصاد الجوية. ومازالت آلاف محطات الاستقبال لخدمة الإرسال الأوتوماتي للصور 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.

ويستند الإرسال الأوتوماتي للصور إلى خطة التشكيل التماثلي. وتتم عمليات الإرسال في أربعة نطاقات فرعية من نطاق 137-138 ميغاهرتز بسعة نطاق تتراوح عادة بين 30 و50 كيلوهرتز وقد تصل إلى 175 كيلوهرتز. وسيقتصر الإرسال الأوتوماتي للصور مستقبلاً على نطاقين فرعيين في النطاق 137-138 ميغاهرتز، وهما: 137,025-137,175 ميغاهرتز و137,825-138 ميغاهرتز.

وتتكون محطات الإرسال الأوتوماتي للصور عادة من هوائيات شاملة الاتجاهات وأجهزة استقبال تعمل بتردد عال (VHF) وبرامج حاسوبية لعامة الجمهور (COTS). وجرى تزويد مُدخل الجهاز بنظم معالجة الصور منخفضة الكلفة وببرمجيات حاسوبية بثمن منخفض تشغل على حواسب مشتركة.

2.2.3.2 إرسال الصور المنخفضة الاستبانة (LRPT)

بدأت خدمة إرسال الصور المنخفضة الاستبانة (LRPT) تحل محل تطبيقات الإرسال الأوتوماتي للصور(APT) في أغلب نظم الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض. وتستند خدمة إرسال الصور المنخفضة الاستبانة إلى خطط الإرسال الرقمي وتستعمل نفس الترددات التي تستعملها خدمة الإرسال الأوتوماتي للصور. أم سعة النطاق فتصل أيضاً إلى 175 كيلوهرتز.

3.2.3.2 إرسال الصور العالية الاستبانة (HRPT)

توفر خدمة إرسال الصور العالية الاستبانة (HRPT) صوراً عالية الاستبانة للأرصاد الجوية. وتبقى أجهزة خدمة إرسال الصور العالية الاستبانة في وضع التشغيل باستمرار ويمكن أن تستقبلها جميع محطات الاستعمال. وهناك المئات من محطات الاستقبال لخدمة إرسال الصور العالية 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 العالية الاستبانة أساسية للعمليات المتصلة بخدمات الأرصاد الجوية كما تُستعمل على نطاق واسع في مجالات أخرى.

وتتم عمليات الإرسال في خدمة إرسال الصور العالية الاستبانة (HRPT) خدمة إرسال الصور العالية الاستبانة في نطاق التردد 698 1-710 1 ميغاهرتز وسعتي نطاق للإشارة 2,7 و4,5 ميغاهرتز. وجهزت محطات المستعمل بهوائي مكافئي يتراوح قطره عادة 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 ديسبل/ك. وهناك نظم أخرى لإرسال الصور العالية الاستبانة تعمل بمعدلات للبيانات تبلغ ضعفي معدلات النظم الأصلية لخدمة إرسال الصور العالية الاستبانة.

كما أن هناك تطبيق متقدم لخدمة إرسال الصور العالية الاستبانة (AHRPT) والغرض منه هو أن يحل محل خدمة إرسال الصور العالية الاستبانة مستقبلاً على سواتل الأرصاد الجوية. ويمكن لمشغلي السواتل أن يختاروا الانتقال إلى هذه الخدمة الجديدة أو الاستمرار في العمل بخدمة إرسال الصور العالية الاستبانة لبعض الوقت.

وسيتم إدخال الإرسال باستخدام التطبيق المتقدم لخدمة إرسال الصور العالية الاستبانة (AHRPT) في نفس النطاق الذي تستعمله نظم إرسال الصور العالية الاستبانة (HRPT) الأخرى. وستكون سعة النطاق بين 4,5 و5,6 ميغاهرتز، والحد الأدنى لزاوية الارتفاع لهوائيات محطات الاستقبال 5 درجات. وتكون الهوائيات متكافئة ويتراوح قطرها عادة بين 2,4 و3 أمتار. أما قياس الأداء لهذه المحطات فسيكون 6,5 ديسيبل/ك.

4.2.3.2 البيانات المنخفضة المعدل (LRD)

سيوفر أول ساتل وطني للمسح البيئي يعمل في المدار القطبي (NPOESS)، المزمع إطلاقه في 2013 تطبيق البيانات المنخفضة المعدل (LRD) التي تستعمل سعة نطاق 6 ميغاهرتز، ليحل محل خدمة الإرسال الأوتوماتي للصور (APT) الحالية التي توفرها سواتل الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA). وستعمل هذه الخدمة في نطاق التردد 698 1-710 1 ميغاهرتز.

3.3.2 نظم جمع البيانات في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض (DCS)

توفر نظم جمع البيانات في الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض تشكيلة 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. وتستعمل الهيئات التجارية هذه النظم بشكل محدود، لأغراض مراقبة أوضاع أنابيب النفط لحماية البيئة على سبيل المثال. وتم نشر بعض أجهزة الإرسال أيضاً لرصد حالات الطوارئ وتوفير المعلومات بشأن كشف المخاطر والكوارث. ومن بين نظم جمع البيانات العاملة انطلاقاً من السواتل للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية التي تستعمل سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض، هناك نظام إعادة بث البيانات وتحديد مواقع المنصات (ARGOS) والنظام البرازيلي DCS. وركب الجيل الثاني من نظام أرغوس حالياً وحصراً على السواتل ذات المدار القطبي 15 و16 و17 و18 التابعة للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA). أم الجيل الثالث من نظام أرغوس (Argos-3) العامل حالياً على Metop-A فسيشغل على سواتل NOAA-N وMetop-B وMetop-C، كما سيحمل أيضاً على ساتل SARAL.

ويعمل نظام أرغوس في النطاق 401,580-401,690 ميغاهرتز 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 أرغوس. وأدخل الجيل الثالث من نظام أرغوس خدمات جديدة لجمع البيانات، إذ أصبح يوفر بيانات بمعدلات عالية (4800 بتة/ثانية) وكذا إمكانية استجواب المنصة. ويمكن استجواب المنصة المعروفة باسم PMT (مرسل–مستقبل الرسائل الخاص للمنصة) بواسطة الساتل باستعمال النطاق 460-470 ميغاهرتز.

أما بالنسبة للجيل الرابع من نظام أرغوس (Argos-4)، فمن المنتظر أن يلزم الأمر الزيادة في قدرة النظام وفي سعة النطاق بشكل كبير.

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

4.2 آليات توزيع البيانات البديلة

وإضافة 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 (راجع الرسم 2–4) وهو مبادرة رئيسية من المنظومة العالمية لنظم رصد الأرض (GEOSS) الغرض منها وضع نظام عالمي وعملي يعمل من طرف

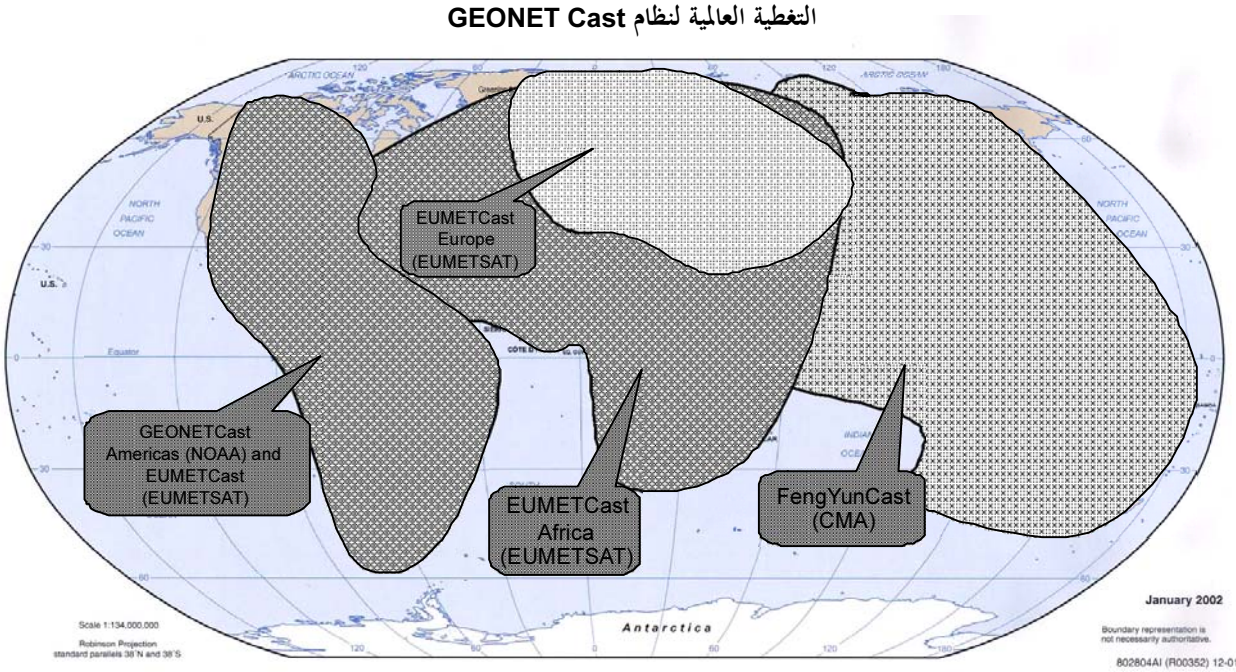
إلى طرف لتوفير بيانات رصد الأرض ونشرها باستعمال بنية الاتصالات التحتية التجارية القائمة. ويهدف مفهوم GEONETCast إلى استعمال قدرات البث المتعدد للنظام العالمي لسواتل الاتصالات لإرسال البيانات والنواتج البيئية من السواتل والمواقع من الموفرين إلى المستعملين. ويخطط لتوفير التغطية العالمية بفضل تكامل نظام FENGYUNCast ومكون GEONETCast الأمريكي ونظام EUMETCast.

فعلى سبيل المثال، نظام EUMETCast هو نظام إذاعة البيانات البيئية التابع لهيئة EUMETSAT، وهو نظام للتوزيع متعدد الخدمات يعتمد على معيار تكنولوجيا الإذاعة الفيديوية الرقمية (DVD)، ويستعمل سواتل الاتصالات التجارية ذات المدار المستقر بالنسبة للأرض لبث الملفات (البيانات والنواتج) إلى مجموعة كبيرة من المستعملين في مناطق التغطية الجغرافية لسواتل الاتصالات التجارية التي تشمل أوروبا وإفريقيا والأمريكيتين.

وقد استعمل نظام EUMETCast في البداية لتوزيع بيانات الصور والنواتج المشتقة من سواتل Meteosat وMetop، وأصبح يوفر أيضاً الوصول إلى بيانات وخدمات يقدمها عدد من موفري البيانات الآخرين، كالمرافق الوطنية للطقس ومشغلي الخدمة الساتلية للأرصاد الجوية.

الرسم 2-4

التغطية العالمية لنظام GEONET Cast



Meteo-02-4

الفصل الثالث

خدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids)

الصفحة

3 مقدمة 18

1.3 نطاقات الترددات الراديوية الموزعة 18

2.3 وظائف الأرصاد الجوية لخدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids) 19

3.3 أمثلة عن نظم الاستشعار لخدمات معينات الأرصاد الجوية 20

1.3.3 المسابير الراديوية 20

2.3.3 المسابير الهابطة 22

3.3.3 مسابير الصواريخ 23

4.3 العوامل المؤثرة في خصائص نظم معينات الأرصاد الجوية 24

1.4.3 نظام هوائي جهاز الاستقبال المقام على الأرض 24

2.4.3 نظام معالجة البيانات المقام على الأرض 26

3.4.3 مجموعات الاستشعار القابلة للاستهلاك 26

5.3 خصائص الأرصاد الجوية المطلوبة من خدمة معينات الأرصاد الجوية 27

6.3 أسباب الاختلافات الوطنية في عمليات خدمة معينات الأرصاد الجوية 30

1.6.3 الاختلافات في التكنولوجيا المتوفرة 30

2.6.3 الاختلافات في علم المناخ الخاص بالرياح العليا 30

3.6.3 الاختلافات في كثافة الشبكة 31

4.6.3 استعمال نطاق التردد 401-406 ميغاهرتز 31

5.6.3 استعمال نطاق التردد 688,4 1-700 1 ميغاهرتز 31

6.6.3 متطلبات الاحتفاظ بالنطاقين 32

7.3 التوجهات المستقبلية 32

3 مقدمة

ورد تعريف خدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids) في المادة 1.50 من لوائح الراديو (RR) بصفتها خدمة للاتصالات الراديوية تستعمل لأغراض الرصد والاستكشاف في مجال الأرصاد الجوية، بما فيها والهيدرولوجيا.

ومن الناحية العملية، توفر خدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids) عموماً صلة الوصل بين نظام استشعار موقعي لبارامترات خاصة بالأرصاد ومحطة قاعدية بعيدة. ويمكن لنظام الاستشعار الموقعي أن يُحمل مثلاً على منطاد 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.

1.3 نطاقات الترددات الراديوية الموزعة

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

الجدول 3-1

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

نطاق التردد	الاستعمال
401-400,15 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
402-401 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
403-402 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
406-403 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
1 670-1 668,4 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
1 675-1 670 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
1 690-1 675 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
1 700-1 690 ميغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية
36-35,2 جيغاهرتز	خدمة معينات الأرصاد الجوية ESSS

وتشمل هذه القائمة الخدمات الأولية أيضاً في النطاقات التي تستعملها خدمة معينات الأرصاد الجوية. وتمارس التوزيعات المخصصة لخدمات أخرى كثيراً من الضغط على خدمة معينات الأرصاد الجوية. ونادراً ما يكون بالإمكان تقاسم القناة بين خدمات أخرى وخدمة معينات الأرصاد الجوية نظراً لأن أغلب نظم خدمة معينات 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) بشكل منتظم بتحيين كتالوج نظم المسابير الراديوية المستعملة في إطار شبكة المنظمة (WMO)، 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 معينات الأرصاد الجوية مثل:

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

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

وتُشغل هذه النظم الإضافية عادة 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 معينات 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 بشكل 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 معينات 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 معينات الأرصاد الجوية المخصص للخدمة الوطنية لخدمة معينات 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.

وقد توقف الاستعمال الاعتيادي للمسابير الراديوية في النطاق 27,5–28 ميغاهرتز نظراً لمشاكل التداخل الصادر عن خدمات أخرى. وتبين علميات استعراض استعمال خدمة معينات الأرصاد الجوية على أن هناك نظماً للمسابير التجارية المتوافرة تعمل في شبكة المنظمة (WMO) في النطاقين 400,15–406 ميغاهرتز و1668,4–1700 ميغاهرتز. وستناقش أسباب الاستمرار في استعمال هذه النطاقين لخدمة معينات الأرصاد الجوية في جزء لاحق من الدليل بعد مناقشة النظم المستعملة بشكل أكثر تفصيلاً.

2.3 وظائف الأرصاد الجوية لخدمة معينات الأرصاد الجوية (MetAids)

تعتبر القياسات الدقيقة للتباينات في درجة الحرارة في الغلاف الجوي والرطوبة النسبية و سرعة 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. 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 معينات الأرصاد الجوية المصدر الرئيسي لقياسات الغلاف الجوي باستبانة عمودية عالية لعدة عقود. وترسل معينات الأرصاد الجوية القياسات الموقعية لمتغيرات الأرصاد المتصلة بالغلاف الجوي من مواقع فوق السطح إلى محطة قاعدية 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 معينات الأرصاد الجوية بعد استعمالها، لهذا ينبغي الإبقاء على كلفة مجموعة جهاز الإرسال والاستشعار في حدها الأدنى.

وفي نظم المعينات الأكثر استعمالاً، يمكن للمسبار الراديوي أن يُحمل على منطاد للطقس إلى علو يصل إلى 36 كلم بالنسبة لسطح الأرض. ويختلف الارتفاع اللازم للقيام بالرصدات المنتظمة إلى حد ما وفقاً للتطبيق والموقع الجغرافي. في العديد من البلدان، تستهدف عمليات الأرصاد الجوية الاعتيادية ارتفاعاً يناهز 25 كلم بالنسبة لسطح الأرض، على الرغم من أن بعض المحطات تحتاج قياس ارتفاعات تزيد عن 30 كلم. 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 في أعلى مستويات الغلاف الجوي الممكنة من الناحية العملية.

وترسل قياسات المسبار الراديوي لفترة تصل إلى ساعتين إلى المحطة القاعدية الموجودة بموقع إطلاق المنطاد. ويتنقل المنطاد بفضل الرياح في الهواء العلوي أثناء هذه الفترة وفي بعض الأحيان قد يقطع أكثر من 250 كلم أثناء الصعود. وأثناء الهبوط، يمكن للمنطاد أن يسافر لمسافة إضافية تبلغ 150 كلم. 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 في حالة ارتجاج المنطاد.

ويطلق يومياً أكثر من 1400 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 معينات 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 المنطاد المقيد عادة داخل حدود طبقة الغلاف الجوي.
مسابير الصواريخ	ترسل قياسات خاصة بالغلاف الجوي على ارتفاعات تصل إلى 95 كلم للبحوث العلمية الخاصة أو تطلق انطلاقاً من البواخر لقياسات المستويات المنخفضة.
طائرة صغيرة بلا طيار(طائرة موجهة عن بعد (RPV) 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.

وتفرض الكلفة الحالية للقياسات التي تقوم بها المسابير حدوداً على المسافة القصوى الفاصلة بين المسابير تبلغ 250 كلم في الاتجاه الأفقي. ويستعمل هذه الفاصل بمثابة معيار لدراسات الشبكة بشأن الطيف اللازم للخدمة التشغيلية لمعينات الأرصاد الجوية. غير أن الاستبانة الملائمة للخصائص الثابتة لنظم الطقس المنظمة تستدعي قياسات بفاصل أفقي يساوي أو يقل عن 50 كلم. 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. وعلاوة 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 معينات الأرصاد لدعم هذه الاحتياجات المتنامية.

3.3 أمثلة عن نظم الاستشعار لخدمات معينات الأرصاد الجوية

1.3.3 المسابير الراديوية

تطلق أكثر من 800000 مسبار كل عام في أنحاء العالم، انظر الرسمين 3-1 و3-2. وبالإضافة إلى ذلك، تطلق 400000 مسبار إضافي لتطبيقات مختلفة أخرى. وجرى تجهيز المحطات القاعدية التي تُستعمل لإطلاق المسابير عادة بشكل يجعل المناطيد 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.

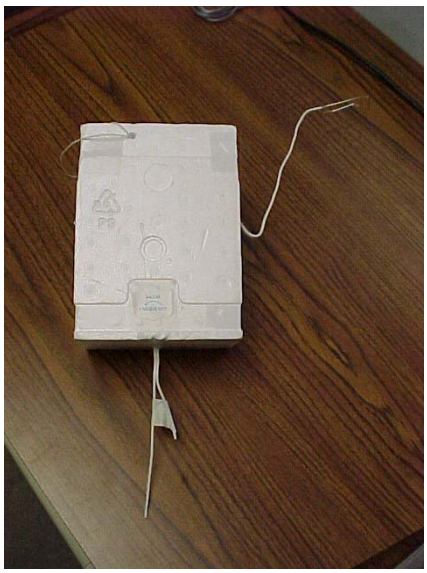
الرسم 3-1

عملية إطلاق المسبار الراديوي

Meteo-03-1

الرسم 3-2

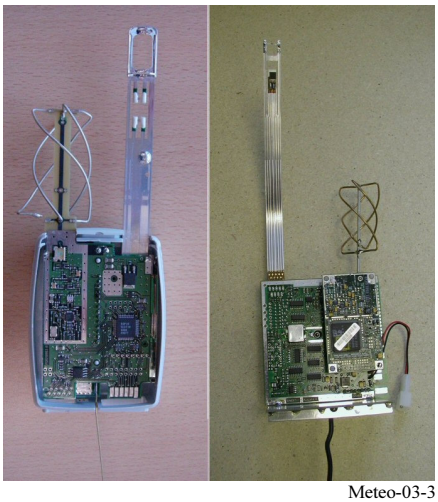
المسابير الراديوية



Meteo-03-2

الرسم 3-3

الإلكترونيات الحديثة في المسبار الراديوي



Meteo-03-3

يتكون المسبار الراديوي التقليدي من عدة مكونات أساسية وهي: جهاز الإرسال والبطارية ومجموعة الاستشعار وجهاز استقبال معينات الملاحة (NAVAID/GPS)، انظر الرسم 3-3. ويرسل جهاز الإرسال البيانات إلى محطة الاستقبال. وتعتمد المسابير على البطارية لمدها بالطاقة. وعادة ما يتم تنشيط البطاريات بالماء وهي مصنوعة خصيصاً لكي تستعمل على المسابير الراديوية، لأن بطاريات ألكالين التي تباع في السوق لا يمكنها أن تبقى سارية المفعول عندما تصل درجة حرارة الهواء إلى 90 درجة تحت الصفر. وتحتوي مجموعة الاستشعار على أجهزة الاستشعار التي تقيس عناصر الغلاف الجوي كدرجات الحرارة والضغط والرطوبة والأوزون والإشعاعات المؤينة. وتشفر مجموعة الاستشعار قيم الاستشعار بما فيه الكفاية لإرسالها إلى المحطة الأرضية.

إذا كانت نظم المسابير لا تستعمل تطبيقات معينات الملاحة (NAVAID/GPS)، فإنها تستخدم نظام التتبع بالرادار باستعمال عاكس راداري يعلق تحت المنطاد. وإذا كان المسبار يعتمد على إشارات NAVAID/GPS لقياس الرياح، فإن المسبار سيحتوي أيضاً على جهاز استقبال لنظام NAVAID/GPS لفئة الإشارات المستعملة. وتستعمل المسابير التي تستخدم NAVAID/GPS إشارات النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) ونظام LORAN وإشارات VLF.

وبالنسبة لمتوسط كلفة المسبار الراديوي التقليدي، فهي توزع على النحو التالي، بين 20 و30% لجهاز الإرسال، و45 و60% لمجموعة الاستشعار، و20 و50% لجهاز استقبال معينات الملاحة (NAVAID/GPS)، إذا كان لازماً، و15 و25% للبطارية. وتتسم أجهزة الإرسال لبعض المسابير بخصائص ضعيفة نسبياً مقارنة مع أغلب الخدمات الراديوية الأخرى. وإذا كان هناك استعمال واسع لأجهزة إرسال باستقرار ضعيف وسعة نطاق كبيرة لعمليات الإرسال، فإن سبب ذلك هو كلفتها المنخفضة نسبياً. وللأسباب نفسها التي أدت إلى التخفيض من قدرة معالجة البيانات، تم عموماً تفادي استعمال أجهزة الإرسال باستقرار عال بانتظار توافر التكنولوجيا بكلفة معقولة. غير أن ظروف التشغيل في بعض الشبكات الوطنية تتطلب من الآن فصاعداً استعمال أجهزة الإرسال باستقرار عال في النطاق الضيق.

2.3.3 المسابير الهابطة

وتشبه المسابير الهابطة المسابير الراديوية من حيث المكونات، غير أن النظام تم تعديله عند التركيب لكي يُلقى به من الطائرة ويصور مقاطع من الغلاف الجوي أثناء هبوطه تحت المظلة، انظر الرسم 3-4. وبما أنه من الصعب تزويد الطائرة بهوائي كبير للتتبع، يتم تشغيل المسابير الهابطة في النطاق 401-406 ميغاهرتز، واستعمال نظام معينات الملاحة NAVAID/GPS لقياس الرياح. وأثناء التشغيل، يتم إطلاق المسابير الهابطة في كثافة أكبر من حيث عاملي المكان والزمان مقارنة مع المسابير الراديوية. وتستعمل بشكل أساسي لتتبع وتصوير مقاطع العواصف المدارية في البحر. ويمكن إطلاق 12 مسباراً هابطاً وتتبعها في الآن نفسه. غير أن هذه الكثافة العالية في عمليات نشر هذه المسابير تستدعي استعمال أجهزة إرسال باستقرار عال وفي النطاق الضيق، إسوة بتلك المستعملة في المناطق ذات الكثافة العالية في شبكة المسابير الراديوية.

3.3.3 مسابير الصواريخ

تعتبر مسابير الصواريخ نظاماً أكثر تخصصاً في جملة نظم معينات الأرصاد الجوية. وعلى غرار ما تقوم به المسابير الهابطة، فإن مسابير الصواريخ تقوم بتصوير مقاطع الغلاف الجوي أثناء هبوطها تحت المظلة. 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 معينات الملاحة NAVAID/GPS لقياس الرياح. وتطلق أغلب مسابير الصواريخ في الأجواء العليا جداً وتستعمل عادة لدعم عمليات إطلاق المركبات الفضائية، انظر الرسم 3–5. وبما أن نشر مسابير الصواريخ مكلف، ينبغي استعمال أجهزة إرسال عالية الجودة.

الرسم 3-4

مسبار هابط

Meteo-03-4

الرسم 3-5

مسبار صاروخ

Meteo-03-5

4.3 العوامل المؤثرة في خصائص نظم معينات الأرصاد الجوية

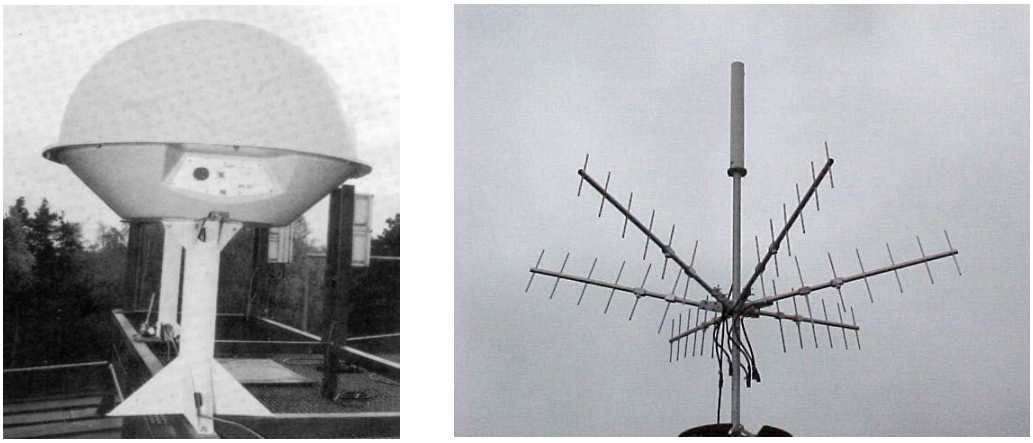
تتكون نظم معينات الأرصاد الجوية من عدة مكونات أساسية للاتصالات الراديوية. ويشمل الجزء الأرضي من النظام عادة نظام الهوائي/جهاز الاستقبال ونظام معالجة الإشارة. وتحوي توصية الاتحاد الدولي للاتصالات ITU-R RS.1165 – الخصائص التقنية ومعايير الأداء لنظم المسابير الراديوية في خدمة معينات الأرصاد الجوية – أوصافاً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

1.4.3 نظام هوائي جهاز الاستقبال المقام على الأرض

تستخدم معينات الأرصاد الجوية وصلة للتردد الراديوي لإعادة إرسال البيانات إلى نظام الهوائي/جهاز الاستقبال الموجود في موقع معالجة البيانات. ويستعمل عادة لهذا الغرض نطاقان هما 400,15–406 ميغاهرتز و1668,4–1700 ميغاهرتز. ويقام عادة نظام الهوائي/جهاز الاستقبال على الأرض (للمسابير الراديوية و مسابير 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 عادة هوائيات شاملة الاتجاهات وهوائيات Yagi في شكل دائري أو عاكسات الزاويا للنظم العاملة في النطاق 401–406 ميغاهرتز، انظر الرسم 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 401–406 ميغاهرتز بين 0 و10 dBi.

الرسم 3-6

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



Meteo-03-6

وعادة ما يتم قياس الرياح بواسطة نظام تحديد زوايا الاتجاه بالراديو(RDF) في النطاق 1668,4-1700 ميغاهرتز. لهذا، جرى تجهيز منصات التتبع بهوائيات مكافئة عريضة أو بصفيف مطاور لتفادي فقدان المسار، انظر الرسم 3-7. وتعمل المنصات على دوران الهوائيات في السمت والارتفاع لتتبع حركة معينات الأرصاد الجوية. ويتراوح كسب الهوائي بين 25 و28 dBi عادة بالنسبة لنظم الهوائيات العاملة في النطاق 1668,4-1700 ميغاهرتز.

الرسم 3-7

نظم هوائيات التتبع (1668,4-1700 ميغاهرتز)

Meteo-03-7

2.4.3 نظام معالجة البيانات المقام على الأرض

يرسل جهاز الاستقبال إشارة النطاق الأساس إلى نظام معالجة الإشارة الذي يفكك شفرة بيانات المسبار سواء كانت تماثلية أو رقمية ويحولها إلى بيانات القياس اللازمة والخاصة بالغلاف الجوي، بما فيها البيانات الخاصة بالرياح. ولا ترسل أغلب خدمات معينات الأرصاد الجوية قيم الرصدات نفسها (الضغط، أو درجات الحرارة أو الرطوبة أو الأوزون، وغيرها)، إلى محطة الاستقبال. وتُرسل الخاصية الإلكترونية لجهاز الاستشعار المكثف أو المقاوم، لتخفيض كلفة معالجة البيانات على متن معينات الأرصاد. وعندها يطبق نظام معالجة البيانات قيم جهاز الاستشعار المكثف و/أو المقاوم بالإضافة إلى قيم معايرة جهاز الاستشعار على معادلة متعددة الحدود لحساب بارامترات الأرصاد الجوية. كما تُحيل أيضاً النظم التي تستعمل المعينات الملاحية NAVAID/GPS لقياس الرياح معالجة الإشارة الواردة من هذا النظام على نظام معالجة البيانات قدر الإمكان. وتكتفي بعض خدمات معينات الأرصاد الجوية باستقبال الإشارة الواردة من NAVAID/GPS لإعادة إرسالها إلى محطة الاستقبال لكي يعالجها نظام معالجة البيانات. ويؤدي إرسال البيانات الخام إلى المحطة الأرضية إلى ارتفاع معدل بيانات وصلة التردد الراديوي إلى أكثر مما يلزم لو جرى معالجة هذه البيانات على متن معينات الأرصاد. ويعتبر هذا الأسلوب ضرورياً، لأنه ليس من الفعال من ناحية الكلفة وضع نبائط المعالجة على أجهزة قابلة للاستهلاك.

3.4.3 مجموعات الاستشعار القابلة للاستهلاك

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

وتعتبر كلفة الإنتاج عادة 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، أجبر المشغلون على إدخال تحسينات على الخصائص المتصلة بالتردد الراديوي من أجل الزيادة من كثافة الشبكة. 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 (ASICs) المتوفرة في السوق نظراً لتوافر النبائط الملائمة التي يمكن تشغيلها في درجات حرارة قاسية على نطاق واسع.

وضماناً للسلامة ينبغي الحد من كثافة خدمات معينات الأرصاد الجوية القابلة للاستهلاك. كما جرى الحد أيضاً من هذه المعينات القابلة للاستهلاك لأسباب تتصل بالسلامة والتشغيل معاً. وتُصمم خدمة معينات الأرصاد 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. وينبغي الإشارة إلى أنه لم تُسجل إلى حد الآن أي حالة ارتطام بين مسبار راديوي وطائرة. وتكتسي الكثافة أهمية كبيرة في حالة ابتلاع محرك الطائرة للمسبار، أما كتلة النبائط فتتجلى أهميتها في كون خدمة معينات 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 المعينات المستعملة حالياً أقل من كيلو غرام واحد. وتوضع المسابير عادة 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 لمعينات 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 و التكثف والهطول. 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 بخمسة (5) ميغاهرتز أو أكثر على منحاه نظراً للتباينات الكبيرة في درجة الحرارة و/أو لظروف 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 للمعينات من الطاقة. فالبطاريات الكبيرة تزيد من وزن المسبار ومن المخاطر المتصلة بالسلامة، كما أن الوزن الإضافي يزيد من كلفة التشغيل أيضاً، إذ يتطلب الأمر مناطيد أضخم وكميات أكبر من الغاز لنفخ هذه المناطيد. ولتخفيض استهلاك الطاقة، صممت خدمة معينات الأرصاد الجوية ليكون لأجهزة إرسالها أقل قدر ممكن من القدرة الخارجة وأن تحافظ مع ذلك على وصلة جيدة للقياس عن بعد. وتتراوح قدرة أجهزة الإرسال في المسابير عادة 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 مقارنة 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.

5.3 خصائص الأرصاد الجوية المطلوبة من خدمة معينات الأرصاد الجوية

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

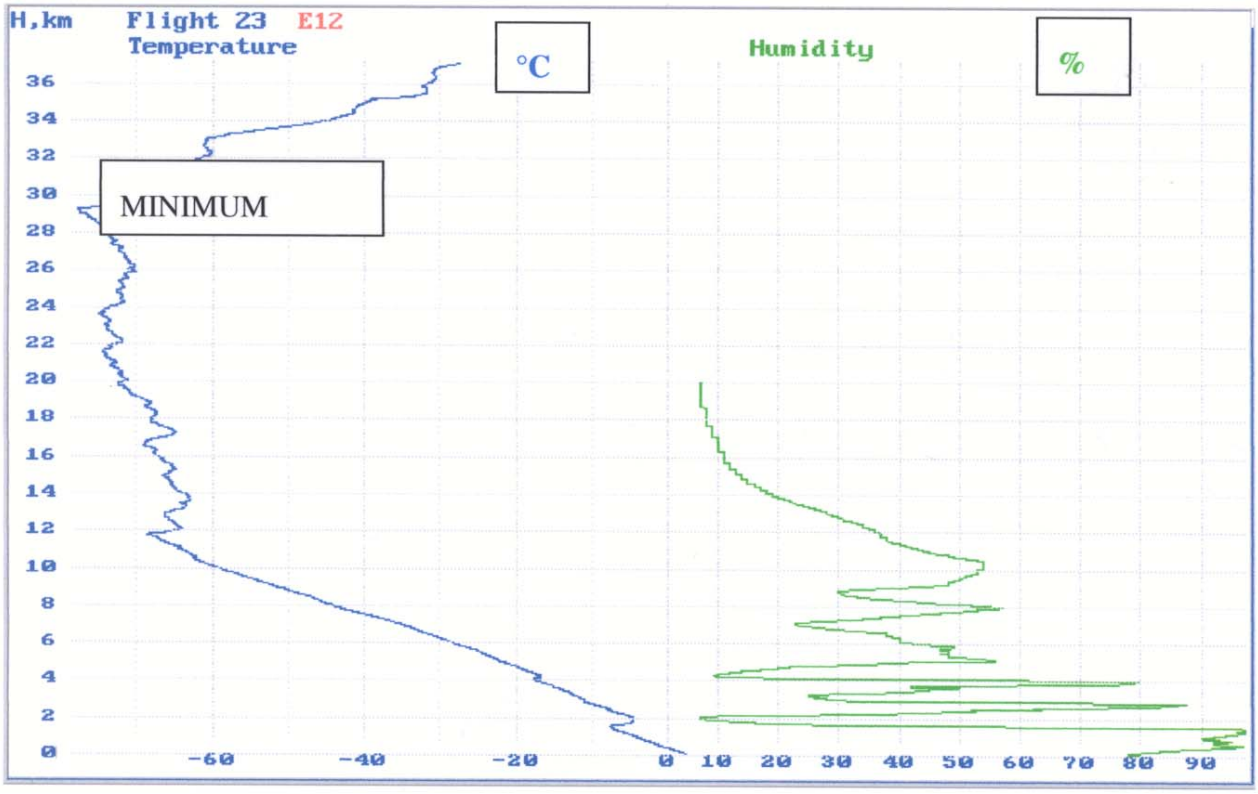
يبين الرسم 3-8 قياسات درجة الحرارة والرطوبة النسبية حسب الارتفاع، وهي قياسات سجلتها محطة لمراقبة المناخ تقع على درجة 60 شمالاً في المملكة المتحدة (ليرويك، جزر شيتلاند، 23 يناير 2000). وطرأت على قياسات درجات الحرارة أخطاء طفيفة بأقل من 0,5 درجة مئوية على ارتفاعات تصل إلى 28 كلم، وهي تتواءم مع أنشطة مراقبة المناخ. وواضح في هذه الرصدة أن درجة الحرارة تتناقص بمعدل موحد نسبياً بين سطح الأرض وارتفاع قرابة 12 كلم. 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 1,4 كلم و4 كلم في هذه الطبقات، وتسمى هذه الظاهرة عند المتخصصين في التنبؤات بانعكاس درجات الحرارة. وعلاوة على ذلك، يلاحظ أن هذا التفاوت أقل حدة في معدل التفاوت الحراري قرب ارتفاع 8 كلم و10,3 كلم، 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 معينات الأرصاد الجوية ملائمة أيضاً لتحديد معالم انتشار الموجات الراديوية.

وصُممت المناطيد التي ترفع المسابير الراديوية لكي تنفجر على أعلى ارتفاع ممكن بعد صعودها بسرعة 300 م/دقيقة. 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 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 للقيام بالعمليات المطلوبة.

والمنحيات في الرسم 3-8 معتادة لأن الأخطاء المسجلة في درجات الحرارة والرطوبة 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 كلم، 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.

الرسم 3-8

مسبار يقيس درجات الحرارة والرطوبة



Meteo-03-8

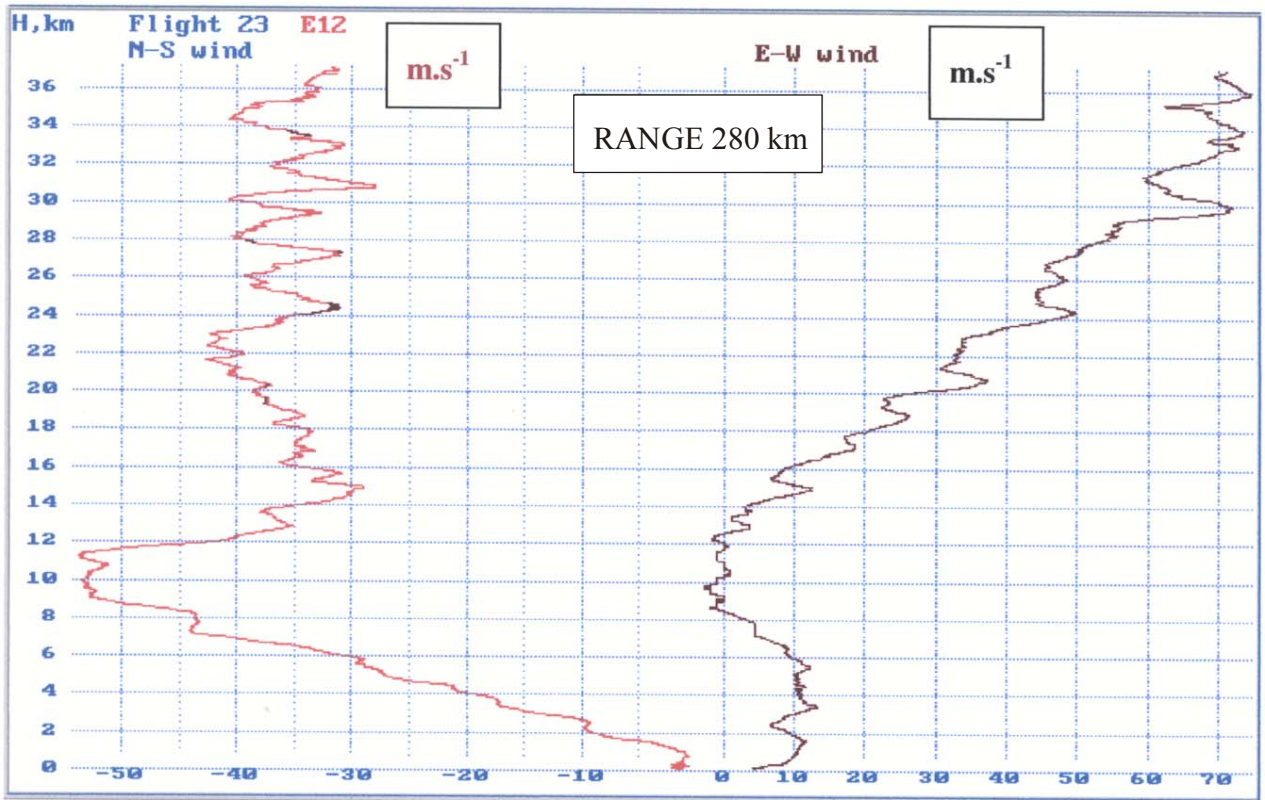
ونظراً لأوجه القصور التي تعتري تكنولوجيا أجهزة الاستشعار، فإن قياسات الرطوبة تتوقف عند ارتفاع 20 كلم. وسجلت في الرسم 3-8 أدنى درجة للحرارة على ارتفاع 29 كلم[2] تقريباً. أما الارتفاع الحاد في درجة الحرارة ما فوق 29 كلم، فهو ناجم عن ارتفاع درجة الحرارة نتيجة حركة الهواء في أعلى الغلاف الجوي أثناء فصل الشتاء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

يبين الرسم 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 و12 كلم، في حين يتمركز التيار السريع (Jet stream) عند تقاطع درجات الحرارة على ارتفاع 10 كلم في الرسم 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 و30 كلم. وتزداد قوة الرياح بسبب التفاوت الحراري المنتظم من الشمال إلى الجنوب في جميع الارتفاعات بين 14 و30 كلم لأن الهواء البارد في الشمال هو أقرب من الدوامة القطبية. ويكتسي قياس الرياح في الارتفاعات العليا أهمية كبيرة لخدمات النقل الجوي والدفاع. وتحول عادة نتائج الرصدات التي تقوم بها معينات الأرصاد الجوية، مثل ما هو مبين في الرسم 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.

الرسم 3-9

قياسات الرياح بالمسبار الراديوي

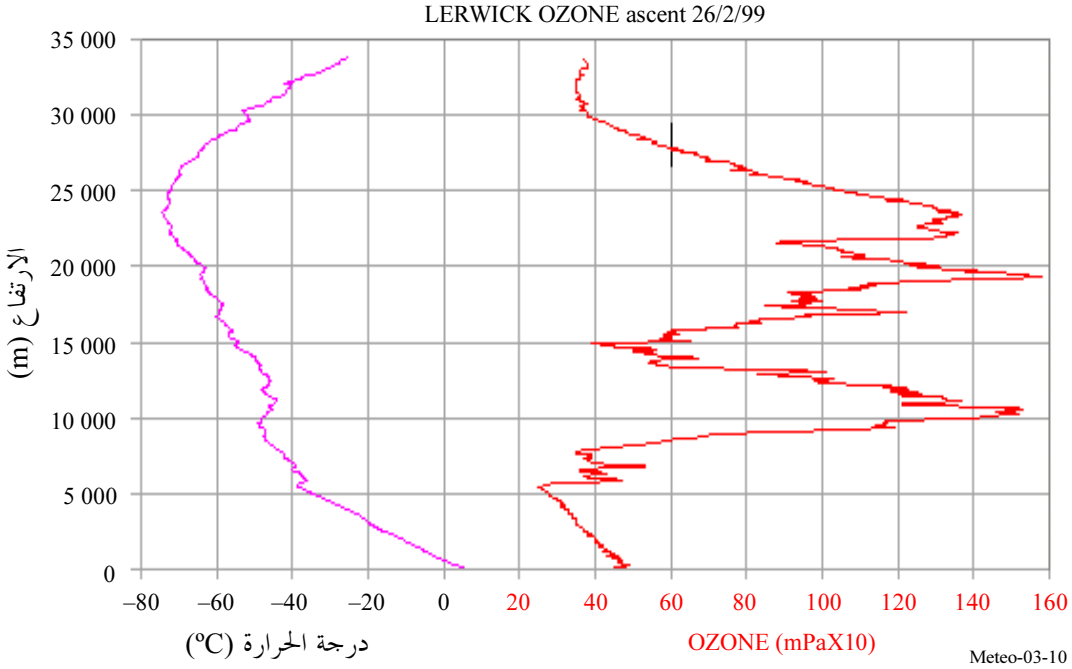


Meteo-03-9

وتبدو في الرسم 3-10 التركيبة العمودية لطبقة الأوزون من نفس المحطة بالمملكة المتحدة المشار إليها في الرسم 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 عادة بشكل قليل في التروبوسفير، في ارتفاع أقل من 5 كلم يوم الرصد. وفي طبقة الستراتوسفير، تلاحظ كميات أكبر من الأوزون على ارتفاع 10 و20 كلم، غير أن لاوجود لها على ارتفاع 15 كلم. 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 أو استنفاد الطبقة بسبب التلوث الكيميائي.

الرسم 3-10

قياس التوزيع العمودي للأوزون بواسطة مسبار لاسلكي



6.3 أسباب الاختلافات الوطنية في عمليات خدمة معينات الأرصاد الجوية

1.6.3 الاختلافات في التكنولوجيا المتوفرة

تقتنى أغلب نظم المسابير الراديوية من مجموعة صغيرة من الموردين الدوليين، غير أن الأوضاع الاقتصادية 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. ويرجى أن يتم تحقيق ذلك في عام 2012.

2.6.3 الاختلافات في علم المناخ الخاص بالرياح العليا

يلاحظ في الرسم 3-9 أن المنطاد قد قطع مسافة 280 كلم 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 الملاحة من فئة Loran-C أو GPS. ولا تقطع المسابير عادة مسافات طويلة كهذه. وفي الخطوط العليا في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، عادة لا تكون الرياح موزعة في فصل الشتاء توزيعاً متوازياً حول القطب على ارتفاعات تفوق 16 كلم. وهذا ما يفسر تواجد هذه الرياح القوية في طبقة الستراتوسفير فوق أوروبا في الكثير من الأحيان مقارنة 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، في حين ينبغي تتبعها في بلدان أخرى على درجات أقل من 5 درجات في الأفق وعلى مسافة تزيد عن 200 كلم.

وعندما تبقى المناطيد على ارتفاعات عالية (خاصة 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/GPS. ويمكن تتبع المسبار

باستعمال هوائي اتجاهي للمسح في المحطة القاعدية. ويكون الهوائي صغير الحجم بكثير إذا كان المسبار يستعمل في الترددات القريبة من 1680 ميغاهرتز للإرسال مقارنة مع حجم الهوائي المستعمل للإرسال في الترددات القريبة من 403 ميغاهرتز. ويفضل استعمال هذه ترددات 403 ميغاهرتز لعمليات الإرسال بعيدة المدى لأسباب عديدة وهي قادرة على تأمين الاستقبال الجيد والقياسات الدقيقة للرياح أثناء مرحلة الصعود كاملة.

وفي العديد من البلدان المتقدمة، أصبح استخدام موظف لمراقبة قياسات المسبار الراديوي باهظ الكلفة، لهذا تزايد الطلب على نظم إطلاق المناطيد الأوتوماتية التي يمكن مراقبتها عن بعد، كما زاد عدد هذا النوع من النظم العاملة حالياً. وتستعمل هذه النظم دائماً مسابير بنظام الملاحة NAVAID/GPS في نطاق التردد 401-406 ميغاهرتز.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 المنطاد 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 بمسح النطاق 401-406 ميغاهرتز 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.

3.6.3 الاختلافات في كثافة الشبكة

لقد حددت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المتطلبات الدنيا العالمية والإقليمية المتصلة بكثافة شبكات معينات 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 نجاعة 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 عادة تقلبات كبيرة جداً في ظروف طقسها من يوم لآخر. أما البلدان التي تشغل شبكات بكثافة صغيرة، فهي عادة البلدان التي ليست لها الموارد اللازمة لتشغيل عدد كبير من المحطات أو لاقتناء أجهزة استقبال عالية الاستقرار تعمل في النطاق الضيق.

4.6.3 استعمال نطاق التردد 401-406 ميغاهرتز

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 401-406 ميغاهرتز بأكمله تقريباً، لأن خدمة معينات الأرصاد تحتاج في الحيز بين 401 و403 ميغاهرتز 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 معينات الأرصاد الجوية لموارد الطيف بكامله. وخلصت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية إلى استنتاج مُفاده أن هناك حاجة للنطاق 401-406 ميغاهرتز بكامله لعمليات خدمة معينات الأرصاد الجوية في المستقبل القريب وأقرت باستحالة القيام بالعمليات المعيارية للمسابير الراديوية في النطاق 401-400,15 ميغاهرتز لأنه لا يمكن تقاسم القنوات مع الخدمات الساتلية.

5.6.3 استعمال نطاق التردد 688,4 1-700 1 ميغاهرتز

وتختلف الأوضاع بين النطاق 668,4 1-700 1 ميغاهرتز والنطاق 401-406 ميغاهرتز. فإذا كان النطاق بكاملة مخصص لخدمة معينات الأرصاد الجوية، فإن هذا النطاق مخصص أيضاً للخدمة الساتلية للأرصاد الجوية على أساس أولي مشترك. وليست هذه الأنشطة متوافقة لتتقاسم نفس القناة، خاصة 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 ميغاهرتز في العالم، غير أنه في العديد من المناطق (شمال

أمريكا وآسيا)، قد لا يتوفر إلا النطاق الفرعي 675 1-683 1 ميغاهرتز لعمليات معينات الأرصاد. وعند مناقشة متطلبات معينات الأرصاد في النطاق 668,4 1-700 1 ميغاهرتز، ينبغي أن يراعى أنه لا يتوافر عموماً إلا جزء من النطاق. و يمكن لأغلب البلدان أن تقوم بعملياتها في نطاق يتراوح بين 7 و8 ميغاهرتز من الطيف، في حين هناك عدد من البلدان الأخرى التي مازالت تحتاج إلى 15 ميغاهرتز على الأقل لدعم عملياتها.

6.6.3 متطلبات الاحتفاظ بالنطاقين

يعتبر الاحتفاظ بنطاقي التردد الراديوي لعمليات معينات الأرصاد أمراً حاسماً لضمان نجاح أنشطة الأرصاد الجوية. أولاً، ففي بعض بلدان أوربا وشمال أمريكا، يعتبر النطاقان ضروريان لاستيفاء متطلبات الطيف الخاصة بخدمة عمليات معينات الأرصاد الجوية، نظراً لترتيبات التقاسم القائمة مع الخدمات الأخرى. وسيكون من الصعب القيام بالأنشطة السينوبتيكية وتلك المتصلة بالبحوث والدفاع بواسطة نطاق واحد. إضافة إلى ذلك، يتسم كل نطاق بمواصفات خاصة به تستلزمها فئات مختلفة من العمليات المتصلة بخدمة معينات الأرصاد الجوية. ويوفر النطاق 401-406 ميغاهرتز خسارة انتشار أقل. ولهذه الخسارة مزايا في بعض مناطق العالم حيث تؤدي الرياح القوية في الارتفاعات العليا إلى مدى ميلان أطول بين المحطة القاعدية و المسبار. ويتيح هذا الانتشار المنخفض استعمال هوائيات أبسط وأصغر لتتبع المسبار أثناء التحليق. ويتم قياس الرياح في إطار أنشطة خدمة معينات الأرصاد الجوية في هذا النطاق بواسطة أحد نظم الملاحة (GPS, LORAN, VLF) لأن هوائي نظام تحديد الاتجاه الراديوي (RDF) سيكون كبير الحجم و باهظ الكلفة. ولأسباب تتعلق بالميزانية و/أو لأسباب تتعلق بالأمن الوطني، اختارت بعض الإدارات استعمال النطاق 1668,4-1700 ميغاهرتز. وتتيح نظم المعينات التي تستعين بنظام تحديد الاتجاه الراديوي (RDF) الاستغناء عن دارات الملاحة الراديوية، وهذا يخفض من الكلفة المتصلة بالنبائط القابلة للاستهلاك. أما بعض البلدان فتشغل نظماً لخدمة معينات الأرصاد الجوية خاصة بها ومستقلة عن نظم الملاحة الدولية NAVAID/GPS وقد لا تكون هذه النظم متوافرة دائماً.

7.3 التوجهات المستقبلية

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

كما أن استعمال النظام العالمي لتحديد المواقع GPS على المسابير الراديوية لقياس الرياح قد حسن كثيراً من استعمال الطيف استعمالاً ناجعاً من جانب المسابير التي تستعمل نظم NAVAID/GPS. كما يتيح في أغلب البلدان تحسناً ملحوظاً في دقة قياسات الرياح في الارتفاعات العليا. ويستدعي استكشاف الرياح بالنظام العالمي لتحديد المواقع GPS إرسال كمية كبيرة من البيانات من المسبار إلى المحطة الأرضية، وهذا يزيد من المتطلبات الخاصة بمعدل البيانات، ويزيد بالتالي من سعة النطاق اللازمة لجهاز الإرسال كما يزيد من استهلاك طاقة البطارية، مقارنة مع المسابير التي لا تستعمل نظم NAVAID/GPS. وقد يستحيل تطبيق عنصر التصحيح التفاضلي بالنسبة لبيانات النظام العالمي لتحديد المواقع على المسبار نفسه لأن هذا الأمر ضروري لتصحيح الأخطاء الناجمة عن ظروف الانتشار وعن العناصر الأخرى. ولا يمكن تطبيق هذا التصحيح التفاضلي إلا في محطة الاستقبال نفسها.

قائمة المراجع

دليل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) الخاص بأدوات وطرق الرصد. المطبوع رقم 8.

الفصل الرابع

رادارات الأرصاد الجوية

الصفحة

1.4	مقدمة	34
1.1.4	أنواع رادارات الأرصاد الجوية	34
2.1.4	معادلة الرادار	35
2.4	رادارات الطقس	36
1.2.4	متطلبات المستعمل	36
2.2.4	شبكات رادارات الطقس	36
3.2.4	الجوانب التشغيلية للانعكاسية	38
4.2.4	خطط البث الخاصة برادارات الطقس واستراتيجيات المسح	39
1.4.2.4	خطط البث	39
2.4.2.4	معايرة الضوضاء	41
3.4.2.4	استراتيجيات المسح	41
4.4.2.4	إزالة الصدى الثابت	41
5.2.4	رادارات دوبلر	41
6.2.4	رادارات ثنائية الاستقطاب	42
7.2.4	نواتج البيانات الأساسية من رادارات الأرصاد الجوية التقليدية	43
1.7.2.4	الانعكاسية الأساسية	44
2.7.2.4	متوسط السرعة نصف القطرية	44
3.7.2.4	سعة الطيف	45
4.7.2.4	نواتج الأرصاد من الرادارات ثنائية الاستقطاب	46
5.7.2.4	نواتج البيانات المشتقة	47
8.2.4	المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف	47
9.2.4	أوجه قصور رادارات الطقس	48
1.9.2.4	أنواع التداخل المحتملة	48
2.9.2.4	أثر التداخل المستمر	48
3.9.2.4	أثر التداخل النبضي	51
4.9.2.4	التداخل من حقول الريح	51
10.2.4	أوجه قصور النظم التي تتقاسم الطيف مع رادارات الطقس	54
3.4	رادارات تصوير الريح (WPR)	55
1.3.4	احتياجات المستعمل	55
2.3.4	الجوانب التشغيلية وتلك المتصلة بالتردد	57
3.3.4	المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف	58
4.3.4	جوانب التقاسم المتصلة بأجهزة تصوير الريح	59

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. وتضطلع بدور حاسم في عمليات الإنذار الفوري في الأرصاد الجوية والهيدرولوجيا. وتمثل 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 عادة بعملية مسح الأحجام، وتعمل بحزم نقطية لكشف وقياس شدة الظواهر الجوية والهيدرولوجية وسرعة والريح. وتستعمل للتنبؤ بتشكل الأعاصير المدارية وأعاصير التورنيدو والظواهر المناخية القاسية الأخرى ولتتبع مسار العواصف في مسارها المدمر. وتسمح الرادارات الحديثة بثقفي مسار 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.

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 (ميغاهرتز)	اسم النطاق
2900-2700	نطاق-S
5725-5250 (5650-5600 ميغاهرتز بشكل أساسي)	نطاق-C
9500-9300	نطاق-X

أما النوع الثاني فهو رادارات تصوير الريح (WPR). ويقدم هذا الرادار البيانات من حجم يشبه مخروطاً تقريباً ويوجد مباشرة في أعلى الرادار. وقد طور هذا النوع حديثاً ويقوم بقياس سرعة الريح واتجاهه حسب الارتفاع بالنسبة لسطح الأرض. وإذا ما جرى تجهيز هذا الرادار بشكل ملائم، فيمكنه أن يقيس درجة حرارة الهواء (حسب الارتفاع بالنسبة لسطح الأرض). وتقع نطاقات الترددات التي تستعملها رادارات تصوير الريح (WPR) عادة قرابة 50، 400، 1000، و1300 ميغاهرتز (راجع التفاصيل في الجزء 3.4).

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

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 تقطع المسافة في الاتجاه المعاكس. وفي حالة رادارات الأرصاد الجوية، يزداد ضعف الإشارة لأن الهدف (وهو إما نقط هطول-أمطار أو برد أو ثلج، وغير ذلك) وفي حالة نمط دوبلر، رمل أو حشرات أو مجرد اضطرابات جوية)،

لأن هذه العناصر لا تعكس الإشارة بشكل فعال. وترتبط قوه 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 (4-1) العلاقة بين القدرة العائدة وخصائص الرادار والهدف. ويمكن التعبير عن هذه المعادلة كالتالي:

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

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 (3 dB)

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 (4-2) والتي تبين المساهمات المختلفة للثوابت والرادار والعناصر المتصلة بالهدف في القدرة التي يتم استقبالها.

$$\overline{P_r} = \underbrace{\frac{\pi^3 c}{1\,024 \cdot \ln 2}}_{\text{Constants}} \cdot \underbrace{\frac{P_t \cdot G^2 \cdot \theta^2 \cdot L}{\lambda^2}}_{\text{Radar factors}} \cdot \underbrace{|K^2| \frac{Z}{R^2}}_{\text{Target factors}} \quad (4\text{-}2)$$

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

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

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 عادة عناصر مثل سعة حزمة الهوائي، وسعة النبضة، وكسب تحويل جهاز الاستقبال، وخسارة النظام والمواقع.

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 عادة حزمة الرادار الضيقة بكاملها. وفي هذه الحالة، فإن المعادلة توفر إشارة تكون متناسبة مع $1/r^2$. ولهذا فإن للرادارات مدى واسع النطاق للكشف، غير أنها تتسم بحساسية أكبر من حيث التداخل.

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، من جهة، ولقياس سرعة الرياح واتجاهها بتتبع حركة الأمطار أو جزئيات الغلاف الجوي. وتقيس الرادارات شدة الهطول في فترات زمنية محددة وكذا حركة هذه الهطول والجزئيات 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 والفيضانات 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 عن الفضاء الفارغ أو عناصر الغلاف الجوي الأخرى. إذ كلما ابتعدنا عن الرادار كلما ابتعدت حزمته عن سطح الأرض وزادت سعتها. (وسبب ذلك هو تحدب الكرة الأرضية وزاوية ارتفاع الحزمة) (انظر الرسم 4-1).

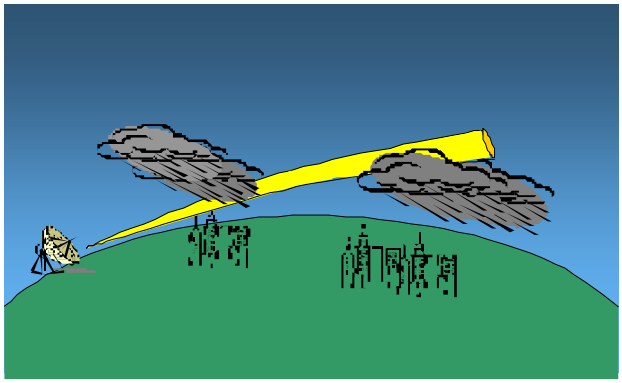
[3] وهي سرعة الهطول إما باتجاه الرادار أو عندما تبتعد عنه (في اتجاه نصف قطري). ولا تقدم أي معلومات بشأن قوة الهطول. تكون قيمة السرعة سلبية عندما يتجه الهطول نحو الرادار وإيجابية عند الابتعاد عنه. وعندما يتحرك الهطول بشكل متعامد مع حزمة الرادار (في دائرة حول الرادار)، فإن السرعة نصف القطرية تكون قيمتها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

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 أوقد يظهر على الشاشة بشدة أقل، الأمر الذي يحد من المدى التشغيلي للرادار.

ولتجاوز وجه القصور هذا، يتم توزيع الرادارات عموماً في إطار شبكات تعمل طيلة اليوم وعلى مدار الساعة لتغطية 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 الرسم 4–2 مثال لشبكة رادارات كما جرى نشرها في غرب أوربا.

الرسم 4-1

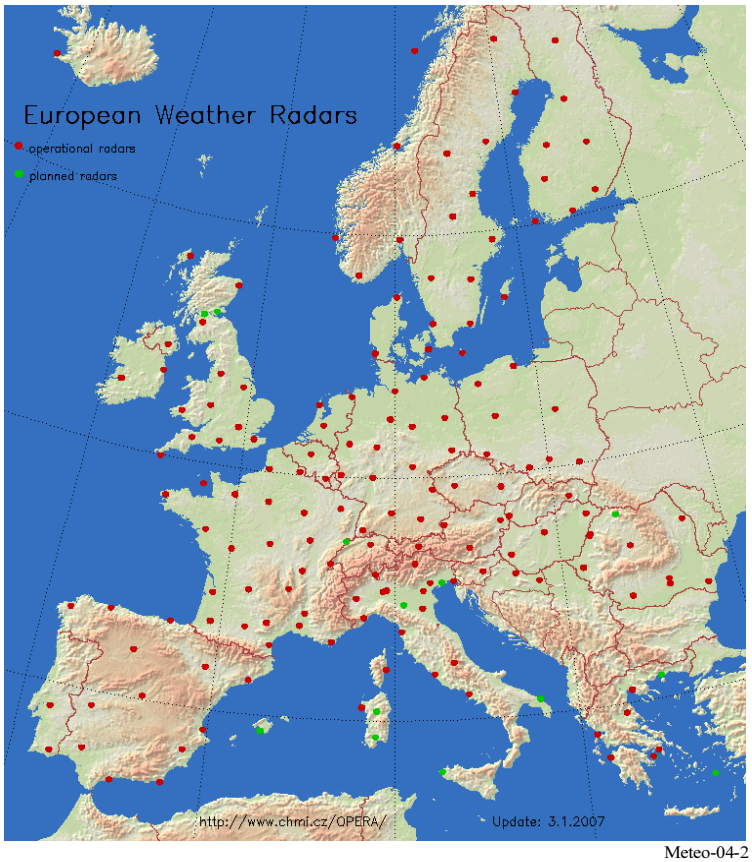
رسم وصفي لزياد سعة حزمة الرادار بزيادة طول المسافة



Meteo-04-1

الرسم 4-2

مثال لشبكة رادارات الطقس



Meteo-04-2

ويمكن اعتماد أسلوب مكمل لتجاوز وجه القصور هذا بنشر رادارات صغيرة الحجم وزهيدة الكلفة وضعيفة القدرة تعمل في نطاق X والتي يمكن أن توفر بيانات إضافية للبيانات التي ترسلها رادارات الطقس القائمة. وتعتبر شبكة (CASA) مثال على هذا النوع من الشبكات التي تهدف إلى تحسين الاستشعار قرب السطح بشكل كبير بفضل عملية تسمى بالاستشعار التوزيعي التعاوني والتكيفي (DCAS). أثناء هذه العملية، يتم إدماج البيانات الصادرة عن مجموعة من الرادارات تعمل في النطاق X في الوقت الفعلي لاستعمالها في خوارزميات الكشف وفي التنبؤ العددي بالطقس ونماذج النقل. وتوفر هذه الشبكة مزايا ملحوظة، لهذا من المنتظر أن يشهد النظام تحسينات من حيث تحليل ظروف الطقس على السطح والتنبؤ بها.

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:

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

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. و يتضافر حجم الماء الإجمالي وتوزيع حجم القطرة والسرعة النهائية للقطرة المقابلة لذلك، لحساب معدل التساقط المطري. ويمكن لعنصر انعكاسية الرادار Z أن يعرف بالمعادلة التالية :

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

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:

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

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:

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

حيث:

$N(D)$: التركيز العددي للقُطر

D: القطر

ΛD: فارق الحجم

N_0 وΛ: ثابتان لحدث جوي معين.

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

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

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

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

حيث:

R: معدل سقوط المطر

D^3: حجم قطرة المطر التي تتناسب مع Z

$\nu_t(D)$: 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):

$$Z = AR^b \tag{4-10}$$

ويعبر عادة 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 و b بتوزيع حجم القطرة (DSD) التي تختلف وفقاً لنوع المطر وشدته.

4.2.4 خطط البث الخاصة برادارات الطقس واستراتيجيات المسح

1.4.2.4 خطط البث

لضمان معالجة مسح الأحجام في ما يسمى "باستراتيجيات المسح" (عادة في مهلة تتراوح بين 10 و15 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 خطط قارة لأنها تختلف باختلاف عدد من العناصر تتصل بقدرات الرادار وبيئته ونواتج الأرصاد الجوية المرغوب في قياسها.

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

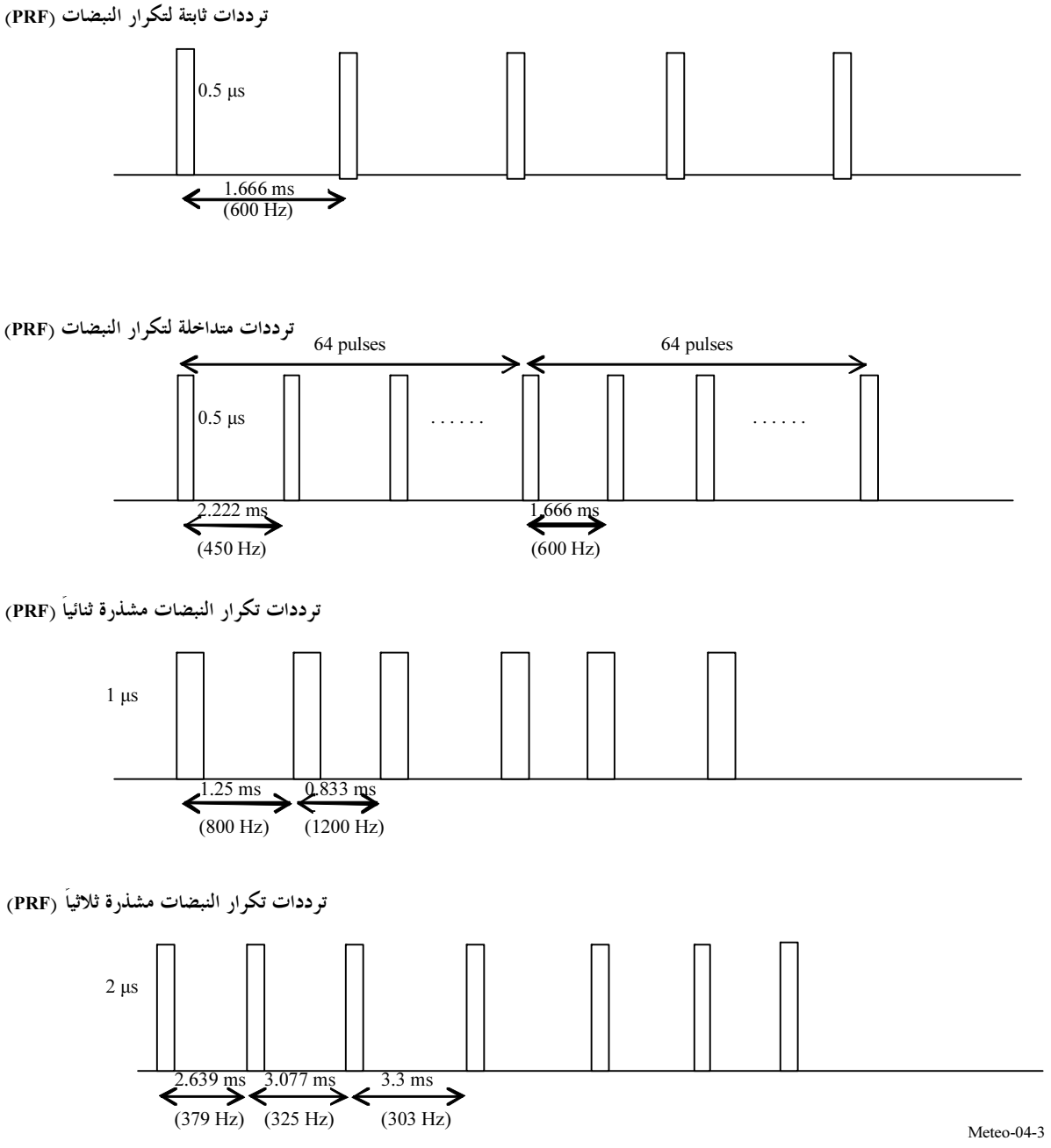
- تتراوح زاوية الارتفاع التشغيلي بين 0 و90 درجة
- تتراوح سعة النبضة بين 0,5 و2,5 µs (للرادارات العاملة)

- يتراوح تردد تكرار النبضات (PRF) بين 250 و1200 Hz
- تتراوح سرعة الدوران بين 1 و6 rpm.
- استعمال رادارات معينة لخطط بث مختلفة تمزج سعات نبضة وتردد تكرار النبضات مختلفة، 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 الرسم 4-3.

الرسم 4-3

بعض أنواع خطط بث رادارات الطقس



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 الرادار تكتسي أهمية حاسمة.

ويتم معايرة الضوضاء، التي تسمى أيضاً "**Zero check**" على أساس منتظم، إما أثناء عمليات البث المنتظمة للرادار (بالتقدير) أو أثناء فترات قياس محددة (راجع المثال أدناه المتصل باستراتيجية المسح).

وينبغي الإشارة إلى أنه بالنسبة لبعض الرادارات، يتم قياس الضوضاء خارج عمليات بث الرادار، وقد يؤثر هذا على تصميم بعض النظم الراديوية التي تهدف إلى كشف إشارة الرادار للحد من التداخل؛ وإذا طرأ التداخل أثناء عملية المعايرة، يمكن أن يؤثر ذلك على قياس الرادار بعد هذه المعايرة وبالتالي على استراتيجية المسح بكاملها. ومن المحتمل جداً أن يؤدي هذا التداخل بشكل خاص 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 استراتيجيات المسح

تستعمل خطط البث على اختلافها في العديد من الرادارات أثناء استراتيجية المسح التي تقوم بها هذه الأخيرة. وفي هذه الأثناء، ترسل خطة بث واحدة على ارتفاعات وسرعة دوران مختلفة. وليست هناك استراتيجية مسح نموذجية، فهذه الاستراتيجيات تختلف وفقاً للعديد من المعايير، بما فيها المتطلبات الأساسية للأرصاد الجوية، وبيئة الرادار، والظروف الجوية الخاصة، إلى غير ذلك.

يرد مثال عن استراتيجية المسح في الرسمين 4-4 و4-5.

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). 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 القطرية 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 القطرية 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 القطرية. ويتيح هذا قياس سرعة الريح وكشف أعاصير التورنيدو وقياس حقل الريح باستعمال مسح السرعة بشاشة السمت.

ومن بين قدراته الهامة أيضاً إزالة الضجيج الأرضي، وركزت التطورات الجديدة في هذا المجال على أجهزة الإرسال مثل الكليسترون أو صمامات الموجات المتنقلة(TWT). ومازالت هناك قيود على طور طيف الرادار التقليدي بسبب تكنولوجيا المغنيطرون. غير أن بإمكان عناصر المغنيطرون الحالية أن تنتج بشكل فعال من الناحية الاقتصادية متوسط قدرة عالية للزيادة في نسبة الإشارة/الضوضاء.

6.2.4 رادارات ثنائية الاستقطاب

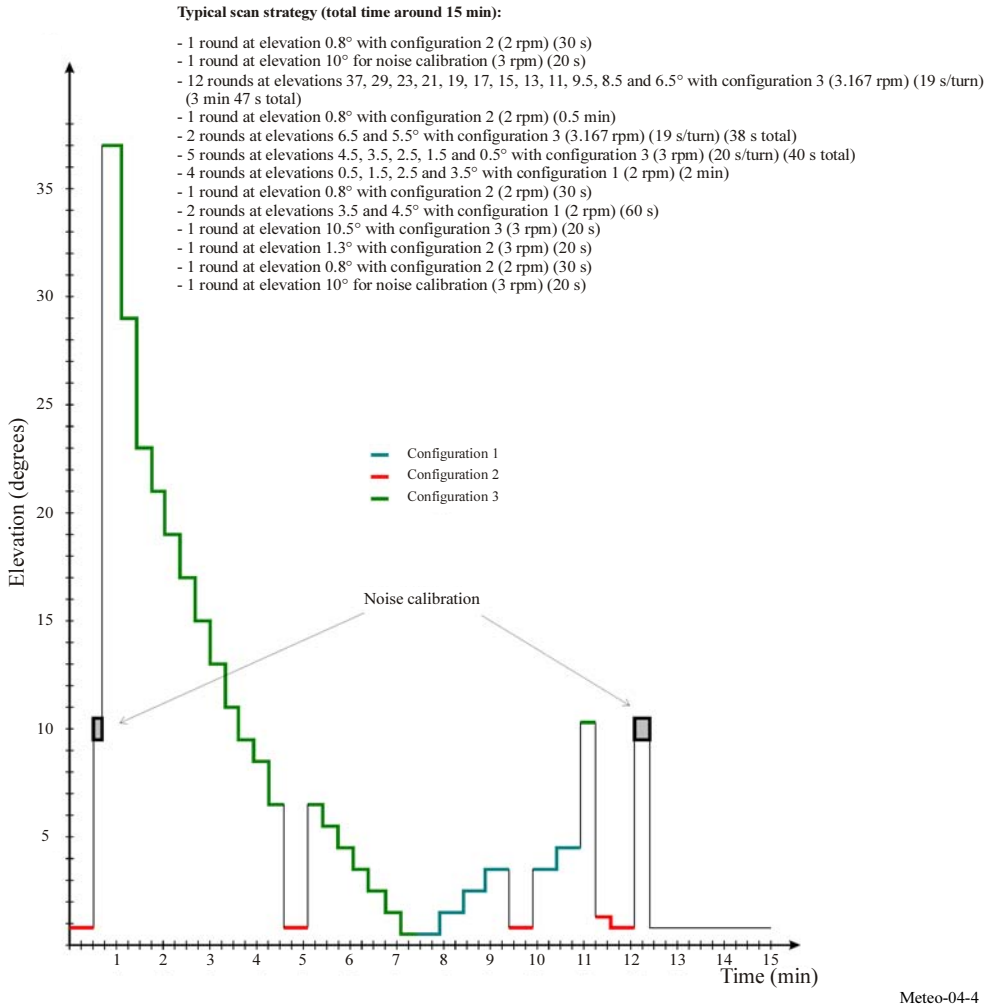
تتيح رادارات القياس الاستقطابي أو ثنائية الاستقطاب تحديد العناصر المتناثرة باستشعار أشكالها عن بعد. ويمكن لرادارات الطقس بالقياس الاستقطابي أن تستعمل لتحسين رصد الرطوبة الجوية وموثوقية معدلات الهطول ودقة بياناتها اللازمة للتطبيقات الهيدرولوجية. ومعروف أن قطرات المطر تنبسط عندما تسقط، ويزداد انبساطها بزيادة حجم القطرات في الاتجاه الأفقي. وعند المزج بين قياسات الانعكاسية و الطور باستعمال القطب الأفقي (h) والعمودي (v)، يمكن تقييم المعاملين a وb التابعين للعلاقة Z-R بشكل أحسن.

وتعتبر بعض الخوارزميات التي تم تطويرها مؤخراً على أساس معدل الانعكاسية المتباينة Z_h/Z_v والطور المتباين $\varphi_h - \varphi_v$، آخذة في الاعتبار التوهين المتباين أيضاً، واعدة بشكل كبير بضمان تقييم دقيق للهطول.

وإضافة 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 الماء والثلج ولقياس كمية الماء السائل والجليد في السحب باستعمال قياسات التوهين المتباينة باستعمال رادار مزدوج النطاق.

الرسم 4-4

وصف استراتيجية المسح لرادار الطقس

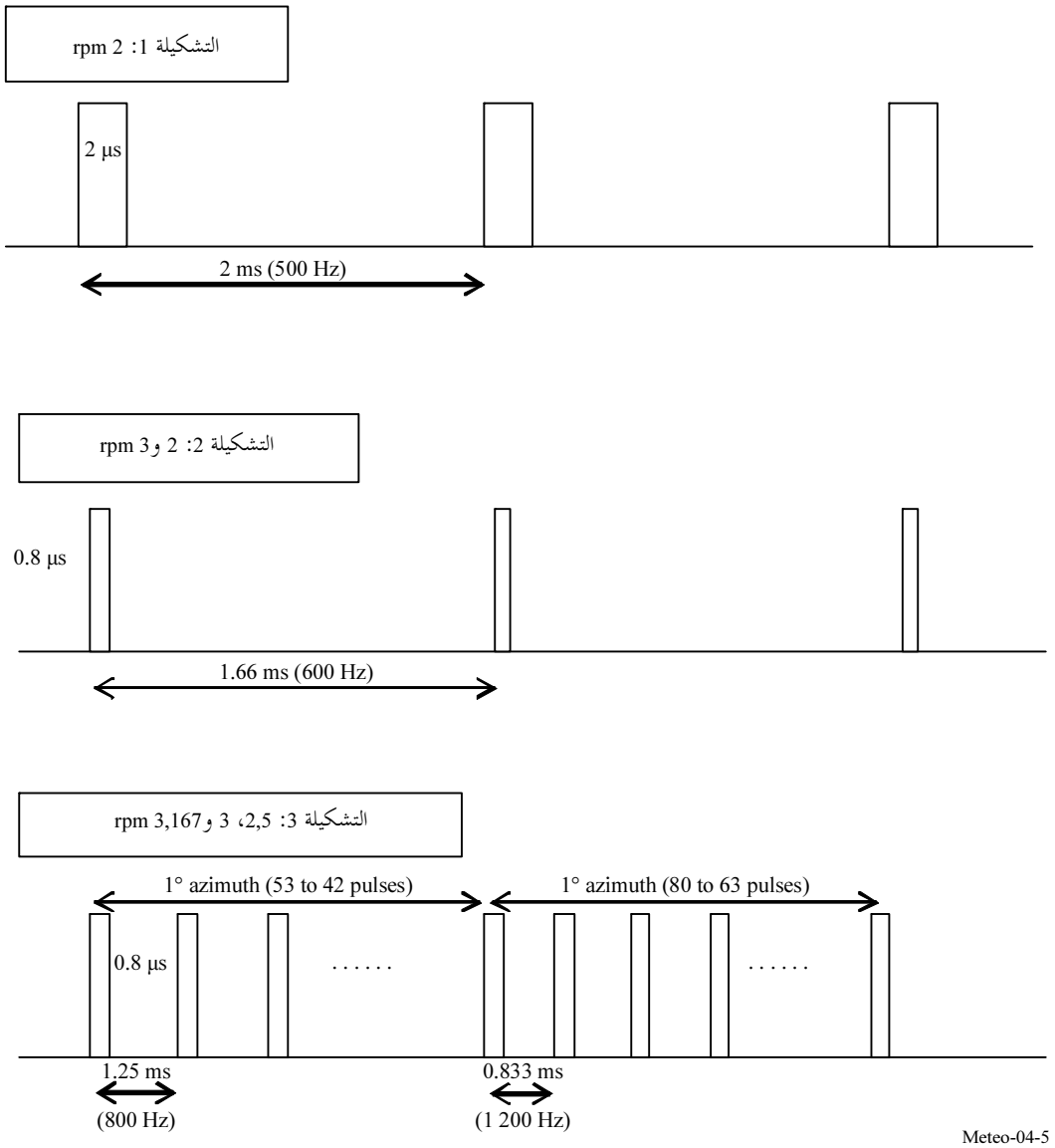


7.2.4 نواتج البيانات الأساسية من رادارات الأرصاد الجوية التقليدية

يوفر رادار دوبلر للأرصاد الجوية ثلاثة أنواع من نواتج البيانات الأساسية من الإشارة العائدة: الانعكاسية الأساسية، متوسط السرعة نصف القطرية، 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.

الرسم 4-5

خطط البث المتصلة باستراتيجية المسح كما في الرسم 4-4



الجدول 4-2

متطلبات دقة البيانات الأساسية للرادار

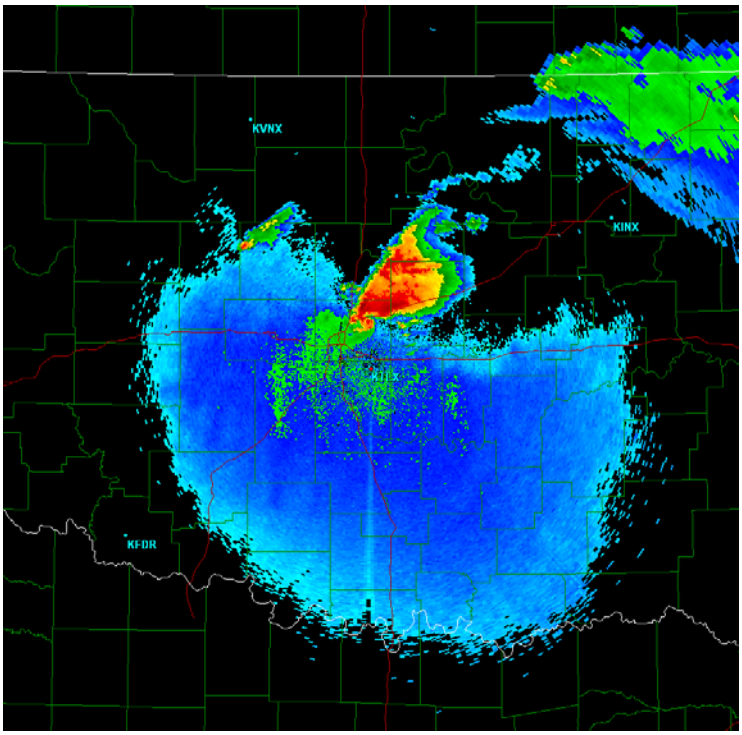
ناتج البيانات الأساسية	مطلب دقة التصميم
الانعكاسية الأساسية	أقل من 1 dB
متوسط السرعة نصف القطرية	أقل من 1 m/s
سعة الطيف	أقل من 1 m/s

1.7.2.4 الانعكاسية الأساسية

تستعمل الانعكاسية 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.

الرسم 4-6

تمثيل نمطي للانعكاسية



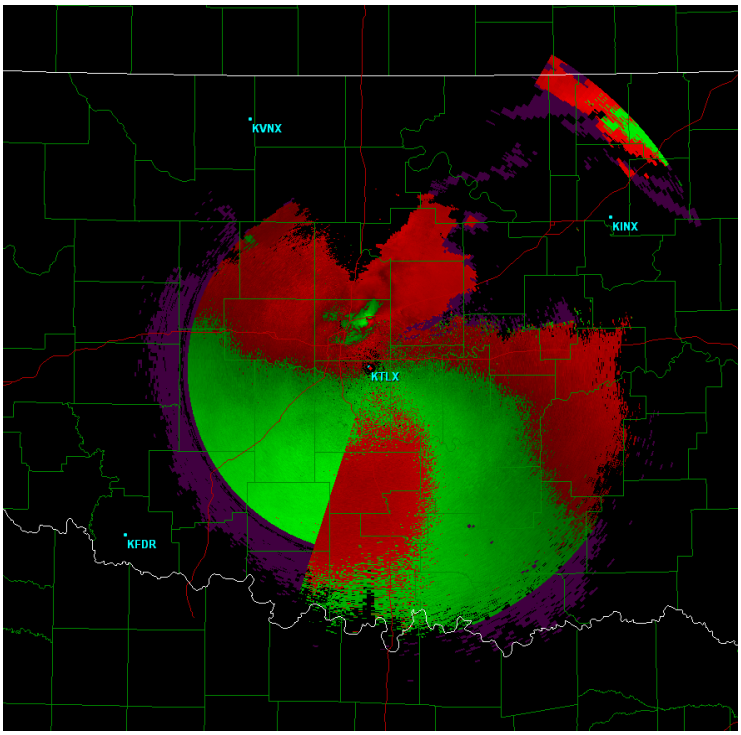
Meteo-04-6

2.7.2.4 متوسط السرعة نصف القطرية

يعرف متوسط السرعة نصف القطرية أيضاً بمتوسط سرعة دوبلر، ويمثل المتوسط المرجح لسرعة انعكاسية الأهداف داخل عينة حجم معين. ويشير متوسط السرعة نصف القطرية إلى الفترة الأولى لكثافة الطيف، والسرعة نصف القطرية 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 و التوزيع المرجح للرادار للسرعات داخل حجم الرادار.

الرسم 4-7

رسم يمثل السرعة نصف القطرية



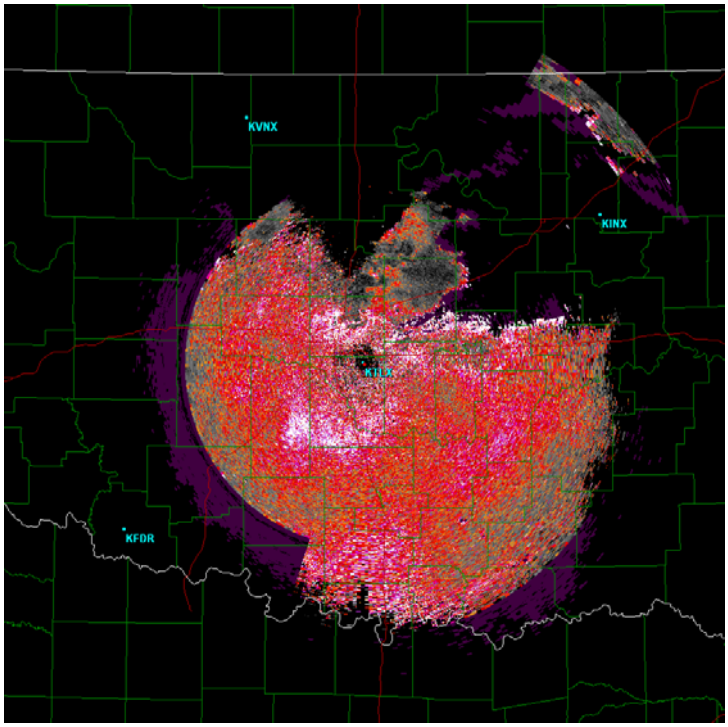
Meteo-04-7

3.7.2.4 سعة الطيف

تحسب سعة 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. وترتبط سعة الطيف بقياسات الانعكاسية والسرعة مقابل حجم النبضة واضطرابها داخل حجم النبضة [Doviak and Zrnic 1984]. ولا يوجد متوسط العينات المستعملة في حسابات سعة الطيف. غير أن هناك تراكم للأجزاء الواقعية والنظرية لسلسلة العينة، على سبيل المثال، العينات المقتطفة على نصف القطر.

الرسم 4-8

رسم يمثل سعة طيف نمطية



Meteo-04-8

4.7.2.4 نواتج الأرصاد من الرادارات ثنائية الاستقطاب

1.4.7.2.4 الانعكاسية المتباينة

الانعكاسية المتباينة 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 القطرة، والشكل بدوره هو تقدير جيد لمتوسط حجم القطرة.

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.

3.4.7.2.4 نسبة إزالة الاستقطاب الخطية

وهي بدورها ناتج آخر لرادار الأرصاد الجوية ذي القياس الاستقطابي، وهي نسبة للقدرة العائدة عمودياً من نبضة أفقية أو للقدرة العائدة أفقياً من نبضة عمودية. وهي أيضاً مؤشر جيد في المناطق التي تشهد أنواعاً مختلطة من الهطول.

4.4.7.2.4 طور التباين الخاص

طور التباين الخاص هو أيضاً ناتج لرادار الأرصاد الجوية ذي القياس الاستقطابي، وهو 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 المتباينة ومعامل التباين ونسبة إزالة الاستقطاب الخطية التي تعتمد كلها على القدرة العائدة، فإن طور التباين الخاص هو "أثر للانتشار". وهو مؤشر جيد أيضاً لتقدير معدل الأمطار.

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 المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف

وإسوة بعدد كبير من التطبيقات الراديوية الأخرى، ينتج اختيار نطاق التردد (أو طول الموجة λ) بشكل أساسي عن المقارنة بين المزايا المرتبطة بالمدى/الانعكاسية، والتي تتفاوت قيمتها كلما تناقص توهين المطر λ^{-4} إلا وزاد λ ليصل إلى قيم منخفضة جداً عندما يصل إلى الموجات الديكامترية، ودقة البيانات والكلفة. فنطاق Ka على سبيل المثال (قرابة 35 جيغاهرتز، طول الموجة 8,6 mm)، يعتبر ملائماً لكشف قطرات الماء الصغيرة التي توجد في السحب غير الممطرة (200 μm ≤)، في حين يتم اختيار نطاق S (2 700-2 900 ميغاهرتز، طول الموجة 10 cm) لكشف المطر الغزير على مدى طويل (يصل إلى 300 كلم) في المناطق ذات المناخ المداري والمناخ المعتدل.

ويفضل عموماً استعمال النطاق C (5 600-5 650 ميغاهرتز، طول الموجة 5,4 cm) في المناطق ذات المناخ المعتدل لأنه يمثل حلاً وسطاً بين البارامترات المذكورة أعلاه، ويتيح كشف المطر على المدى الطويل (قد يصل إلى 200 كلم) على الرغم من أن كميات هذه الأمطار لا يمكن تحديدها بدقة إلا في حدود 100 كلم، 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 (9 500-9 300 ميغاهرتز، 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 (50 كلم). وتستعمل هذه الرادارات في الدراسات المتصلة بتكون السحب لأن بإمكانها كشف الجزئيات المائية الدقيقة جداً، كما تستعمل لكشف الهطول الخفيف كالثلج. وعلاوة على ذلك، تستعمل رادارات الطقس العاملة في النطاق X بصفتها أجهزة متنقلة في الكثير من الأحيان. 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) السرعة غير المبهمة القصوى التي يمكن للرادار قياسها. وأثناء التصميم ينبغي إيلاء العناية لثابت يتصل بالعلاقة غير المبهمة بين المدى والسرعة:

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

حيث :

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

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

[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.

الاثنين معاً بنفس القوة بزيادة التردد. وللحد من أثر الإبهام وتحسين ناتج العلاقة بين المدى والسرعة، تستعمل رادارات الطقس الحديثة عادة ولا سيما تلك العاملة في النطاق C خطط بث مختلفة تمزج بين تردد تكرار النبضات (PRF) مختلفة (انظر الفقرة 4.2.4).

وتُعطى القيم لنوعين مختلفين من التكنولوجيا : بالمغنيطرون والكليسترون أو صمام 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 ميغاهرتز في تشكيلة واسعة من درجات الحرارة البيئية. أما الرادارات سريعة المسح فتتطلب قدراً كبيراً من الطيف، 10 ميغاهرتز مثلا، نظراً لاستعمال انضغاط النبضات.

9.2.4 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.

وينبغي التذكير 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 البرد، والجزيئات الناجمة عن الريح) التي لم تخصص لهذا الغرض. ولهذا فإن الإشارات التي تصل تكون ضعيفة جداً. و لاتزال الرادارات تتأثر كثيراً بالضوضاء والتداخل على الرغم من استعمال قدرات الإرسال الهائلة في الكثير من الأحيان و الاعتماد على أجهزة الاستقبال كبيرة الحساسية.

1.9.2.4 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 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 معايير مستويات الحماية الخاصة برادارات الأرصاد الجوية في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية التابع للاتحاد الدولي للاتصالات، علماً أن هناك حد أقصى للتداخل المستمر هو $I/N = -10$ dB.

2.9.2.4 أثر التداخل المستمر

1.2.9.2.4 التغطية الجغرافية

يمكن للتداخل المستمر أن يقلص من مدى الرادار مما يؤدي إلى تقليص المنطقة الجغرافية التي يغطيها الرادار بسبب الزيادة المتزامنة في الضوضاء. وتغطي رادارات الأرصاد حالياً مساحات تصل إلى 200 كلم تقريباً. ويلخص الجدول 4-3 زيادة خسارة المدى والتغطية كلما زاد التداخل (الضوضاء).

2.2.9.2.4 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 والبرد). ويلخص الجدول 4–4 زيادة النسب المئوية لأنواع مختلفة من الهطول وفقاً لزيادة التداخل (الضوضاء).

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

الجدول 4-4

زيادة معدل الهطول

زيادة الضوضاء (dB)	القيمة *I/N* *المقابلة* (dB)	زيادة معدل السحاب الطبقي (%)	زيادة معدل 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

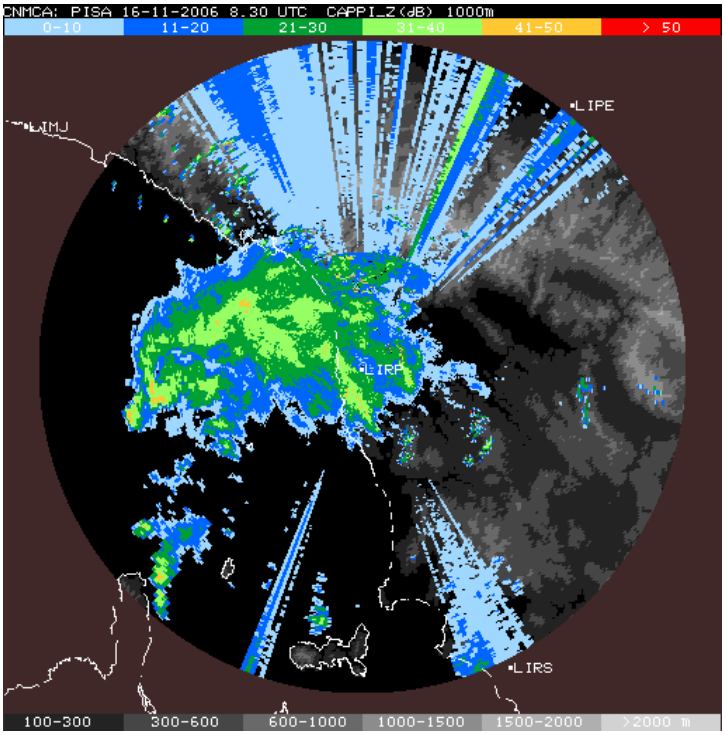
وجدير بالذكر أن زيادة التداخل لن يعدل قدرة الرادار على كشف خلايا المطر (مثال، فالقياس الذي لا يعتبر خلية مطر لن يعتبر خلية مطر مع ذلك)، وإنما سيؤثر على كشف معدل المطر.

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

ويرد في الرسم 4-9 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.

الرسم 4-9

مثال للتداخل المستمر على قياس الهطول لرادار الطقس



Meteo-04-9

3.2.9.2.4 قياس الريح

في حالة قياسات دوبلر، يختلف تقييم أثر التداخل المستمر نوعاً ما، ويرتبط بشكل 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.

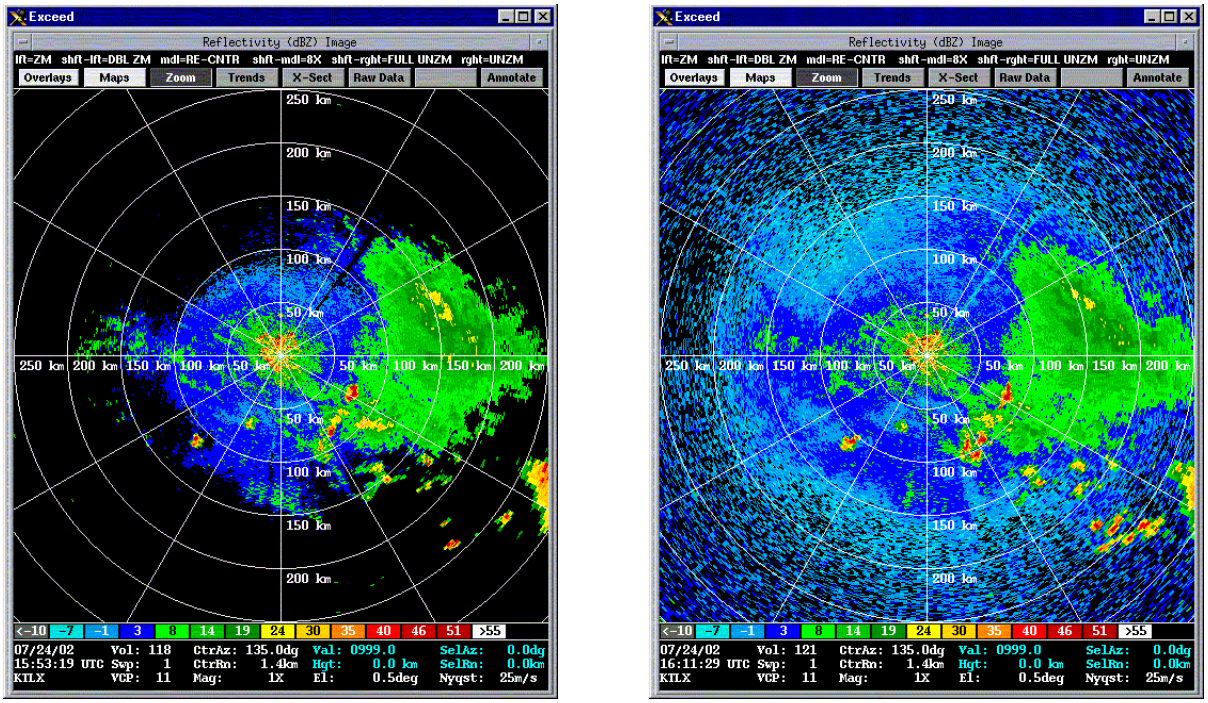
وعلاوة على ذلك، يمكن أن يُفترض أيضاً إن كان مستوى التداخل أقل بكثير من الإشارة المطلوبة فإن طور هذه الأخيرة لا يعدل، في حين إذا وقع العكس إذا كانت الإشارة الدخيلة أعلى بكثير فإن الطور الذي يكشفه الرادار سيكون طور الإشارة الدخيلة. وفي هذه الحالة الأخيرة، تبقى المناقشة قائمة بشأن الحالتين 1 و2 أعلاه. أما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

3.9.2.4 أثر التداخل النبضي

يمكن أن يكون للتداخل النبضي أثر ملحوظ على بيانات الانعكاسية التي يستعملها المتخصصون في الأرصاد للتنبؤ بظواهر الطقس القاسية. وفي بعض الحالات، يمكن أن ينتج عن التداخل النبضي بيانات لا يمكن الاعتماد عليها لاستخراج صور الأهداف في الغلاف الجوي. ويرد مثال على ذلك في الرسم 4-10.

الرسم 4-10

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



Interference free *Interference corrupted*

Meteo-04-10

4.9.2.4 التداخل من حقول الريح

وفي السنوات الأخيرة، تزايد تشييد تربينات رياح أكبر بفضل المولدات الفعالة والرغبة في الاستفادة من حقول رياح عالية المستوى ومن فعالية المولدات، إلى غير ذلك. ويعتبر الحفز الاقتصادي الدافع الرئيسي كما أن التحليل الدقيق جعل الاتجاه يقود نحو تصميم تربينات رياح كبيرة. وتشمل التربينة التقليدية البرج والصندوق والعضو الدوار وثلاث ريشات. ويحتوي مرفق التوليد الاعتيادي أو حقل الرياح على مجموعة من مولدات الرياح العاملة بالتربينات. 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، فإن من شأنها أن تقلص كثيراً من أداء رادار الطقس. ويمكن أن يحدث هذا التقليص من خلال ثلاث آليات، وهي الحجب أو التشويش أو الانتثار العائد.

1.4.9.2.4 الحجب

يمكن أن يكون للتضاريس الجغرافية الفاصلة بين الرادار والهدف أثر مظلل أو حاجب. ويمكن لتربينات الريح ووفقاً لحجمها أن يكون لها آثار مظللة. وتختلف هذا الآثار باختلاف أبعاد التربينة ونوع جهاز الرادار المرسل وشكل التربينة المتصلة به.

2.4.9.2.4 التشويش

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 بالتشويش الراداري. 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 التشويش الأرضي 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 بالتشويش الأرضي (GC) المعهود. لأن الانعكاسات ستصل من البرج (موقعه ثابت) ومن الريشات (موقعها غير ثابت) معاً. وإسوة بالتشويش الأرضي، ينبغي لإشارة التشويش 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 سعة الطيف بشكل كبير. وسبب ذلك هو دوران الريشة باتجاه الرادار وعكس ذلك. أما التربينات المتعددة في حجم استبانة واحد فسيزيد من حدة هذا الأثر.

3.4.9.2.4 الطاقة المتناثرة العائدة من الدوامات المضطربة

وبالإضافة إلى إشارات التشويش من تربينة الريح (WTC) الناجمة عن الانعكاسات من تربينات الريح القائمة، يمكن رصد الطاقة المتناثرة العائدة من الدوامات المضطربة عند يقظة حقل الريح. ومن المتوقع أن تتسم عناصر الصدى هذه بخصائص تشبه الانتثار العائد في الجو الصافي من التقاطعات في مؤشر الانكسار على سلم بغاج (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 التشويش من تربينة الريح (WTC) وهذا سيزيد من حدة المشكلة.

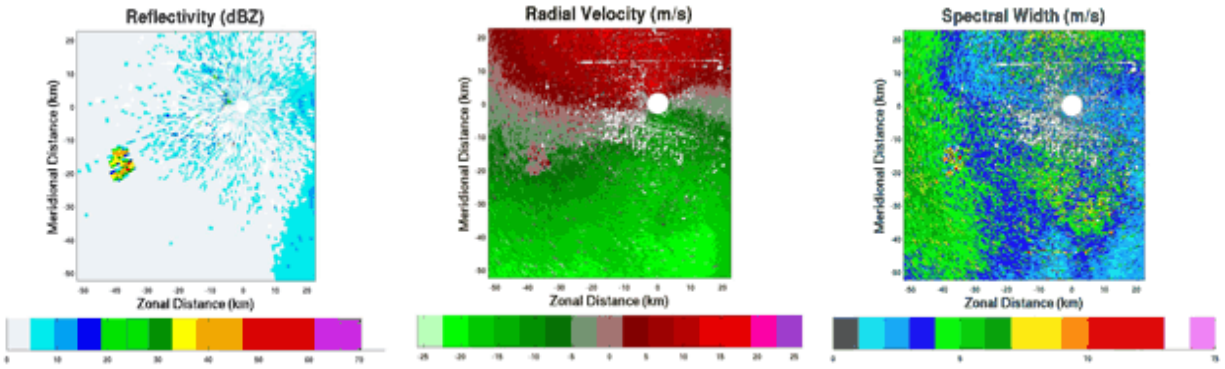
4.4.9.2.4 أمثلة عن التشويس من تربينة الريح

ورد مثالان عن التداخل من حقول الريح[5] في الرسم 4-11 [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 كلم تقريباً عن موقع رادار الطقس.

[5] حقول الريح هي مجموعة من تربينات الريح تستعمل لتوليد الطاقة.

الرسم 4-11

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

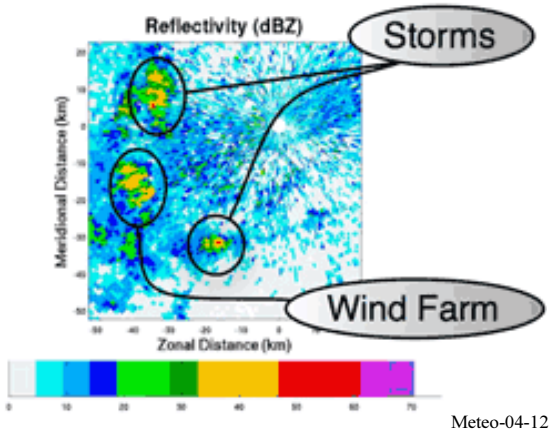


Meteo-04-11

ويبين الرسم 4-12 حقل الريح نفسه أثناء عاصفة رعدية.

الرسم 4-12

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

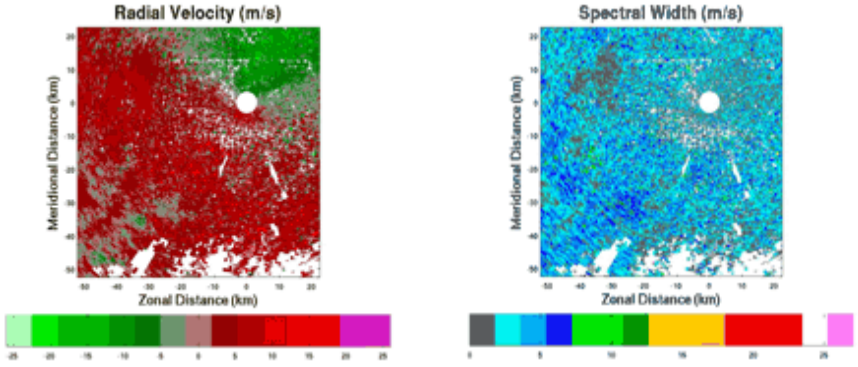


Meteo-04-12

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 سعة الطيف الكبيرة في تدني دقة القياس المقدر لسرعة دوبلر كما يظهر ذلك في الرسم 4-13 بواسطة الانحرافات الصغيرة عن الصفر.

الرسم 4-13

أمثلة عن بيانات السرعة المقدرة المقيسة بدوبلر أثناء عاصفة رعدية



5.4.9.2.4 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 كلم 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 كلم للرادارات العاملة في النطاق C
- 10 كلم للرادارات العاملة في النطاق S

2 وأن مشاريع حقول الريح ينبغي أن تخضع لدارسات الوقع عندما تتعلق بمدى أقل من:
- 20 كلم للرادارات العاملة في النطاق C
- 30 كلم للرادارات العاملة في النطاق S

10.2.4 أوجه قصور النظم التي تتقاسم الطيف مع رادارات الطقس

وجرت الإشارة أعلاه إلى أن قدرة جهاز الإرسال وكسب الهوائي لرادارات الأرصاد الجوية يكونان عادة كبيرين للتعويض عن طول المسار (عادة 100 e.i.r.p ذروة dBW). وتؤدي هذه الخصائص إلى الزيادة في المدى الذي يمكن أن يتسبب الرادار فيه في التداخل مع

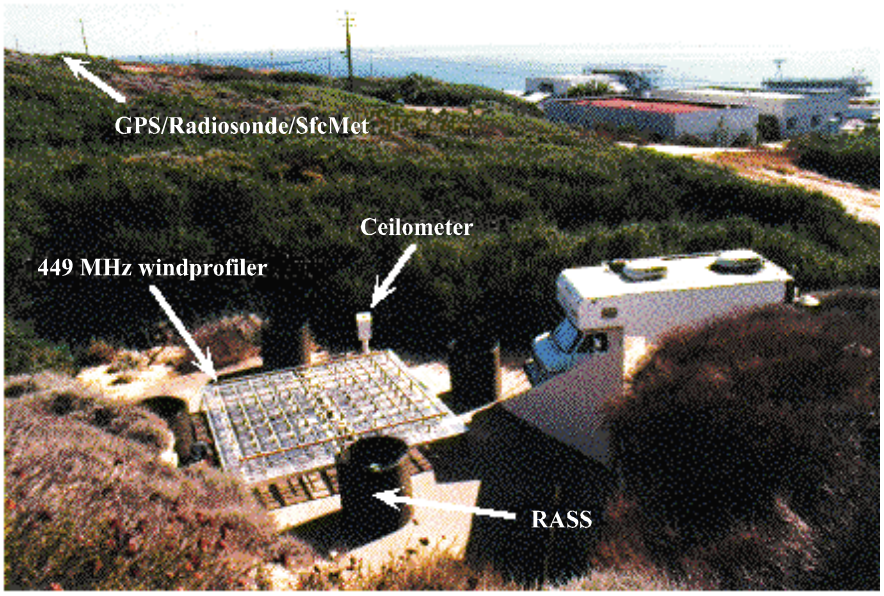
نظم أخرى على نفس التردد (مع ضمان سعة قناة الرادار اللازمة). وهناك حالات لم تبق فيها وصلات الرادار والموجات الصغرية متوائمة بعد أن تعايشت لبعض الوقت، بعد أن تحول نظام الموجات الصغرية من التجهيزات التماثلية إلى الرقمية مع ما لذلك من أثر كبير على التداخل النبضي.

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 الرسم 4-14 صورة لمنشأة رادارية لتصوير الريح.

الرسم 4-14

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. وعلاوة على ذلك، يمكن استعمالها أيضاً لكشف الهطول وقياس الاضطرابات الرئيسية في حقل السرعة العمودية (أمواج الجاذبية، الحمل الصاعد)، وقياس اضطراب الشدة واستقرار الغلاف الجوي. كما يمكنها أن توفر معلومات مفصلة عن درجات الحرارة الافتراضية من خلال إضافة نظام الرصد الراديوي-الصوتي (RASS)[6].

1.3.4 احتياجات المستعمل

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

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

[6] يستعمل نظام الرصد الراديوي-الصوتي (RASS) مصدراً صوتياً مطابقاً في التردد لكي يتطابق طول الموجة للموجة الصوتة مع نصف طول الموجة للموجة الهكرومغناطيسية التي يرسلها الرادار. ويقيس نظام الرصد اللاسلكي-الصوتي سرعة الموجة الصوتة التي ترتبط بدراجات الحرارة. وبهذه الطريقة فإن نظام الرصد الراديوي-الصوتي يوفر قياساً عن بعد لدرجات الحرارة الافتراضية للغلاف الجوي.

حيث:

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

Ae: 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)

وفي هذه المعادلة، يعتبر بارامتر الهيكل مستقلاً عن التردد غير أنه وظيفة قوية مرتبطة بالارتفاع. ويوجد كل ما يقترن بالتردد تقريباً في عنصر طول الموجة، غير أن درجة حرارة ضوضاء النظام في جهاز إرسال رادار مصمم بشكل جيد تشمل مساهمة هامة من الضوضاء الكونية في الترددات المنخفضة. وهذه المعادلة صالحة أيضاً شريطة أن يكون ذلك في شبه المدى العطالي للاضطراب الجوي، والذي يقلص فعلاً من خيار طول الموجات لرادار تصوير الرياح إلى مدى يساوي 10-0,2 m (30 إلى 1 500 ميغاهرتز). ويلاحظ أن الاضطراب يتبدد بسرعة بسبب الحرارة الناجمة عن اللزوجة في خارج شبه المدى العطالي وعلى طول الموجات القصيرة.

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. و يمكن 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 كبيرة.

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، تجدر الإشارة إلى فترات الرطوبة المنخفضة في فصل الشتاء وفي حالات الاضطراب المنخفض، مثال حالة تيار jet-streams على ارتفاعات تتراوح بين 10 و15 كلم. 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 لا تعتبر خيارات مفيدة لتحسين الأداء.

غير أنه في حالة فتحة الهوائي، يوجد عنصر آخر ينبغي أن يراعى، خاصة وأنه يحدد الحجم الأدنى. وتعمل أجهزة التصوير متعددة الحزمات على أرجحة الحزمة الرئيسية باتجاه زاويتي سمت أو أربع زوايا متعامدة على ارتفاع تبلغه زاويته 75 درجة وغالباً بشكل عمودي للحصول على البيانات. وينبغي أن تكون سعة الحزمة ضيقة بما فيها الكفاية لتحديد مواقع الحزمة سواء كانت حزمتين أو 4 أو 5 حزمات. وتستخدم سعة حزمة كاملة تبلغ 3 dB بزاوية تتراوح بين 5 و10 درجات وتقابل كسب الهوائي الذي يتراوح بين 33 و27 dBi لكل منهما. ويحدد الكسب الفتحة الفعلية بواسطة المعادلة التالية (13-4):

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

ولا يمكن اختيار ترددات رادارات تصوير الرياح بحرية، 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 و الرادارات في مدى الإطلاق الشرقي والغربي بالولايات الأمريكية المتحدة، والتي أدت إلى استعمال رادارات ترصد مساحات شاسعة (000 10 متر مربع) لها قدرة كبيرة (250 كيلواط أو أكثر في الذروة، 12,5 كيلوواط أو أكثر في المتوسط) وبنبضة قصيرة (1 µs) وتُشغل زهاء 50 ميغاهرتز. وشغل الباحثون أجهزة تصوير الرياح على أساس ينحي التداخل في ترددات تتراوح بين 40 و70 ميغاهرتز.

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

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

وعند إضافة نمط ثالث يعمل في ارتفاع منخفض يسمح ذلك بتخفيض بوابة المدى الأقل انخفاضاً من نصف كيلومتر إلى 0,25 كلم، وبإمكانية تقليص الاستبانة العمودية إلى 150 أو 200 متر مع البقاء في إطار عرض النطاق اللازم الذي يبلغ 2 ميغاهرتز.

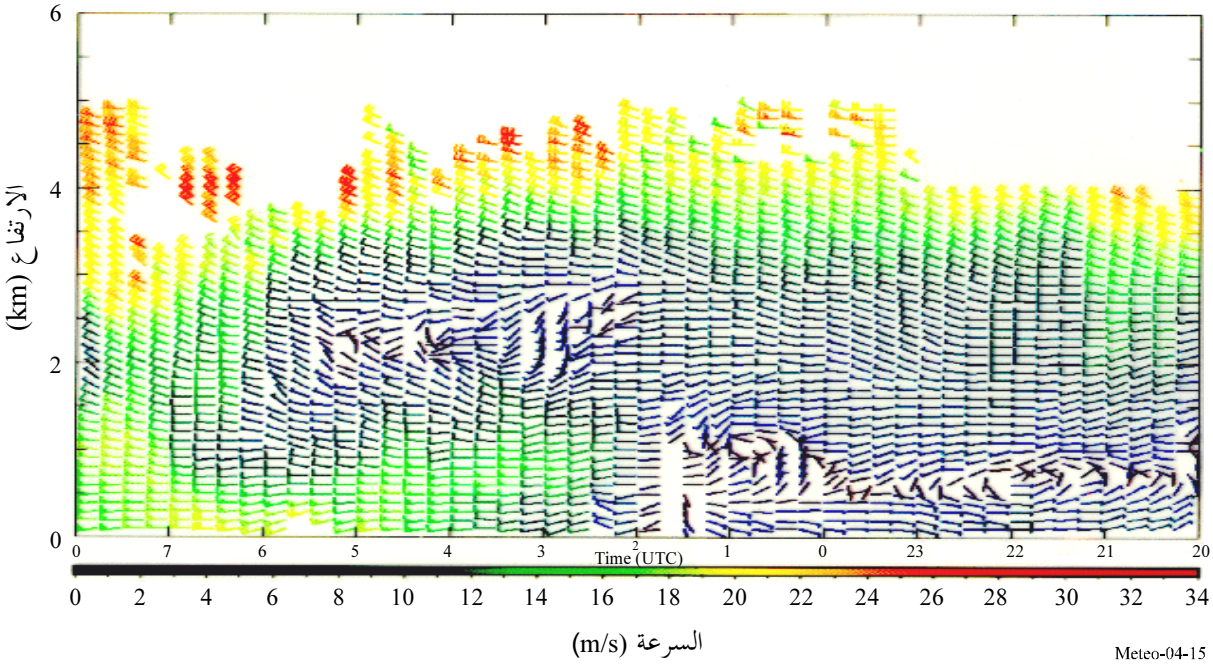
وعند الزيادة في التردد الذي يعمل فيه رادار تصوير الرياح، يتيح ذلك درجة أكبر من الاستبانة في القياسات على حساب تخفيض قياسات الارتفاع بشكل عام. ولهذا، فإن أجهزة تصوير الرياح العاملة في 915 ميغاهرتز و270 1-375 1 ميغاهرتز، تعتبر عموماً على

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 بسعة النطاق اللازمة التي تبلغ 8 ميغاهرتز أو أكثر.

وهذا مثال على نظام متنقل لتصوير الرياح يعمل على 924 ميغاهرتز ويقدم بيانات متقاطعة بشأن سرعة الرياح مقابل الارتفاع (الرسم 4-15). يمثل اتجاه كل علم اتجاه الريح حسب الارتفاع (المحور العمودي) والوقت (المحور الأفقي) في حين يمثل اللون سرعة الرياح.

الرسم 4-15

سرعة الرياح مقابل الارتفاع



3.3.4 المتطلبات الحالية والمستقبلية من الطيف

أجهزة 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 كيلومتر 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 لسعة نطاق تتراوح بين 2 و3 ميغاهرتز قرب 400 ميغاهرتز و8 و10 ميغاهرتز قرب 1 000 ميغاهرتز أو 1 300 ميغاهرتز، ويمكن الافتراض أن أحكام القرار 217 الصادر عن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (WRC-97)، 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 ميغاهرتز وفقاً للرقم 162A.5
- 450-440 ميغاهرتز

- 494-470 ميغاهرتز وفقاً للرقم 291A.5
- 928-904 ميغاهرتز في الإقليم 2 فقط
- 270 1-295 1 ميغاهرتز
- 300 1-375 1 ميغاهرتز

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

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 400,15-406 ميغاهرتز. وأثبتت الاختبارات على أن تشغيل الرادارات في هذا النطاق يحدث تداخلاً على خدمة COSPAS-SARSAT.

ونتيجة لذلك، نص القرار 217 الصادر عن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 1997 بصريح العبارة على أن رادارات تصوير الرياح لا ينبغي أن تستعمل النطاق 400,15-406 ميغاهرتز. 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. على سبيل المثال، تمكن راديو متنقل للهواة جرت موالفته على تردد الرادار المركزي من التقاط إشارة واضحة لرادار تصوير الرياح على مسافة 3 كيلومترات في سهل معشوشب.

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 بأجهزة تصوير الرياح في النطاق 400,15-406 ميغاهرتز أن التشكيل الذي تستعمله رادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 404 ميغاهرتز له وقع كبير على خصائصها المتعلقة بالتقاسم. ويتم تشفير النبضات حالياً حسب الطور لتمييز "العنصرين" أو "العناصر" الثلاث في كل نبضة للقيام بضغط 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. علاوة 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 ميغاهرتز 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.

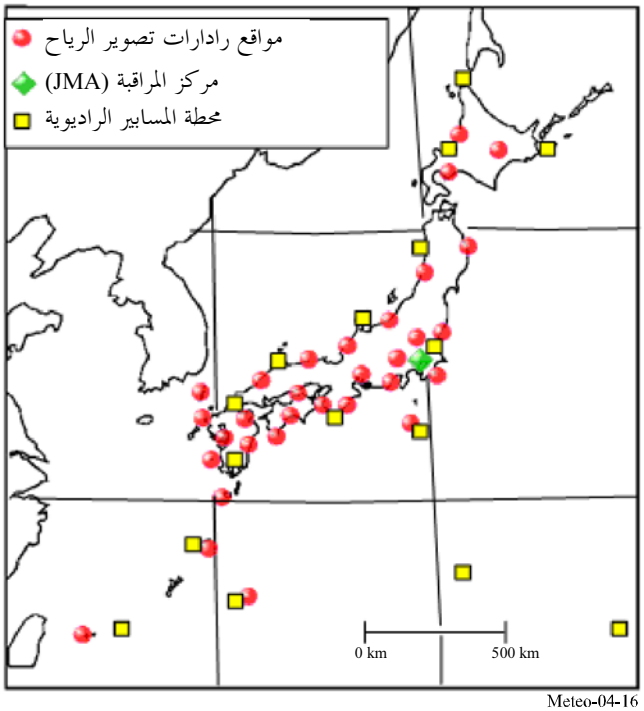
وقد حدد القرار (WRC-97) 217 الطيف الذي ينبغي استعماله لرادارات تصوير الرياح. ولا يوصى باستعمال نطاقات أخرى، مثل النطاق 406-400,15 ميغاهرتز لهذه الرادارات. وتطبق في النطاقات الأخرى أيضاً نفس التقنيات المستعملة للتخفيف من حدة التداخل على السواتل في هذا النطاق.

وهناك مثال آخر على التقاسم هو النطاق 1300-1215 ميغاهرتز الذي خصصه المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (WRC-2000) لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وفي هذه الأثناء، أجريت دراسات تقنية لتقييم التوافق بين نظم خدمة الملاحة الراديوية الساتلية ورادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 1295-1270 ميغاهرتز. 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 وإضافة الحزمات أو تشغيل ترددات ورادارات تصوير الرياح العاملة في النطاق 1294-1274 ميغاهرتز، 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 31 راداراً لتصوير الرياح بقدرة 1,3 جيغاهرتز تم نشرها على أراضي اليابان كما جرى وصلها بمركز المراقبة الذي يوجد بمقر وكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA) بطوكيو (الرسم 4-16).

الرسم 4-16

مثال لشبكة رادارات لتصوير الرياح



واستعملت البيانات من هذا النظام بصفتها قيماً أولية في جميع نماذج التنبؤ العددي بالطقس التي وضعتها كالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA) منذ يونيو 2001. و تضاف هذه البيانات إلى بيانات رادارات دوبلر والبيانات الصادرة عن الطائرات التجارية لتوفير "تحليل لرياح الهواء العلوي" يكون شاملاً، بعدها يتم توزيع هذا التحليل على العالم برمته بواسطة النظام العالمي للاتصالات كما يمكن الحصول عليه من موقع الويب لوكالة الأرصاد الجوية اليابانية (JMA): (http://www.jma.go.jp/jp/windpro/).

إحالات مرجعية

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

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

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.

توصية قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

Recommendation ITU-R M.1464-1 – Characteristics of radiolocation radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical Radionavigation and meteorological radars in the radiodetermination service operating in the frequency band 2 700-2 900 MHz (2002).

قائمة المراجع

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**.

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

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

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.

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.

دليل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) الخاص بأدوات وطرق الرصد. المطبوع رقم 8.

الفصل الخامس

الاستشعار عن بعد السلبي والنشيط من الفضاء لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

الصفحة

5 مقدمة 64
1.5 الاستشعار السلبي بقياس الإشعاع بالموجات الصغرية 65
1.1.5 الاحتياجات من الطيف 66
2.1.5 رصد خصائص سطح الأرض 68
1.2.1.5 الرصد فوق سطح المحيطات 69
2.2.1.5 الرصد فوق سطح الأرض 69
3.2.1.5 البارامترات الثانوية لأدوات الاستشعار عن بعد الأخرى 70
3.1.5 معايير الأداء 71
1.3.1.5 حساسية قياس الإشعاع 71
2.3.1.5 الحد الأدنى لأجهزة قياس الإشعاع ΔP 71
3.3.1.5 الاستبانة الهندسية 71
4.3.1.5 فترة الاندماج 71
4.1.5 ظروف التشغيل الاعتيادية لأجهزة الاستشعار السلبي 72
1.4.1.5 سواتل المدار الأرضي المنخفض 72
2.4.1.5 السواتل المستقرة بالنسبة للأرض 72
5.1.5 الخصائص التقنية الرئيسية 72
6.1.5 معايير الأداء والتداخل 74
7.1.5 القياس ثلاثي الأبعاد لبارامترات الغلاف الجوي 74
1.7.1.5 مسابير الغلاف الجوي الرأسية السلبية بالموجات الصغرية 74
2.7.1.5 آلية السبر الرأسي للغلاف الجوي 76
3.7.1.5 استخدام السبر الرأسي للغلاف الجوي 77
4.7.1.5 خصائص أجهزة الاستشعار السلبي باتجاه النظير العاملة في مدى 60 جيغاهرتز 79
5.7.1.5 مسابير حافة الغلاف الجوي السلبية العاملة بالموجات الصغرية 80
6.7.1.5 المسابير السلبية العاملة بالموجات الصغرية وقابليتها للتعرض للتداخل 82
2.5 أجهزة الاستشعار النشيط 82
1.2.5 مقدمة 82
2.2.5 رادارات الفتحة الاصطناعية SAR 83
3.2.5 أجهزة قياس الارتفاع 85
4.2.5 أجهزة قياس الانتشار 86
5.2.5 رادارات الهطول 87
6.2.5 رادارات تصوير مقاطع السحب 88
7.2.5 التداخل بين أجهزة الاستشعار ومعايير الأداء 89
8.2.5 مستويات كثافة تدفق القدرة (PFD) 89

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. كما اعتاد الجمهور على مشاهدة الصور الملونة على الخرائط والتي يظهر عليها غطاء السحب ودرجات حرارة السطح وغطاء الثلج وبعض ظواهر الطقس الأخرى.

وهناك صور ساتلية معتادة بشكل أقل، غير أنها تلقى اهتماماً واسع النطاق (حتى وإن كان ذلك بين الحين والآخر) في أغلب مناطق العالم، وهي الصور التي تحدد 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 من طيف التردد الذي يعتبره الكثير من غير المتخصصين على أنه "الحيز الضوئي" وليس "الراديوي". غير أن العديد من هذه النواتج ونواتج أخرى التي لا يطلع عليها الجمهور بشكل منتظم يتم إنتاجها باستعمال مجموعة من ترددات الموجات الصغرية لوحدها أو بالاستعانة بقياسات أخرى.

وليس من المعروف على نطاق واسع أن الاستشعار عن بعد 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 بشكل كبير إلى عمليات الرصد من الفضاء وإدماجها في النماذج العددية.

وهناك فئتان من أنشطة الاستشعار عن بعد من الفضاء المستعملة على نطاق واسع، وهما **الاستشعار السلبي والاستشعار النشيط** اللذان يمارسان في إطار الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS).

ويشمل **الاستشعار السلبي** استعمال أجهزة استقبال من دون أجهزة الإرسال. ويتم الإشعاع الذي تبحث عنه أجهزة الاستقبال بشكل طبيعي، وعادة 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 السلبي في نطاقات التردد التي تحددها خصائص فيزيائية ثابتة (الرنين الجزيئي) والتي لا يمكن أن تعدل أو أن تُغفل، كما لا يمكن أن تستنسخ هذه الخصائص الفيزيائية في نطاقات 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 و لسطح الأرض.

ويختلف **الاستشعار النشيط** عن الاستشعار السلبي بكون النوع الأول يشمل أجهزة الإرسال والاستقبال معاً على متن السواتل. والساتل الذي يرسل عادة الإشارة هو نفسه الذي يستقبلها. ويشمل الاستشعار النشيط 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 بعد وتشمل المشاكل نفسها كتلك التي تطرح بالنسبة للخدمات الفضائية الأخرى: التداخل المتبادل بين محطات السواتل 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 السلبي عن بعد ولاسيما تلك التي لها بصمة شاسعة النطاق، أنها تتعرض 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 يلحق الضرر فإن تضافر مجموعة من الأجهزة يمكنها أن تلحق الضرر بالقياسات التي تؤخذ بسبب تراكم إشاراتها. وهذا الأمر هو أساس الانشغالات المتصلة ببعض المسائل مثل بث الخدمة الثابتة عالية الكثافة (HDFS)، أو تطبيقات النطاق العريض جداً (UWB) أو النبائط قصيرة المدى (SRD) أو النبائط الصناعية أو العلمية أو الطبية (ISM). وتكمن المشكلة في الكثافة الفضائية لأجهزة الإرسال هذه وليس في خصائصها الفردية لوحدها. ويزداد الوضع تعقيداً كلما زادت كثافة هذه النبائط الأرضية النشيطة، وقد سجلت بعض حالات التداخل الهام.

وتساهم العديد من البارامترات الجيوفيزيائية وعلى مستويات مختلفة في هذه الانبعاثات الطبيعية التي يمكن رصدها في تردد معين والتي تتسم بمواصفات فريدة خاصة بها. 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. ونتيجة لذلك، يمكن للتداخل الذي قد يؤثر على نطاق من نطاقات التردد "السلبي" أن يكون له بالتالي أثر على مجموع القياس لمكون معين من مكونات الغلاف الجوي.

وفي حالة أزواج أجهزة الإرسال والاستقبال، تكون طبيعة خصائص الإشارة معروفة ومن السهل نسبياً تحديد إذا ما كانت الإشارة يتم استقبالها بشكل 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 السلبي عن بعد الذي يعتبر أكثر عرضة للتداخل بسبب الطبيعة غير المحددة للإشارة الطبيعية التي صُمم جهاز الاستشعار الطبيعي ليستقبلها ومستوى القدرة المنخفض جداً للإشعاع الطبيعي.

ويمكن للتداخل وإن كانت مستوياته منخفضة جداً أن يلحق الضرر ببيانات أجهزة الاستشعار السلبي، 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 السلبي أن تميز بين الإشعاعات الطبيعية والإشعاعات من صنع الإنسان، ولا يمكن بالتالي كشف الأخطاء في البيانات أو تصحيحها. ولهذا فإن الحفاظ على سلامة البيانات يرتبط بالوقاية من التداخل، ويعتبر فرض حدود صارمة على مستويات التداخل والقدرة القصوى على المستوى الدولي الحل الوحيد في الوقت الراهن. ويمكن الإشارة إلى العديد من أحكام لوائح الراديو التي تستعين بحدود القدرة لأجهزة الإرسال للخدمة النشيطة لحماية أجهزة الاستشعار السلبي من التداخل سواء من داخل النطاق أو من خارجه.

وفي السنوات الأخيرة، تزايد الاهتمام باستعمال رادارات السحب العاملة بالأمواج الملليترية 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 الملليترية، تعتبر الاحتياجات المتصلة بالبحوث المحفز الذي دفع إلى تطوير رادارات تصوير السحب العاملة بالأمواج الملليترية. وتشغل بشكل أساسي قرب 35 جيغاهرتز (نطاق Ka) وقرب 94 جيغاهرتز (نطاقW)، 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 نسبيا، وكلها سمات تجعل منها أداة ممتازة للبحوث الخاصة بالسحب. ويمكنها أن تشغل من منصة ثابتة أو متنقلة أو من مركبة فضائية أو منصات فضائية.

1.5 الاستشعار السلبي بقياس الإشعاع بالموجات الصغرية

يعتبر قياس الإشعاع السلبي بالموجات الصغرية أداة حاسمة جداً لرصد الكرة الأرضية. وتشغل الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS) أجهزة سلبية 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، البحر، 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).

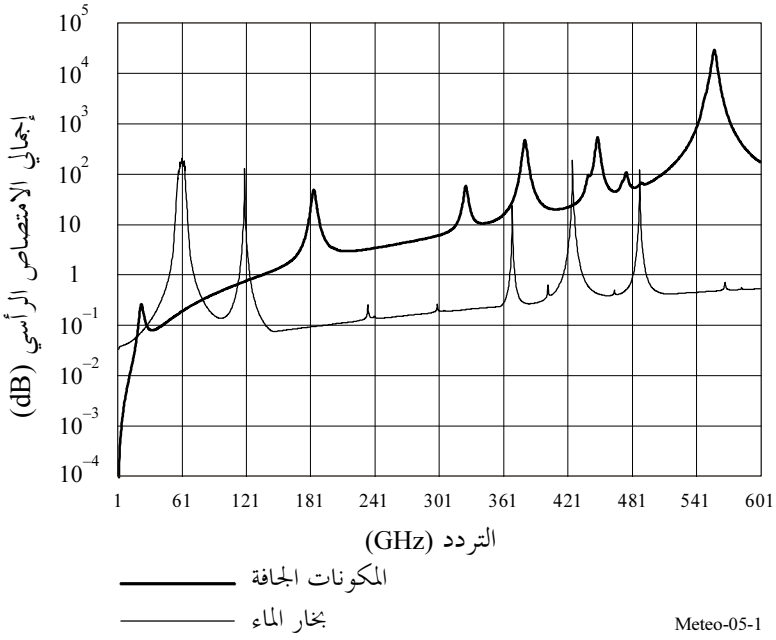
وتتيح تقنيات الموجات الصغرية رصد سطح الأرض وغلافه الجوي من مدار الأرض، حتى وإن كانت هناك السحب التي تكون شفافة بشكل كبير في ترددات تحت 100 جيغاهرتز. وهذه القدرة على الرصد كيفما كانت الطقس لها أهمية بالغة بالنسبة لرصد الأرض لأن أكثر من 60 بالمائة من سطح الأرض تغطيه السحب في غالبية الأحيان. وبالإضافة إلى هذا القدرة المذكورة، يمكن أخذ القياسات السلبية بالموجات الصغرية في أي وقت لأنها لا ترتبط بضوء النهار. ويعتبر الاستشعار السلبي 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.

1.1.5 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 الرسم 5-1 بذروات الامتصاص الناجمة عن الرنين الجزئيي لغازات الغلاف الجوي، وبمنحنى بخار الماء الذي يتزايد كثيراً بتزايد التردد.

الرسم 5-1

انعدام شفافية السمت للغلاف الجوي بسبب بخار الماء والمكونات الجافة



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

– يتم اختيار ترددات لرصد بارامترات السطح تحت 100 جيغاهرتز، 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 50 جيغاهرتز داخل ذروات الامتصاص لغازات الغلاف الجوي.

ترد الترددات والسعات المعنية دون 1000 جيغاهرتز في الجدول 5-1. وتشمل أغلب الترددات المخصصة فوق 100 جيغاهرتز حدود امتصاص للمركبات الكيميائية الهامة الموجودة في الغلاف الجوي.

الجدول 5-1

نطاقات التردد وسعاتها ذات الجدوى العلمية لأنشطة الاستشعار الساتلي السلبي دون 1000 جيغاهرتز*

نطاق التردد (جيغاهرتز)	سعة النطاق المطلوبة (ميغاهرتز)[3]	القياسات الرئيسية
1,427-1,4	100 (27)	مؤشر رطوبة التربة، الملوحة، درجة حرارة سطح المحيط، والغطاء النباتي
2,7-2,69	60 (10)	الملوحة، رطوبة التربة
4,4-4,2	200	درجة حرارة سطح المحيط
7,1-6,7	400	درجة حرارة سطح المحيط (لا توزيع)
10,7-10,6	100	المطر، الثلج، الجليد، حالة البحر، ريح المحيط، درجة حرارة سطح المحيط، رطوبة التربة
15,4-15,35	200 (50)	بخار الماء، المطر
18,8-18,6	200	المطر، حالة البحر، جليد المحيط، بخار الماء، الثلج
21,4-21,2	200	بخار الماء، ماء السحب السائل
22,5-22,21	300 (290)	بخار الماء، ماء السحب السائل
24-23,6	400	بخار الماء، ماء السحب السائل
31,8-31,3	500	القناة النافذة المرتبطة بقياس درجة الحرارة
37-36	1 000	المطر، الثلج، جليد المحيط، بخار الماء، ماء السحب السائل، ريح المحيط، رطوبة التربة
50,4-50,2	200	O_2 (مقاطع درجة الحرارة)
59,3-52,6	6 700[1]	O_2 (مقاطع درجة الحرارة)
92-86	6 000	السحب، الجليد، الثلج، المطر.
102-100	2 000	N_2O
111,8-109,5	2 300	O_3
122,25-114,25	8 000[1]	O_2 (مقاطع درجة الحرارة)، CO
151,5-148,5	3 000	القناة النافذة
158,5-155,5	3 000	القناة النافذة، هذا التوزيع ينتهي في 1 يناير 2018 استناداً إلى الرقم 562F.5 من لوائح الراديو.
167-164	3 000	القناة النافذة
191,8-174,8	17 000[1]	H_2O (رطوبة الأرض مقاطع) سحب، الجليد، الثلج N_2O، O_3
209-200	9 000[2]	N_2O ،O_3 ،H_2O
232-226	6 000[2] (5 500)	سحب، CO
238-235	3 000[2]	O_3
252-250	2 000[2]	N_2O
277-275	2 000[2]	N_2O
306-294	12 000[2]	N_2O، O_3، O2، HNO_3، HOCl،
334-316	10 000[2]	مقاطع بخار الماء، O_3، HOCl، H_2O، جليد السحب

الجدول 5-1 (*نهاية*)

نطاق التردد (جيغاهرتز)	سعة النطاق المطلوبة (ميغاهرتز)[3]	القياسات الرئيسية
349-342	7 000[2]	CO، HNO_3، CH_3Cl، O_3، O_2، HOCl، H_2O، القناة النافذة جليد السحب
365-363	2 000[2]	O_3
389-371	18 000[2]	مقاطع بخار الماء
434-416	18 000[2]	مقاطع درجة الحرارة
444-442	2 000[2]	بخار الماء، جليد السحب
506-496	9 000[2]	O_3، CH_3Cl، N_2O، BrO، ClO
568-546	22 000[2]	مقاطع درجة الحرارة
629-624	5 000[2]	Bro، O_3، HCl، SO_2، H_2O_2، HOCl، HNO_3
654-634	20 000[2]	CH_3Cl، HOCl، ClO، H_2O، N_2O، BrO، O_3، HO_2، HNO_3
661-659	2 000[2]	BrO
692-684	8 000[2]	ClO، CO، CH_3Cl
732-730	2 000[2]	O_2، HNO_3
853-851	2 000[2]	NO
956-951	5 000[2]	O_2، NO، 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] تشغل سعة النطاق هذه العديد من القنوات.

[2] تشغل سعة النطاق هذه العديد من أجهزة الاستشعار.

[3] في بعض الحالات، تتجاوز سعة النطاق المطلوبة التردد المخصص. وفي هذه الحالات، توضع سعة النطاق المخصصة داخل قوسين.

2.1.5 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 جيغاهرتز (بمتوسط تردد واحد/اوكتاف واحد). غير أن الأمر لا يستدعي تحديد الترددات بشكل دقيق جداً لأن الانبعاثات الطبيعية لا تتأثر كثيراً بالتردد. وتساهم عموما العديد من البارامترات الجيوفيزيائية وعلى مستويات مختلفة في هذه الانبعاثات الطبيعية التي يمكن رصدها في تردد معين. وهذا وارد في الرسمين 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.

1.2.1.5 الرصد فوق سطح المحيطات

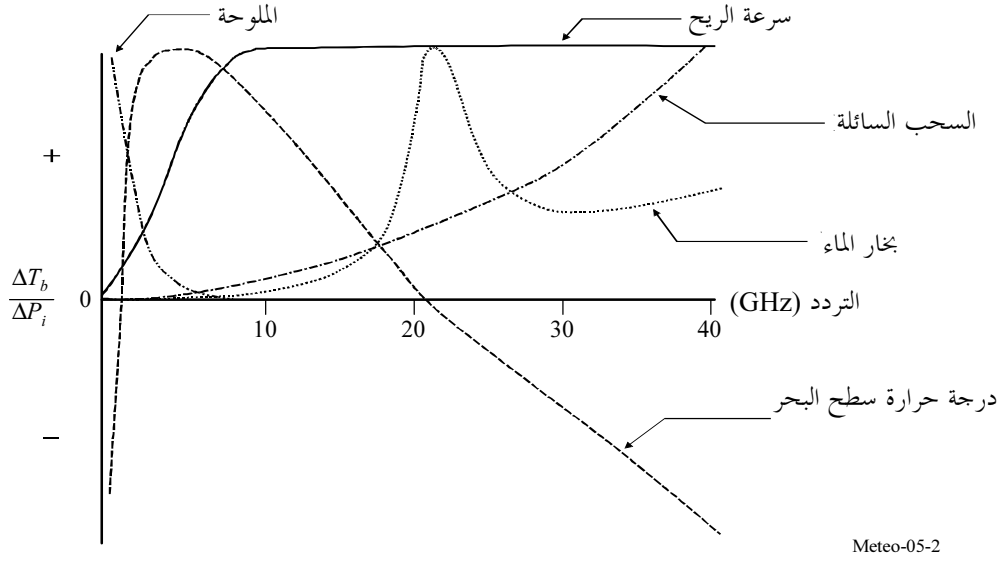
يستخدم الاستشعار عن بعد فوق المحيطات لقياس العديد من البارامترات الشبيهة بتلك التي تقاس فوق سطح الأرض (مثل بخار الماء ومعدل الأمطار وسرعة الريح)، وكذا البارامترات التي توفر معلومات بشأن حالة المحيط نفسه (مثل درجة حرارة سطح المحيط وملوحة المحيط وكثافة جليد البحر، وغيرها).

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

- تتيح القياسات على التردد المنخفض عادة 1,4 جيغاهرتز الحصول على بيانات ملوحة المحيط؛
- تضمن القياسات قرابة 6 جيغاهرتز أفضل حساسية بالنسبة لدرجة حرارة سطح البحر، غير أنها تحمل مساهمة بسيطة بسبب الملوحة وسرعة الريح والتي يمكن استخلاصها باستعمال القياسات قرابة 1,4 جيغاهرتز و10 جيغاهرتز؛
- الحيز بين 17 و19 جيغاهرتز حيث يسجل فيها أقل درجة حرارة سطح البحر وبخار ماء الغلاف الجوي، يعتبر الحيز الأمثل للانبعاث من سطح المحيط الذي يرتبط مباشرة 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 24 جيغاهرتز في حين قياس السحب السائلة يمكن الحصول عليه قرب 36 ميغاهرتز؛
- تعتبر خمسة ترددات (6 و10 و18 و24 و36 جيغاهرتز) ضرورية لتحديد البارامترات المهيمنة.

الرسم 5-2

حساسية درجة حرارة اللمعان إزاء البارامترات الجيوفيزيائية فوق سطح المحيط



2.2.1.5 الرصد فوق سطح الأرض

يعتبر الاستشعار عن بعد 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). وعلاوة 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 الرسم 5-3 الحساسية المعيارية للعديد من البارامترات الأساسية وفقاً للترددات.

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

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

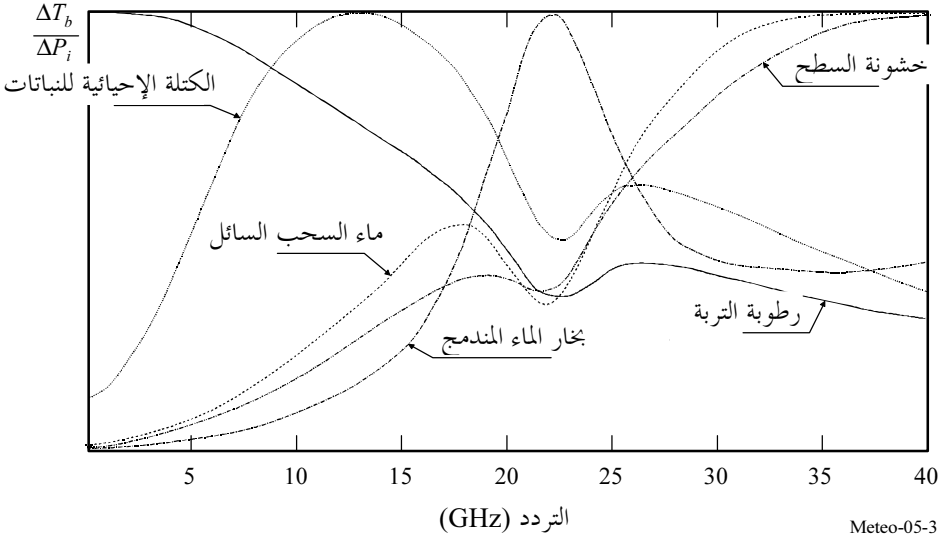
ويعتبر تردد 85 جيغاهرتز أو 90 جيغاهرتز مفيداً لمراقبة تساقط المطر، شريطة أن يتم تقييم جميع العناصر المساهمة الأخرى بالترددات المنخفضة.

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 مقارنة بالقياسات تحت الحمراء غير أنها لها قدرة القياس في جميع أحوال الطقس) وذلك باستعمال قناة قريبة من 19 جيغاهرتز عندما يكون بالإمكان تقييم مساهمات السطح والغلاف الجوي.

ومن المهم مراقبة المناطق التي يغطيها الثلج، وهذا يفرض استعمال عدة قنوات. 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 عادة 19 و37 و85-90 جيغاهرتز.

الرسم 5-3

حساسية درجة حرارة اللمعان إزاء البارامترات الجيوفيزيائية فوق سطح الأرض



3.2.1.5 البارامترات الثانوية لأدوات الاستشعار عن بعد 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 (راجع 3.2.5). ولإزالة آثار الانكسار الناجم عن الغلاف الجوي، فإن استعمال بيانات عالية الدقة من أجهزة قياس الارتفاع يستدعي استكمالها بمجموعة من القياسات السلبية الثانوية قرابة 18,7 و24 و36 ميغاهرتز.

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

3.1.5 معايير الأداء

تتميز أجهزة الاستشعار السلبي بحساسية قياس الإشعاع وباستبانتها الهندسية.

1.3.1.5 حساسية قياس الإشعاع

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

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

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).

2.3.1.5 الحد الأدنى لأجهزة قياس الإشعاع ΔP

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

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

حيث:

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

ويحسب ΔP باستعمال ΔT_e. وفي المستقبل تتناقص T_S وكذا ΔT_e (راجع المعادلة 1-5). وعليه ينبغي 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 بعد مستقبلاً (مثلاً مفهوم "pushbroom"). وعليه ينبغي اختيار فترة الاندماج استناداً إلى التوقعات المستقبلية المعقولة.

3.3.1.5 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 سعة النطاق لجهاز الاستقبال.

4.3.1.5 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 بعد وهي حصيلة معقدة تأخذ في الاعتبار بشكل خاص الاستبانة الهندسية وتشكيل المسح لجهاز الاستشعار وسرعته فيما يتعلق بموضوع الرصد.

4.1.5 ظروف التشغيل الاعتيادية لأجهزة الاستشعار السلبي

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

1.4.1.5 سواتل المدار الأرضي المنخفض

تستعمل نظم السواتل في المدارات القطبية المنخفضة والمتزامنة مع الشمس (مثلا، 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 كحد أقصى باستعمال ساتل واحد. وتحلق حالياً أجهزة قياس الإشعاع العاملة على الترددات دون 100 جيغاهرتز 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 الوضع قد يتغير في المستقبل.

2.4.1.5 السواتل المستقرة بالنسبة للأرض

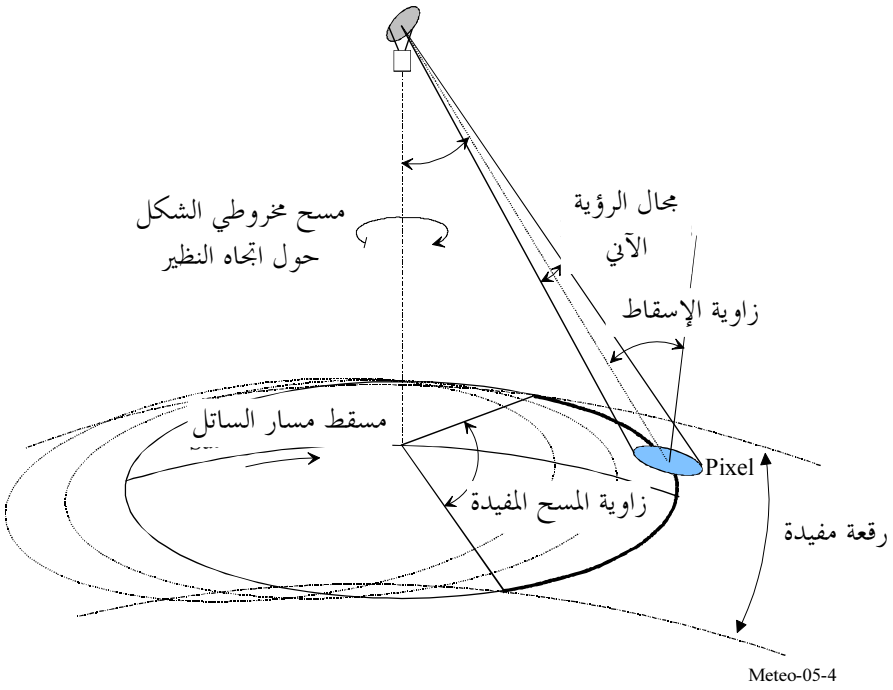
وتستعمل النظم التي تشمل السواتل المستقرة بالنسبة للأرض لجمع البيانات منخفضة أو متوسطة الاستبانة على مستوى الإقليم. ولا يحد في معدل التكرار إلا تكنولوجيات التجهيزات المستعملة. وتجمع عادة البيانات في كل إقليم كل نصف ساعة تقريباً.

5.1.5 الخصائص التقنية الرئيسية

وتستعمل أغلب أجهزة الاستشعار السلبي بالموجات الصغرية التي صممت لتصوير خصائص الأرض تشكيل مسح مخروطي الشكل (الرسم 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 الرسم 5-4.

الرسم 5-4

الهندسة الاعتيادية لأجهزة قياس الإشعاع السلبي بالموجات الصغرية العاملة بالمسح المخروطي الشكل



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

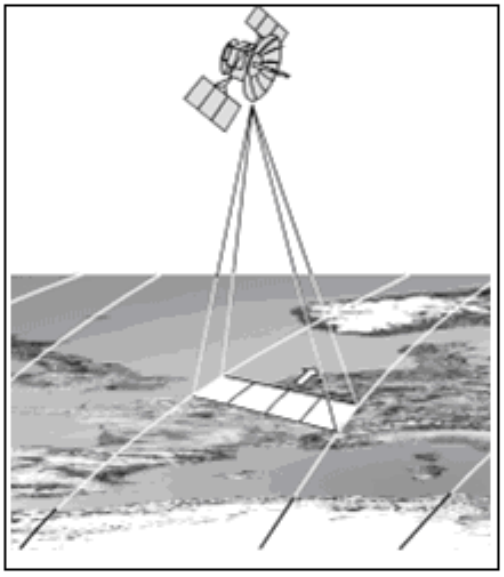
- تبلغ زاوية الإسقاط الأرضي زهاء 55 درجة
- تبلغ زاوية نصف المخروط 46,7 درجة من اتجاه النظير
- سعة المسح: 1600 كلم (وفقاً لتشكيل المسح)، مما يسمح بضمان تغطيتين كاملتين في اليوم بأداة واحدة على خطوط العرض المتوسطة والعليا.
- يتباين حجم البيكسال وفقاً للتردد وحجم الهوائي، عادة من 50 كلم عند 6,9 جيغاهرتز إلى 5 كلم عند 89 جيغاهرتز (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 الأجهزة التي تم ترتيبها بشكل متعامد مع اتجاه تحليق المركبة الفضائية كما يظهر ذلك في الرسم 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.

الرسم 5-5

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



Meteo-05-5

6.1.5 معايير الأداء والتداخل

ترد معايير الأداء والتداخل لأجهزة الاستشعار السلبية من المركبات الفضائية العاملة في الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض في التوصية ITU-R RS.1028 والتوصية ITU-R RS.1029.

7.1.5 القياس ثلاثي الأبعاد لبارامترات الغلاف الجوي

يحتوي الطيف الكهرومغناطيسي على العديد من نطاقات التردد التي يتيح فيها الرنين الجزيئي استحداث آليات للامتصاص من قبل بعض غازات الغلاف الجوي (الرسم 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 السلبي عن بعد العاملة في الترددات دون 200 جيغاهرتز، نذكر ترددات رنين الأكسيجين بين 50 و70 جيغاهرتز على 118,75 جيغاهرتز، وتردد رنين بخار الماء على 183,31 جيغاهرتز.

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 (5-3) أدناه :

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

حيث:

l: اللمعان الطيفي للغاز على درجة الحرارة T

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

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

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

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

وتجمع 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.

1.7.1.5 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 الأوكسجين والماء في الغلاف الجوي. وترد في الرسوم 5-6 إلى 5-8 تفاصيل بشأن أطياف الامتصاص بجوار الترددات الرئيسية لرنينها دون 200 جيغاهرتز. لاحظوا التباين الهام جداً لطيف امتصاص بخار الماء قرابة 183 جيغاهرتز وفقاً للمنطقة المناخية ولظروف الطقس المحلية.

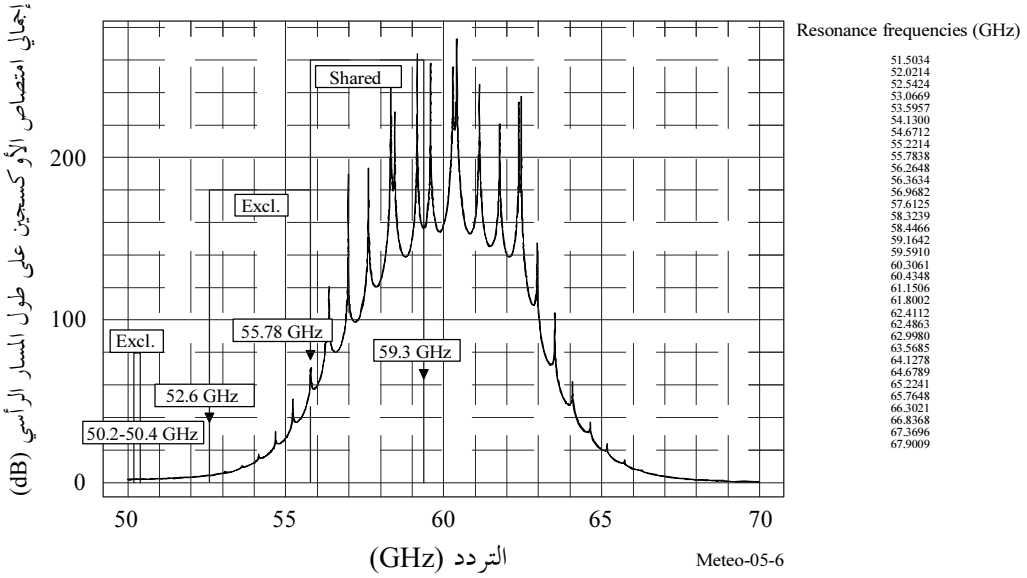
الرسم 5-6

طيف امتصاص الأوكسجين على طول المسار الرأسي قرابة 60 جيغاهرتز

(خطوط امتصاص متعددة)

متطلبات أجهزة الاستشعار السلبية فيما يتعلق بطيف امتصاص الأوكسجين قرابة 60 GHz

(U.S. standard atmosphere - Absorption model: Liebe, 1993)

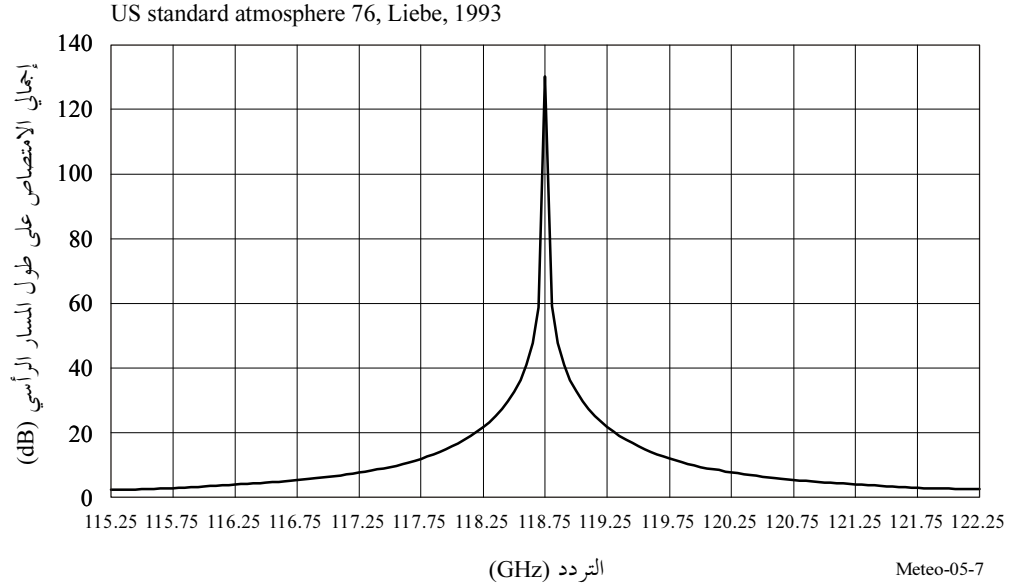


ملاحظة: الرسم 5-6 يصف موقع توزيعات الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض ووضعها بين 50 و60 جيغاهرتز (50,2-50,4 جيغاهرتز (حصري)، 52,6-55,78 جيغاهرتز (حصري)، و55,78-59,3 جيغاهرتز (مُتقاسم).

الرسم 5-7

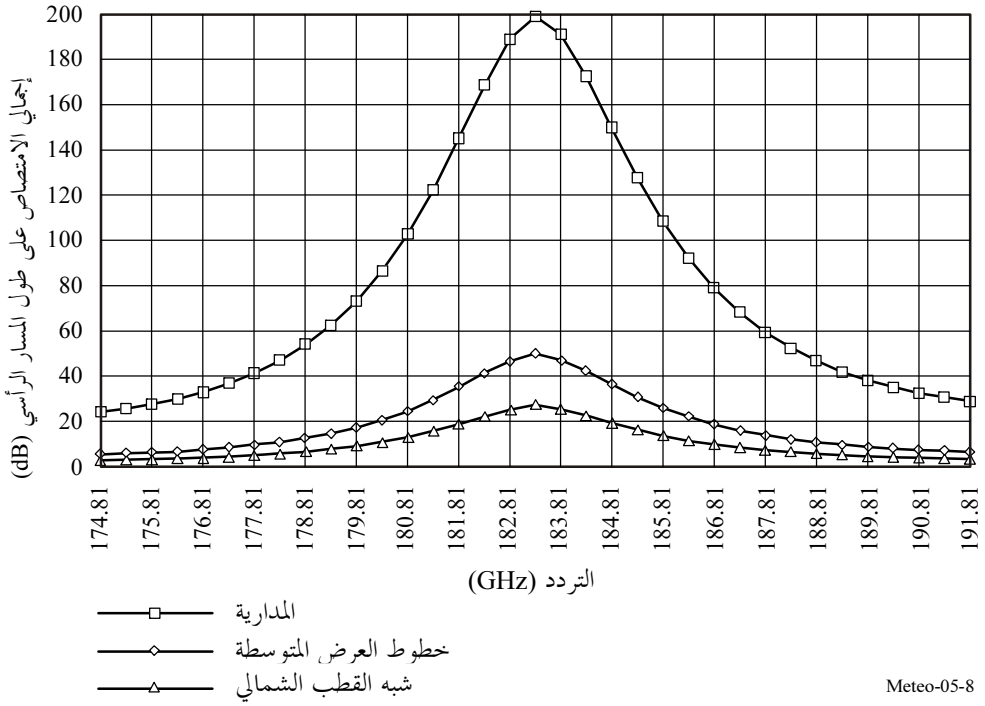
طيف امتصاص الأوكسجين على طول المسار الرأسي قرابة 118,75 جيغاهرتز

(خط امتصاص واحد)



الرسم 5-8

طيف امتصاص بخار الماء على طول المسار الراسي قرابة 183,31 جيغاهرتز



2.7.1.5 آلية السبر الرأسي للغلاف الجوي

وفي حالة السبر الرأسي للغلاف الجوي من الفضاء، يقيس جهاز قياس الإشعاع على ترددات مختلفة (دون الحمراء 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.

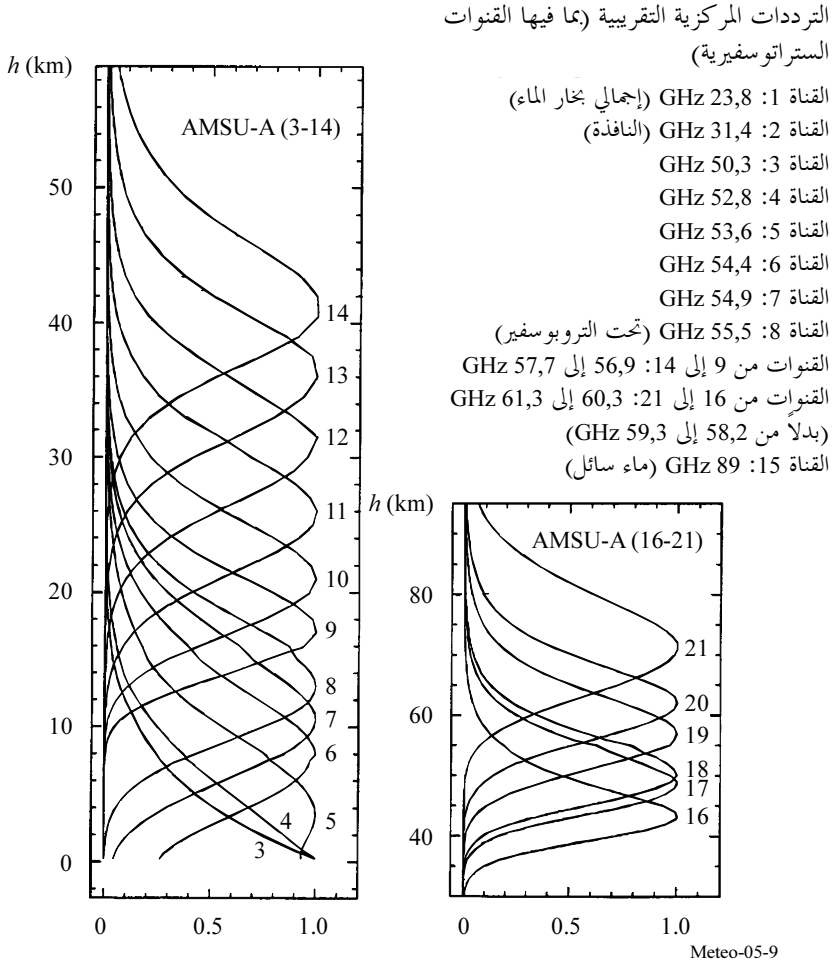
إن إدماج معادلة النقل الإشعاعي على طول المسار من سطح الأرض إلى الساتل يعكس هذه الآلية ويؤدي إلى وظيفة الترجيح التي تصف المساهمة النسبية لكل طبقة من طبقات الغلاف الجوي وفقاً لارتفاعها والتي تمثل أيضاً الاستبانة العرضية (الرأسية) لجهاز الاستشعار.

وتقع ذروة وظيفة الترجيح في أي ارتفاع من الارتفاعات وترتبط بمعدل الامتصاص في التردد المعني. وعند التردد التي يسجل امتصاصاً منخفضا، تكون الذروة قريبة من سطح الأرض. أما عند التردد الذي يكون فيه الامتصاص مرتفعا، تكون الذروة قريبة من أعلى الغلاف الجوي. ويدمج المسبار العديد من قنوات التردد (الرسم 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 وانتهاء بطبقة الستراتوسفير.

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

الرسم 5-9

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



لاحظ الأهمية الخاصة للقنوات 1 (23,8 جيغاهرتز) و2 (31,5 جيغاهرتز) و15 (90 جيغاهرتز). إنها قنوات ثانوية تلعب دوراً مهيمناً في عملية استخلاص القياسات التي تتم في طيف امتصاص الأوكسجين. ولهذا ينبغي أن يكون لها نفس الأداء من ناحية البعد الهندسي وقياس الإشعاع وأن تتمتع بنفس الحماية من التداخل. يظهر من الرسم 5-9 أن :

- القناة 1 قريبة من ذروة امتصاص الماء. وتستعمل لاستخلاص مجموع محتوى بخار الماء على طول خط الرؤية، وتحديد التصحيحات اللازمة في القنوات الأخرى.
- للقناة 2 أقل قدر من الآثار المتراكمة الناجمة عن الأوكسجين 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.

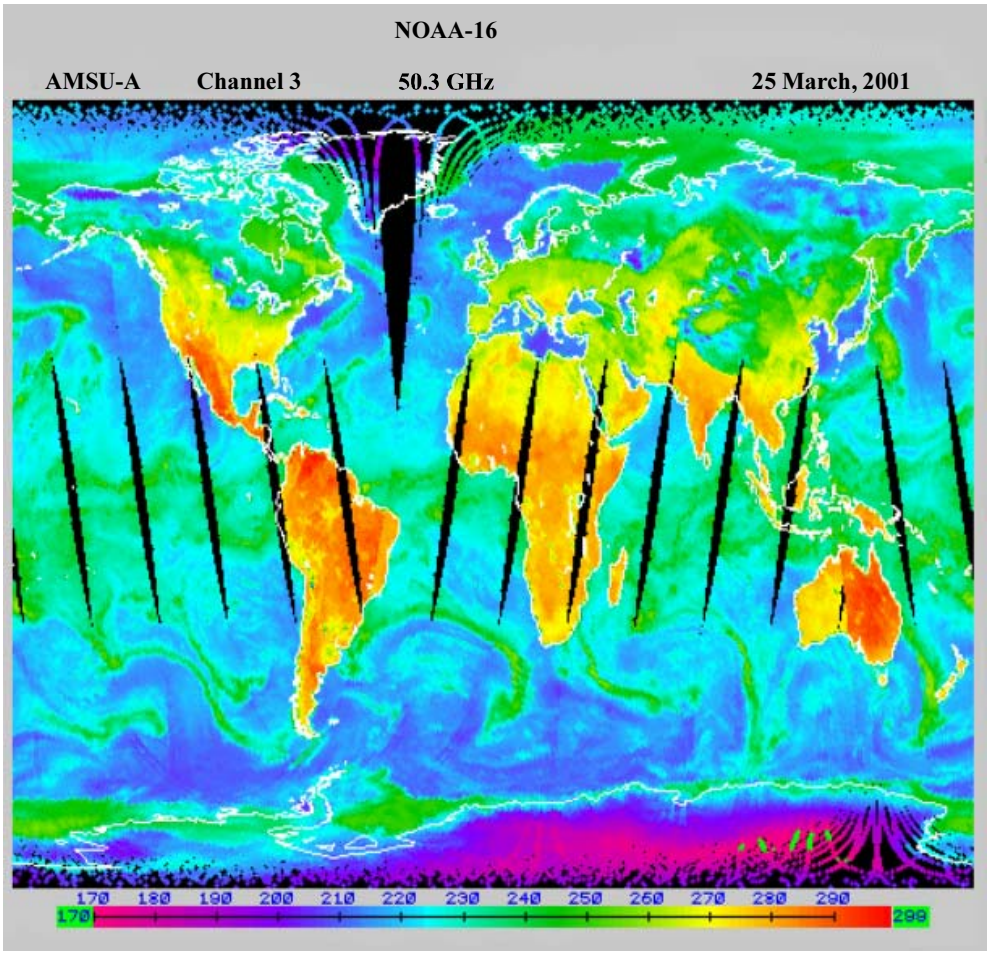
3.7.1.5 استخدام السبر الرأسي للغلاف الجوي

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 50 كلم. وبدأ يتزايد كذلك تطبيق النماذج الإقليمية والمحلية لوضع تنبؤات أكثر دقة تبلغ استبانتها الجغرافية (10 كلم وأقل) على المدى القصير (من 6 إلى 48 ساعة). ويظهر في الرسم 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 الأوكسجين في أغلب الحالات في طبقة 5 كلم فوق السطح (الرسم 5-9).

الرسم 5-10

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



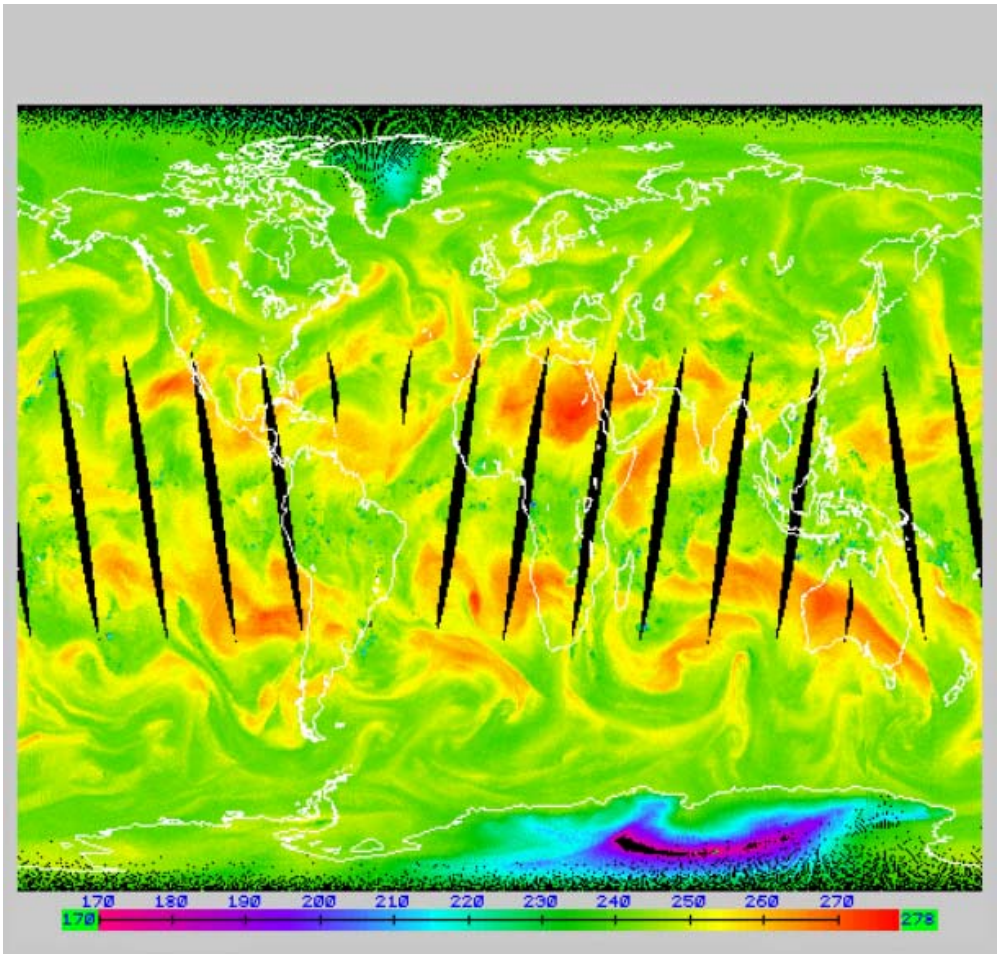
Meteo-05-10

ويظهر في الرسم 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. و يشغل 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 جيغاهرتز، 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.

الرسم 5-11

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



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 و باستبانة تبلغ 50 كلم بالنسبة للنماذج العالمية و10 كلم للنماذج الإقليمية والملحية. وفي المستقبل، سيكون من الضروري الحصول على المعلومات كل 3 ساعات تقريباً.

4.7.1.5 خصائص أجهزة الاستشعار السلبي باتجاه النظير العاملة في مدى 60 جيغاهرتز

إن أغلب أجهزة الاستشعار السلبي 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 5-3 الخصائص التقليدية لأجهزة السبر لدرجات الحرارة العاملة قرابة 60 جيغاهرتز وعلى متن سواتل المدار الأرضي المنخفض.

الجدول 5-3

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

الخاصية	المسح المكانيكي (حالياً)	المسح من فئة Push-broom (مستقبلاً)
سعة نطاق القناة (ميغاهرتز)	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 بيكسال ندير (km)	49	16
عدد بيكسال/خط	30	90

5.7.1.5 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 الرسم 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 لقياسات الانبعاث؛
- قياسات الإشعاع معرضة للتداخل بشكل كبير بسبب الوصلات الساتلية.

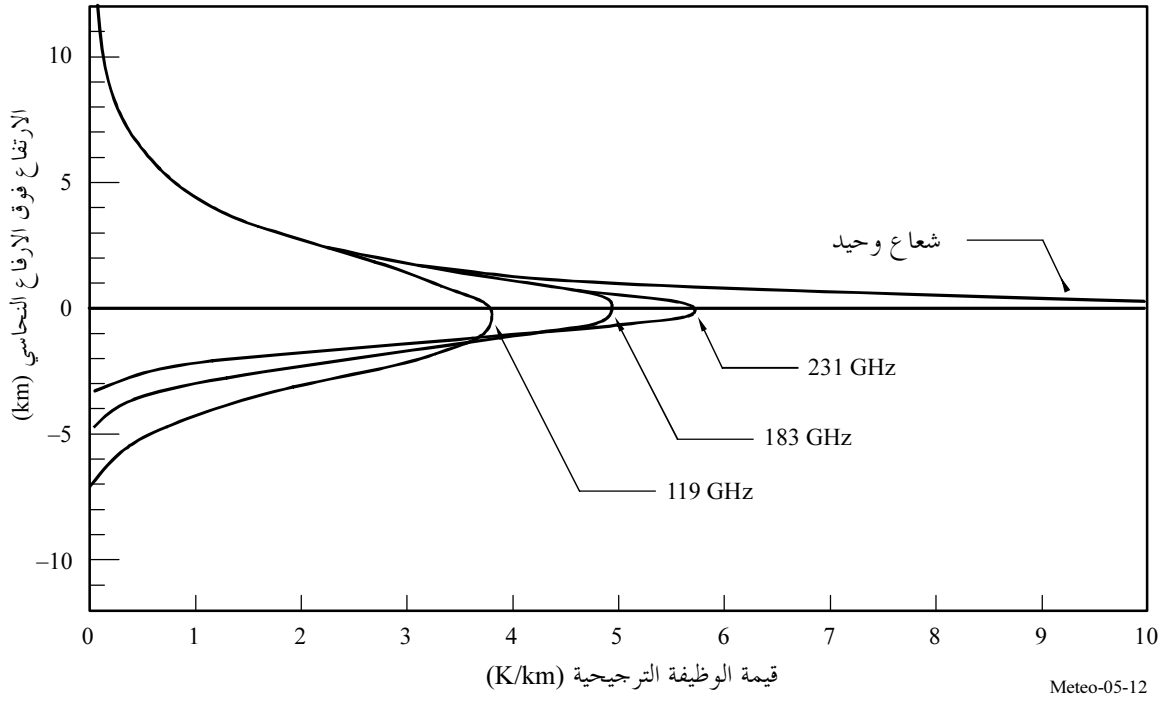
وأطلقت مسابير حافة الغلاف الجوي بالموجات الصغرية لأول مرة عام 1991 وتقوم بالوظائف التالية :

- مسح الغلاف الجوي رأسياً في مدى الارتفاع الذي يتراوح بين 15 و120 كلم في اتجاهين متعامدين؛
- تتراوح الاستبانة الرأسية المعتادة لقياسات المقاطع (سعة نطاق الوظائف الترجيحية بنصف القيمة) بين 3 و6 كلم، كما يظهر في الرسم 5-12؛
- تبلغ الاستبانة الأفقية المعتادة 30 كلم بشكل متقاطع مع اتجاه الرصد و300 كلم 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 5-4).

الرسم 5-12

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



الجدول 5-4

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	40-40	(2×10^{-10} v/v (10 s))
O_3		90-15	(1×10^{-8} v/v (2 s))
H_2O_2		20-50-20	(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 ومالها 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.

6.7.1.5 المسابير السلبية العاملة بالموجات الصغرية وقابليتها للتعرض للتداخل

وترصد مسابير الاستشعار السلبي 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 السلبي تواجد عدد كبير من أجهزة الإرسال منخفضة القدرة داخل منطقة قياس أجهزة الاستشعار السلبي. 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 جدية من التداخل.

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

- لقد تأكد أن 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 إلى تجاهل بعض نظم الطقس حديثة التطور وإغفال بعض العواصف الخطيرة التي تتطور بسرعة.
- وإذا لم يتم كشف البيانات على أنها بيانات ملوثة، وهذا من المحتمل جداً، يتم اعتبارها على أنها بيانات صحيحة ويفضي التحليل الذي يستند إليها إلى نتائج خاطئة.
- بالنسبة للدارسات الخاصة بعلم المناخ ولاسيما مراقبة "تغير المناخ العالمي"، قد يفضي التداخل إلى سوء تفسير إشارات المناخ.

وترد في التوصيتين ITU-R RS.1028 وITU-R RS.1029 ، مستويات الأداء المطلوبة في قياس الإشعاع ومستويات التداخل المقبولة.

2.5 أجهزة الاستشعار النشيط

1.2.5 مقدمة

الغرض من هذا الجزء هو تقديم وصف الاحتياجات من تردد الطيف الراديوي لأجهزة الاستشعار من مركبة فضائية، ولاسيما 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:

الفئـــة 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 عادة لوضع صورة رادار لسطح الأرض.

الفئـــة 2: أجهزة قياس الارتفاع – وهي مسابير موجهة باتجاه النظير تقيس بدقة التوقيت بين حدث الإرسال وحدث الاستقبال لاستخلاص الارتفاع بدقة لسطح المحيط في الأرض.

الفئـــة 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.

الفئـــة 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.

الفئـــة 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 5-5.

الجدول 5-5

خصائص أجهزة الاستشعار النشيطة من المركبات الفضائية

الخصائص	فئات أجهزة الاستشعار				
	رادارات الفتحة الاصطناعية	**جهاز قياس الارتفاع**	**جهاز قياس الانتثار**	**رادارات الهطول**	**رادارات تصوير مقاطع السحب**
هندسة التسديد	مسح جانبي عند 10° – 55° من النظير	باتجاه النظير	– ست حزم مروحية في السمت – حزمتان للمسح المخروطي	باتجاه النظير	باتجاه النظير
الرقعة/–الدينامية	– ثابت في جانب واحد – ScanSAR	ثابت عند النظير	– ثابت في السمت – مسح	مسح عبر مسار النظير	ثابتة عند النظير
حزمة الهوائي	حزمة مروحية	حزمة ضيقة	– حزم مروحية – حزم ضيقة	حزمة ضيقة	حزمة ضيقة
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	نبضات قصيرة	نبضات قصيرة
عرض النطاق	MHz 300-20	MHz 320	kHz 80-5	MHz 14	kHz 300
عامل التشغيل(%)	5-1	46	31	0,9	14-1
منطقة الخدمة	سطح الأرض/السواحل/ المحيطات	المحيطات/الجليد	المحيطات/الجليد/سطح الأرض	سطح الأرض/ المحيطات	سطح الأرض/ المحيطات

2.2.5 رادارات الفتحة الاصطناعية SAR

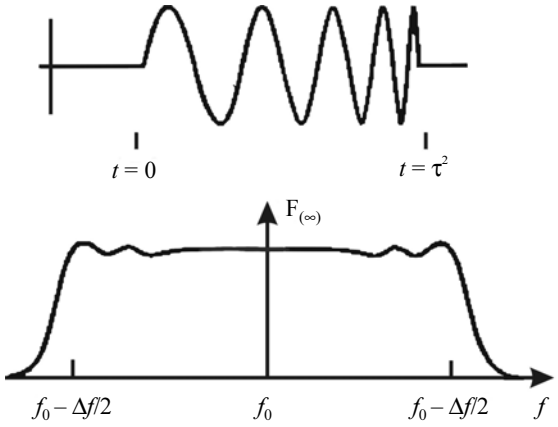
تلتقط رادارات الفتحة الاصطناعية صوراً لسطح الأرض. ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح الأرض مع حقل EM. وتؤثر سعة النطاق للتردد الراديوي في استبانة بيكسال الصورة. ويظهر في الرسم 5-13أ، النبضة الزقزقية كما يظهر في الحيز الأسفل سعة نطاق التردد المقابلة. وتبلغ استبانة المدى $(c/2/(BW \sin \theta))$، حيث (c) هي سرعة الضوء، و(BW) سعة نطاق التردد الراديوي، و(θ) زاوية الإسقاط. وللحصول على استبانة بمدى متر في زاوية إسقاط تبلغ 30 درجة، على سبيل المثال، ينبغي أن

تبلغ سعة نطاق التردد 300 ميغاهرتز. وتضيء العديد من رادارات الفتحة الاصطناعية الشريط من جهة واحدة باتجاه السرعة كما يظهر ذلك بالرسم 5-13ب. ويعاد أي مصدر من مصادر التداخل داخل منطقة الشريط المضيء إلى جهاز الاستقبال لرادار الفتحة الاصطناعية. ويحدد مستوى التدهور المقبول لنوعية بيكسال الصورة مستوى التداخل المقبول. وتظهر في الرسم 5-14 صورة للبحر الميت بين إسرائيل والأردن التقطها رادار الفتحة الاصطناعية.

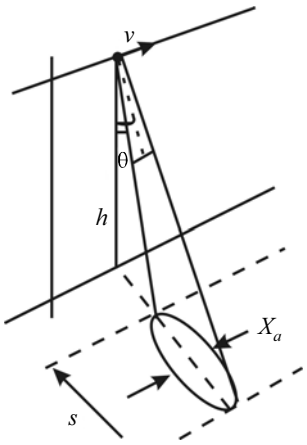
الرسم 5-13

الطيف الزقزقي والشريط المضيء لرادار الفتحة الاصطناعية

أ) الطيف الزقزقي



ب) الشريط المضيء لرادار الفتحة الاصطناعية



Meteo-05-13

الرسم 5-14

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

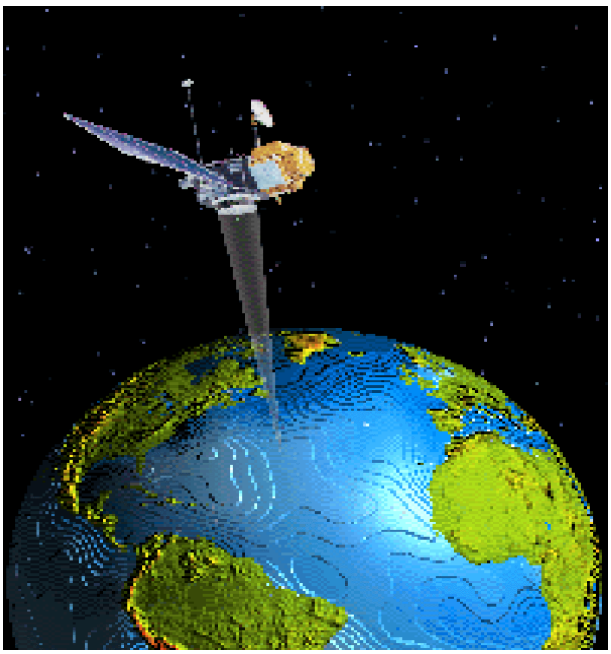
Meteo-05-14

3.2.5 أجهزة قياس الارتفاع

تقيس هذه الأجهزة ارتفاع سطح المحيط. والصور 5-15 و5-16أ) و5-16ب)، هي أمثلة لجهاز قياس الارتفاع الساتلي ودقته 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 13,6 جيغاهرتز و5,3 جيغاهرتز إحدى الترتيبات للتردد الثنائي. وتؤثر سعة نطاق التردد على دقة قياس الارتفاع. وتتناسب دقة الاختلاف الزمني (Δt) عكسيا 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 سنتمتر.

الرسم 5-15

جهاز قياس الارتفاع الساتلي بالموجات الصغرية

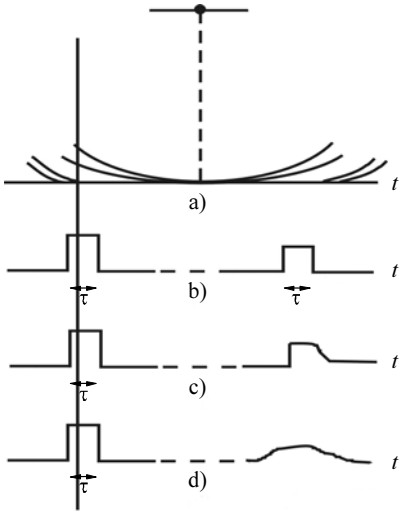


Meteo-05-15

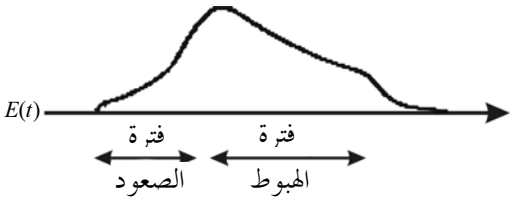
الرسم 5-16

مثال للنبضة العائدة لجهاز قياس الارتفاع وانتشار النبضة العائدة

أ) مثال للنبضة العائدة لجهاز قياس الارتفاع



ب) انتشار النبضة العائدة



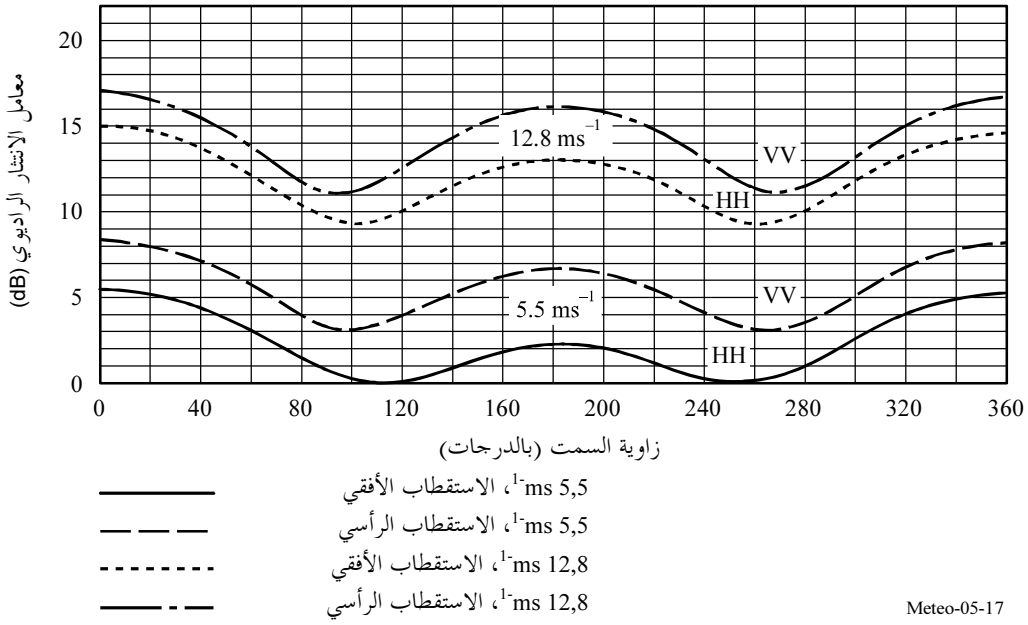
Meteo-05-16

4.2.5 أجهزة قياس الانتشار

توفر أجهزة قياس الانتشار اتجاه الريح وسرعته. ويرتبط اختيار التردد المركزي للتردد الراديوي بتفاعل سطح المحيط مع حقل EM وتباينه على زاوية المنظر. ويظهر في الرسم 5-17 تباين مستوى الانتشار الخلفي مع زاوية المنظر بالنسبة لاتجاه سرعة الريح.

الرسم 5-17

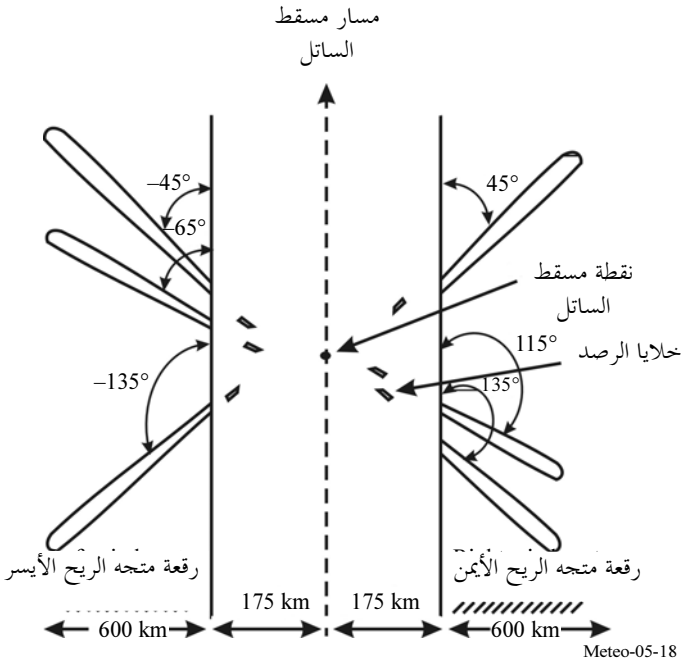
تباين مستوى الانتشار الخلفي مع الزاوية الباعية



وكما يظهر في الرسم 5-18، يضيء جهاز قياس الانتشار سطح الأرض في عدة زوايا باعية ثابتة مختلفة. وفي الرسم 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.

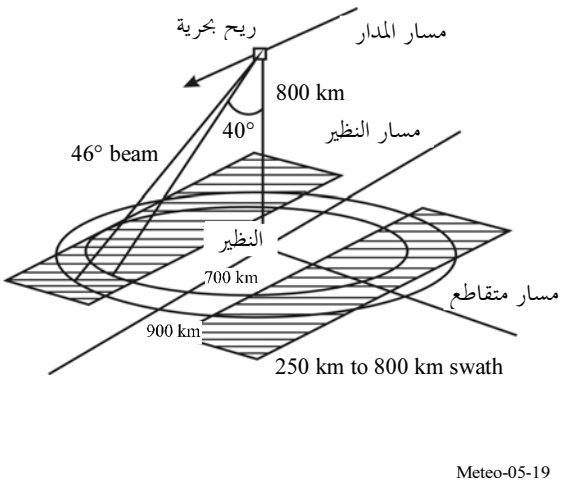
الرسم 5-18

بصمة ثابتة لجهاز قياس الانتشار



الرسم 5-19

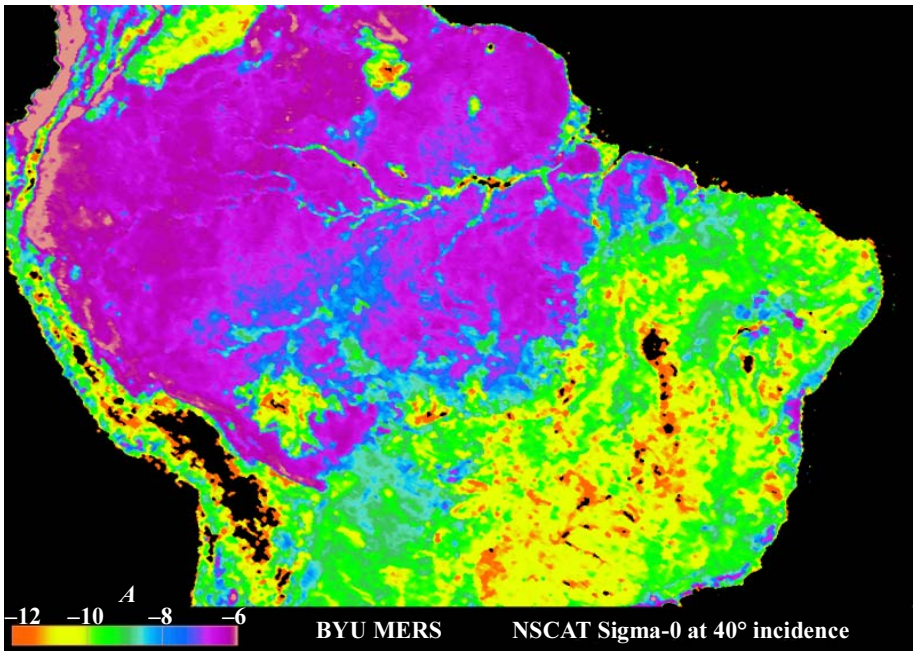
مسح بحزمة جهاز قياس الانتشار



يتضمن الرسم 5-20 مثالاً عن صورة رادار التقطت من جهاز قياس الانتثار (NSCAT) لغابة الأمزون المدارية في أمريكا الجنوبية.

الرسم 5-20

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



Meteo-05-20

5.2.5 رادارات الهطول

تقدم رادارات الهطول معدل الهطول 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:

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

حيث :

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

D: قطر القطرة (م)

λ: طول موجة الرادار (م)

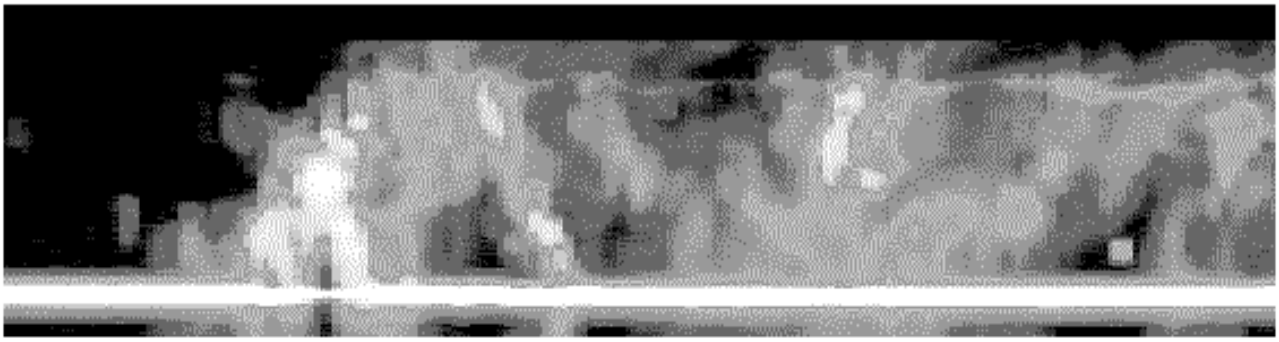
Z: عامل انعكاسية الرادار

ويزداد الانتثار الخلفي بصفته القدرة الرابعة للتردد الراديوي.

ويظهر في الرسم 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 1,5 µs، على الرغم من أن هذه القيمة يمكن أن تختلف باختلاف النظم الأخرى. ويحدد مستوى تدهور انعكاسية الهطول الأدنى المقبول، مستوى التداخل المقبول.

الرسم 5-21

انعكاسية مركبة من قياسات انعكاسية الهطول



Meteo-05-21

6.2.5 رادارات تصوير مقاطع السحب

توفر رادارات تصوير مقاطع السحب مقاطع ثلاثية الأبعاد لانعكاسية السحب على سطح الأرض. ويبين الرسم 5-22 تمثيلاً لانعكاسية الانتشار 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.

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

حيث :

$\widetilde{P}$: 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 (كلم)

λ: طول موجة الرادار (سم)

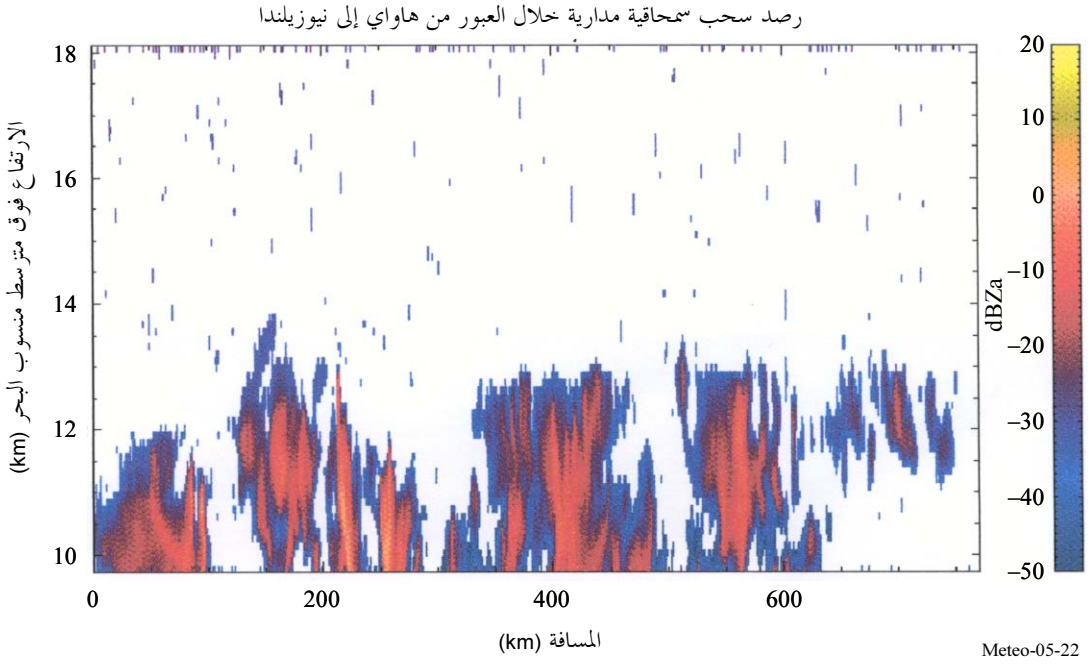
l: خسارة الإشارة بسبب امتصاص الغلاف الجوي

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 الجزئيات النسبي مقارنة بطول الموجة. ولهوائيات رادارات تصوير السحب نتوءات جانبية ضعيفة القدرة جداً تتيح عزل الإشارة العائدة من السحب عن الإشارة العائدة من السطح المضيء.

الرسم 5-22

مثال لانعكاسية سحب سمحاقية



7.2.5 التداخل بين أجهزة الاستشعار ومعايير الأداء

وترد معايير الأداء والتداخل في التوصية ITU-R RS.1166 لفئات مختلفة من أجهزة الاستشعار النشيطة من المركبات الفضائية.

8.2.5 مستويات كثافة تدفق القدرة (PFD)

وتشير خصائص الفئات المختلفة من أجهزة الاستشعار النشيط من المركبات الفضائية الواردة في الجدول 5-5 إلى أن أكبر قدر من القدرة التي تُرسل وبالتالي مستويات القدرة التي تستقبل على سطح الأرض ستكون مختلفة في المستويات. يبين الجدول 5-6 مستويات كثافة تدفق القدرة لجهاز الاستشعار النشيط على سطح الأرض لبعض التشكيلات التقليدية لهذا الجهاز.

الجدول 5-12

مستويات كثافة تدفق القدرة على سطح الأرض

البارامترات	نوع جهاز الاستشعار				
	رادارات الفتحة الاصطناعية	جهاز قياس الارتفاع	جهاز قياس الانتشار	رادارات الهطول	رادارات تصوير مقاطع السحب
القدرة المشعة (W)	1500	20	100	578	630
كسب الهوائي (dB)	36,4	43,3	34	47,7	63,4
المدى (km)	695	1344	1145	350	400
كثافة تدفق القدرة (dB(W/m2))	59,67–	77,25–	78,17–	46,55–	31,64–

قائمة المراجع

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

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

نصوص قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R RS.515 – نطاقات التردد وعروض النطاقات المستعملة من أجل الاستشعار الساتلي المنفعل

التوصية ITU-R RS.577 – نطاقات التردد وعروض النطاقات المطلوبة المستعملة من أجل أجهزة الاستشعار النشيطة المحمولة في الفضاء العاملة في خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) وخدمة الأبحاث الفضائية (النشيطة)

التوصية ITU-R RS.1028 – معايير الأداء من أجل الاستشعار الساتلي السلبي عن بعد

التوصية ITU-R RS.1029 – معايير التداخل من أجل الاستشعار الساتلي السلبي عن بعد

التوصية ITU-R RS.1029 – معايير الأداء والتداخل من أجل أجهزة الاستشعار النشيطة المحمولة في الفضاء

الفصل السادس

نظم الاتصالات الراديوية الأخرى لأغراض أنشطة الأرصاد الجوية

الصفحة

6 مقدمة 92

1.6 نظم التوزيع 92

2.6 النظم الهيدرولوجية 92

4.6 استعمالات الأرصاد الجوية للنظم العالمية للسواتل لأغراض الملاحة (GNSS) 93

5.6 نظم كشف البرق 94

6.6 الاستشعار عن بعد من الأرض 96

7.6 نظم الطائرات بلا طيار (UAS) 97

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 بالسواتل ومعينات الأرصاد 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. وجرى تجهيز مرافق الأرصاد الجوية بما يلزم لتقديم الدعم للعمليات البحرية والجوية في شتى أنحاء العالم. وتستعمل نظم البث والتوزيع الخاصة بنواتج الأرصاد الجوية أيضا تشكيلة واسعة من خدمات الاتصالات الراديوية.

1.6 نظم التوزيع

يتسم توزيع التنبؤات بنفس الأهمية التي يكتسيها جمع البيانات وحفظها وإعداد التنبؤات. ويعتبر توفير هذه التنبؤات للجمهور كفيلاً بإنقاذ الأرواح، لأن العلم بالأمور قبل أن تقع يجعل الجمهور يتخذ 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 كانت طبيعية أو 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 لخدمة ميتسات.

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 نظرا 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 ميغاهرتز) تُستعمل عالمياً لتوزيع المعلومات المتصلة بالطقس والماء والمناخ، بما فيها الإنذارات بالكوارث على وكالات الأرصاد الجوية والمستعملين. ويكتسي استعمال السواتل التي تستخدم النطاقC أهمية خاصة في المناطق التي يصعب فيها الانتشار (مثلاً الأمطار الغزيرة في المناطق المدارية والاستوائية) وبالتالي استعمال نظم الاتصالات الأخرى.

2.6 النظم الهيدرولوجية

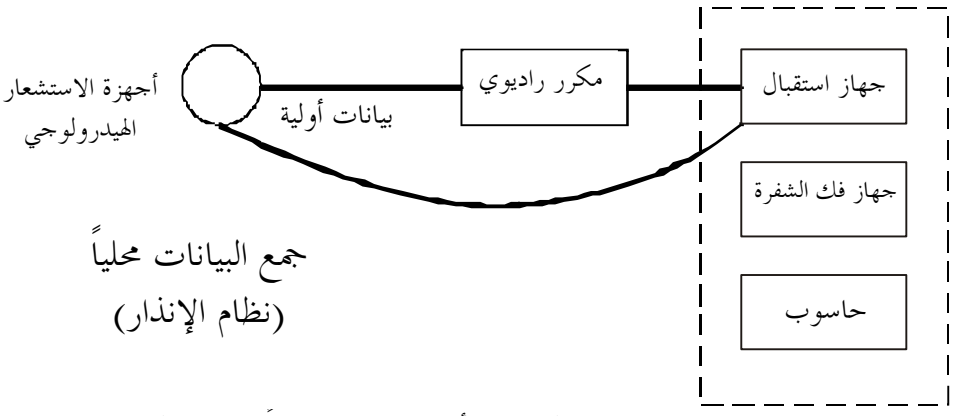
تعتبر الفيضانات ظواهر طبيعية وهي جزء من الحياة اليومية في العديد من مناطق العالم، كما أن النظم التي يمكنها أن تساعد على التنبؤ بحدوثها وتحديد موقعها وقوتها قد أنقذت العديد من الأرواح وقدراً كبيراً من الممتلكات. وتتيح المعلومات إخلاء الفئات المستضعفة وبناء الحواجز والسدود، وترحيل الأملاك القيمة والقابل للتدهور. وتستعمل النظم الهيدرولوجية عموما في قياس بعض العناصر مثل الهطول وارتفاع التيار وعمق كتلة الثلج، وكلها عناصر ضرورية للتنبؤ بالفيضانات والإنذار المبكر بها. كما تعتبر هذه النظم مفيدة لتقييم الموارد المائية المتوفرة.

تلحق الفيضانات أضرارا يبلغ متوسطها السنوي في الولايات المتحدة الأمريكية لوحدها 4 ملايين دولار تقريباً. وتسعى الفئات التي تتعرض كثيرا 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، و التأمين من الفيضان، وإدارة السهول الفيضية.

ويشمل النظام الهيدرولوجي المؤتمت أجهزة الاستشعار للتبليغ بالحوادث المتصلة بالأرصاد والهيدرولوجيا، وأجهزة الاتصالات الراديوية والحواسيب والبرمجيات. وترسل الإشارات المشفرة في شكلها المبسط بواسطة تجهيزات الاتصالات الراديوية، عادة على نطاق الترددات العالية جداً أو الترددات فوق العالية في إطار الخدمات الثابتة أو المتنقلة، إلى محطة قاعدية من خلال مواقع المكررات عادة (الرسم 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.

الرسم 6-1

رسم لنظام هيدرولوجي



معالجة بيانات أجهزة الاستشعار محلياً في موقع الحاسوب.
لا توجد اتصالات مكرسة فيما بين مواقع المعالجة الحاسوبية.
تقتصر منطقة التغطية على المدى الراديوي لأجهزة الاستشعار والمكررات.

Meteo-6-1

3.6 الاتصالات الراديوية لأغراض نظم الأرصاد الجوية والبيئية العاملة عن بعد

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

- *الإبراق الصوتي أو وصلات المغذي* التي تستعمل لحمل إشارات المراقبة أو إشارات البيانات إلى مواقع أجهزة الإرسال الخاصة بتوزيع البيانات، التي تكون عادة في مواقع بعيدة (على قمم الجبال مثلا) من أجل ضمان التغطية القصوى.
- *الاستشعار بالرادار* عن بعد الذي يستعمل لنقل الإشارات العائدة للرادار من الرادار نفسه (يكون موقعه بعيداً عادة) إلى المكتب الذي تعالج فيه البيانات. ويستخدم العاملون الترددات الراديوية أيضا لمراقبة التجهيزات على بعد في موقع الرادار.
- *جمع البيانات* تنقل البيانات التي جمعتها أجهزة الاستشعار الجوية والهيدرولوجية من مواقع جمع هذه البيانات الواقعة عن بعد 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.

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

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

- *تحديد مواقع منصات الرصد المتنقلة:* على سبيل المثال المسابير الراديوية على متن المناطيد، و المسابير الهابطة بواسطة المظلات، والطائرة بدون طيار، والتي تحمل أجهزة استشعار خاصة بالأرصاد الجوية (الفصل 3)، أو نظم الرصد البحري كالمنصات العائمة.
- *التزامن الدقيق جداً للتوقيت:* بين مواقع الرصد عن بعد كما هو مطلوب مثلا 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 أيضا بشكل دقيق جداً. وتركب أجهزة الاستقبال للنظام العالمي لتحديد المواقع عادة على منصة ثابتة وملائمة للمتابعة الدقيقة للموقع على سطح الأرض ولتوفير المعلومات المتصلة بالأرصاد الجوية أيضا. 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 انطلاقا 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 المتبقى 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 مباشرة 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 مقارنة مع الناتج الصادر عن أجهزة قياس الإشعاع السلبي باتجاه النظير (انظر الفصل 5)، غير أن المتوسطات سيتم تحديدها على مسافات أطول نسبياً على المستوى الأفقي. وإسوة بقياس إجمالي بخار الماء، تستدعي هذه التقنية توقيتاً دقيقا للغاية ومعرفة دقيقة بالساتلين. وخطط لأجهزة الاستقبال التابعة للنظام العالمي للسواتل لأغراض الملاحة لتكون ضمن الجيل المقبل من سواتل الأرصاد الجوية قطبية المدار.

5.6 نظم كشف البرق

تزايدت حاجة الأرصاد الجوية التشغيلية لاستشعار أنشطة البرق عن بعد وبشكل سريع. 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 والانترنت، وغيرها.

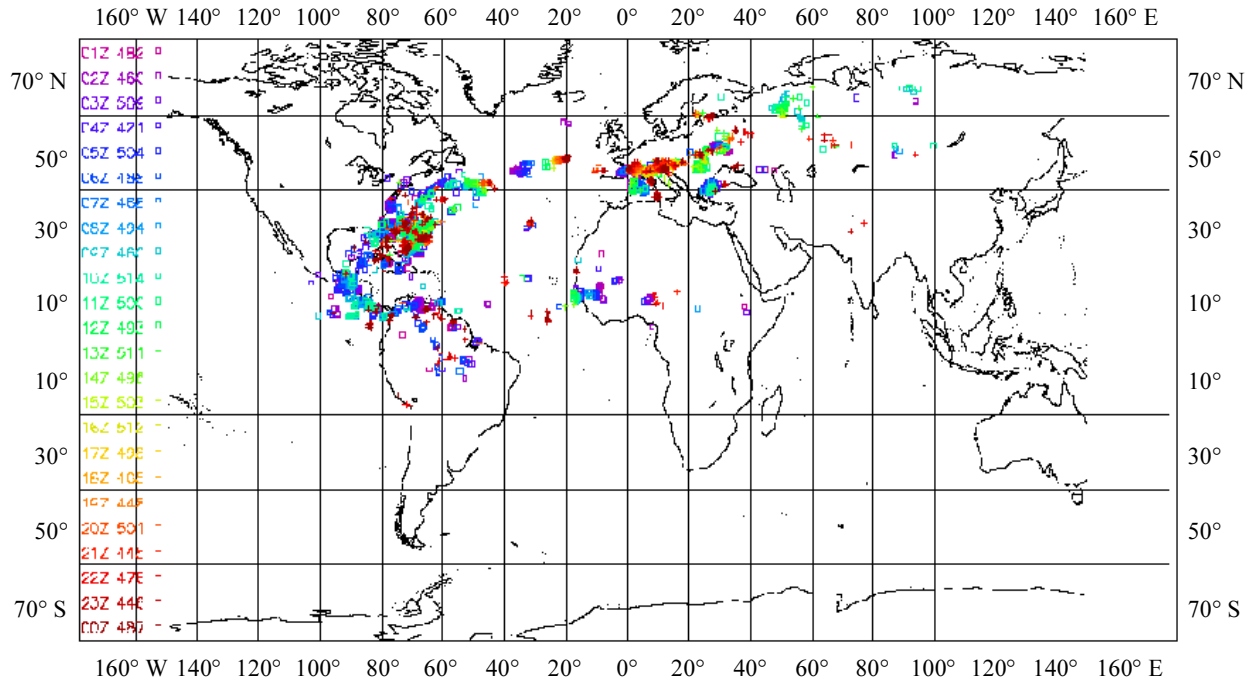
وفي النظم التشغيلية الحالية، يتم تحديد وميض البرق إما بقياس اتجاه وصول موجة الغلاف الجوي، أو بقياس زمن وصول موجة الغلاف الجوي، أو بالجمع بينهما معاً.

ويلزم الأمر القيام بقياسات في أكثر من ثلاثة مواقع للاستشعار تكون المسافة بينها كافية. غير أن عدد المواقع المستعملة عمليا 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 عادة عن الاتجاه الحالي لتفريغ الحمولة وسيختلف بالتالي وفقا لوضع طبقات السطح قرب موقع الاستشعار. وتعتمد النظم التي القائمة على زمن الوصول عادة 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 و المحطة 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 التي تبلغ عدة آلاف من الكيلومترات على الموجات المركزية البالغة 10 كيلوهرتز (2-15 كيلوهرتز) (راجع الرسم 6-2). وفي هذه النظام، تُستقبل الموجات في المحطات الخارجية البعيدة والمنشورة في أرجاء أوربا، علما بأن المسافة الفاصلة بينها قد تصل إلى 2000 كلم. ويتم تحليل الموجات وفقا لقاعدة Fournier ودمغها زمنياً في مواقع أجهزة الاستشعار. ويتم إعادة إرسال العينات التي تم دمغها زمنيا 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 كبيرا بعمل النظام.

الرسم 6-2

خريطة لبيانات البرق ليوم واحد على نظام المدى الطويل



سجلات عواصف رعدية بلغ عددها 11 581 في مدة 24 ساعة

Meteo-6-2

وتغطي النظم المستعملة على نطاق واسع منطقة محدودة وبشكل مفصل. وفي هذه الحالة، يتم رصد الموجات على ترددات عالية يكون مركزها على 200 كيلوهرتز (وتكون أجهزة الاستشعار عريضة النطاق المستعملة أكثر حساسية في وسط المدى من 1 إلى 350 كيلوهرتز) أما مواقع الاستشعار فتكون عموماً متباعدة فيما بينها بمسافة تتراوح بين 100 و400 كلم، 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

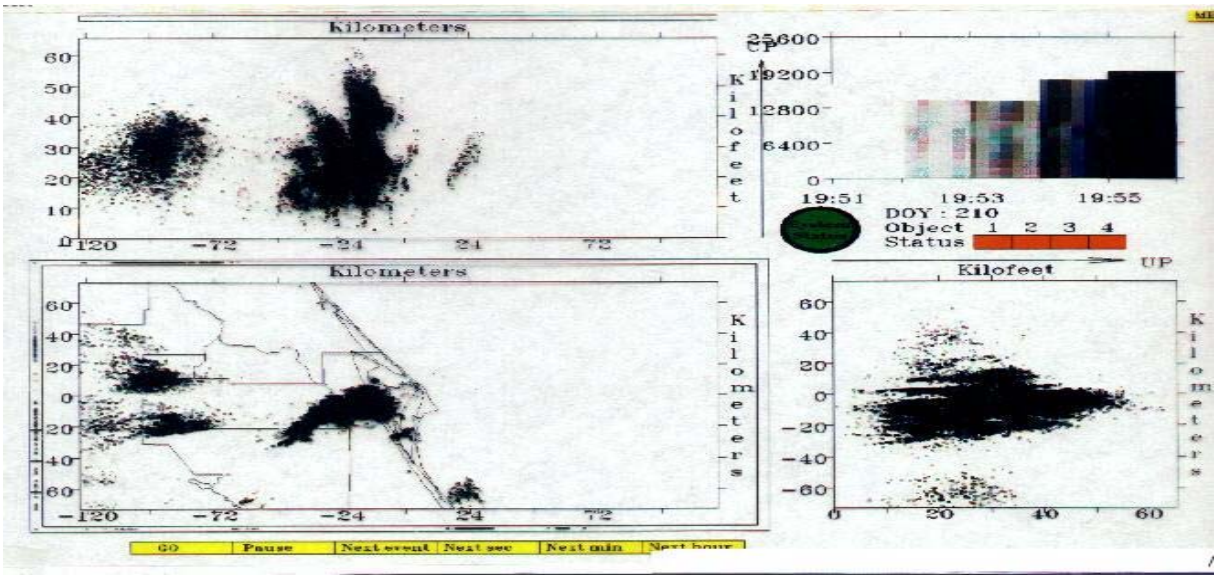
إلى الاختلافات في زمن الوصول، يتم الاستعانة بشكل متزامن بنظم التحديد المغناطيسي للاتجاه التي جرى تركيبها قبل سنوات. واستعرض [Holle and Lopez, 1993] نظماً مختلفة لكشف البرق أما [Diendorfer *et al.*, 1994] فناقش عمليات الرصد انطلاقاً من الشبكة في النمسا.

وعلاوة 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 و225 ميغاهرتز، في حين يستعمل نظام المراقبة والإنذار بالرعد بالمسابير العاملة بالموجات المتناهية الصغر (SAFIR) من 110 إلى 118 ميغاهرتز). ويظهر في الرسم 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 كلم 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 الرسم 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.

الرسم 6-3

بيانات نظام كشف البرق وقياسه في الوقت الفعلي



Meteo-6-3

6.6 الاستشعار عن بعد من الأرض

لقد جرت مناقشة السبر الرأسي للغلاف الجوي باستعمال الاستشعار السلبي عن بعد 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 يمكن أن توفره نظم السواتل.

ويعتبر الاستشعار السلبي عن بعد باتجاه السماء من بين السبل الكفيلة بتوفير هذه ا لمعلومات، باستعمال جهاز لقياس الإشعاع يركب على سطح الأرض. وتضمن أجهزة قياس الإشعاع المتواجدة حاليا في الأسواق استيفاء هذه الغرض. وتستعمل هذه الأجهزة مجموعة من القنوات في نطاق الأوكسجين بين 50 و58 جيغاهرتز لوضع قياس لبنية درجات الحرارة. وتستعمل القنوات بين 21 و24 جيغاهرتز لتوفير المعلومات بشأن التباين في بخار الماء على المستوى الأفقي، وتستعمل نافذة في منطقة 30 جيغاهرتز لرصد السحب. وسيستفيد قياس بخار الماء مستقبلا من الرصدات الإضافية في الطبقات السفلى في نطاق امتصاص بخار الماء على 183 جيغاهرتز.

وتوجد قنوات الاستشعار عن بعد القائمة على الأرض الخاصة بدرجات الحرارة والرطوبة في نفس المنطقة التي توجد فيها أجهزة الاستشعار السلبي الساتلي، ومع ذلك فهذه القنوات لا تشبه تلك التي تستعملها السواتل. ويمكن للاستشعار الساتلي عن بعد أن يتقاسم القنوات مع خدمات أرضية أخرى، غير أن أجهزة قياس الإشعاع القائمة على الأرض قد تحتاج إلى الحماية. ومازال عدد أجهزة قياس الإشعاع القائمة على الأرض العاملة قليل، غير أنه إذا نجحت عمليات التطوير السارية، فقد يزداد عدد هذه الأجهزة في المستقبل. وينبغي اعتماد نمط واقعي للتقاسم عند نشر أجهزة قياس الإشعاع لتفادي التداخل مع الخدمات الأخرى.

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

7.6 نظم الطائرات بلا طيار (UAS)

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 بسب طول مسافة الرحلة أو عند وجود ظروف محفوفة بالمخاطر. وتستعمل نظم الطائرات بلا طيار (عام 2008) لأغراض الأرصاد الجوية عادة 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 الهوركايين 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 التبنؤ بوصول عواصف الهوركايين إلى اليابسة لكي يتمكن الجمهور من الاستفادة من مزيد من الوقت من أجل التأهب، ويساعدنا على الوصول إلى فهم أفضل لمناخنا. 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 (معينات الأرصاد الجوية) أو بالاستعانة بنطاقات أخرى للتردد وفقا لحجم البيانات المعنية.

الإحالات المرجعية

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.

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.

قائمة المراجع

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.

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

الملحق 1

المختصرات الشائعة 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

A *(تابع)*

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 العالي 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
CCIR	اللجنة الاستشارية الدولية للراديو (انظر قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات)

C *(تابع)*

CCl	لجنة علم المناخ
CCRS	المركز الكندي للاستشعار من بعد
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 المتناهية 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 بعد 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

C *(تابع)*

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 بعد 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
DEMUX	جهاز الإرسال المتعدد
DIFAX	جهاز الفاكس الرقمي
DIR	الأشعة دون الحمراء في فترة النهار
DLI	واسطة الوصلة الهابطة

D *(تابع)*

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 الالكترونيات
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 الكهرومغناطيسي
EMI	التداخل الكهرومغناطيسي
ENSO	ظاهرة النتنيو/ التذبذب الجنوبي
ENVISAT	السواتل البيئية
EOS	سواتل رصد الأرض
EPIRB	منار راديوي للاستدلال على موقع الطوارئ

D *(تابع)*

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
ERS	ساتل الوكالة الفضائية الأوروبية المخصص للاستشعار من بعد
ESA	وكالة الفضاء الأوروبية
ESD	التفريغ الكهروستاتي
ESMR	مقياس الإشعاع المسحي الإلكتروني بالموجات الصغرية
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 فورييه 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 بعد 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 بعد 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
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

G *(تابع)*

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 المهندسين في 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 بعد
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

J *(تابع)*

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
KBPS 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 بعد 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	الاطلاق 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	معينات الأرصاد الجوية
METEOSAT	الجيل الثاني من سلسلة السواتل لأوروبا الوسطى و الشرقية
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

M *(تابع)*

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 من بعد التابع للقوات البحرية
NRSA	الوكالة الوطنية للاستشعار عن بعد
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

P *(تابع)*

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	رايلاغ
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 من بعد
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-VISSR	مقياس الإشعاع بالمسح الدوامي في الطيف المرئي وتحت الأحمر الممدد

S *(تابع)*

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

S *(تابع)*

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 بعد والتحكم
TBUS	TBUS
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 بعد
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 بعد
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

V *(تابع)*

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 بعد
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

طبع في سويسرا
جنيف، 2009
ISBN 92-61-12846-7
إصدار الصور: © ITUK © WMO