علوم الفضاء وتطبيقاتها فى الأرصاد الجوية

د. محمد محمود عيسى
خبير الأرصاد الجوية الزراعية
والمناخ والبيئة
ورئيس التحرير

قبل أن نبدأ الحديث عن تحدى الفضاء والإنجازات العلمية والتقنية الهائلة التى تحققت فى هذا المجال، يجدر بنا، حتى تسهل متابعة التفاصيل الفنية للوقوف على حجم التحدى الذى واجه الإنسان عندما أخذ على عاتقه الخروج من الأرض إلى الفضاء الواسع، أن نتناول بالمناقشة بعض المفاهيم الأساسية المتعلقة بهذا المجال.

يقصد بعلوم الفضاء أو الفضائيات Space Science مجموعة المعارف التى تستخدم فى إطلاق مركبة صناعية من الأرض والتحكم فى مسارها والاتصال بها ومتابعتها حتى تؤدى مهمة معينة فى الفضاء أو مدار محدد.

وترتكز علوم الفضاء على مجموعة العلوم الأساسية للميكانيكا والفيزياء والكيمياء والأحياء والهندسة وبعض الموضوعات المتفرعة عنها وكذلك بعض العلوم المتخصصة والمشكلات التى يتعرض لها علم الفضائيات تشمل حساب المسارات والمدارات للمركبات الفضائية والتحكم فيها والتى تعالج فى نطاق علوم ميكانيكا الأجرام السماوية والتوجيه والتحكم الآلى، والاتصال بين المركبة والارض وهو مجال علوم الاتصالات، ثم تصميم وتصنيع القاذفات العملاقة التى تحمل هذه المركبات إلى مداراتها، وتقع هذه فى مجال علوم الدفع والديناميكية الهوائية والحرارية وتصميم الهياكل، وأخيرا نظم حفظ ودعم الحياة لرواد الفضاء فى المهام الماهولة.

ويعتبر علم ميكانيكا الأجرام السماوية، وهو مجموعة القوانين التى تحكم حركة الأجسام تحت تأثير الجاذبية، الأب الشرعى لعلوم الفضاء، وهو بطبيعة الحال أقدم هذه العلوم اطلاقا ويعتمد على ميكانيكا نيوتن والتى تستطيع التنبؤ بحركة هذه الأجسام بشكل دقيق للغاية، والواقع أن الدراسات الخاصة بحساب مسارات الأجسام المقذوفة من الأرض قديمة جدا وترجع إلى كبلر ومن قبله كوبرنيكوس، ومن سبقهما من العلماء الإغريق والعرب والهنود إلا أن الإنجاز بطبيعة الحال هو فى الوصول إلى التقنية التى تستطيع تحقيق الحسابات النظرية.

ومن المفيد أن نلقت النظر هنا قليلا إلى العلاقة بين العلم والتكنولوجيا فى مجال الفضاء، فالواقع أن مجموعة العلوم الأساسية لهذا المجال هى علوم تقليدية، وقوانينها متاحة ومعروفة لسنوات طويلة، ولذلك فإن الإنجاز الحقيقى فى غزو الفضاء، هو إنجاز تقنى بالدرجة الاولى.

ونستطيع أن نضيف أيضا الملحوظة التالية بشكل عابر، وهى أن أهم ما يميز عصرنا هذا هو الانتقال من العلوم إلى التكنولوجيا، وان مقياس التقدم لم يعد هو تحصيل العلوم فقط، بل نجاح المجتمع فى تحويل هذه العلوم البحتة إلى تقنيات يسخرها لخدمته، ومن هنا فإن الدول المتقدمة لا تجد ضرورة لإقامة حواجز على العلوم، بل تجعلها متاحة بشكل ميسر لعلمائنا من دول العالم الثالث الذين تحفل معاملها وجامعاتها بهم غير أنها تقيم أشد الحواجز وأكثفها أمام نقل هذه التقنيات. ومن هنا تأتى أهمية قضية استنباطات التكنولوجيا والتى هى أمر لابد منه للتقدم فى عالم لا يمكن فيه «شراء» التقنية بأى ثمن.

هذه ملاحظة عابرة ولكنها شديدة الأهمية تتعلق بالمشكلة التى لاتزال نبحث لها عن حل منذ خرجت أمتنا المعاصرة دون أن نخطو فيها خطوة واحدة وهى ماذا نفعل مع التكنولوجيا؟

ولذا فإن فهما مبسطا للقوانين التى تحكم حركة هذه الأجسام يعتبر أمرا لا غنى عنه وسوف نوضح كيف تفلت المركبة الفضائية من جاذبية الأرض؟.

إذا ربطنا حجرا فى خيط بسلبيا وأدرناه بسرعة كبيرة فإننا نحس بشد فى الخيط وأن الحجر يريد أن ينطلق بعيدا إلا أن الخيط يمسكه، وإذا استمر دوران الخيط فإن الحجر يظل فى مسار دائرى، وهو فى هذه الحالة يتوازن بين قوتين: قوة طرد إلى الخارج تقابلها قوة جذب فى الخيط.

والقانون الذى يحكم حركة الحجر فى هذه الحالة هو قانون القوة الطاردة المركزية المؤثرة، ويمكن التعبير عن القوة الطاردة المؤثرة فى الجسم فى هذه الحالة بالعلاقة:

ق = ك ع٢/نق

أو أن القوة المؤثرة فى الجسم تساوى كتلته مضروبة فى مربع السرعة ومقسومة على نصف قطر الدائرة التى يدور فيها.

ويمكن تطبيق هذا القانون على الأجسام الفضائية بإعطاء الجسم سرعة أفقية «فى اتجاه موازٍ لسطح الأرض وليس عموديا عليه» وإذا افترضنا إمكان استمرار الجسم فى تلقى هذه السرعة الأفقية «كأن يكون لديه قوة دفع خاصة طاردة إلى الخارج تميل إلى دفعه باستمرار إلى

أعلى، وتتوقف قيمة هذه القوة الطاردة على كتلة الجسم ومقدار السرعة المعطاة للجسم وكذلك على بعده عن مركز الأرض.

وحيث إن أى جسم قرب سطح الأرض يقع أيضا تحت تأثير الجاذبية الأرضية، فإن هذا الجسم المتحرك أفقيا بسرعة كبيرة يقع تحت تأثير قوتين متضادتين: قوة الجاذبية والقوة الطاردة الناشئة عن سرعتها، فإذا كانت سرعة الجسم الأفقية كبيرة بدرجة كافية بحيث ينتج عنها قوة طاردة تعادل قوة الجاذبية فإن الجسم يظل يدور فى مسار دائرى حول الأرض، وتسمى هذه السرعة بـ «السرعة المدارية».

وإذا كانت سرعة الجسم أقل من السرعة المطلوبة فإن الجسم يسقط نحو الأرض، أما إذا كانت سرعة الجسم أكبر من السرعة المدارية بدرجة كافية فإن الجسم يمكن أن ينطلق مفلتا من نطاق الجاذبية الأرضية، وتسمى تلك السرعة بسرعة الإفلات، وبين السرعة المدارية وسرعة الإفلات فإن الجسم يتخذ مدارا بيضاويا ويتوقف شكله على السرعة التى يتحرك بها الجسم الفضائى.

ومن هنا يمكننا تحديد السرعة اللازمة للبقاء فى مدار دائرى وتسمى «السرعة المدارية الأولى» ولنرمز لها بالرمز ع١، بأنها السرعة التى تنتج عنها قوة طاردة تعادل الجاذبية، وتؤدى هذه العلاقة إلى:

$$ع_1 = \sqrt{\frac{ى}{نق}}$$

أو أن السرعة المدارية الأولى تساوى الجذر التربيعى لحاصل ضرب نصف قطر الكرة الأرضية فى رقم طبيعى معروف «ى»، والرقم الثابت «ى» يعطى من العلاقة:

[ى = م ج].

حيث م كتلة الأرض، وج يسمى «ثابت الجذب العام» وهو معدل تغير سرعة جسم يسقط حرا تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

وعند خط الاستواء فإن نصف قطر الأرض يساوى ٦٣٧٨ كيلومتر والثابت ى يعادل ٣٩٨٦٠٠,٤ كم٣/ث٢/م٢، وبذلك فإن ع١ عند خط الاستواء تعادل ٧,٩ كيلومتر فى الثانية.

وإذا كانت الأرض دون غلاف جوى، أى دون مقاومة للهواء مثل القمر فإنه يمكن إطلاق قمر فى مدار دائرى عند سطح الأرض إذا أمكن لنا إيصاله إلى هذه السرعة، لكن جو الأرض يحدث مقاومة كبيرة ولذلك سوف يفقد القمر الصناعى سرعته ويسقط تحت تأثير الجاذبية الأرضية إذا أطلق عند سطح الأرض، ولذلك فعند إطلاق جسم فضائى فإنه يحمل بواسطة قاذف إلى ارتفاع معين حيث يكون سمك الغلاف الجوى ضئيلا وبالتالى لا يحدث مقاومة كبيرة ثم يعطى سرعة أفقية ليظل يدور فى مداره المحدد أو يخرج منه إلى الفضاء الفسيح. وتبدأ مقاومة الهواء فى النقصان بدرجة كبيرة عند ارتفاع ٢٠٠ كيلومتر، وعلى هذا الارتفاع على سبيل المثال يمكن إعطاء الجسم مدارا دائريا بإعطائه سرعة أفقية تبلغ ٧,٨ كم فى الثانية.

ولكى يستطيع القمر الصناعى الإفلات من جاذبية الأرض – وليس مجرد البقاء فى مدار دائرى كأن يكون فى رحلة للقمر مثلا – فلابد أن تكون له طاقة حركية أو سرعة معينة تسمى «الإفلات» Escape Velocity وتختلف قيمتها حسب الارتفاع نظرا لأن جاذبية الأرض تختلف حسب الارتفاع، فعند سطح الأرض تبلغ هذه السرعة ١١,١٨ كيلومتر فى الثانية، وعلى ارتفاع ٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض تبلغ سرعة الإفلات ١١,٠١ كيلومتر فى الثانية فإذا أردنا أن يخرج الجسم من مجال الجاذبية الأرضية يجب إعطاؤه سرعة أفقية أكثر من سرعة الإفلات، وبطبيعة الحال فإنه لا يمكن إعطاء الجسم هذه السرعة على سطح الأرض حيث تلزم مسافة وزمن معينان لتسارع المركبة والقاذف الذى يحملها لتصل إلى السرعة، لذلك فإن سرعة الإفلات تكون عادة على ارتفاع معين من سطح الأرض.

أما للوصول إلى مدار معين حول الأرض فتكفى سرعة متوسطة تقع بين السرعة المدارية الأولى وسرعة الإفلات، ويتحدد شكل المدار بالسرعة الأفقية التى تعطى له بعد وصوله إلى الارتفاع المطلوب فإذا أعطى الجسم سرعة أكبر من السرعة المدارية الأولى لكنهما أقل من سرعة الافلات يظل تحت تأثير الجاذبية الأرضية لكنه يتخذ مسارا بيضاويا يعرف رياضيا بالقطع الناقص، أما إذا كانت السرعة أقل ٧,٨ كيلومتر، وهى الحد الادنى للبقاء فى المدار، فى الثانية فسوف يكون الإطلاق تحت مدارى Suborbital وسوف يسقط الجسم إلى الأرض بعد فترة معينة.

العناصر الأساسية للمهمة الفضائية

يمكننا أن نحدد العناصر الأساسية للمهمة الفضائية بأنها:

– مدار يمكن من تحقيق مهمة معينة.

– مركبة تستطيع تحقيق المهمة المطلوبة.

يستطيع حمل المركبة إلى مدارها أو خارج مجال الجاذبية فبناء على طبيعة المهمة والمطلوب منها يتم تحديد المدار المطلوب إرسال القمر الصناعى أو المركبة الفضائية إليه.

وبناء على وزن المركبة وارتفاع المدار تتحدد قدرة القاذف الموكل إليه حملها ووضعها فى مدارها حول الأرض أو الخروج بها من جاذبية الأرض كلية.

المركبات الفضائية وأنواع المهام

وتنقسم المركبات الفضائية إلى خمسة أنواع حسب طبيعة المهام التى تسند إليها، وهى الأقمار الصناعية والمسابر الفضائية والمركبات المأهولة وغير المأهولة ومحطات الفضاء.

١– الأقمار الصناعية Satellites، وهى مركبات تدور حول الأرض على ارتفاع يتراوح بين ١٠٠ ميل وعدة آلاف من الأميال، وتؤدى مهام معينة متصلة عادة بكوكب الأرض كالاستطلاع والاتصال وقد أطلق منها منذ بدء عصر الفضاء عدة آلاف.

٢– المسبرات الفضائية غير المأهولة Unmanned Space Probes، وهى مركبات فضائية تترك جاذبية الأرض تماما وتسافر إلى القمر وعبر الكواكب لإجراء تجارب علمية والحصول على قياسات معينة.

٣– المركبات المأهولة manned Space Vehicles ومهامها هى أكثر المهام صعوبة وتعقيدا وتمثل ذروة التقنية فى صناعة الفضاء، وأهم هذه المركبات هى أبوللو وسويوز ومكوك الفضاء.

٤– المركبات غير المأهولة، وهى مركبات يناط بها أداء مهام معينة قد تشكل خطورة على الإنسان أو لا يستطيع القيام بها، مثل النزول على المريخ، ومن أمثالها المركبة فايكنج الأمريكية التى نزلت على سطح المريخ.

٥– محطات الفضاء Space Stations وتمثل محاولة الإنسان استيطان

الفضاء، أهمها محطات الفضاء سالیوت ومیر وسکای لاب والفا.

المدارات واستخدامها

المدار هو مسار القمر الصناعي حول كوكب الأرض، ولذلك فعندما نتحدث عن استخدامات المدارات المختلف فإننا نتكلم عن مهام متعلقة بكوكب الأرض على طبيعة المهام والسرعة التي يراد أن يدور بها القمر حول الأرض.

وكلما كان المدار قريبا من الأرض كانت سرعة القمر أكبر كما هو واضح من معادلة السرعة المدارية التي سبق ذكرها فأقمار الاستطلاع القريبة من الأرض سريعة جدا ولذلك لا تمكث طويلا فوق النقطة المراد تصويرها، وهناك أقمار تمكث عدة ساعات فوق المنطقة المراد رصدها وأخرى تدور مع دوران الأرض ولذلك تعتبر ساكنة فوق المنطقة التي تطلق فوقها وهذه هي أقمار الاتصالات والبث التليفزيوني.

وهناك عموما ثلاثة أنواع من المدارات حول الأرض تطلق إليها الأقمار الصناعية لأداء مهامها المختلفة وهي:

المدار الأرضي المنخفض Low Earth Orbit

وهو مدار قريب من الأرض ويكون ارتفاعه في حدود مائتين إلى ثلاثمائة كيلومتر، وتوضع فيه الأقمار الصناعية بغرض الرصد والاستطلاع والمسح الفضائي لمنطقة معينة، ويعطي مسار تلك المنطقة أساسا، ويحتاج إلى قاذف ذو قوة محدودة نسبيا وهذا هو السر في أن جميع برامج الفضاء تبدأ من هذا النوع وقد يكون المدار المنخفض دائريا وفي هذه الحالة يظل بعده عن الأرض ثابتا، أو بيضاويا وفي هذه الحالة يعرف المدار بأدنى وأقصى ارتفاع له عن الأرض.

ويحدد ارتفاع المدار مدى دقة التصوير أو المسح الذي يقوم به القمر، وذلك فقد يكون من المطلوب أن يكون المدار ليقوم القمر بنوعين من المسح والتصوير الفضائي ومن مسافة قريبة، وشامل أو بانورامي عندما يكون القمر في القطاع البعيد من المدار، يطلق على أقصى ارتفاع اسم «الاوج» وأقل ارتفاع اسم «الحضيض» ومن أمثلة المدار الأرضي المنخفض المدار الذي أطلقت إليه إسرائيل أقمارها الصناعية (أفق – ١) و(أفق – ٢) و(أفق – ٣)، قد أطلقت إسرائيل القمر الصناعي (أفق – ٣) في ٥ أبريل ١٩٩٥ إلى مدار بيضاوي يتراوح ارتفاعه بين ٢٥٠ كيلومتر في أدنى نقطة و٧٠٠ كيلومتر في أقصاها، ويقوم بدوره كاملة حول الأرض كل ٩٠ دقيقة.

ويتحدد موقع المدار أو «ميله» بالمنطقة التي يراد من القمر تغطيتها، فقد يكون المدار في مستوى خط الاستواء، لكنك لو اردت تصوير فرنسا مثلا من قمر في هذا المدار فإن اجهزة التصوير لابد وان تكون مائلة إلى الشمال بزاوية كبيرة، كما ان القمر لابد وان يكون على ارتفاع كبير، والافضل أن يمر القمر في هذه الحالة فوق فرنسا مباشرة لذلك يطلق القمر المخصص لمثل هذا الغرض في مدار مائل على خط الاستواء، أي أن مستوى الدائرة التي يقع فيها المدار مائل على مستوى الدائرة الاستوائية.

في هذه الحالة يغطي القمر المناطق التي تقع تحته خلال دوراته مع ملاحظة ان الأرض نفسها تدور حول محورها وقد يميل المدار حتى يصبح عموديا على دائرة خط الاستواء، وفي هذه الحالة يكون مدارا قطبيا

المدار القطبي Orbit Polar

وهو متوسط الارتفاع حول الأرض، وتوضع فيه الأقمار المستخدمة للاستشعار والمسح الفضائي للكرة الأرضية بأكملها، ويدور القمر في المدار القطبي من الجنوب إلى الشمال، بينما تدور الأرض تحته من الغرب إلى الشرق، ولذلك يتميز القمر الذي يدور في مدار قطبي بأنه يستطيع أن يرصد كل نقطة على سطح الكرة الأرضية في وقت ما، ويبلغ ارتفاع المدار القطبي المستخدم لقمر الاستشعار الفرنسي «سبوت» ٨٢٥ كيلومترا ويستكمل رصد الكرة الأرضية بأكملها في ٢٦ يوما ويبلغ عرض شريط الرصد له ٦٠ كيلومترات.

ويحتاج القمر الصناعي إلى قاذف متوسط القوة لوضعه في مدار قطبي، ولذلك يمثل عادة المرحلة الثانية في تطوير برامج الفضاء.

مدار الثبات الجغرافي Geostationary Orbit

إذا أطلق قمر صناعي إلى مدار على ارتفاع ٢٢ ألف ميل في مستوى دائرة الاستواء، فإن السرعة اللازمة للاحتفاظ به في هذا المدار تعادل تماما سرعة دوران الأرض حول محورها، ومن هنا فإن قمرا يطلق إلى هذا المدار وبهذه السرعة يبدو ثابتا أو معلقا فوق بقعة معينة من الأرض، والحقيقة أنه يدور مع الكرة الأرضية بسرعتها نفسها.

ويستغل هذا المدار في أغراض الاتصال والأرصاد الجوية والبث التليفزيوني والتي تتطلب بقاء القمر ثابتا فوق منطقة معينة من الكرة الأرضية، ويعتبر القمر في هذه الحالة وكأنه برج اتصالات عال جدا فوق تلك النقطة، وفي عام ١٩٤٥ نشر البريطاني آرثر كلارك بحثا تنبأ فيه بإمكانية تغطية الكرة الأرضية كلها بشبكة اتصالات عن طريق ثلاث أقمار صناعية تطلق على ارتفاع ٢٢ ألف ميل فوق خط الاستواء، بحيث يغطي كل منها ثلث الكرة الأرضية، لذلك سمي هذا المدار «مدار كلارك» كما يعرف أيضا بمدار الثابت الجغرافي أو الثابت فقط.

ونظرا لبعد مدار الثابت الجغرافي، فإنه يتطلب قاذفات قوية جدا لحمل أقمار صناعية إليه، ولذلك يعتبر المرحلة الثالثة في برامج الدول الفضائية.

وحاليا توجد خمس دول فقط تمتلك قاذفات تصل بأقمار كبيرة إلى المدار الثابت، وهي روسيا والولايات المتحدة وفرنسا «أوروبا» والصين واليابان.

وليس من الضروري أن تمتلك الدولة قاذفا من هذا الحجم لتمضي قدما في برامجها لوضع أقمار صناعية لأغراض الاتصالات أو الرصد الجوي، فهناك عدد كبير من القاذفات التي يمكن استئجارها لتحمل قمرا من هذا النوع إلى المدار الجغرافي الثابت، وأشهر هذه القاذفات المتاحة للإيجار القاذف الأوروبي (أريان – ٤) والقاذف الصيني (المسيرة الطويلة CZ-4).

تأثير الغلاف الجوي في حركة الأقمار

كلما كان المدار أكثر قربا من الارض ازداد تأثير مقاومة الغلاف الجوي فيه، والمفروض نظريا أن القمر الصناعي يدور في فراغ، ولكن الحقيقة أن المدارات الفعلية تكون في المنطقة الرقيقة نسبيا من الغلاف الجوي، أي على ارتفاع اكثر من مائة

كيلومتر تقريبا وعند هذا الارتفاع تقل كثافة الغلاف الجوى بحيث لا تمثل مقاومة الهواء عائقا كبيرا لحركة القمر، وعلى الارتفاعات المنخفضة (١٠٠ - ٢٠٠ كيلومتر) يقابل القمر الصناعى مقاومة تؤثر مع الوقت فى حركته، ولذلك تبطىء سرعته بشكل محسوس حتى تصبح أقل من السرعة اللازمة لحفظه فى المدار، وعندئذ يدخل منطقة الغلاف الجوى الكثيف ويسقط على الأرض وعادة ما يحترق خلال هبوطه.

ولذلك فإن هناك عمرا افتراضيا معينا للقمر الصناعى يقدر بالمدة التى يقضيها قبل أن يسقط إلى داخل الغلاف الجوى، وتتراوح هذه المدة بين بضع ساعات وعدة شهور، وعلى سبيل المثال يقدر أن عمر القمر الصناعى الإسرائيلى (أفق - ٢) سوف يظل فى مداره لمدة عام، بينما ظلت الأقمار التجريبية السابقة له تدور فى الدار مدة ستة أشهر.

وهذا هو أحد الأسباب فى كثرة عدد الإطلاقات العسكرية، إذ أن أقمار التجسس تطلق لاستكشاف منطقة معينة عن قرب بالمرور فوقها على ارتفاع منخفض، ولذلك يكون عمر قمر التجسس قصيرا، وهذا ما يتلاءم مع طبيعة المهام العسكرية التى تكون عادة لفترات قصيرة مثل مدة أزمة ما أو اشتباك عسكرى معين.

ويأتى بعد ذلك تطبيقات الأرصاد الجوية وارتفاع دقة التنبؤ بها نتيجة أننا أصبحنا باستخدام الأقمار الصناعية نستطيع أن نرى العناصر الجوية وهى تتفاعل، ونرى الأعاصير وهى تتكون، ونلتقط لها صورا ينقلها التليفزيون إلى غرف معيشتنا، وأمكن عن طريق هذه التقنية تقليل أثر الكوارث الطبيعية بتحذير سكان المناطق المهددة فى وقت مبكر. كما استخدمت تقنيات الأقمار الصناعية فى الإغاثة والإنقاذ فى الكوارث والانهيارات الجليدية وعلى منصات البترول وفى وسط المحيطات.

واستطاعات الدول، بدرجات مختلفة أن تضع تقنيات الفضاء فى خدمة شعوبها واقتصادها، وبدأت الدول المنتجة للتقنية فى تسويق هذه التقنيات والخدمات الناتجة عنها، وأخذت كل دولة منها بالقدر الذى تستطيع استيعابه من الفوائد والعائد التقنى والتطبيقى.

عنى الإنسان منذ وجد على سطح الأرض بالظواهر الجوية، وحاول تذليلها والتعامل معها، وعندما أعياه فهمها أخافته ضراوتها جعل لكل ظاهرة إلها وقدم له القرابين. فهذا إله الرعد وتلك إلهة المطر وهذا نبتون إله البحر.

ولكن الجو برعده ومطره وزوابعه وأعاصيره ظل مصدر قلق وخوف للإنسان كما هو مصدر خير ورزق له، وفى كل الأحوال ظل فهمه للظواهر الجوية وقدرته على التنبؤ بالجو مسألة حيوية يسعى إليها وتؤثر فى حياته ورزقه ورصيده وزراعته تأثير مباشرا.

وقد يصعب علينا نحن الذين نعيش فى المنطقة العربية وجنوب البحر المتوسط تقدير أهمية الأرصاد الجوية بالنسبة لشعوب الشمال نظرا لطبيعة جونا المستقر نسبيا وعدم وجود التغير الهائل بين الفصول، ويمكننا تقدير هذه الأهمية إذا ذهبنا مثلا إلى الإسكندرية ورأينا كيف يحسب الصيادون مواعيد النوات فى تقدير المحاصيل والغلال وفى متابعة العواصف والزوابع التى تصل إلى حد الكوارث، ومنذ عام ١٩٩٤ بدأ فى مصر إنشاء الشبكة القومية لتطبيقات الأرصاد الجوية الزراعية ومقرها وزارة الزراعة ثم تطورت لتكون المعمل المركزى للمناخ الزراعى ويتبع مركز البحوث الزراعية وذلك لإمكانية توظيف بيانات الرصد الجوى والتنبؤات الجوية لخدمة كافة الأنشطة الزراعية.

وعلى سبيل المثال فقد أحدث إعصار «اندرو» الذى يهب على الساحل الشرقى من الولايات المتحدة خسائر فى ولاية فلوريدا منذ سنوات قليلة تقدر بعدة بلايين من الدولارات وأدى إلى تدمير شامل لمناطق واسعة، وأعلنت هذه المناطق مناطق كوارث وهبت لمساعدتها الحكومة الفيدرالية، ولا شك فى أنه يمكن تقليل الخسائر فى الأرواح بشكل كبير عندما يمكن ترحيل السكان من المناطق التى تقع فى مسار الإعصار، ويحتاج ذلك إلى متابعة شبه لحظية حيث إن هذه الأعاصير تغير اتجاهاتها بشكل مفاجىء وسريع ولا يمكن التنبؤ به ولحسن الحظ فإن الأقمار الصناعية يمكنها القيام بمهمة التابعة هذه بشكل دقيق.

كما أن التنبؤ بمسار اعصار كاترينا فى سبتمبر ٢٠٠٥ قلل الخسائر الفادحة إلى أقل من ١٠٪ برغم ماسببته من كوارث كبيرة مما دعا كاتب المقال إلى إعداد دراسة مناخية علمية لنوات الإسكندرية للاستفادة منها فى مختلف الأنشطة البيئية «مرفق جدول الإسكندرية» واهتمت الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية برفع دقة التنبؤ الجوى لما له من دور اقتصادى كبير سواء من رفع الانتاجية أو تقليل الخسائر نتيجة الكوارث الجوية.

والأرصاد الجوية علم قديم، قبل إطلاق الأقمار الصناعية وغزو الفضاء، ويتم رصد التغيرات فى الغلاف الجوى عن طريق محطات الأرصاد الجوية المنتشرة فى أنحاء العالم، وتمد هذه المحطات مراكز التنبؤات الجوية بمعلومات كثيرة عن الجو وعناصره من درجات الحرارة وضغط ورياح وغيرها، ويتم التنبؤ الجوى عن طريق نماذج رياضية ضخمة ومعقدة يحاول بها خبراء الجو - وهم دارسو فيزياء من حيث التخصص - محاكاة ما يحدث فى الطبيعة وبالتالى استنتاج زمن وموقع الأحداث الجوية المختلفة وإذاعتها للتصرف بما يمليه الموقف للاستفادة من خيرها أو لتجنب النتائج الضارة للزوابع أو الأعاصير أو السيول.

وينقسم التنبؤ الجوى إلى تنبؤ قصير ومتوسط وطويل المدى، وتقل دقة التنبؤ بطبيعة الحال كلما زادت مدته، وعلى العموم يمكن الاعتماد على التنبؤات الجوية بدقة فيما لا يزيد على يوم أو بعض يوم، ويحصل من يقومون بتقديم النشرات الجوية فى التليفزيون على قدر غير عادل من سخريتنا وتهكمنا، خاصة إذا جاءت الأحوال مخالفة لما قدموه فى النشرة الجوية، وهى سخرية بطبيعة الحال موجهة إلى نسبة الخطأ فى توقعاتهم، غير أنه من الإنصاف أن نعلم أن الجو ظاهرة علمية معقدة جدا وليس أدل على تعقيدها من أن الولايات المتحدة تستعمل التنبؤ الأكثر دقة بها أكثر الحسابات تعقيدا وقوة مثل الحاسب الفائق Super Computer المعروف باسم «كراى»، وكلما زادت دقة وآنية المعلومات المتاحة لحاسبات التنبؤ الجوى ومراصده، كان التنبؤ أكثر دقة،

وقد كانت الأرصاد الجوية هى إحدى التطبيقات المدنية التى استفادت مبكراً من الأقمار الصناعية، ويمكن النظر إلى القمر الصناعى فى هذه الحالة على أنه برج مراقبة عال جدا ويستطيع أن يكشف مساحة واسعة جدا من سطح الكرة الارضية والغلاف الجوى الذى يغطيها، وهو لذلك يستطيع أن يعطى معلومات دقيقة تماما عن بعض الظواهر الجوية مثل التكوينات السحابية وحركتها ويتم استخدام الأقمار الصناعية فى الرصد الجوى، إما عن طريق أقمار فى مدارات قطبية، وتستطيع هذه الأقمار التى تدور حول الأرض فى فترات معينة رصد وتصوير الظواهر الجوية التى تقع تحت مسارها، او عن طريق أقمار ساكنة أو ثابتة جغرافيا فوق منطقة معينة مثل المحيط الهندى مثلا لمتابعة الظواهر الجوية التى تحدث فى منطقتها.

أقمار تيروس وكوزموس

كان أول قمر استخدم فى الرصد الجوى هو القمر الصناعى المستكشف – ٧ (Explorer) الذى أطلقته الولايات المتحدة فى عام ١٩٥٩ وكان يحمل تجربة لقياس التغيرات فى الجو وتبع ذلك سلسلة أقمار تيروس Tiros، وكان القمر تيروس – ١ الذى أطلق فى ١ أبريل ١٩٦٠ هو القمر الصناعى الأول الذى سجل بالصور الأشعة تحت الحمراء (٣) تكوينات السحب فى الطبقات المنخفضة من الغلاف الجوى، وقد أطلق من هذه المجموعة سبعة أقمار ١٩٦٠ – ١٩٦٢ وضعت فى مدار شبه قطبى على ارتفاع ٨٠٠كم، وكانت الفترة المدارية التى يتم فيها القمر دورته حول الأرض نحو ١٠٠ دقيقة، وأثبتت هذه المجموعة فعالية استخدام الأقمار الصناعية لرصد ومراقبة الأحوال الجوية.

وشمل البرنامج الثانى للارصاد الجوية باستخدام الاقمار الصناعية إطلاق تسعة أقمار على ارتفاع ١٦٠٠كم فى الفترة من ١٩٦٦ – ١٩٦٩، وفى عام ١٩٧٠ أطلق أول قمر من طراز تيروس المحسن والذى سمى (أتيوس Itos) لالتقاط صور حرارية لتجمعات السحب بدقة تبلغ كم واحد، وتعتبر هذه الدقة كافية لتمييز تكوينات السحب المهمة العالية منها والمنخفضة.

وفى الفترة نفسها تقريبا أطلق الاتحاد السوفيتى سلسلة أقمار كوزموس، والتى كانت تخدم أغراضا مختلفة عسكرية ومدنية، ومنها الأرصاد الجوية، ومن هذه السلسلة يكون القمران كوزموس – ١٤٤ وكوزموس – ١٥٦ أساس نظام ارصاد جوية يسمى «متيور».

سلسلة اقمار نيمبوس Nimbus الامريكية فى عام ١٩٦٤ اطلقت وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا» أول قمر من سلسلة سميث (نيمبوس Nimbus) وخصصت لاختبار التكنولوجيا الجديدة وحملت هذه المجموعة سلسلة من الأجهزة المتطورة فخصص القمر الأول منها للتصوير المرئى والحرارى وحمل القمر نيمبوس – ٤ فى أبريل ١٩٧٠ أجهزة لقياس التدرج الحرارى الرأسى

وفى ديسمبر ١٩٧٢ حمل نيمبوس – ٥ كاميرات ميكروموجية قادرة على الرؤية خلال السحب، أما الأجهزة التى حملها نيمبوس – ٦ فهى التى تحملها الأقمار الصناعية من ١٩٧٨ للقياسات الحرارية والميكروموجية وتستخدمها الوكالة القومية الأمريكية للمحطات NOAA وهى الهيئة المنوط بها متابعة بحوث الأرصاد الجوية فى أمريكا.

والجيل الثالث من أقمار (إيسا ESSA) أمكن اختزان الصور فيها على شرائط مغناطيسية لتذاع على محطات المتابعة فى عدة بلاد حسب الطلب، وقد أطلق منها ثمانية أقمار اشتركت مصر والكويت فى استقبال صور القمر (إيسا – ٨) لتطعيم النشرات الجوية لرفع مستوى دقتها.

كيف يتم استخدام الأقمار الصناعية فى الأرصاد الجوية

إن مفاتيح النماذج الرياضية لحركة الجو هى توزيع الضغط ودرجات الحرارة وسمك وكثافة الطبقات الجوية، ويمكن حساب حركة الرياح عن طريق غير مباشر برصد حركة السحب من أقمار ساكنة، ويمكن لهذا الغرض تمثيل القمر الصناعى براصد على ارتفاع كبير جدا من الأرض مزود بتلسكوبات ذات قدرة عالية فى كل من النطاقين المرئى والحرارى، ويسجل هذا الراصد حركة السحب قريبا من سطح الأرض وتدرج درجات الحرارة داخل طبقات السحب.

ويشبه رصد حركة السحب رصد التفاصيل المرئية على سطح الأرض، فالسحاب يمكن رؤيته، وتصويره بوضوح، وتستنتج حركة السحب من تغير مواقعها مع الزمن، ومنها يمكن تحديد سرعة الرياح، ولذلك فالتكنولوجيات المستعملة هنا تكنولوجيا مألوفة وليس فيها جديد غير التقنيات المستخدمة للرصد المرئى من ارتفاعات كبيرة.

وتستطيع الأقمار تحديد سمك طبقات الغلاف الجوى أيضا، ويفيد ذلك فى تحديد مناطق الضغط العالى والمنخفض وتيارات الهواء وتوزيع درجات الحرارة ويتم ذلك عن طريق قياس ما يسمى بـ «التدرج الحرارى الرأسى»، وحيث إننا لا نستطيع بطبيعة الحال أن نضع ترمومترات عند كل كيلومتر من ارتفاع الغلاف الجوى، فلابد لنا أن نبحث عن طريقة أخرى لقياس درجات حرارة الطبقات المتتالية من الغلاف الجوى، أن قياس درجات الحرارة بواسطة الترمومترات هو استخدام لظاهرة التوصيل، لكن قياس درجات الحرارة بواسطة الأقمار الصناعية يتم عن طريق قياس الإشعاع الحرارى، ويتم ذلك لأن الغلاف الجوى تنفذ خلاله أشعة الضوء فإنه يمتص الأشعة الأخرى من فوق البنفسجية إلى أشعة جاما بدرجات متفاوتة، وامتصاص الأشعة تحت الحمراء بواسطة مكونات الغلاف الجوى يجعل قياس التدرج الحرارى ممكنا.

إن الأشعة تحت الحمراء التى تخرج من أعلى الغلاف الجوى ليتم قياسها بواسطة القمر الصناعى هى أشعة خرجت بعد أن تم امتصاص بعضها، وهى لذلك تحتوى على معلومات عن مقدار الامتصاص الذى تم بكل الطبقات واحدة بعد الأخرى والذى يعتمد على درجة الحرارة فقط، فبقياس درجات الإشعاع الحرارى على ارتفاعات مختلفة يمكن حساب درجات الحرارة عند هذه الارتفاعات.

ويدمج نتائج التدرج الحرارى مع قياسات الضغط عند ارتفاعات مختلفة يمكن حساب كثافة طبقات الغلاف الجوى فى منطقة معينة من الكرة الأرضية، ويتم إدخال المعلومات الخاصة بكثافة طبقات الغلاف الجوى مع معلومات حركة

الرياح وغيرها من المعلومات فى النماذج الرياضية الحاسوبية الكبيرة التى سبق الحديث عنها والتى تستطيع - بناء على هذه المعلومات - اعطاء معلومات وتنبؤات اكثر دقة عن حالة الجو لمدى أطول.

لقد تحسنت تنبؤات الأرصاد الجوية باستخدام الأقمار الصناعية كثيرا وإذا كانت الصور التى رسمناها فى الفترات السابقة تبدو مجردة ورياضية بعض الشىء فإن هناك صورة أخرى تجسد أهمية الأقمار الصناعية بشكل ملموس وهذه هى صور العواصف الرملية فى شمال أفريقيا وفى صحراء العرب ومثل أعاصير المحيطين الأطلنطى والباسفيكى على سواحل الولايات المتحدة واليابان، وفى بحر الشمال تأخذ كلها صور مرئية واضحة وتتحرك بحركة ملحوظة يمكن رصدها من الأقمار، بل يمكن تحديد عين الإعصار ورؤية اتجاه دورانه من الصور الملتقطة من هذه الأقمار.

كيفية الرصد للعناصر والعوامل الجوية

يعرف الاستشعار عن بعد بأنه العلم المختص بتجميع البيانات عن جسم ما وذلك من غير تلامس مباشر بين الجسم والأجهزة المستخدمة فى عملية الاستشعار، وهذا يستخدم مصطلح «الاستشعار عن بعد» بصفة خاصة مع الطرق التى تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية «مثل الضوء والحرارة وموجات الراديو» كوسيلة لرصد او التعرف على خصائص الأجسام وتكون مستخرجات عملية الاستشعار عن بعد على شكل صور هوائية أو صور الاقمار الصناعية أو الرادارات.

ويهتم علم الاستشعار عن بعد بصفة خاصة بتجميع معلومات «بيانات» عن سطح الارض والبحر والغطاء الثلجى والغلاف الجوى وأيضا بيانات عن الموارد الارضية مثل الزراعة والجغرافيا والجيولوجيا والهيدرولوجى ورسم الخرائط والأرصاد الجوية والتخطيط العمرانى، وفى عمليات الاستشعار عن بعد فإن الأجسام الحساسة سواء كانت كاميرات أو ماسحات Scanner تقوم برصد الطاقة المنبعثة أو المنعكسة من المادة وهذه الطاقة تكون مستمدة من الشمس فالطاقة الشمسية يمكنها أن تنفذ خلال الفضاء دونما تغير كبير ولكنها عندما تخترق الغلاف الجوى لتصل لسطح الأرض ربما تتغير بطرق مختلفة فبعضها تنعكس بواسطة السحاب أو بسطح الأرض بمكوناته وهذه الطاقة المنعكسة يمكن أن ترصد أو تسجل بواسطة أجزاء حساسة مثبتة فى طائرات أو مركبات فضائية «فأغلب حياتنا تعتمد على شكل ما من أشكال الاستشعار عن بعد حيث تقوم العين باستقبال الأشعة المنعكسة من الأجسام وبذلك نرى الأجسام دونما تلامس مباشر مع العين» والبعض الآخر من الطاقة يمتص بواسطة الغلاف بمكوناته أو بواسطة سطح الأرض وهذه الطاقة الممتصة تتحول إلى حرارة تنبعث من الأجسام أو تستخدم فى تبخير الماء من المسطحات المائية أو فى إذابة الثلوج، وهذه الإشعاعات الحرارية يمكن أن ترصد بواسطة الأجزاء الحساسة وتزودنا بمزيد من المعلومات المفيدة.

الطيف الكهرومغناطيسى

الإشعاعات الكهرومغناطيسية هى الطاقة التى تسير فى الفضاء أو فى الغلاف الجوى على شكل موجات وتسير هذه الموجات مساوية لسرعة الضوء. فمفهوم الموجه يساعد على فهم كيفية انتشار وحركة الموجات بينما الطاقة المصاحبة لهذه الموجات يمكن فقط رصدها وقياسها عند تفاعلها مع الأجسام والموجات الكهرومغناطيسية يمكن أن توصف بدلالة ترددها «عدد الموجات الكاملة خلال وحدة الزمن».

تفاعل الموجات الكهرومغناطيسية مع المادة

تقوم المواد من خلال تفاعلها مع الإشعاعات الساقطة عليها بتغيير أى من الخصائص الآتية لهذه الموجات: شدة الإشعاع، اتجاهها، الطول الموجى «الطاقة» أو الطور Phase ومن ثم يمكن تحديد خصائص الأجسام وتفسير الصور أو البيانات المجمعة من خلال معرفة التغيرات التى حدثت فى الموجات وعلى ذلك يمكن تحديد شكل ما من أشكال التناظر بين خواص الأجسام ونوع التغير الذى طرأ على الموجات الساقطة عليها. فأثناء تفاعل الموجات مع المادة يمكن أن يحدث أى من او بعض العمليات الفيزيائية التالية «بفرض الأخذ فى الاعتبار قانون حفظ الطاقة»:

١- **المرور** Transmission ففى هذه الحالة تمر الموجات من وسط إلى آخر ذو كثافة مختلفة «من الهواء إلى الماء مثلا» وفى هذه الحالة تتغير سرعة الموجات من وسط لآخر وتعرف النسبة بين السرعتين بمعامل الانكسار.

٢- **الامتصاص** Absorption فى حالة الامتصاص تستنفد طاقة الموجات على شكل حرارة تتسبب فى رفع درجة حرارة الجسم.

٣- **الإشعاع** Emission وعادة ما تكون الإشعاعات الناتجة بعد الامتصاص ذات أطوال أمواج اطول من تلك الساقطة ويعتمد الطول الموجى الصادر من الجسم على درجة حرارته وتركيبته.

٤- **التشتت** Scattering التشتت هو انحراف الموجات فى جميع الاتجاهات، فالسطوح ذات الخشونة التى يمكن أن تقارن بالطول الموجى للإشعاعات الساقطة ينتج عنها تشتت فعلى سبيل المثال موجات الضوء تتشتت بواسطة الجسيمات المنتشرة فى الغلاف الجوى إذا كانت ذات أبعاد يمكن أن تقارن بالطول الموجى الساقط

٥- **الانعكاس** Reflection وهو مفهوم يعبر عن الموجات المرتدة من الاجسام طبقا لقوانين الضوء الهندسى وهو نوع من أنواع التشتت.

بعض المميزات الأساسية للاستشعار عن بعد

- التسجيل الدائم للبيانات.
- جمع بيانات عن أماكن غير مأهولة.
- الحفاظ على الوقت والجدوى الاقتصادية.
- القدرة على تمييز الأجسام
- القدرة على التمييز الواقع Resolution

فى واقع الأمر يستخدم تعبير القدرة على التمييز «التحليل» بصفة عامة للتعبير عن قدرة الجهاز المستخدم على رصد وتمييز أقل المساحات على سطح الأرض، ولكن فى مجال الاستشعار عن بعد يمكن تصنيف القدرة على التمييز إلى ما يلى:

١- **القدرة على التمييز طيفيا** (Spectral Resolution) هو جزء محدد من الطيف الكهرومغناطيسى ذات طول موجى معين «أو منطقة» يمكن أن يسجل بواسطة الجزء الحساس Sensor وهو تعبير عن عدد البيانات الممكن تسجيلها بواسطة أى جزء معين من الطيف الكهرومغناطيسى.

٢- القدرة على التمييز محليا Spatial Resolution وهو تعبير عن أصغر شيء أو مساحة يمكن ان توصف بدلالة ما يسمى «مجال الرؤية اللحظى» Field of Instantaneous view وهو تعبير عن الفترة الزمنية التى يمكن من خلالها للجزء الحساس ان يعيد رصد الأجسام.

وتنقسم أنواع الأقمار الصناعية من حيث طريقة الدوران حول الأرض إلى نوعين:

أ- أقمار صناعية قطبية دوارة (Polar Orpital Satellites) وهى اقمار تدور من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى وهى ذات مدارات قريبة من سطح الأرض وبعض هذه الأقمار متزامن مع الشمس Sun Synchronous أى يمر على أى نقطة على سطح الأرض فى زمن ثابت وبعض هذه الأقمار غير متزامن مع الشمس.

ب- أقمار ثابتة Geo Stionary Satellites وهى أقمار تدور حول الأرض فى مدارات موازية لخط الاستواء وبسرعة دوران ٣٦٠٠٠كم تقريبا ويتضح فى (شكل ٢) أنواع الصور الملتقطة بواسطة أقمار الأرصاد الجوية.

١- الصور الملتقطة بالأشعة المرئية (Visible Imagery) وهى صور تعبر عن مدى انعكاسية الأرض والماء والسحب. وتستخدم أطوال الأمواج الآتية فى إنتاج هذه الصور.

٠,٥٥ – ٠,٧٢ ميكرون فى الأقمار الأمريكية الثابتة (Geos) & ٠,٤٠ – ١,١ ميكرون فى القمر الأوروبى (Eumetsat) ٠,٦٨ – ٠,٥٨ ميكرون فى الأقمار الأمريكية القطبية (Noaa) وتعتمد انعكاسية السحاب بوجه عام على السمك والمحتوى المائى وطبيعة وحجم وتوزيع مكونات السحب كما تتوقف أيضا على طبيعة قمة السحب ويوضح الجدول الانعكاسية لبعض السحب والأجسام.

السحاب الركامى المزن	٩٢٪
السحاب الركامى	٦٨٪
السحاب الطبقى	٤٢٪
الرمل	٢٧٪
المحيط	٧٪

٢- الصور الملتقطة بواسطة الأشعة تحت الحمراء Infra red وهى صورة تعبر عن كمية الحرارة المنطلقة من الأجسام باعتبارها أجسام سوداء Black body الصورة تمثل توزيع الحرارة على سطح الأرض وقمم السحب حيث يوجد تناظر بين كمية الإشعاع التى تصل إلى القمر وبين درجة الحرارة فكمية الإشعاع القليلة تناظر درجة حرارة منخفضة.

وتستخدم أطوال الامواج الآتية فى إعداد هذا النوع من الصور ١٠,٣ – ١١,٣ ميكرون فى الأقمار الأمريكية الثابتة (Geos)

١٠,٥ – ١٢,٥ ميكرون فى القمر الأوروبى (Eumetsat) ١٠,٥ – ١١,٥ ميكرون فى الأقمار الأمريكية القطبية (Noaa) وقد اختيرت هذه الأجزاء من طيف الأشعة تحت الحمراء لأنها ذات نفاذية عالية فى الغلاف الجوى أى ضعيفة الامتصاص Windows.

٣- صور توزيع بخار الماء Water vapour (WV) وهى صورة توضح توزيعات بخار الماء فى الطبقة المتوسطة من التروبوسفير وهى تعتمد أساسا على الامتصاص القوى لبخار الماء فى الجزء من الطيف الذى يمتد من:

٥,٦ – ٧,٠ ميكرون Geos

٥,٧ – ٧,١ ميكرون Eumetsat

وعلى ذلك يصمم الجزء الحساس أو الكشيف لرصد الطيف فإذا كان الهواء الجوى جافا فإن ما يصل إلى الكاشف من كمية إشعاع من هذا الجزء تكون كمية كبيرة «حرارة عالية» أما فى حالة الغلاف الرطب فإن الامتصاص يكون كبيرا ومن ثم فإن ما يصل إلى الكاشف من إشعاع تكون كميته قليلة «حرارة منخفضة».

القمر الأرضى Landsat

هو قمر صناعى منخفض الارتفاع تقريبا وقد بدأت برامجه الأولى عام ١٩٧٢ بواسطة وكالة الفضاء الأمريكية Nasa وهذه الأنواع من الأقمار متخصصة فى اقتناء البيانات على شكل رقمى وقد صممت تلك الأقمار لكى تعمل فى مناطق من الطيف الكهرومغناطيسى بهدف مراقبة المناطق الزراعية أساسا وهناك أنواع متعددة من الأقمار الأرضية ونخص بالذكر منها الماسح «المتفرس» متعدد الطيف (Mss) Multispectral Scanner وهو على ارتفاع ٩٠٥كم وذو قدرة على التمييز المحلى (Spatial (Resolution ٧٩ × ٥٧ متر مع مجال رؤية لحظى Ifov ٧٩ × ٧٩ متر وهذا القمر يحتوى على عدة كواشف تعمل على عدة أجزاء من الطيف فأهمها ما يعمل ما بين ٠,٦ – ٠,٧ ميكرون وهو يمثل أهم أجزاء من الطيف التى تستخدم فى التمييز بين الأنواع المختلفة من النباتات حيث إن هذا الجزء «اللون الأحمر» يمتص بواسطة الكلوروفيل الموجود بالنبات الأخضر كما يستخدم الجزء من الطيف ٠,٧ – ٠,٨ ميكرون منطقة الانعكاس للأشعة تحت الحمراء بصفة خاصة لتقدير كمية النبات كما يستخدم للتفرقة بين النبات والتربة وبين الماء واليابس وهناك قمر صناعى أرضى آخر متعدد الطيف ذو تمييز ٣٠ × ٣٠ وهو يستخدم الأشعة المرئية أو تحت الحمراء ولتمييز التربة من النبات يستخدم الجزء من الطيف ٠,٤٥ – ٠,٥٢ ميكرون كما يستخدم لرسم الخرائط الزراعية هذا ويتميز جزء الطيف ٠,٧٦ – ٠,٩ ميكرون «انعكاسية تحت الحمراء» بحساسية خاصة لكمية الماء فى النبات ولذلك يستخدم لدراسات الجفاف التى يتعرض لها النبات كما أن جزء الطيف الذى يمتد من ١٠,٤٠ – ١٢,٢٥ ميكرون ذات استخدام هام ومفيد خاصة تحديد شدة الحرارة وأماكن انتشار المبيدات الحشرية وتحديد الأماكن كثيفة المحاصيل وهناك ايضا القمر الفرنسى «البقعة» Spotوهو قمر متعدد الطيف وعلى ارتفاع ٨٣٢كم ويمكنه مشاهدة نفس المنطقة كل ٢٦ يوم وحيث أنه يرصد بزاوية مائلة (Off - Nadir) ايضا فإنه يمكنه رصد نفس المنطقة كل ثلاثة أيام، ويتميز هذا القمر بأن هذه الرؤية المائلة يمكن التحكم فيها من خلال الأجهزة الأرضية وهى مفيدة جدا فى ما يكون لوقت اقتناء المعلومات أهمية قصوى كما فى حالة الكوارث الطبيعية أو الكوارث المصنوعة بواسطة الإنسان ويستخدم هذا القمر نفس أطوال الأمواج

التى سبق الإشارة إليها وهناك أيضا مجموعة اقمار الـ Noaa And National Oceanic Administration وهى اقمار قطبية صممت بصفة خاصة لتطبيقات الأرصاد الجوية ولكنها يمكن أن تقوم مهام أخرى مفيدة فى مجال الزراعة ودراسة المحيطات وهى على ارتفاع ٨٣٢ كم تقريبا وبعضها مزود بأجهزة ذات قدرة تحليل عالية Avhrr (Advanced high resolution radiometer) وهناك نوعان من هذه الأجهزة عالية التحليل.

١- أجهزة ذات قدرة تحليل محلى ١,١ × ١,١ (كم Local Area Coverage (Lac).

٢- أجهزة ذات قدرة تحليل محلى ٤,٤ × ٤,٤كم Global Area (Gas) Coverage وهذه الأجهزة عالية التحليل تستخدم فى رسم الخرائط للمناطق المغطاة بالثلوج ومراقبة الفيضانات ورسم الخرائط لتوزيع النباتات وتحليل رطوبة التربة ورصد عواصف التربة الرملية وتستخدم الـ Noaa نفس أطوال الامواج السابق ذكرها ويمكن أن ترى سطح الأرض كله كل اربعة وعشرون يوما ونصف تقريبا وتتميز هذه الاقمار بأنها تحمل أجهزة قد لا تتوفر على المستوى المحلى كما تتميز بقدرتها الكبيرة على تخزين بيانات تاريخية تستخدم فى الدراسات المناخية التطبيقية Applications.

أولا: تصنيف السحب وتوزيعات الضغط هناك مجموعة من القواعد والمهارات التى تستخدم فى تفسير صور الأقمار الصناعية فى مجال الارصاد الجوية والهدف من هذه القواعد هو تصنيف السحب حيث إن السحب هى احد أهم المظاهر المرئية لما يحدث فى الغلاف الجوى من عمليات فيزيائية أو ديناميكية كما أن الصور تستخدم للتعرف على احوال الطقس السائدة من خلال معرفة توزيعات الضغط.

كما أن هناك إمكانية لتقدير بعض عناصر الطقس بطريقة رقمية مثل سرعة واتجاه الرياح السطحية أو كمية الأمطار، فيما يلى تعريف مبسط لهذه القواعد:

١- اللمعانية «الاستضاءة» Brightness وهى تعبر عن درجة انعكاسية السحب للضوء المرئى فى حالة الصور الملتقطة بواسطة الضوء المرئى (Vis) فاللمعانية الشديدة تعد بصفة عامة مقياسا للسحب ذات الامتداد الراسى الكبير وبالتالى محتواها المائى الكبير على الأمطار.

٢- النسيج Texture وهو يمثل درجة نعومة السطح العلوى للسحب.

ونظرا لأن نظام الرصد العالمى يتكون من مجموعة من الأجهزة والمعدات المثبتة على سطح الأرض وأخرى مثبتة فى الفضاء الخارجى والتى منها منظومة الرصد بالاقمار الصناعية التى فى تطور دائم ليس فقط بسبب العمر الافتراضى للقمر ولكن أيضا بسبب التقنيات المستخدمة فى الرصد من الفضاء.

ونظرا لما يتمتع به مرفق الأرصاد الجوية المصرية من تاريخ عريق على المستوى الدولى والإقليمى فقد تقدمت وكالة الفضاء الأوروبية لأقمار الرصد الصناعية بطلب لهيئة الأرصاد الجوية بشأن إمكانية استضافة حلقة عمل معلوماتية عن إمكانات واستخدام ومواصفات الجيل الثانى من أقمار الرصد الصناعية الخاصة برصد الغلاف الجوى ومكوناته.

شكل (٢)

اسم القناة	الطول الموجى الرئيسى (ميكروميتر)	امتداد الطول الموجى (ميكروميتر)	الاستخدام الأساسى
٠,٦ أشعة مرئية	٠,٦٣٥	٠,٥٦ - ٠,٧١	رصد السحاب وتحديد مساره ومراقبة سطح الأرض والملوثات ومعاملات الخضار للنباتات.
٠,٨ أشعة مرئية	٠,٨١	٠,٧٤ - ٠,٨٨	للتميز بين السحب والثلوج وبين الماء والثلوج.
٣,٩ تحت الحمراء	٣,٩٢	٣,٤٨ - ٤,٣٦	رصد الضباب والسحب منخفضة القاعدة ليلا وقياس درجة حرارة الأرض والماء ليلا ومراقبة حرائق الغابات.
٦,٢ امتصاص بخار الماء	٦,٢٥	٥,٣٥ - ٧,١٥	حساب كمية بخار الماء فى منتصف التروبوسفير ورصد حركة الرياح.
٧,٣ امتصاص بخار الماء	٧,٣٥	٦,٨٥ - ٧,٨٥	حساب كمية بخار الماء فى منتصف التروبوسفير ورصد حركة الرياح.
٧,٨ الأشعة تحت الحمراء	٨,٧	٨,٣ - ٩,٩٤	لإعطاء بيانات عن السحب العالية القاعدة للتفريق بين محتوى السحب من كونها ماء او ثلج.
٩,٧ الأشعة تحت الحمراء	٩,٦٦	٩,٣٨ - ١١,٨	تركيز غاز الأوزون وتغيراته اليومية.
١٠,٨ الأشعة تحت الحمراء	١٠,٨	٩,٨ - ١١,٨	حساب درجة حرارة الأرض ودرجة حرارة قمم السحب ودراسة استقرار الغلاف الجوى.
١٢ الأشعة تحت الحمراء	١٢	١١ - ١٣	حساب درجة حرارة الأرض ودرجة حرارة قمم السحب ودراسة استقرار الغلاف الجوى.
١٣,٤ الأشعة تحت الحمراء	١٣,٤	١٢,٤ - ١٤,٤	امتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون.
٠,٧ الأشعة المرئية دقيقة التحليل	٠,٧	٠,٥ ٠,٧	أشعة مرئية عالية التحليل

مميزات الجيل الثانى من أقمار الرصد الصناعية وهى استخدام إثنا عشر قناة إشعاعية للرصد من الأشعة المرئية وتحت الحمراء من طيف الشمس بدلا من النظام الحالى الذى يتكون من ثلاث قنوات فقط مما يتيح إنتاج كمية أكبر من البيانات المتنوعة كما يتمتع الجيل الثانى بميزة رصد الغلاف الأرضى كل خمسة عشر دقيقة بدلا من ثلاثين دقيقة.

الأهداف الرئيسية لهذا الجيل من الأقمار الصناعية هو المساعدة فى تحسين خدمات التنبؤات بالطقس وذلك من خلال التنوع الملحوظ فى المنتجات خاصة التنبؤات القصيرة جدا Nowcasting والتى غالبا ما تكون هناك صعوبة فى إجرائها نظرا لضرورة تمثيل الظروف المحلية تمثيلا جيدا وفى هذه الحالة يمكن أن تكون حركة الصور المتتابعة Animation مفيدة جداً. هذا ويتميز الجيل الثانى من الأقمار الصناعية بخاصية النظر إلى العالم بعيون الطيور فمن الممكن أن تلتقط صورة لحظية للطقس فى جميع انحاء العالم فى نفس اللحظة من خلال خاصية الاتصال بالأقمار الأخرى كما تؤدى خاصية زيادة عدد الصور الملتقطة يوميا من ٤٨ صورة إلى ٩٦ صورة إلى دقة مراقبة الاعاصير المدارية المدمرة.

كما لا يفوتنا فى هذا المقام الإشارة إلى أهمية البيانات المستخرجة من هذا الجيل من الأقمار الصناعية فى الدراسات المناخية مثل دراسة ميزانية الإشعاع للأرض والغلاف والتحقق من صلاحية نماذج التنبؤ بالمناخ وعناصره خاصة الأمطار والفيضانات والجفاف والتصحر ومراقبة غازات الاحتباس الحرارى كالأوزون وثانى أكسيد الكربون ومراقبة درجة حرارة سطح الأرض والبحر والبراكين وحرائق الغابات وخرائط توزيع النباتات على سطح الأرض

أقمار الأرصاد الجوية

أدركت دول كثيرة الفائدة المباشرة التى تعود عليها من أقمار الأرصاد الجوية فاطلقت عدة دول ومنها دول نامية اقمارها الخاصة بالارصاد، ومن هذه الدول اليابان واوروبا والهند وهذه الأقمار أقمار ساكنة ويغطى كل منها منطقة معينة، ولذلك تستفيد منها مباشرة دول معينة أو مجموعة من الدول تكون هى عادة التى ستتولى إطلاق القمر الصناعى وتحمل نفقاته.

وتغطى هذه الأقمار فى مجملها الكرة الأرضية كلها، وتنقسم إلى مجموعتين متكاملتين.

المجموعة الأولى: فى مدار ثابت جغرافيا عند خط الاستواء وتتكون من خمسة أقمار وهى موزعة على النحو التالى:

١- Goes الشرقى والغربى قمران أطلقتهما الولايات المتحدة على المدار الثابت جغرافيا Geostionary ويغطيان أمريكا الشمالية والجنوبية والمحيط الهادى والغربى، وقد أطلق من مجموعة Goes سبعة أقمار فى الفترة من ١٩٧٥ إلى ١٩٨٧.

٢- متيوسات Meteosat خمسة أقمار فى الفترة من ١٩٧٧ إلى ١٩٨١ وتتعدد الإطلاق فى حالة تعطل بعض وظائف القمر أو استبداله بعد انتهاء عمره الافتراضى.

٣- إنسات Insat قمر هندى فى مدارات ثابتة حول خط الاستواء «المدار السابق نفسه» ويغطى شبه القارة الهندية والمحيط الهندى وجزء من اسيا، من ١٩٨٢ إلى ١٩٨٨ ثم Insat2 فى ١٩٩٠.

٤- سلسلة أقمار Gms اليابانية أطلق منها Gms3، Gms2، Gms1 فى الفترة من ١٩٧٧ إلى ١٩٨٤ وتغطى المحيط الهادى الغربى واستراليا.

المجموعة الثانية: فى مدار قطبى عمودى على المدار الاستوائى الثابت وتتكون من الأقمار الآتية:

١- تروس Trios أمريكى على ارتفاع ٨٠٠ كيلو، وقد أطلق منه سبعة أقمار.

٢- Noaa قمران أمريكيان على الارتفاع نفسه تقريبا ويعطيان بيانات جوية لكل الكرة الأرضية كل ست ساعات.

٣- ميتور Meteor روسى على ارتفاع ٨٠٠كم تقريبا فى مدار قطبى، وقد أطلق من Meteorl ثلاثون قمرا فى الفترة من ١٩٦٩ إلى ١٩٧٨ وتلاه برنامج MeteorII - MeteorIII.

التعاون الدولى فى مجال الأرصاد الجوية

بطبيعة الحال فإن الظواهر الجوية متعدية للحدود الوطنية للدول، ولذلك فإن التعاون الدولى فيها أمرا مطلوب وطبيعى فى احيان كثيرة ضرورى، ويرجع التعاون الدولى فى الأرصاد الجوية إلى ما قبل الأقمار الصناعية، ولذلك ليس من الغريب أن يستمر بنجاح فى عهد الأقمار الصناعية، ومن ناحية أخرى فإن الأقمار الصناعية عالية التكلفة وتغطى مساحات تفوق بكثير حدود دولة معينة ولذلك ليس هناك معنى لتحمل دولة واحدة نفقات قمر صناعى.

بدأ التعاون فى مجال الأرصاد الجوية مبكرا بالمقارنة بكثير من صور التعاون الدولى الأخرى بسبب علاقة الأرصاد الجوية بالحركة البحرية التجارية، ففى عام ١٨٥٣ عقد اجتماع للدول المطلة على البحار لتطوير نظام لمراقبة الطقس فوق المحيطات، وفى نفس الوقت بدأت البلدان البحرية المختلفة بالاهتمام بتاسيس وحدات قومية لخدمة الأرصاد الجوية ولتنسيق برامج الأرصاد الجوية عالميا فى عام ١٨٧٣ المنظمة العالمية للأرصاد الجوية World Meteorological Organization WMO ومقرها جنيف.

وتختص بالبرامج الخاصة بجمع ومعالجة المعلومات المتعلقة بالأرصاد الجوية على مستوى العالم، وهناك فى الوقت نفسه برامج ثنائية وإقليمية متعلقة بالأرصاد الجوية.

واستفادت خدمات الأرصاد الجوية من التقدم العلمى الذى حدث فى القرن الأخير حيث بدأت تطورات الغلاف الجوى، واستخدامات البالونات والمناطيد والطائرات فى الحصول على معلومات عن طبقات الجو المختلفة، وفى الوقت نفسه أنشىء نظام عالمى متكامل من المحطات الأرضية والسفن البحرية لمراقبة الجو وتبادل المعلومات عنه بشكل منتظم، وفى عام ١٩٦٣ قامت المنظمة بإنشاء نظام مراقبة للجو على مستوى العالم يسمى World Weather Watch وتساهم فيه جميع دول العلم، وتوجد اليوم نحو ٩٠٠ محطة مراقبة أرضية ونحو ٧ آلاف سفينة مراقبة تطوعية وتغطى مراقبتها جميع المحيطات بالإضافة إلى تقارير الطائرات التجارية والتى ترسل فى الوقت الحاضر نحو ١٠ آلاف تقرير فى اليوم الواحد.

وبدخول الأقمار الصناعية أضيف

عنصر جديد وتقنيات جديدة إلى وسائل مراقبة الجو، ودخول هذا العنصر بإمكانياته الكبيرة فى شبكة الأرصاد الجوية العالمية.

من ناحية أخرى هناك منظمات إقليمية للتعاون فى استخدام الأقمار الصناعية فى الأرصاد الجوية فى مناطق معينة مثل أوروبا وشرق اسيا

ومن المنظمات الإقليمية المختصة باستخدام الأقمار الصناعية فى الأرصاد الجوية منظمة Eumetsat التى أنشئت فى ٢٤ مايو ١٩٨٣ بهدف إنشاء وتشغيل شبكة أقمار الأرصاد مبنية على شبكة أقمار «متيوسات» الاوروبية.

ويوجد تعاون بين المنظمات الإقليمية المختلفة فمثلا حدث عام ١٩٨٩ عطل فى إحدى الأقمار الصناعية التى تغطى الولايات المتحدة، وجرى أثر ذلك اتفاق مع وكالة الفضاء الاوروبية على تحريك قمر متيوسات Eumetsat الى خط طول ٧٥ درجة غربا لتغطية السواحل الشرقية والغربية للولايات المتحدة ويمكن القول إن الأقمار الصناعية برؤيتها الشاملة من أعلى أصبحت الآن جزءا رئيسيا من نظام الأرصاد الجوية العالمى ، ومكملة بذلك سلسلة من التطورات التقنية التى تمكن الإنسان من التعامل مع الطقس وتوقع تغيراته بدقة لتجنب كوارثه واخطاره.

استنباط التوزيع الرأسى لحرارة الغلاف الجوى

تحديد التوزيع الرأسى لحرارة الغلاف الجوى يعطى معلومات موثقة لمختلف العناصر الجوية الاخرى، بناء على هذه الحقيقة استخدمت طرق عديدة لمعالجة تلك المشكلة.

ومن أوائل هذه المحاولات محاولة كابلان Kaplan وغيره من خلال حل نظام من المعادلات الخطية عادة ما تكون معاملات مصفوفات.

وسوف نشرح أهم الطرق لاستخراج درجة الحرارة بطريقة التكرارية.

وهذه الطريقة اقترحت بواسطة شاين Chaine حيث استخدم نظرية القيمة المتوسطة لحل المعادلة التكاملية للانتقال الإشعاعى انظر معادلة (١).

$$B(\gamma,T) = C_1\gamma^3/[EXP(C_2\gamma/T)-1]$$

و C_2 & C_1 ثوابت

I كمية الإشعاع التى تصل للقمر الصناعى عند تردد γ

P الضغط الجوى عند مستوى قياس الإشعاع

Po الضغط الجوى عند مستوى سطح الأرض

$\frac{d\tau}{d\ln p}$ دالة وزنيه

وفى المعادلة (١) فإن قدرة السطح النسبية على إطلاق الحرارة بالإشعاع (Emissivity) وحدة القياس.

واستخراج (v.T(p)) B خارج علامة التكامل ممكن بسبب أن بعض مجالات التردد لانتقالات I بين أى مستوى جوى لمستشعر القياس يعتمد على التردد والارتفاع وعلى هذا فإن التكامل الموجود فى المعادلة (١) يحصل قيمة عظمى عند ارتفاعات مختلفة تبعا للتردد وكنتيجة منطقية لنظرية القيمة المتوسطة يكون التغير فى الإشعاع المنطلق بتردد V_j ويكون التغير فى دالة بلانك plank عند مستوى الضغط الجوى P_j يمكن التعبير عنه بالمعادلة (٢) حيث T ، T عند صورتين مختلفين P_j هو الضغط الجوى عند مستوى مختار يحقق إسهاما فى التكامل بالمعادلة (١) لجعل $I(V_j,p)$ يعطى القيمة العظمى أو فعليا يعرف بالمعادلة (٣) فى النطاق الفعال لدوال الوزن.

ولأنه يوجد بعض الترددات مع توهين عالى $\Delta_j \ln p$ يبقى صغيرا بالمقارنة مع الأبعاد المناظرة للسمك العملى للغلاف الجوى وحيث إن دالة بلانك تعتمد على تغيير درجة الحرارة أقوى من $\delta t/\delta \ln p$ وبذلك يمكن تقريب المعادلة (٢) لتكون على صورة معادلة (٤) عندما يكون مساهمة الإشعاع المنطلق فى الحد Bτ ممثلا سنحصل على المعادلة المبسطة (٥) وعلى ذلك المعادلة (٤) عبرت فى صورة سهلة للتطبيق وعلى سبيل المثال فى حالة الهالة النورانية E يكون عدد المستويات الرأسية التى يمكن حساب الحرارة عندها محددة بسبعة مستويات لأن عدد قنوات القياس عند نطاق التردد الموجى $15_N C_{02}$ عددهم سبعة ويمكن تقسيم هذه المستويات كالآتى.

١- ٢ مستوى فى التربوبوز

٢- ٢ مستوى فى الاستراتوسفير

٣- ٣ مستوى فى الميزوسفير

ظاهريا عدد المستويات السبعة غير كاف لوصف التوزيع الرأسى للحرارة.

استخدم سميث وفليمنج طريق أخرى هى فى حالة الغلاف الجوى غير المشتت فى الاتزان الثيرموديناميكا يكون الإشعاع الطيفى المرصود عند قمة الغلاف الجوى العلاقة عند رقم موجى γ_j يعطى من العلاقة رقم (٦).

حيث Ts هى درجة حرارة سطح الأرض بكتابة هذه المعادلة فى صورة التكرارت حيث J عدد التكرارات على الصورة رقم (٧) نفرض أن أول حد دائما يكون صغيرا ويمكن إهماله ونفرض أن كل I_j والفرق بين $(B^{j-1}-B^j)$ يكونوا مستقلين فى دالة الانتقالية γ_j المرصود.

أى أن مستقلين عند الضغط لطبقة الغلاف الجوى المحسوسة حيث نصل للمعادلة التكرارية (٨).

حيث $I^{obs}(\gamma_j)$ هى القيمة المرصودة للإشعاع فى القناة ويكون أفضل توقع للفرق $\{I^{obs}(\gamma_j) - I^{j}(\gamma_j)\}$ حقيقة هو المتوسط الموزون لكل القنوات المستخدمة وعلى هذا نبدأ مع التوقع السابق للصور الجانبية للحرارة عند عدد من المستويات ونعمل على تحسين الحل الآتى (٩).

حيث الرمز (n) من الخطوات من النظام التكرارى، r&b انحراف درجة حرارة الهواء والشعاع المرصود من القيم المحسوبة بخطوات النظام التكرارى (Iteration) وعلى هذا تكون أول خطوة من النظام التكرارى ان الفرق بين القيم المتوقعة للحرارة والقيم المناظرة المحسوبة من الإشعاع.

وتكون معاملات المصفوفة فى معادلة (١٠).

حيث $A = (a_{ij})$ هى مصفوفة دوال الوزن، D هى المصفوفة القطرية التى تحتوى على عناصر القطر (١٠-) D هى المصفوفة القطرية التى تحتوى على عناصر القطر المذكور فى المعادلة (١١) حيث m رقم الترددات المقاسة n هى عدد المستويات المأخوذة فى الاعتبار.

جدول نوات الإسكندرية

الأسكندرية	الحـــــدوث						الـهـطـول			البـــخـــر			سطوع الشمس			سرعة الرياح			حـــــرارة (م°)					
نـــوات	الفترة						مم/يوم			بيتش			ساعه			عقـــده			صغرى			عظمى		
	عدد	نسبة	من		إلى																			
	أيام	٪	يوم	شهر	يوم	شهر	أقل	أعلى	متوسط	أقل	أعلى	متوسط	أقل	أعلى	متوسط	أقل	أعلى	متوسط	أقل	أعلى	متوسط	أقل	أعلى	متوسط
الصليبه	3	30	10	17	10	24	0.1	37	4	2	9	5	2	10	7	13	48	27	14	24	18	22	29	25
غسيل البلح	2	36	10	30	11	2	0.1	32	5	2	14	6	1	10	6	13	44	22	11	22	15	15	31	21
باقى غسيل البلح	2	32	11	7	11	12	0.1	42	5	1	8	4	0.5	10	5	13	45	24	7	18	15	15	29	23
المكنسه	2	49	11	17	11	24	0.1	50	7	2	16	4	0.6	9	6	11	44	24	6	19	14	16	28	23
باقى المكنسه	2	55	11	26	11	29	0.1	27	4	1	8	4	0.6	10	5	13	46	27	10	16	13	17	24	21
قاسم	2	63	12	2	12	5	0.1	54	7	1	8	6	0.2	8	6	11	50	24	9	17	12	16	24	20
باقى قاسم	3	50	12	7	12	13	0.2	38	5	1	13	4	0.1	9	5	8	58	27	4	16	11	14	24	19
الفيضه الصغيرة	3	46	12	16	12	19	0.1	52	7	2	10	3	0.2	9	4	8	53	25	4	14	10	13	24	19
باقى الفيضه الصغيرة	2	55	12	21	12	25	0.1	30	5	1	7	3	0.1	10	4	9	52	24	4	16	10	14	24	18
عيد الميلاد	2	60	12	27	12	30	0.1	30	4	1	11	4	0.4	9	5	10	51	25	5	16	10	14	23	18
رأس السنة	3	63	1	1	1	5	0.1	50	6.4	1	11	4	0.4	10	6	11	50	25	4	15	10	12	22	18
الفيضه الكبيرة	4	46	1	8	1	15	0.1	38.8	5.5	1	12	3.6	0.1	9.5	4.4	8	64	26.5	2.2	15.3	10	11	21.6	17.5
الفطاس	2	80	1	17	1	19	0.1	15.5	2.9	1	8.7	3.8	0.1	9.9	4.6	9	55	28	5.1	13.9	9.7	13.7	21.8	17.3
الكرم	3	65	1	22	1	26	0.1	42.6	5.6	0.6	9.8	3.8	0.4	9.6	4.5	10	44	26	3.8	14	9.2	12	21.6	16.9
باقى الكرم	7	69	1	31	2	12	0.1	16.7	3.6	1	10	3.8	0.1	9.9	5	11	57	28	2.2	14.5	9	11	25.3	17
الشمس الصغيرة	3	44	2	14	2	18	0.1	22.6	3.8	1.2	15	5.5	0.1	10	5.3	13	52	29	6.9	15.3	10.2	10	26.5	18
باقى الشمس الصغيرة	2	49	2	22	2	25	0.1	16	2.3	1	10.2	4.2	0.3	10	5.3	9	45	27	3.9	14.5	9.8	12.2	20.5	17.2
السلوم	2	48	3	1	3	5	0.1	21.1	3.2	1	6.8	4	0.2	10	4.8	13	56	30	5	14.1	9.5	12	27.7	17.9
الجسوم	4	68	3	7	3	12	0.1	13.6	2.8	1	15	5	0.1	10	5	10	51	29	3.3	16.5	11	11.9	34.6	19
الشمس الكبيرة	5	83	3	18	3	23	0.1	17.2	2.6	1.4	15	6.6	0.1	11	5.6	12	52	28	3.7	18	12	16.7	31.7	21
العوة	2	58	3	31	4	3	0.1	5.6	1.6	2	7.2	4	0.7	11	5.1	12	36	24	7.6	15.8	13.6	18	35.4	22.3
الربيعية الثانية	1	50	4	13	4	15	2	26	4	2.2	11	6.8	2	11	5.6	18	61	31	14	19	17.1	17.5	37.4	24.1
الربيعية الثالثة	1	55	5	3	5	5	1.6	17.6	3	1.2	11.2	7.9	0.2	11	5.7	18	48	28	15	25	16.9	22	38.5	26.6

اعداد/أ.د محمد محمود عيسى
١٩٩٤

$$B^{j-1}(\nu_i, P) = B^j(\nu_i, P) + [I^{obs}(\nu_i) - I^j(\nu_i)] \quad \ldots \quad (8)$$

$$b^{n-1} = Cr^{(n)} \quad (9)$$

$$C = DA^T \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$d_{jj} = 1/\left(\sum_{i=1}^{m} a_{ij}\right) \qquad j=1,\ldots,n \qquad \ldots \quad (11)$$

$$I(\nu,P) = B[\nu,T(P_o)\,\tau(\nu,P_o) + \int_{\ln P_o}^{\ln \bar{P}} B[\nu,T(P)]\frac{d\tau}{d\ln P}\,d(\ln p) \quad (1)$$

where

$$B(\nu,T) = C_1\,\nu^3/]EXP(C_2\nu/T)-1].$$

C_1 and C_2 are constants,

I is the radiance reaching the satellite at a frequency ν,

$$\frac{I(\nu_j,\bar{P}) - (B.\tau)_o}{I\,(\nu_j,\bar{P}) - (B.\tau)_o} = \frac{B[\nu_j,T(P_j)]\,(\partial\tau/\partial\,\ln p)P_i\Delta_i\ln P}{B[\nu_j,T'(P_j)]\,(\partial\tau/\partial\,\ln p)P_j\Delta_i\ln p} \quad (2)$$

$$\Delta_j \ln P = \frac{I(\nu_j,\bar{P}) - B[\nu_j,T(P_o)]\;\tau(\nu_j,P_o)}{B[\nu_j,T(P_j)\,]\,(\partial\tau/\partial\,\ln P)\,P_j} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

$$\frac{I\,(\nu_j,\bar{P}) - (B\tau)_o}{I'\,(\nu_j,\bar{P}) - (B\tau)'_o} = \frac{B[\nu_j,\,T\,(P_j)]}{B[\nu_j,\,T'(P_j)]} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$\frac{I\,(\nu_j,\bar{P})}{I'(\nu_j'\,P)} = \frac{B[\nu_j,\,T\,(P_j)]}{B[\nu_j,\,T'\,(P_j)]} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$I(\nu_i) = B(\nu_i,T_s)\,\tau(\nu_i,T_s) - \int_{1}^{\tau(\nu_i,T_s)} B(\nu_i,T)\,d\tau(\nu_i,T) \quad (6)$$

$$I(vi) - I^j(\nu_i) = \left(B^{j-1}(I_j,\,T_s) - B^j(I_j,T_s)\,)\right)\tau(I_j,\,T_s) - \int_{1}^{\tau\;(\nu,T_s)} \left(B^{j-1}(\nu_j,P) - B^j(\nu_j,P)\right) d\tau(\nu_1,P) \quad (7)$$

المراجـــع:

١- الفضاء الخارجى واستخداماته السلمية.
- د. محمد بهى الدين عرجون
٢- مجلة الأرصاد الجوية
- أ/ حسن عبد التواب أبو طالب
- أ/ عـلى الســيد قطــب
٣- بحــث
- للأستاذ الدكتور/ إسماعيل عمرو اسماعيل