

المظاهر المناخية للدورة الهيدرولوجية - باستخدام بيانات الأقمار الصناعية

توطئة

قد بات معلوماً أن استخدام البرامج المتطورة للاستشعار عن بعد يعد أحد أهم تطور حدث في نظام الرصد البيئي وأكبرها عبر التاريخ. ومن المؤكد أن استخدام الأقمار الصناعية لرصد بيئة الغلاف الجوي قد أضاف بُعداً جديداً في أبحاث ودراسات الطقس والمناخ. ويناقش هذا الفصل استخدام صور الأقمار الصناعية وتحليلها علمياً لتحديد مدى مساهمتها في فهم واستنباط البيانات التي تفيد في الحصول على المعلومات الخاصة بعناصر مناخية أخرى .

مقدمة

إن مصطلح الاستشعار عن بعد قد أصبح شائعاً في العصر الحديث. وبالرغم من أن أغلب تطبيقاته تعتمد على الصور التي تنقلها الأقمار الصناعية في مدار الأرض ، إلا أنه فعلياً طوقاً لا نهائياً لأحد مظاهر المراقبة البيئية . هذا ويعد الاستشعار عن بعد استشعاراً حول المعلومات الخاصة بأحد الموضوعات باستخدام بعض التقنيات البعيدة نسبياً . ويعد اختراع الكاميرا أمراً حيوياً لتطوير أداة تسجيل الاستشعار عن بعد. وبعد انقضاء فترة زمنية طويلة على اختراع الكاميرا البيئية - التي يطلق عليها نظام الرؤية البصرية - فإنه بات من الممكن تصوير لون عيون الطيور على سطح الأرض . ومن الجائز القول، أن أول تصوير فوتوغرافي جوي قد أخذ في باريس سنة ١٨٥٥ حينما وضع العالم الفرنسي G-F Tournachon كاميرا طائرة في بالون. وقد كانت الصور التي التقطها عبارة عن صور سطحية متحركة لسطح الأرض ، ويمثل استخدامها بدايات تطوير الصور الأخرى التي أدت بالتالي إلى زيادة درجة نقاء التصوير الجوي .

وبعد استخدام البالونات ، تم تثبيت الكاميرا في الطائرات لتمدنا بصور مسحية للأرض . وأخذت الكاميرات والطائرات المستخدمة في التطور لتصبح أكثر تعقيداً بمرور السنين. وأصبحت الطائرات التي تحلق على ارتفاعات منخفضة مزودة بوسائل تتحكم في مساراتها لتخفيض شدة الاهتزازات الناتجة عن حدوث أي اضطرابات . أما الطائرات التي تحلق على ارتفاعات عالية ، فأصبحت تحلق على

ارتفاعات أعلى من نطاق الاضطرابات حاملة معها كاميرات متطورة بدرجة ثبات مرتفعة . وتنتج مثل تلك الآلات الحديثة أفلاماً يمكن تكبيرها لتظهر تفاصيل دقيقة بالرغم من الارتفاع الذي النقطة منه تلك الصور . وبالتزامن مع ذلك، فإن تلك الأقمار سواء التي تحمل إنساناً أو تلك الأخرى الآلية تثبت في مدار حول الأرض، وتلتقط صوراً مسطحة شديدة الدقة والتفصيل لسطح الأرض. وفي تلك الأثناء، حدث تطوراً آخر في نماذج وأسلوب التصوير. هذا وتجدر الإشارة، إلى أن الكاميرا العادية تسجل صوراً بسيطة كذلك التي يمكن رؤيتها بالعين البشرية، أي إنها تسجل الضوء. وإذا كانت الصور يمكن التقاطها بواسطة الضوء، فإنه على الجانب الأخر يمكن التقاطها بواسطة ألطيف الكهرومغناطيسي . وهكذا فإنه تم تطوير الآلات المستخدمة بحيث يمكن أن تصور الإشعاع غير المرئي حتى وإن كانت حاملة لكاميرات تقليدية. ومن ثم، أصبح لدينا شكلين من البيانات المتاحة للاستشعار عن بعد، تلك المرئية والأخرى غير المرئية باستخدام الطيف الكهرومغناطيسي .

الأقمار الصناعية

قد بدأ برنامج الولايات المتحدة الأمريكية سنة ١٩٥٩ حينما تم انطلاق الأقمار الصناعية المعروفة بـ Vanguard & Explorer. وفي سنة ١٩٦٠، قد تم تصميم الأقمار الصناعية الخاصة برصد الأحوال المتيورولوجية وأطلق عليها الأقمار الصناعية التليفزيونية وتحت الحمراء للرصد Television & Infrared "TIROS" Observational Satellite، وقد تم تثبيتها في مدار حول الأرض . وقد تبع ذلك وعلى مدار عقد من الزمن جهوداً مكثفة لأنظمة الميكنة البصرية، وأصبحت السطوح التي يتم تثبيتها عليها أكثر تحديداً وفعالية وكفاءة في أجيال القمار الصناعية.

وباستمرار تلك الجهود، أصبح هناك ميل لتسمية الأقمار الصناعية بالأحرف الأولى للوكالات والهيئات الحكومية المسؤولة عنها . ويوضح جدول (٥-١١) قائمة بالأقمار الصناعية التي انطلقت بنجاح في الولايات المتحدة الأمريكية

١٩٧٠/١٩٦٠

جدول (٥-١١) الأرقام الصناعية التي انطلقت بنجاح لرصد الطقس
١٩٧٠/١٩٦٠

معدل الارتفاع (كم)	تاريخ الانطلاق	القمر الصناعي
٧٤٢	١ أبريل، ١٩٦٠	Tiros I
٦٧٦	٢٣ نوفمبر، ١٩٦٠	Tiros II
٧٦٤	١٢ يوليو، ١٩٦١	Tiros III
٧٧٧	٨ فبراير، ١٩٦٢	Tiros IV
٧٨٢	١٩ يونيو، ١٩٦٢	Tiros V
٦٩٨	١٨ سبتمبر، ١٩٦٢	Tiros V I
٦٤٩	١٩ يونيو، ١٩٦٣	Tiros II
٧٥٣	٢١ ديسمبر، ١٩٦٣	Tiros VIII
٦٧٥	٢٨ أغسطس، ١٩٦٤	Nimbus I
١٦٤٠	٢١ يناير، ١٩٦٥	Tiros IX
٧٩٧	١ يوليو، ١٩٦٥	Tiros X
٧٦٩	٣ فبراير، ١٩٦٦	Essa ١
١٣٨٤	٢٨ فبراير، ١٩٦٦	Essa ٢
١١٢٥	١٥ مايو، ١٩٦٦	Nimbus II
١٤٣٦	٢ أكتوبر، ١٩٦٦	Essa ٣
٣٥٩٠٠	٧ ديسمبر، ١٩٦٦	ATS-١
١٣٨١	٢٦ يونيو، ١٩٦٧	Essa ٤

١٣٨٧	٢٠ أبريل، ١٩٦٧	Essa ٥
٣٥٩٠٠	٥ نوفمبر، ١٩٦٧	ATS-٣
١٤٤٥	١٠ نوفمبر، ١٩٦٧	Essa ٦
١٤٤٨	١٦ أغسطس، ١٩٦٨	Essa ٧
١٤٣٦	١٥ ديسمبر، ١٩٦٨	Essa ٨
١٤٦٥	٢٦ فبراير، ١٩٦٩	Essa ٩
١١٠٠	١٤ أبريل، ١٩٦٩	Nimbus III
١١٤١	١٧ يناير، ١٩٧٠	Itos I
١٠٩٠	٨ أبريل، ١٩٧٠	Nimbus IV
١١٤٠	١١ ديسمبر، ١٩٧٠	Noaa ١

وفي إطار تطوير البرنامج، فقد استخدمت الأقمار الصناعية بعداً جديداً قد أمكن استحداثه سنة ١٩٦٦، وانطلاقه تحت أسم " التطبيقات التكنولوجية للأقمار الصناعية (A TS-١) Applications Technology Satellite. ويدور القمر الصناعي في مدار حول الأرض على ارتفاع حوالي ٢٢,٣٠٠ ميلاً أي ما يعادل ٣٥,٩٠٠ كيلومتراً فوق مستوى سطح البحر. وعلى هذا الارتفاع، لا بد أن تكون سرعة دوران القمر تعادل سرعة دوران الأرض، أي ١١,٠٠٠ كيلومتر / ساعة (٥,٩٣٦ عقدة) . ووفقاً لذلك، فإن كل من القمر الصناعي والأرض يدوران باستمرار في نفس المسار البيضاوي وب نفس السرعة.

إن جيل الأقمار الصناعية المعروف باسم SMS & GOES قد أنطلق لأول مرة سنة ١٩٧٤. وكما يفهم من تعبير القمر الصناعي الدائر في مسار بيضاوي حول الأرض ، فإن مثل هذه الأقمار الصناعية تتمكن من رؤية قطاع واسع من الأرض من خلال نقطة متميزة في السماء . وتنتج مثل تلك الأقمار

الصناعية صوراً كل ٢٠ دقيقة ، مما يتيح الفرصة لكل محطة أرضية تجميع الصور خلال فترات زمنية متعاقبة ، ويتيح ذلك التكتيك للعلماء الجويين رؤية أفلاماً متعاقبة لحركة الغلاف الجوي . ويتابع صور هذه الأقمار الصناعية - GOES SMS إعداداً هائلة من سكان الأرض في نفس الوقت من خلال البرامج التليفزيونية التي تستقبل صوراً من الأقمار الصناعية من محطات الأرصاد الحكومية التي تتصل بشبكة عنقودية كثيفة .

ويضاف إلى ما سبق ، وجود جيل من الأقمار الصناعية يطلق عليها NOAA وأخر MESS ، وكل منهما يحتوي على ٧ أقمار صناعية أخرى في المدار الواحد ، تلتقط خمسة منها الصور بينما الاثنان الأخرين في حالة استعداد لما قد يطرأ من أي عطل . وبالنسبة للخمسة أقمار الصناعية التي تلتقط الصور فعلياً ، فإن اثنين منها تدور حول المناطق القطبية ، وهي ما يطلق عليه جيل NOAA ، أما الثلاثة أقمار الأخرى فتدور في مسار حول الأرض وهي من جيل SMS - GOES .

نماذج إشارات الأقمار الصناعية

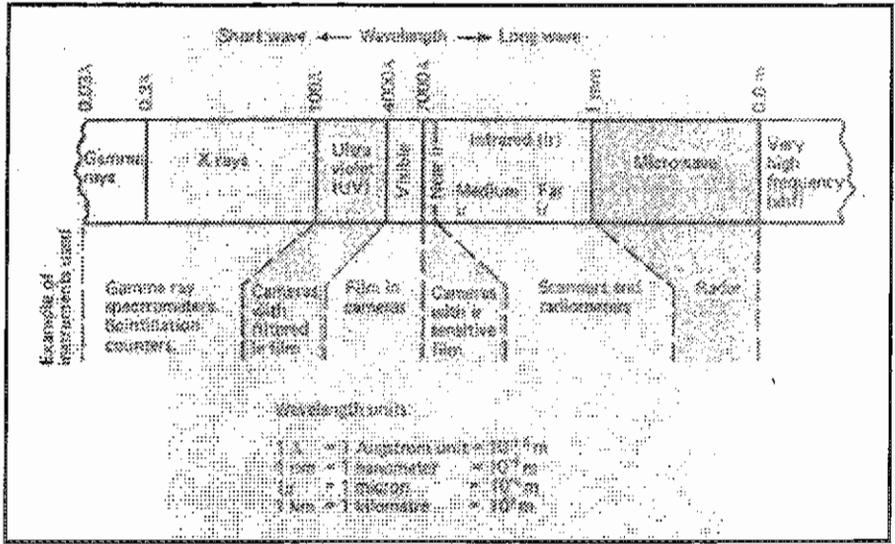
إن الأقمار الصناعية الخاصة بالرصد الجوي في وقتنا الحاضر يتم تزويدها بأشعة مرئية وأشعة تحت الحمراء وسكنر راديوميتر (VISSR) . وتنتج (VISSR) صوراً مرئية وأخرى تحت الحمراء ثم تنقلها إلى محطة الأرصاد الجوية الأرضية .

وفقاً لما أمكن ملاحظته من قبل ، يعتمد شكل الصورة الناتجة على مقدار ما يسجله الطيف الكهرومغناطيسي . ويوضح شكل (٥-١) الطيف ونماذج التسجيل المستخدمة . ويتضح أن الصور المرئية تتم من خلال موجات يتراوح طول موجاتها بين ٠,٥٥-٠,٧٠ ميكرون (ميكرون يعادل 10^{-6} متر) ، بينما الصور تحت الحمراء يتراوح طول موجاتها بين ١٠,٥-١٢,٦ ميكرون .

وتشبه الصور المرئية الصور الفوتوغرافية حيث أنها تتكون بواسطة ضوء الشمس المنعكس من الأرض والغلاف الجوي. وينعكس الضوء في الكاميرا فيخترق سطح الفيلم الفوتوغرافي المعطى بمواد كيميائية حساسة للضوء، فتتفاعل مع الضوء المنعكس الذي يصل إليها فتنتج بذلك الصورة الفوتوغرافية. بينما تختلف عن

الكاميرا، في كون الضوء المنعكس الذي يخترق جهاز الإحساس في القمر الصناعي يدفع هذا الجهاز إلى قياس كثافة هذا الضوء. وترسل الإشارات كثافة الضوء مرة ثانية إلى المحطات الأرضية حيث تنقلب تلك الإشارات على هيئة الصورة .

شكل (٥-١) الطيف الألكترومغناطيسي والأدوات المستخدمة لرصد أطوال الموجات المختلفة



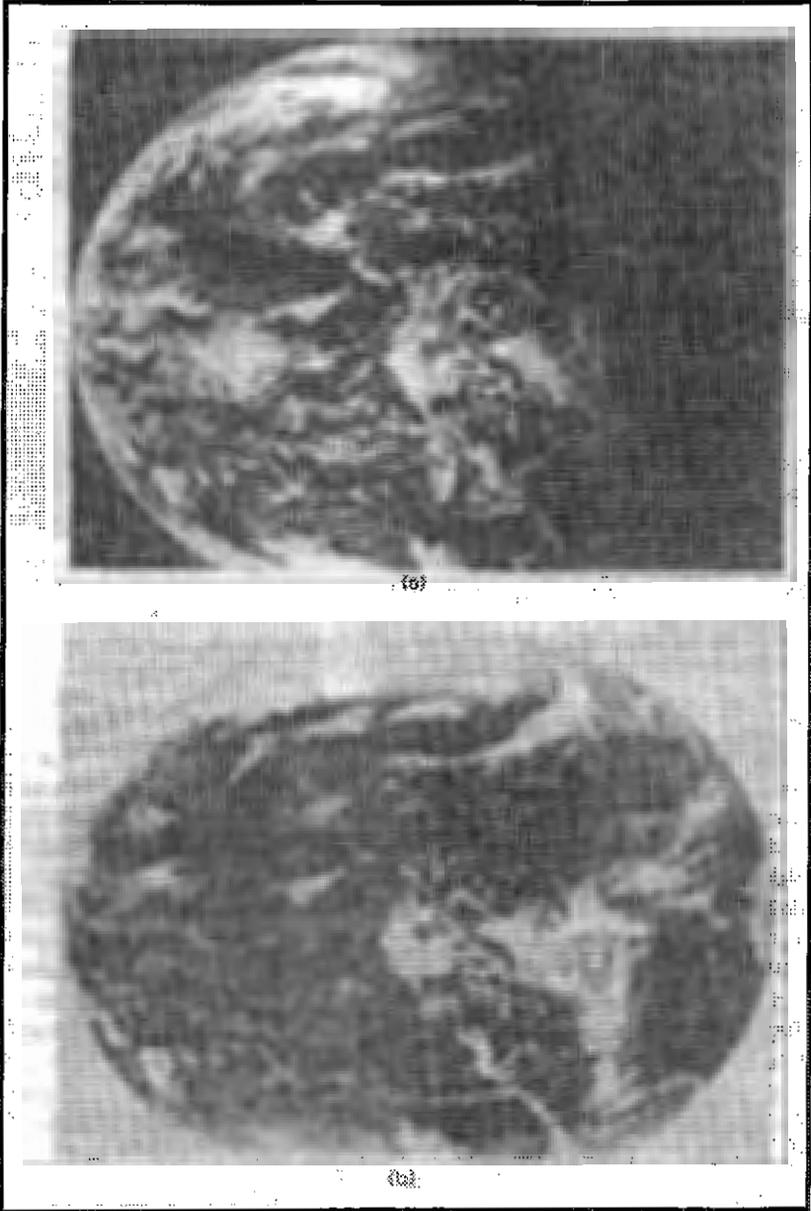
ويوضح شكل (٥-٢ب) صورة مرئية كاملة للأرض، فتعكس شكل الأرض والغلاف الجوي المضيئين بواسطة ضوء الشمس. ونلاحظ أنه في أثناء الليل تظهر اليباس مظلمة ومعتمدة تماما ، كما يخيم الظلام على الفضاء في الجزء المظلم . وهكذا تصبح صورة مرئية فعليا لأنها تظهر الجزء المضيء فقط سواء من اليباس أو من الفضاء المحيط. وبوضوح فإن هذه الصور المرئية لا يمكن تجميعها بواسطة الأقمار الصناعية الدوارة حول الأرض في أثناء الليل لأنها تعتمد أساسا على ضوء الشمس لإنتاج الصورة. ولا بد من استخدام الأشعة تحت الحمراء Infrared للتغلب على ذلك الوضع . وتختلف الصور تحت الحمراء كليا عن الأشعة المرئية لكونها لا تعتمد على انعكاس الضوء. إذ أنه في المقابل ، الجهاز الحساس في الأشعة تحت الحمراء يقيس كثافة الأشعة تحت الحمراء Infrared كما يتضح في شكل (٥-٢) . ويستخدم هذا المدى من الطيف الكهرومغناطيسي لقياس كمية الحرارة التي يشعها السطح . وقد أخذت صورة بالأشعة تحت الحمراء كما في شكل (٥-٢ب) في نفس

التوقيت الذي أخذت فيه الصورة في شكل (٥-١٢) . وترجع الاختلافات في درجة وضوح الصورة الفضائية بالأشعة تحت الحمراء إلى الاختلافات في القدرة النسبية للأسطح على إطلاق الحرارة بالإشعاع وكذلك درجة حرارة السطح المشع، وعلى سبيل المثال، فإن الأسطح الأبرد هي الأكثر بريقاً ووضوحاً. ولنضرب مثلاً ، في المرئية الضوئية شكل (٥-١٢) حيث يظهر الفضاء باللون الأسود لأنه مظلماً ، وعلى أية حال ، فإن صور الأشعة تحت الحمراء شكل (٥-٢ب) تظهر الفضاء باللون الأبيض لأنه بارداً .

وثانية، تظهر الاختلافات في درجة حرارة اليابسة والماء بسهولة في المرئيات الفضائية بالأشعة تحت الحمراء. وعند مقارنة الصورة الضوئية شكل (٥-١٢) بالأخرى تحت الحمراء شكل (٥-٢ب) ، تظهر السحب مختلفة البريق ، بل ويختفي بعضها تماماً . ومن هنا، فإن المرئيات الفضائية بالأشعة تحت الحمراء تظهر الاختلافات في درجة الحرارة مع توضيح السحب. وتختفي السحب أو تظهر مظلمة حينما تكون سحب منخفضة الارتفاع مثل السحب الطباقية *Stratus* والركامية *Cumulus*، وكذلك الضباب . وتحفظ هذه السحب بالدفء نتيجة امتصاصها الإشعاع الأرضي *Terrestrial Radiation*. أما السحب التي تظهر مضيئة فهي السحب المرتفعة مثل سحب السمحاق *Cirrus* والسمحاق الركامي *AltoCumulus*.

إن الاختلافات في درجة الإضاءة والوضوح في كل من صور الأشعة الضوئية والأخرى تحت الحمراء يصعب على العين البشرية التمييز فيما بينها . وتصبح مثل تلك الاختلافات أكثر وضوحاً حينما يتم رؤيتها بواسطة الحاسب الآلي. مما يعني أنه بمجرد وضوح اختلافات في درجة البريق أو درجة اللون الأبيض ، فإن اللون الرمادي الخفيف يشير إلى اختلاف في درجة الحرارة والارتفاع ، وعليه يمكن تمييز وتحليل نوع السحب وارتفاعاتها بدرجة أكثر وضوحاً . ويقارن شكل (٥-٣) بين الصور الفضائية الضوئية والأخرى تحت الحمراء وكلاهما التقطت في نفس اليوم. وتظهر الاختلافات في أنواع السحب بسهولة عند تحليل تلك الصور .

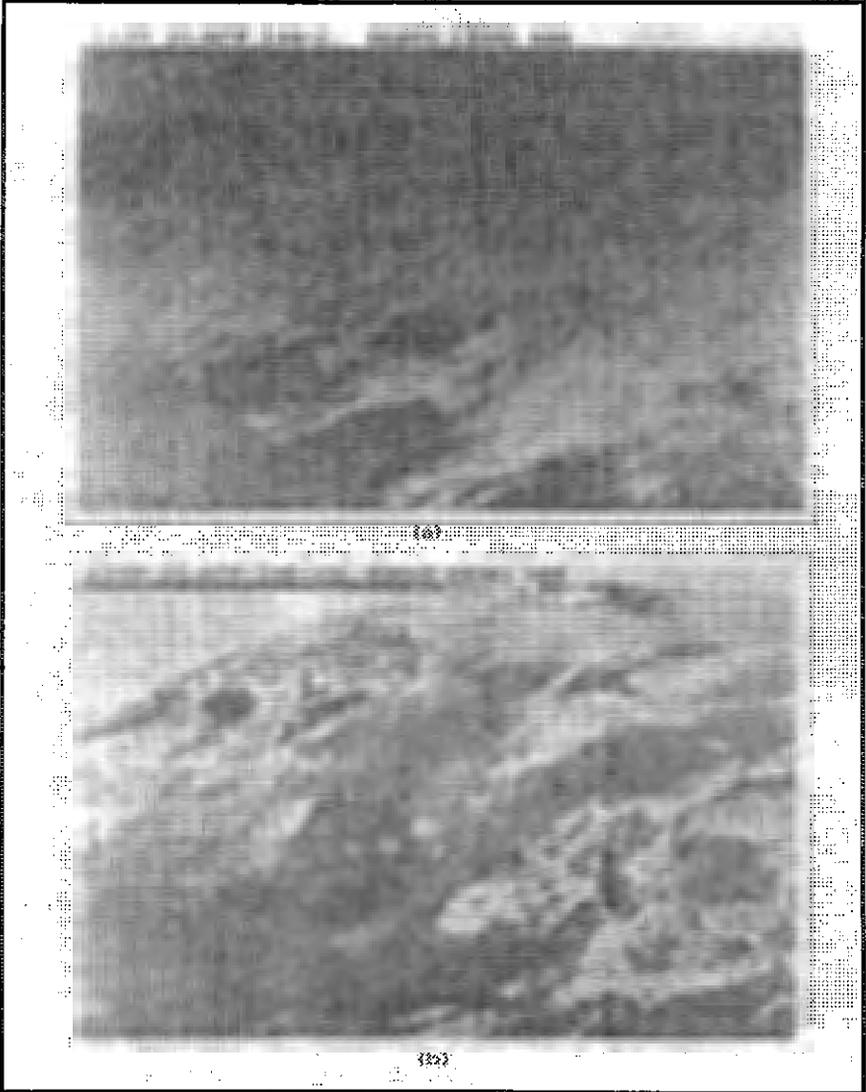
شكل (٥-٢) أ: صورة مرئية في الليل ب: صورة مرئية بالأشعة تحت الحمراء من SMS - GOES



المصدر: NOAA

شكل (٣٠٥) أ : صورة ضوئية لغطاء السحب لمساحة واسعة من الولايات المتحدة

ب : صورة فضائية بالأشعة تحت الحمراء لغطاء السحب في ذات المساحة من الولايات المتحدة



المصدر: NOAA

بالرغم ما تتميز به المرئيات الفضائية من إثارة جمالية بل وعلمية ، إلا أنها تصبح بلا جدوى حتى يتم تحليلها وفهمها . وتفيد النظم القديمة نسبياً بأن الأبحاث مازالت مستمرة حتى يمكن أن نضع تقديراً متكاملًا لاستيعاب تلك الصور، وإن كانت الخصائص العامة لتلك الصور تضع تصوراً شاملاً للنماذج السائدة في الغلاف الجوي، ويمكن أن نتناول بالتفصيل بعضاً منها.

١ - الجبهات والنظام الانقلابي

تهدف أغلب المرئيات الفضائية الجوية إلى إظهار وتوضيح لغطاء السحب. ومنذ بداية استخدام الأقمار الصناعية في الأرصاد الجوية، قد أصبحت دراسة وتحليل صور السحب أكثر فائدة لعلماء المناخ المعنيين بالرصد الفضائي. وتحديدًا فيما يتعلق بهيئة السحب سواء من حيث درجة برقيها ، حجمها ، وشكلها مما يعد مؤشراً للاضطرابات الجوية مثل حركة الكتل الهوائية ونشاط العواصف .

ويقدم شكل (٥-٤) مثالين لأشكال السحب التي تتشكل على طول خط الجبهات الباردة على اليابس الأمريكي . إذ تتشكل الجبهات الباردة فعلياً حينما تتحرك الكتل القارية القطبية الباردة الجافة من شمالي الولايات المتحدة الأمريكية وكندا لتغزو المناطق الدافئة . وحينما تواجه هذه الكتل الهوائية الباردة الجافة الأخرى البحرية المدارية، يصعد الهواء الدافئ الرطب إلى أعلى الهواء البارد، فيبرد ويتكاثف بخار الماء فتتشكل السحب على هيئة صف على طول خط الجبهة الباردة. أما تشكيلات سحب الجبهة الباردة فتظهر على هيئة سحب منشطرة على طول خط الجبهة كما يتضح في شكل (٥-٤).

هذا ويمكن تسجيل نماذج من مسارات الجبهات الهوائية وتحليلها باستخدام تلك المرئيات الفضائية . وترتبط العواصف العاتية غالباً بالجبهات الباردة ، ويقدم التحليل المناخي لتكرارها وكثافتها قاعدة أساسية للتنبؤ بالأيام العاصفة . وعلى العكس من تلك الجبهات الباردة ، نجد أن الجبهات الدفيئة من الصعب تحديد مواقعها على المرئيات الفضائية للسحب . ويمكن تقدير المساحة العامة للجبهة من خلال متابعة تشكيلات السحب، ولكن مع اتساع مساحة غطاء السحب، فإن الموقع الفعلي للجبهة لا يمكن تحديده بدقة. إذ تصبح السحب في هذه الحالة على شكل تكوينات متداخلة من السحب الطباقية مع سحب السمحاق ، وهكذا تصبح معقدة وواسعة

الامتداد ، ومن ثم يصبح خط الالتقاء بين الكتل الهوائية ذات الخصائص المختلفة "فيما يتعلق بخصائص السحب " غالباً ما نجده في أي مكان من المرئية الفضائية للسحب .

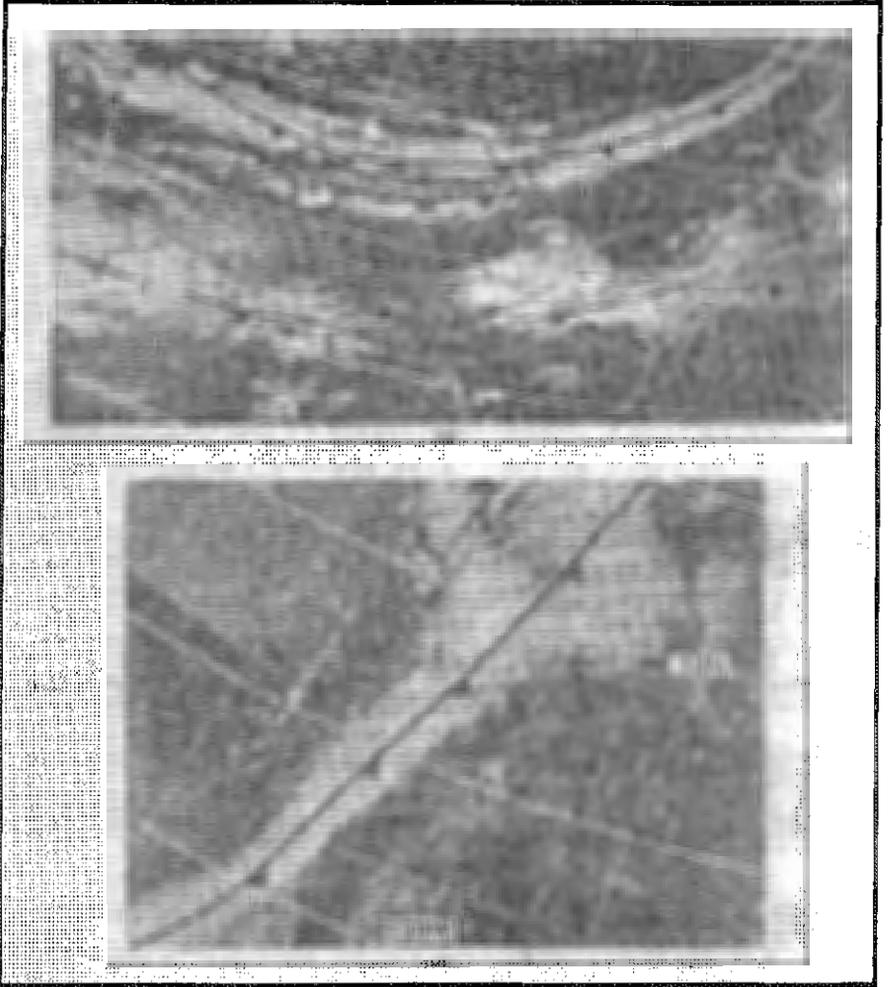
وتتشط العواصف أيضاً حينما يحدث تسخين غير متكافئ لأجزاء من سطح الأرض نتيجة لاختلاف توزيع الإشعاع الشمسي الواصل إليها. فعلى سبيل المثال ، تؤدي تشكيلات السحب المتناثرة في منطقة إلى برودة مساحة منها (المساحات التي تغطيها السحب فتحجب عنها أشعة الشمس) ، بينما تؤدي إلى دفء مساحات أخرى (تلك المساحات التي تقع تحت التأثير المباشر لأشعة الشمس نتيجة السماء الصافية) . ويسخن الهواء فوق المناطق الأدفء وربما يصبح غير مستقر بدرجة تسمح بنشاط تيارات الحمل الصاعدة . وتؤدي تيارات الحمل الصاعدة إلى نشاط العواصف خاصة في فصل الصيف .

وثانية، فإن النماذج طويلة الأجل التي يتم إعدادها بالاعتماد على بنك بيانات المرئيات الفضائية يمكن أن توفر معلومات هامة عن توزيع وتكرار العواصف الانقلابية Convective Storms. ويعرض شكل (٥-٥) مثالا لمنطقة تحت تأثير تيارات الحمل الصاعدة . إذ تظهر قمم السحب الركامية بسطوحها غير المنتظمة بسبب اندفاع جزيئات الهواء بقوة إلى قمة السحاب .

شكل (٥-٤) تكوينات السحب المرتبطة بالجبهات الباردة

أ : تظهر تشكيلات السحب المرتفعة متصلة ، بينما السحب المنخفضة
فتظهر متقطعة

ب : الجبهة الباردة تشطر تشكيلات السحب



المصدر : NOAA

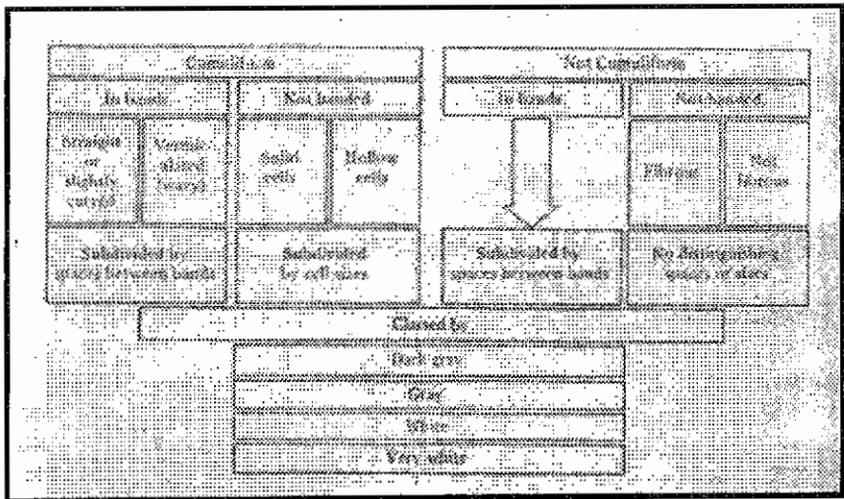
شكل (٥-٥) السحب الركامية ومساحة واسعة من عدم استقرار الهواء



وبجانب تلك التشكيلات الخاصة من السحب ، فيمكن للمرئيات الفضائية أن تعطي مؤشراً لنوع السحب السائدة . وهناك عدداً من التصنيفات التي وضعها العديد من العلماء ، وإن كانت في أغلبها تعتمد على التصنيف الأول الذي وضعه العالم كونوفر Conover . ويظهر تصنيف كونوفر في شكل (٥-٦) . إذ يقسم السحب بشكل أساسي إلى السحب الركامية والسحب غير الركامية ، ثم قام بوضع تقسيم أدق يندرج تحت النوعين الأساسيين (ركامية - غير ركامية) على أساس إذا كانت هذه السحب متصلة أم متقطعة .

إن هيئة تشكيلات السحب ، وفي حالة ما إذا كانت على هيئة تشكيلات متقطعة فمأهية الخصائص التفصيلية لكل خلية أو كل ائتلاف لمجموعة من الخلايا المكونة للسحب ، ومن ثم يمكن تحديد زمن تفكك هذه السحب . وتسمح المساحة البيئية بين تجمعات السحب بوضع تصنيفات أكثر دقة، وفي هذه المرحلة يمكن تحديد نوع السحب بصفة عامة. ويلبي ذلك استخدام سمك السحب وكثافتها في الوصول للعديد من المعلومات التفصيلية لتلك السحب.

شكل (٥-٦) رؤية مبسطة لتصنيف كونوفر للسحب باستخدام المرئيات الفضائية



تتيح المعلومات الفضائية تصنيف وتحديد مسارات حركة الهاركين Harricnes . ويعكس شكل (٧-٥) الخصائص التفصيلية لأحد الهاركين . حيث يظهر عين الأعصار بوضوح في وسط العاصفة . وتظهر السحب حول محيط عين الأعصار وتتحرك في مسار دائري في اتجاه عقارب الساعة . ويميز هذا المسار خصائص دورة الأعاصير في نصف الكرة الشمالي ، ويقع هذا الأعصار فوق المحيط الأطلنطي ، ويظهر جزء من خط ساحل ولاية فلوريدا في القطاع الأيسر (الغربي) من أعصار الهاركين .

إن النقطة الأساسية فيما يتعلق باستخدام المرئيات الفضائية لدراسة عواصف الهاركين هي تصنيفها من حيث مرحلة نموها وشدها المتوقعة التي يمكن التنبؤ بها . ولكي يمكن أستنتاج مثل هذا التصنيف ، فإن ذلك يتطلب تحليل الهاركين على مدار عدة فصول بقدر المستطاع . وقد أخذ علماء المناخ على عاتقهم تطوير وتحديث نظام التصنيف لمراحل العواصف المدارية الهاركينية كما يتضح في شكل (٨-٥) .

وتصنف السحب المدارية وفقاً لنظام NESS لأربعة فئات رئيسة A-B-X-C ، وتتدرج تحت كل منها أربعة فئات فرعية، وترتبط كل هذه الفئات في مجملها بنمو أو تقلص أنظمة العاصفة. ونلاحظ أنه ووفقاً لهذا التصنيف، يظهر الاختلاف بين أنظمة السحب التي تقع خارج نطاق الالتقاء التجمع - دون المدارية Intertropical Convergence Zone. ويعد هذا أمراً طبيعياً لأنه في المناطق المتاخمة لخط الاستواء ، تتغير الدورة العامة للرياح نتيجة للتأثير الكوريولي Coriolis Effect وطبيعة الالتقاء . وحينما تتشكل الهاركين ، فإنها تقع ضمن فئة X . ويظهر شكل (٧-٥) إحدى تلك العواصف التي تقع ضمن التصنيف الفرعي لفئة X .

وترتبط التكنولوجيا الحديثة بتطور وضوح المرئيات الفضائية التي تعد وسيلة هامة لتحذير السكان المهددين بالعاصفة العاتية. ولسوء الحظ، فإن التكنولوجيا الفضائية أكثر تطوراً من تكنولوجيا الاتصالات في بعض أجزاء من العالم. ويتضح هذا في الدمار الناتج عن العاصفة التي حدثت في خليج البنغال في نوفمبر سنة ١٩٧٠ . حينما وقعت عاصفة التيفون (إحدى مسميات عواصف الهاركين المدارية

في شرق آسيا) وظهرت بوضوح في المرئيات الفضائية . وقد كان معروفاً أن هذه العاصفة ستتجه نحو الأمام في اتجاه السواحل البحرية المنخفضة في بنغلاديش في منطقة شديدة الكثافة السكانية ، وتمارس فيها الزراعة الكثيفة أيضاً . وقد تسببت الرياح في تكوين موجات ضخمة، وبالتدريج أغرقت الأراضي الساحلية المنبسطة. وقد كان ضرورياً تحذير هؤلاء السكان من شدة هذه العاصفة القادمة وفقاً لما رصدته الأقمار الصناعية، وحينما تطور الأمر وتوغلت الأمواج إلى المناطق الساحلية خاصة مع اختفاء أي تضرس أو ارتفاع في السطح، فكانت النتيجة حدوث كارثة مروعة. فقد غرق أكثر من ١٥٠,٠٠٠ شخص ، وفي واقع الأمر ، فإن هذا الرقم المخيف من الضحايا قد كان متوقفاً وفقاً لما تم رصده وتسجيله في المرئيات الفضائية ، ولكن عدم وجود وسائل اتصال وبرامج وتقنيات التوعية الجماهيرية في مثل هذه الدول النامية ، قد أدى إلى حدوث هذه الكارثة .

٣ - التساقط والغطاء الثلجي

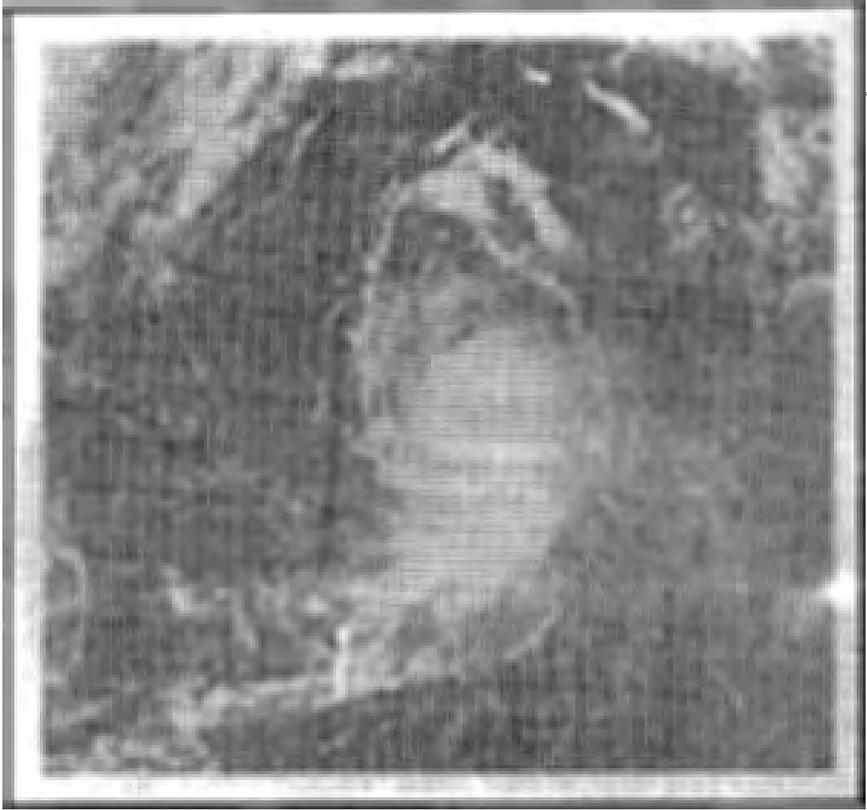
يمكن تحديد أنظمة السحب والعواصف من المرئيات الفضائية، وتتجه الأبحاث نحو إمكانية تقدير كمية المطر من هذه السحب. ولا يعد ذلك بالأمر اليسير ، وإن كان هناك اتجاه عام في الأبحاث يشير إلى بداية تقديرها . ويمكن تصنيف تلك الأبحاث إلى أساليب فاعلة **Passive Methods**، وأساليب نشطة **Active Methods**، الاستجابة المتأخرة **Delayed Response**، والأساليب الإحصائية **Statistical Methods**.

وتعتمد الأساليب الفاعلة على كون السحب الممطرة (المشبعة ببخار الماء) يمكن تمييزها عن السحب الأخرى من خلال الاختلافات في التشتت الإشعاعي من كلٍ منهما، فضلاً عن استخدام أطوال الموجات التي تنفذ إلى السحب، ومن ثم تحدث استجابة من قطرات المطر داخل تلك السحب. وقد أتضح أن الموجات المرتدة (التي تعبر عن استجابة السحب) التي يزيد أطوالها عن سنتيمتر واحد ، تكون صادرة عن سحب رقيقة وشفافة لا تسقط المطر ، بينما السحب التي تسقط المطر تكون معتمة . ويسمح هذا الاختلاف الواضح فيما بين السحب والموجات المرتدة عنها ، بالوصول إلى درجة قاطعة من التأكد .

أما الأساليب النشطة ، فتستند في التمييز على الانعكاس من السحب المحملة بقطرات المطر **Raindrop Clouds** . وفي هذه الحالة، يصبح رادار القمر

الصناعي أحد مفاتيح التحليل والتفسير للمرئيات الفضائية. أما الاستجابة المتأخرة ،
فستند على المرئيات الفضائية بالأشعة تحت الحمراء لتحديد الأسطح التي تعرضت
حديثاً للتساقط . وهكذا فإن سطح المحيط البارد ، طبقة رقيقة من الدفء ، المياه
العذبة ، كلها حالات يمكن تحديدها من خلال تلك المرئيات الفضائية بالأشعة تحت
الحمراء ، أما على سطح الأرض ، فإن انخفاض الانعكاسية **Reflectivity** في
الحزم الضوئية يمكن أن يدل على تساقط المطر حديثاً . وإجمالاً ، وتتيح مثل تلك
العلاقات استنتاج نموذجاً لتقدير التوقعات والتنبؤات.

شكل (٧-٥) نموذج لتشكل عاصفة هاركين فوق المحيط الأطلنطي
الغربي في أكتوبر ١٩٧٥



المصدر: NOAA

واستناداً إلى أن التصوير الفضائي هو عبارة عن استخدام تقنية العتمة Brightness، فإن درجة التناغم الضوئي في الصورة يحدد فئات أو درجات تعتيم غطاء السحب. ويمكن أخذ مثالاً جيداً على استخدام درجة التعتيم والأساليب الإحصائية في دراسة كل من كليب Clapp وروسي Rosey. حيث استخدمت هذه الدراسة جداول الاحتمال Contingency وربطت بين المتوسط الشهري للتساقط في أمريكا الشمالية مع كل من مستويات العتمة والبيدو السطح. وتستخدم الدراسات البحثية غالباً مختلف التقنيات المتاحة. فقد استخدم وودلي Woody وسانشو Sancho مزيجاً من بيانات 3-ATS مع ارتدادات الرادار Radar Echoes وتقنيات الحاسب الآلي بهدف دراسة المطر في فلوريدا. ويمكن القول، بأن تلك الأبحاث قد حققت نجاحاً متوسطاً Moderate Success حينما نقارن بين كمية المطر المحتمل وكمية المطر الفعلي.

شكل (٥-٨) تصنيف الاضطرابات المدارية ودون المدارية بواسطة البيانات الفضائية

Formation or Decay Stage	Satellite Image	Storm Categories	Satellite Image
1 No curved cloud lines or bands	 <i>1° of lat. or more in diameter</i>	X Cat. 1 Peculiar organized cloud bands Undefined center of organization within central cloud mass	
2 Poorly organized curved cloud lines and bands Ill-defined center	 <i>1 to 1.5° of lat.</i>	X Cat. 2 Well-organized bands Spiral bands define center within central cloud mass	
3 Well-organized curved cloud lines and bands Well defined center of rotation	 <i>1.5 to 2.5° of lat.</i>	X Cat. 3 Moderate degree of concentricity in cloud bands Irregularly shaped eye within central cloud mass	
4 Well-organized curved cloud lines and bands Well defined center of rotation	 <i>2.5 to 3.5° of lat.</i>	X Cat. 4 High degree of concentricity in cloud bands Round eye or clear center of central cloud mass	

قد أصبحت تقديرات كمية المطر التي تعتمد على استخدام المرئيات الفضائية أكثر تحديداً ودقة، ومن ثم غالباً ما تسقط ذات الكمية بالفعل. وقد قام سكوفيلد Scfield مع آخرين بدراسة لتقدير كمية المطر وعلاقتها بالعواصف الانقلابية. وقد استخدم هؤلاء الباحثون أسلوب تم تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء :

أ - عزل أو إقصاء للجزء النشط في العاصفة

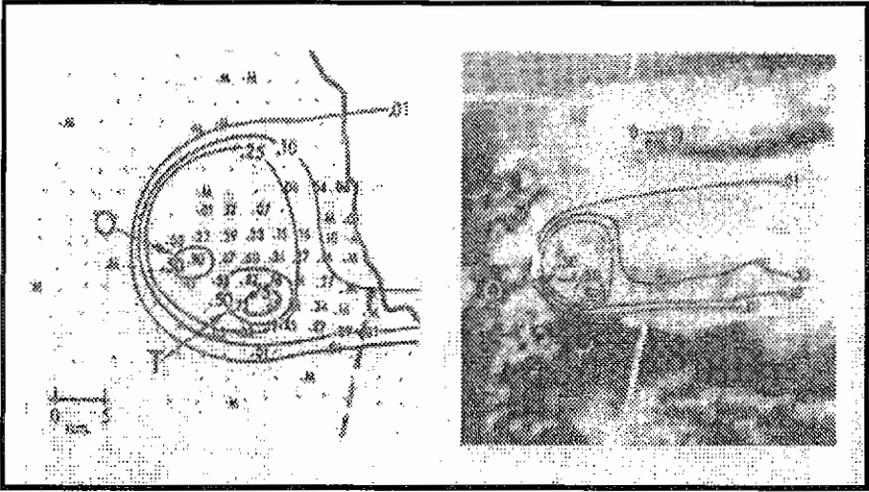
ب - استخدام المرئيات الفضائية بالأشعة تحت الحمراء لتحديد الانحدار الحراري في الأجزاء المتاخمة للجزء النشط في العاصفة

ج - الاستخدام المزدوج للمرئيات الفضائية الضوئية عالية الثبات مع الأخرى بالأشعة تحت الحمراء بهدف تحديد المطر الغزير

وقد اعتمد هؤلاء الباحثون عند اختيارهم لتلك الوسائل وتطبيقها على عاصفة رعدية حدثت فوق منطقة شيكاغو . وكما يتضح في شكل (٥-٩) أن ذلك النموذج كان ناجحاً وواضحاً . إذ توضح المرئية في هذا الشكل، خطوط التساوي، مع رسم بياني يوضح كمية المطر الفعلية التي سقطت. وإن الرموز O و T في الرسم البياني تشير إلى موقع المناطق التي تعرضت لأمطار غزيرة .

تضيف باستمرار مثل هذه الدراسات المزيد من المعلومات ، وينبغي التوقع بأنه في المستقبل، سيكون هناك تقديرات جيدة لكمية المطر يمكن استنتاجها من المرئيات الفضائية. ويمكن القول بأن مثل هذه الدراسات والأبحاث تحتل بؤرة اهتمام المناخيين أكثر من المتيورولوجيين بهدف التوصل إلى تحليل طويل المدى للعلاقة بين المرئيات الفضائية وإمكانية تقدير كمية المطر . كما يمكن رؤية الغطاء الثلجي من المرئيات الفضائية ، فضلاً عن تحديده وتصنيفه وفقاً للعديد من درجات الاختلاف تبعاً لشكل الياض والغطاء النباتي الطبيعي الذي يتساقط عليه الثلوج .

شكل (٥-٩) كمية المطر بالبوصة " على اليسار" وخطوط تساوي المطر " على اليمين " من مرئية فضائية لمنطقة شيكاغو



المصدر: Scofield & Oliver, ١٩٧٧.

ويمكن تمييز الثلج بسهولة فوق المناطق الجبلية من خلال خصائصه التي يغلب عليها الشكل الشجري ، بينما يصبح تحديده أقل يسراً فوق السهول أو مناطق الحشائش ، وأكثر صعوبة في المناطق الغابية . ومن أجل الوصول إلى دليل أرشادي لتحديد الثلج ، فإن خدمة الأرصاد الجوية في الولايات المتحدة الأمريكية والقوات الجوية قد وضعت خصائص لتصنيفه .

وعند إعداد خريطة مساحية لسهول مغطاة بالثلوج من خلال مرئية فضائية مطبوعة، يصبح من الضروري تمييز الثلج من شكل السحب. ويتم ذلك بمنتهى الدقة من خلال مقارنة وتتبع المرئيات الفضائية لمنطقة ما لعدة أيام من خلال النقاط الصور كل بضع ساعات ثم تجميعها معا لهذه المنطقة . وباستثناء التضاريس التي تؤدي إلى تكوين السحب أو ضباب الأودية ، فإن السحب لا تبقى على هيئتها أو توزيعها لأكثر من بضع ساعات ، وعليه يعد ثبات شكل السحاب دليلاً على الغطاء الثلجي . ويمكن تحديد الغطاء الثلجي وتحليل خصائصه التفصيلية عن طريق مقارنة أكثر من مرئية فضائية لشكل السحب .

وتتميز السهول المغطاة بالثلوج عادةً بنسيج ناعم، بينما السحب غالباً ما تظهر في شكل خشن Rough أو متكتل Lumpy. وحقول الثلج التي تغطي المناطق المتضرسة وتغطيها تكون أكثر حدة، ولها حواف أكثر تحديداً مقارنة بمناطق السحب باستثناء الضباب والسحب الطباقية Stratus. ويمكن تمييز البحار والبحيرات في حقول الثلج، بينما كتل السحاب فوق الثلج عادةً ما تكون معتمة لتبدو على هيئة الأرض أو منطقة متضرسة. ويحدث غطاء الثلج في المناطق المتجمدة اختلافات محدودة في درجة البريق كلما زاد سمك الثلج. إذ يصبح لون غطاء الثلج لمنطقة متجمدة يغطيها الثلج بسمك بضع بوصات لوناً رمادياً يمكن تمييزه عادةً عن الآخر الذي يخلو من الثلج من خلال مظهره المظلم. ويرجع رؤية الشكل الشجري في المناطق الجبلية إلى نقص الثلج في المناسيب الأقل في الجداول والأودية النهرية. وتقدم أيضاً المرئيات الفضائية دليلاً أو مؤشراً عن عمق الثلج فوق الأرض. إذ تظهر ثلاث درجات للون الرمادي لتمثل الحد الأقصى الذي من الطبيعي تمييزه في الغطاء الثلجي لمناطق السهول. وعند مقارنة التظليلات الثلاثة للون الرمادي مع المناطق الأكثر ظلمة " عتمة " المحيطة بغطاء السحب، فإن العلاقات الارتباطية التالية بين البريق وعمق الثلج يمكن اقتباسها من المناطق غير الغابية عند المنابع العليا لنهر المسيسيبي وحوض الميسوري على النحو التالي :

١ - عدم وجود الثلج : أكثر عتمة أو أسود " مظلم "

٢ - أقل من بوصة واحدة : منطقة مزركشة ما بين الأسود والرمادي وتشير إلى منطقة ذات غطاء ثلجي متقطع وتظهر تجمع الثلوج بسمك يزيد عن بوصة واحدة .

٣ - ما بين بوصة واحدة وأربع بوصات : تقع المنطقة بين أكثر المناطق عتمة وظلاماً وبين مناطق مزركشة مضيئة ويصبح الجانب الأكثر لمعاناً وبريقاً معبراً عن غطاء ثلجي متصل مع عمق يتراوح بين ١-٤ بوصة . والحد بين غطاء الثلج المتصل وبين المناطق الأكثر أظلاماً " عتمة " تمثل وتشير إلى خط ثلجي بسمك بوصة واحدة .

٤ - أكثر من ٤ بوصة : الحافات الخارجية هي الأكثر بريقاً أو بياضاً وتمثل خط الثلج ٤ بوصة . وعادة ما تكون المنطقة بيضاء وليست باللون الرمادي الفاتح . أما غطاء الثلج في داخل هذه المنطقة فيرتبط بالعمق لأكثر من ٤ بوصة لغطاء الثلج .

هذا وينبغي التنويه إلى ضرورة الحذر عند تقدير سمك الثلج من خلال قراءة مفتاح التظليل الرمادي حيث أن العلاقة بين البريق وعمق الثلج في المناطق غير الغابية يمكن أن تتأثر بالعديد من العوامل ومنها :

١ - عمر الثلج : ينخفض نسبياً مقارنة بغطاء الثلج

٢ - المطر : إن المطر الذي يسقط فوق منطقة مغطاة بالثلوج يمكن أن يؤدي إلى انخفاض درجة إشعاعها . ويؤدي المطر عادةً إلى ذوبان للثلوج التي نتجت عن الانخفاض المؤثر في أليدو الثلج .

٣ - سطح الأرض / النبات الطبيعي : إن خشونة سطح الأرض يمكن أن تؤثر في أليدو الغطاء الثلجي ، وتحديدًا في التجمعات الثلجية الصغيرة . وينخفض بريق غطاء الثلج بدرجة كبيرة نتيجة الحشائش الطويلة ، وحقول الحبوب والتضاريس الخشنة .

٤ - الضباب والسديم أو السحب الخفيفة فوق الغطاء الثلجي : تحت تأثير مثل تلك الظروف حتى وإن كان الضوء يغطي الثلج ، فإن الثلج يظهر بريقاً . ويمكن تقدير سمك الثلج بينما لا نحتاج لتقديره في المناطق التي تغطيها السحب .

٥ - إن أهم العوامل التي تؤثر في درجة بريق الثلج هو زاوية الشمس . إذ تنخفض بسرعة الانعكاسية الضوئية حينما تكون زاوية الشمس أقل من ٤٥ درجة .

وثانية ، وبالرغم من وضوح المناهج والأساليب المتبعة في تحليل الصور الفضائية ، إلا أنه مازالت هناك العديد من الأمور محل شك أو الأقل لم تصل لدرجة اليقين في تفسير المرئيات الفضائية .

تقدير حركة الهواء

تستخدم مرئيات السحب في تقدير بعض الظواهر الجوية الأخرى. وربما أكثرها أهمية تحديد خصائص الدورة العامة للرياح . ويعد اتجاه الرياح وسرعتها من أهم خصائص الميثيورولوجيا والمناخ العام . وفي الوقت الحاضر ، تساعد دوارة الرياح والأنيومومتر على سطح الأرض " لرصد سرعة الرياح " مع الراديوسوند علماء الطبيعية الجوية في الحصول على مصدر بيانات يمكن الاستفادة العلمية منها في تحديد اتجاهات الرياح . وعلى أية حال ، ويعد استخدام أقمار

الرصد الجوي الصناعية المتطورة من الأساليب التي أسست لاستنتاج اتجاه الرياح وسرعتها استنادا على المرئيات الفضائية .

أما على المستوى العالمي " المناخ العام " ، فإن المرئيات الصناعية التي تدور حول الأرض تستخدم في ملاحظة الدورة العامة للرياح وتحليل العديد من مكوناتها وعناصرها . وتجنباً للعمل في إطار نظري، فإن العلماء الجويين يمكنهم حالياً تكوين صورة دقيقة على الظواهر العالمية الفعلية. وإجمالاً، يمكن ملاحظة أن الأنظمة العامة للدورة أكبر بكثير من تلك المسلمات الرئيسية التي تعتمد عليها الأرصاد الجوية من المحطات الأرضية.

وفيما يتعلق باتجاه الرياح وسرعتها على سطح الأرض، فيمكن تحديده من خلال العديد من أشكال السحب التي تتشكل على مستوى منخفض قريباً من سطح الأرض. وتتضمن بعض الأمثلة :

١ - الاختلافات على نطاق واسع في السحب الركامية التي تتكون في الهواء البارد أعلى الجبهات القطبية تمدنا بمعلومات عن الاتجاه وشكل منحنى مسار الهواء وسرعته . وتأخذ هذه الاختلافات شكل خلوي مفتوح أو مغلق ، أو خطوط طولية ضيقة من السحب الركامية ، أو أشكال مختلفة من نطاق السحب الركامية :

٢ - إن حجم وكثافة تلالأ الشمس على سطح المحيط يشير إلى سرعة الرياح السطحية .

٣ - إن توزيع السحب نتيجة لنسيم البحر ، وارتفاعات الجبال ، وتأثيرات الجزر في مناطق واسعة من السحب الطباقية والضباب يمكن أن نستقي منها معلومات عن سرعة الرياح السطحية .

٤ - مدى اتساع البحار المفتوحة، أو طبقات الثلج الرقيقة حول نطاق جليدي واسع، يمكن أن يعطي مؤشرات عن اتجاه الرياح السطحية حالياً.

٥ - خطوط سحب السمحاق في مساحة من الضباب والسحب الطباقية (عبارة عن طبقة أفقية خفيفة من سحب رمادي ينبسط فوق رقعة واسعة) ، يمكن أن يمدنا ببعض المؤشرات عن سرعة الرياح السطحية .

هذا وهناك عدد من الدراسات على درجة كبيرة من الأهمية والإثارة تتعلق بتحليل وتفسير الرياح . ومنها على سبيل المثال ، دراسة جابي Gaby وبوتيت Poteat ، وقد استخدموا القمر في إظهار الرياح على مستوى منخفض من تحرك السحب . كما قاما بتطوير مقياس يطلق عليه " الرياح الأكثر احتمالية MPW - most probable wind " فوق الأطلسي وشرق الولايات المتحدة . وقد استخدموا دائرة كهربائية تحسب مرور الوقت لاستنتاج نمو وحركة السحب من خلال المرئيات الفضائية . وقد أمكن من خلال ذلك حساب سرعة الرياح . وقد استمر الباحثان في هذه الدراسة لوضع الأسس العلمية الدقيقة لها ، كما استطاعا تحديد عدداً من مصادر الخطأ التي يمكن أن تنتج عن نمط وأسلوب التحليل والتفسير ، ومنها :

أ - الاختيار الخاطئ للسحب المستهدفة

ب - التحديد الخاطئ لارتفاع السحاب

ج - الحركة الظاهرة للسحب " وهي عبارة عن تداخل حركة السحب ودوران الأرض "

وفيما يرتبط بالرياح المحلية ، فقد أتضح وضوح العلاقة بين قوة جبهة الزوبعة الريحية Gust Front (مقدمة الرياح في العاصفة) وبين نطاقات الرياح في العاصفة الرعدية . وفي إحدى الدراسات ، قد استخدمت المرئيات الفضائية بالأشعة تحت الحمراء لتحليل جبهات ٨٠ زوبعة ريحية . وقد تم فحص سلاسل متلاحقة من الصور لإنتاج صورة متحركة لكل عاصفة ، وقد تمت مقارنة المرئيات الفضائية ببيانات المحطات الأرضية وتقارير الخسائر الرسمية للعاصفة . وقد كانت كل البيانات المتاحة مفيدة في تصنيف جبهة الزوبعة الريحية Gust إلى أربعة مجموعات رئيسة ترتبط بنماذج الدورة .

شكل (١٠-٥) أ: حزام ضيق من السحب المرتفعة التي تمتد نحو الشمال الشرقي من نقطة " أ " تزامنا مع التيار دون المداري . وقد تم تحديد قطاع آخر من الرياح

ب : سحب السمحاق تقع عند بؤرة مركزية في التيار النفاث فوق أفريقيا



المصدر : Air Weather Service ١٩٦٩

وتختفي حينما تنخفض سرعة الرياح وقد برهنت المرئيات الفضائية وأثبتت أهميتها في تحديد انسياب طبقات الجو العليا . إذ أمكن تحديد موقع التيار النفاث Jet-Stream أو نطاق الحد الأقصى لسرعة الرياح بدقة من خلال فحص أشكال وهيئات السحب التي تظهر في المرئيات الفضائية. إن الحركات الرأسية والأفقية في طبقات الغلاف الجوي في الأجزاء المحيطة بالتيار النفاث لها تأثيرات واضحة في توزيع سحب السمحاق Cirrus Clouds في المناطق المحيطة . ولهذا السبب ، يصبح من الممكن تحديد موقع التيار النفاث كما هو الحال بالنسبة لتحديد الرياح شديدة السرعة من المرئيات الفضائية . وتسيطر سحب السمحاق على الجبهة الاستوائية للتيار النفاث ودوران أضداد الأعاصير . أما الحدود القطبية لسحب السمحاق فهي غالباً منقطعة وحادة وتميل ميلاً خفيفاً عن محور التيار النفاث في اتجاه خط الاستواء ، ويلقي بظلاله على السحب الأخفض التي يمكن رؤيتها بوضوح في المرئيات الفضائية ، ويبين شكل (٥-١٠) مثال لتحديد التيار النفاث .

ويأخذ التيار النفاث شكل المنحنى الإعصاري فوق المحيطات ، وتختلف درجة الاستقرار في كل جانب من المركز فينعكس ذلك في ظهور السحب . وفي الجانب الأيسر ، وبالنظر إلى القطاع الجنوبي من التيار ، حيث درجة حرارة منخفضة والهواء غير مستقر كنتيجة للنمو الراسي للسحب على هيئة خلية مفتوحة . أما على الجانب الأيمن من المركز ، حيث الهواء الأدفء تتشكل السحب الضبابية على شكل خلية مغلقة .

ويظهر الشكل الأساسي للسحب في التيار النفاث على هيئة خطوط طولية ضحلة ، وتتميز السحب الطباقية بحدودها الحادة ، وتكتلات السحب الطباقية الطويلة ، وغيرها . وبمجرد وضوح التيار النفاث في صورة السحب ، فإنه من الممكن معرفة معلومات متيورولوجية أخرى ، مثل اتجاه الرياح ، البرودة الناتجة عن الرياح ، انحراف الرياح ، اتجاه الانحدار الحراري الأفقي ، والأماكن المعرضة للإضطرابات الجوية .

وإجمالاً تؤكد الدراسات أنه من الممكن تقدير اتجاه الرياح وسرعتها من المرئيات الفضائية . وعلى أية حال ، فهناك العديد من التساؤلات المبهمة والكثير من الدراسات التي تحتاج للمزيد من التعمق والفهم .