

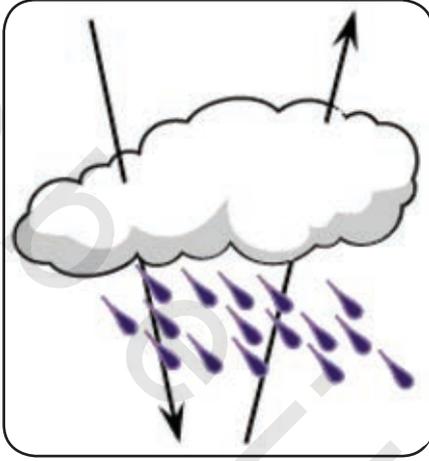
# الفصل الثالث



الاستشعار من البعد  
باستخدام أشعة الميكروويف

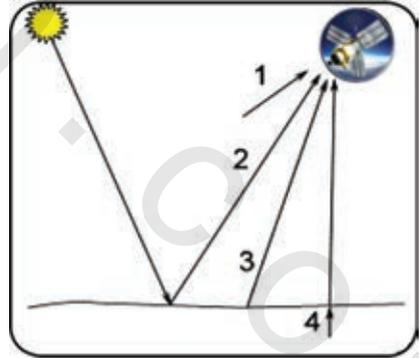
oboeikan.com

### مقدمة:



يشمل الاستشعار بأشعة «الميكروويف»، النوعين السلبي والإيجابي. وكما ذكرنا في الفصل الثاني، فإن حيز أشعة الميكروويف يغطي الأطوال الموجية من 1م إلى 10م. ولأن أطوالها الموجية كبيرة - مقارنة بالضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء- فهي تمتلك خصائص مميزة تجعل لها أهمية خاصة في مجال الاستشعار من البعد، فأشعة «الميكروويف» ذات الأطوال الموجية الكبيرة لها القدرة على اختراق غطاء السحب، والضباب، والغبار، ولا تتعرض للتشتت في الغلاف الجوي بتأثير الأمطار الغزيرة التي تؤثر على الموجات الضوئية ذات الأطوال القصيرة. تلك الخاصية تتيح رصد طاقة الميكروويف في كافة الظروف الجوية والبيئية، وبالتالي يمكن استخدامها في جميع الأوقات.

الاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف يشبه في مفهومه استشعار الأشعة الحرارية، فكل الأجسام يصدر عنها قدر من أشعة الميكروويف ولكنها بطاقة صغيرة جداً. ويقوم «المستشعر السلبي» برصد وقياس هذه الأشعة- التي تشعها الأجسام بشكل طبيعي- خلال مجال تغطيته هذه الطاقة المنبعثة ترتبط بدرجة الحرارة والرطوبة الخاصة بالسطح الذي تنبعث منه. وهذه الأجهزة (راديوميترات أو ماسحات) وتعمل بأسلوب تشبه الماسحات الضوئية ومعظم أجهزة الاستشعار التي ذكرناها سابقاً، والاختلاف، هو استخدام هوائي (antenna) لرصد وتسجيل أشعة الميكروويف.

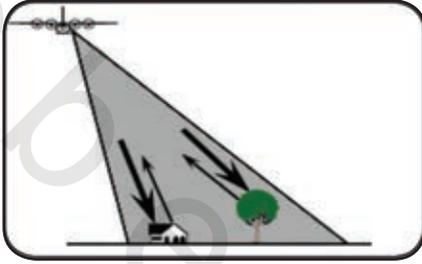


أشعة الميكروويف التي يقوم المستشعر بتسجيلها، قد تكون منبعثة من الغلاف الجوي (1)، أو منعكسة عن سطح ما (2)، أو منبعثة بواسطة سطح ما (3)، أو منتقلة عبر سطح ما (4). نظراً لأن أطوالها الموجية كبيرة فإن طاقتها تكون قليلة بالمقارنة بالموجات الضوئية، وبالتالي فإن مجال الرؤية للمستشعر يجب أن يكون كبيراً ليتمكن من رصد كمية طاقة كافية. ومعظم أجهزة الاستشعار الخاصة بأشعة الميكروويف لها قدره تفريق مكاني قليلة. (spatial resolution) يوجد العديد من التطبيقات للاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف، منها الأرصاد الجوية، وعلم المياه، وعلم المحيطات. يستطيع علماء الأرصاد الجوية استخدام أشعة الميكروويف لتحديد كمية الماء والأوزون بالغلاف الجوي.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

أما العلماء الذين يقومون بدراسة خصائص المياه، فيستخدمون أشعة الميكروويف لقياس درجة رطوبة التربة، حيث ان انبعاث أشعة الميكروويف يتأثر بالرطوبة. تطبيقات دراسة المحيطات تشمل رسم الخرائط للجليد والتيارات في البحار والمحيطات، وكذلك الرياح السطحية، وتحديد أماكن التلوث مثل البقع النفطية.



المستشعرات الإيجابية لأشعة الميكروويف، هي التي تمتلك مصدراً خاصاً بها لإرسال الأشعة إلى الهدف.

وعادة ما ينقسم هذا النوع من المستشعرات إلى قسمين: تصويري وغير تصويري وأكثر الأجهزة شيوعاً في النوع التصويري هو «الرادار»

(RADAR - Radio Detection and Ranging) حيث يقوم جهاز «الرادار» بإرسال أشعة الميكروويف تجاه الهدف، ثم يقوم برصد الأشعة التي ترتد منه وبقياس شدة تلك الأشعة، يمكن التمييز بين الأهداف المختلفة، والوقت بين إرسال الأشعة إلى الهدف وعودتها مرة أخرى لجهاز الاستشعار يحدد المسافة بين الهدف والجهاز، أما أجهزة الرادار غير التصويرية فتشمل مقاييس الارتفاعات والتشتت (altimeters and scatterometers)، وتعمل تلك الأجهزة غالباً على بعد واحد فقط بخلاف أجهزة الاستشعار التصويرية التي تعمل على بعدين.

أجهزة قياس «الارتفاعات الرادارية» تقوم بإرسال نبضات قصيرة من أشعة الميكروويف، وقياس الزمن الذي تستغرقه في رحلتها إلى الهدف ومنه، لتحديد المسافة بينها وبين الجهاز. وبشكل عام، فإن مقاييس الارتفاعات تقوم بقياس المسافة بين المنصة الحاملة لها وبين الأرض تحتها (عند نقطة النظر) وبالتالي يمكن قياس الارتفاعات. عند استخدام هذا النوع من الأجهزة لأغراض تحديد الارتفاعات، فإنها تكون محمولة على متن طائرة، أما عند استخدامها في أغراض رسم الخرائط الطبوغرافية وقياس ارتفاع سطح البحر، فيمكن أن يكون الجهاز مثبتاً على متن طائرة أو قمر صناعي. أجهزة قياس التشتت هي أجهزة غير تصويرية أيضاً، وتستخدم لإجراء قياسات دقيقة لكمية الطاقة المرتدة عن الأهداف، وتعتمد تلك الكمية على خصائص سطح الهدف (مدى خشونته)، وكذلك الزاوية التي تسقط بها الأشعة على الهدف، ويمكن الاستفادة من إجراء تلك القياسات على أسطح المحيطات لتقدير سرعة الرياح على السطح، بما يشير إلى مدى اضطراب سطح البحر.

وتستخدم تلك الأجهزة على سطح الأرض لتحديد أنواع المواد والأسطح المختلفة، وهذا يشبه مفهوم منحنيات الانعكاس الطيفي للمواد المختلفة.

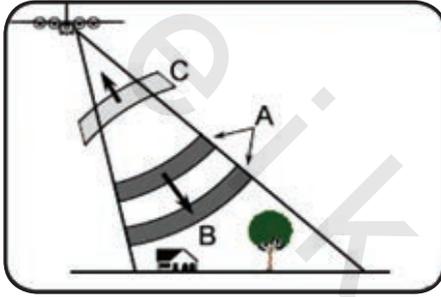
في هذا الفصل سنقوم بالتركيز على أجهزة «الرادار التصويرية» فقط، فبجانب ميزة قدرة أشعة الميكروويف على اختراق السحب ومعظم الظروف الجوية الأخرى، فكون الرادار جهاز استشعار إيجابي يجعل له ميزة أخرى، وهي القدرة على التصوير ليلاً أو نهاراً، وهاتان الميزتان هما أهم مميزات الرادار.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

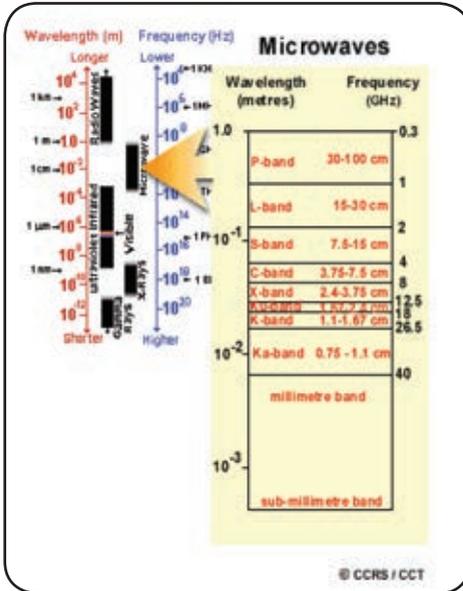
يجب أيضاً معرفة أن أجهزة الرادار تعمل بطريقة مختلفة عن أجهزة الاستشعار التي تم ذكرها في الفصل الثاني، وبالتالي فإن الصور الخاصة به مختلفة عن تلك الصور المنتقطة في حيز الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء...نتيجة لتلك الاختلافات، فإن المعلومات التي يوفرها «الرادار» والتي توفرها أجهزة الاستشعار الأخرى، يمكن اعتبارها معلومات مكملتها لبعضها، حيث إن كل منها يوفر منظورا مختلفا لسطح الأرض، في الأجزاء التالية سوف نتعرض للخصائص الأساسية لأجهزة الرادار.

### ١.٣ أساسيات جهاز الرادار:



كما ذكرنا سابقاً، فإن «جهاز الرادار» هو في الأصل جهاز لقياس المسافات. ويتكون من مُرسل، ومُستقبل، وهوائي، ونظام إلكتروني لتسجيل ومعالجة البيانات. يقوم «المرسل» بتوليد مجموعات متتالية من النبضات القصيرة لأشعة الميكروويف (A) على فترات ثابتة، ويقوم «الهوائي» بتشكيل وتركيز تلك النبضات على هيئة شعاع (B). يقوم الشعاع المتكون بالسقوط على الهدف بشكل مائل (عمودي على اتجاه

حركة المنصة الحاملة للرادار)، ثم تنعكس الطاقة عن بعض الأهداف، ويقوم «الهوائي» باستقبال جزء منها (C). و بقياس الوقت المستغرق لذهاب وعودة الأشعة، يتم تحديد المسافات. وأثناء حركة المنصة، يتم تسجيل ومعالجة الإشارات المنعكسة، وتكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض.



الحيز الذي تشغله «أشعة الميكروويف» من الطيف الكهرومغناطيسي كبير بالنسبة إلى حيز الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء، ويوجد العديد من النطاقات شائعة الاستخدام، والتي تمت تسميتها أثناء الحرب العالمية الثانية»، وظلت تلك التسمية مستخدمة حتى يومنا هذا، منها:

- الحيزات (Ka, K, Ku): لها أطوال موجية قصيرة جداً، وكانت تستخدم في أجهزة الرادار المحمولة جواً قديماً، وهي ليست شائعة الآن.

- الحيز (X-band): يستخدم بشكل كبير في الأنظمة المحمولة جواً، لأغراض الاستطلاع العسكري، ورسم خرائط التضاريس الأرضية.



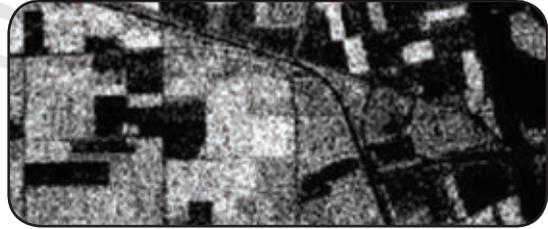
## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

• الحيز (C-band): يستخدم في الأنظمة المحمولة جواً، المستخدمة في مجال الأبحاث مثل القمر الصناعي الأمريكي (NASA AirSAR)، والأقمار الصناعية الأوروبية (ERS1 - ERS2)، والقمر الكندي (RADARSAT).

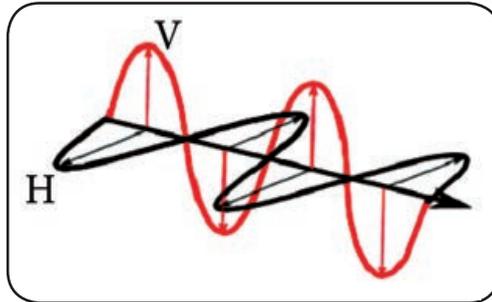
• الحيز (S-band): المستخدم على متن القمر الروسي "ALMAZ".

• الحيز (L-band): مستخدم على متن القمر الأمريكي "SEASAT"، والياباني "JERS-1"، وأنظمة "ناسا" المحمولة جواً:

• الحيز (P-band): أكبر الأطوال الموجية المستخدمة في أجهزة الرادار، وتستخدم في أنظمة «ناسا» المحمولة جواً الخاصة بإجراء التجارب والأبحاث.



بالأعلى توجد صورتان راداريتان، لبعض الحقول الزراعية، ولكن تم التقاط كل منهما باستخدام حيز مختلف، فالصورة الأولى تم التقاطها باستخدام الحيز (C-band)، والأخرى باستخدام الحيز (L-band). يمكن ملاحظة وجود اختلافات واضحة في الشكل الذي تظهر به الحقول في الصورتين، ويرجع ذلك لاختلاف الطريقة التي يتفاعل بها الإشعاع مع المحاصيل المختلفة تبعاً للطول الموجي، وسوف نتناول تلك الجزئية لاحقاً.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

هذا عند مناقشة طاقة الميكروويف ، يجب الأخذ في الاعتبار عنصر الاستقطاب (polarization) ويشير المصطلح إلى اتجاه المجال الكهربائي (راجع تعريف الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفصل الأول) .... معظم "أجهزة الرادار" يتم تصميمها بحيث يكون الاستقطاب أفقياً (H)، أو رأسياً (V)، وبالمثل فإن الهوائي يقوم باستقبال الأشعة المنعكسة باستقطاب رأسي، أو أفقي، ولكن بعض الأجهزة تستطيع استقبال كلا النوعين. ويمكن تكوين أربع مجموعات استقطاب للإرسال و الاستقبال ، كالتالي:

- HH: إرسال أفقي ، و استقبال أفقي .
- VV: إرسال رأسي، و استقبال رأسي .
- HV: إرسال أفقي، و استقبال رأسي .
- VH: إرسال رأسي، و استقبال أفقي .

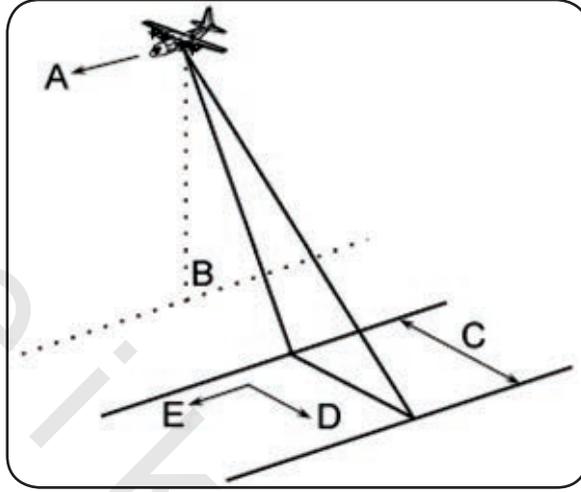
أول نوعين يطلق عليهما اسم "الاستقطاب المتماثل"، حيث إن الاستقطاب الخاص بعملية الإرسال والاستقبال متماثلان، و النوعان الآخران يطلق عليهما "الاستقطاب المتعاكس".



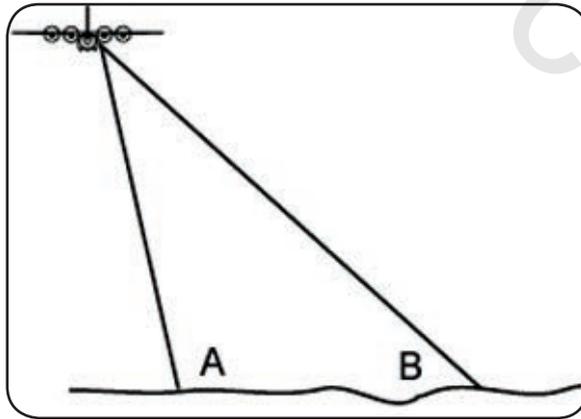
الصور بالأعلى هي صور تم التقاطها في الحيز (C) لبعض الحقول الزراعية ، حيث توضح تأثير اختلاف الاستقطاب على الصور الملتقطة . صورتان بالأسفل هما من نوع الاستقطاب المتماثل (HH, VV)، بينما الصورة على اليمين بالأعلى فهي من نوع الاستقطاب المتعاكس (HV)، أما الصورة على اليسار بالأعلى فهي نتيجة عرض أنواع الاستقطاب الثلاثة السابقة معاً (HH, VV, HV)، كل منها خلال لون من الألوان الأساسية (الأحمر- الأخضر- الأزرق) بطريقة تفاعل الإشعاع مع الهدف، و طريقة انعكاسه عنه تختلف تبعاً لنوع الاستقطاب ، فالطول الموجي ونوع الاستقطاب يؤثران على طريقة رؤية الرادار للهدف، وبالتالي فإن استخدام أطوال موجية مختلفة مع أنواع استقطاب مختلفة، يؤدي إلى تجميع بيانات متكاملة عن الأهداف و سطح الأرض .



### ٢-٢ هندسة الرؤية وقدرة التفريق المكانية:



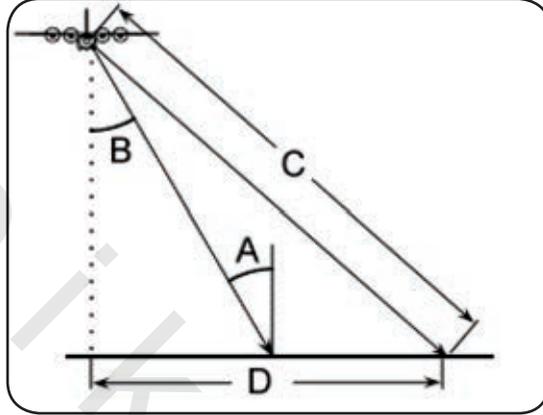
الأسلوب الهندسي للتصوير بجهاز الرادار يختلف عن أسلوب المسح ، وتحديد الإطار (Framing) الشائع الاستخدام في أنظمة الاستشعار البصرية التي تطرقنا لها سابقا في الفصل الثاني ، ولا يختلف أسلوب حركة المنصة الحاملة للرادار عن تلك التي تحمل المستشعر البصري، فتتحرك المنصة في اتجاه الطيران (A) وتكون نقطة النظر تحتها مباشرة (B)، تماما مثل الأجهزة السابقة، وتتحرك أشعة الميكروويف بشكل مائل في اتجاه عمودي على اتجاه الطيران، حيث ترى رقعة من الأرض (C)، والتي تكون بعيدة عن نقطة النظر، يُستخدم مصطلح "المدى" "Range" (D) للإشارة للبعد العمودي على اتجاه الطيران ، والذي هو بداخل المسار ، أما مصطلح "السمت" "Azimuth" فيستخدم للتعبير عن البعد الموازي لاتجاه الطيران ، على طول المسار (E). هذه الرؤية الجانبية ثابتة لكل أنظمة الرادار المحمولة جوا أو في الفضاء .



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

المدى القريب والبعيد:

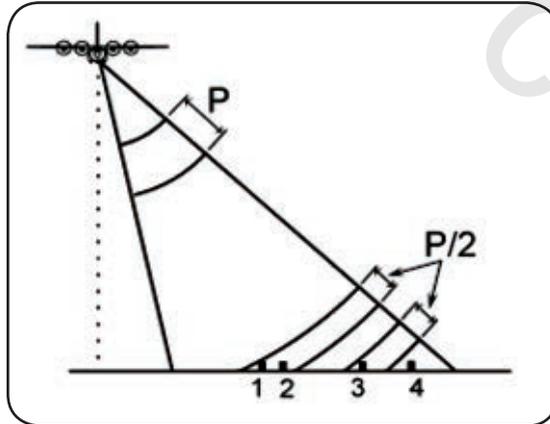
الجزء الأقرب لنقطة النظر (Nadir) - من الرقعة التي يتم رصدها (swath) - يسمى «المدى القريب» (A)، بينما الجزء الأبعد عن نقطة النظر يسمى «المدى البعيد» (B).



زاوية السقوط والرؤية:

«زاوية السقوط» هي الزاوية بين شعاع الرادار و سطح الأرض (A)، والتي تزداد كلما تحركنا داخل الرقعة من المدى القريب إلى البعيد.

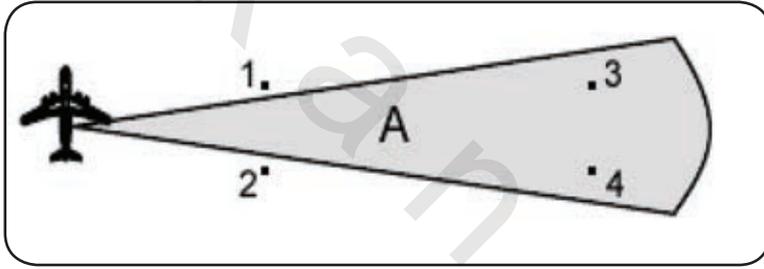
أما «زاوية الرؤية» (B) فهي الزاوية التي يرى منها الرادار سطح الأرض. يقوم الرادار بقياس خط الرؤية بينه وبين الهدف لتحديد المسافات، ويكون هذا الخط هو المدى المائل (C). المدى الأرضي (D) هو المسافة الأفقية على سطح الأرض، والتي تعتبر مسقطاً للمدى المائل.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

قدرة التفريق المكانية للرادار، تعتمد على خواص «أشعة الميكروويف» والتأثيرات الهندسية، وذلك على عكس أنظمة الاستشعار السابقة. ففي حالة استخدام رادار ذي هوائي حقيقي (Real Aperture Radar "RAR") (كرادار التصوير الجانبي المحمول جواً)، لتكون الصورة عن طريق إرسال نبضة واحدة من الأشعة، واستقبال الأشعة العائدة، وفي هذه الحالة تعتمد قدرة التفريق المكانية على الطول الفعال للنبضة باتجاه المدى المائل، وعرض المنطقة التي يضيئها الإشعاع باتجاه بعد السميت "Azimuth"... أما قدرة تفريق المدى (range) أو الاتجاه (azimuth across track) فتعتمد على طول النبضة (P).

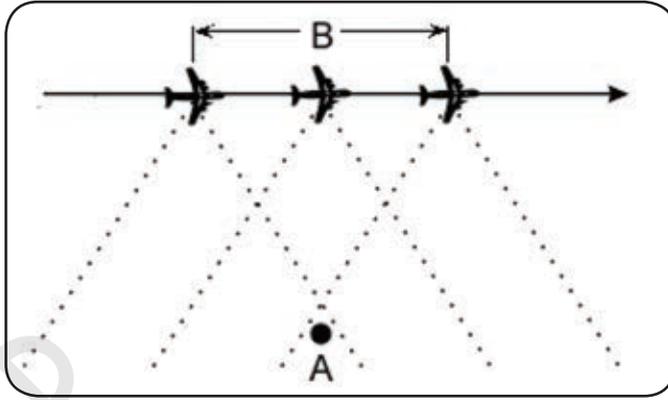
عند وجود هدفين متجاورين على سطح الأرض، فإنه يمكن التمييز بينهما في المدى (Range) إذا كانت المسافة بينهما أكبر من نصف طول النبضة، فكما يظهر بالصورة بالأعلى، فإنه يمكن التمييز بين الهدفين ٣ و٤، بينما لا يمكن ذلك مع الهدفين ١ و٢، قدرة التفريق المكانية في المدى المائل تظل ثابتة ولا تعتمد على المدى، ولكن عندما يتم إسقاطه على إحداثيات المدى الأرضي، فسوف تعتمد القدرة على التفريق الخاصة بالمدى الأرضي على زاوية السقوط، وبالتالي عندما تكون القدرة على التفريق الخاصة بالمدى المائل ثابتة، فإنها بالمدى الأرضي تقل بزيادة "المدى Range".



تحدد الدقة على التفريق في الاتجاه "السميت Azimuth"، باتساع الزاوية التي تحددها أشعة الميكروويف، وبمسافة المدى المائل. عندما تتحرك الأشعة مبتعدة عن "الرادار"، يزداد عرض الشعاع الصادر منه (A)، وبالتالي تقل القدرة على التفريق. فكما يظهر بالصورة بالأعلى، يمكن تمييز الهدفين ١ و٢، أما ٣ و٤ فلا يمكن التمييز بينهما. ويتناسب عرض الشعاع عكسياً مع طول الهوائي، فكلما ازداد طول الهوائي كان الشعاع أضيق، وبالتالي تتحسن القدرة على التفريق.

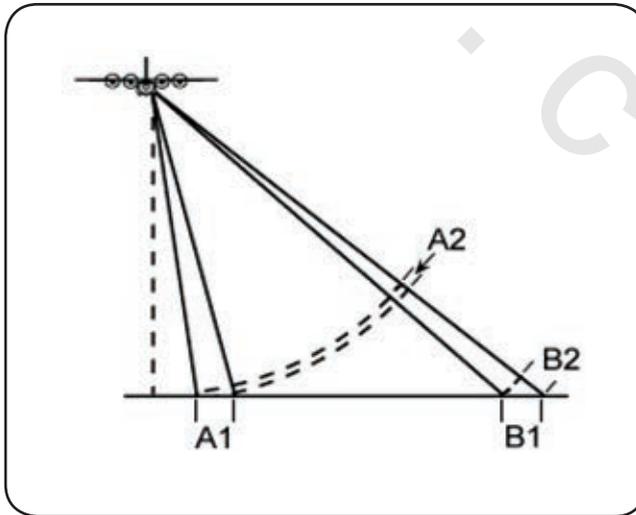
كي تزداد القدرة على التفريق في المدى - يمكن استخدام نبضات قصيرة، يتم الحصول عليها عن طريق تصميمات هندسية معينة، أما زيادة القدرة على التفريق في السميت، فتزداد بزيادة طول الهوائي، ولكن يظل طول الهوائي محدوداً بقدرة المنصة الحاملة للرادار، سواء كانت في الجو أو الفضاء، ففي الأنظمة المحمولة جواً، يتراوح طول الهوائي بين ١ و٢ متر، أما في الأقمار الصناعية، فيتراوح بين ١٠ و١٥ متراً. وللتغلب على تلك القيود على طول الهوائي، يتم استخدام حركة المنصة، بالإضافة إلى عمليات تسجيل ومعالجة خاصة للأشعة المرتدة، لمحاكاة هوائي ذي طول كبير، وبالتالي تتحسن قدرة التفريق السميت.





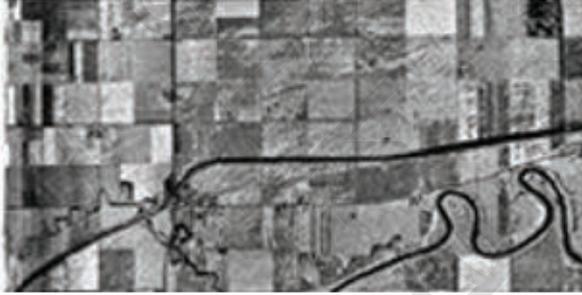
يوضح الشكل بالأعلى تلك العملية، حيث يدخل الهدف (A) حيز أشعة الرادار (1)، ويبدأ تسجيل الأشعة العائدة من الهدف، بينما تستمر المنصة في التحرك إلى الأمام، النقطة التي يخرج عندها الهدف من حيز الأشعة تماماً (2)، تحدد طول الهوائي الافتراضي (التخليوي) (B). الأهداف عند المدى البعيد، تتعرض للأشعة لفترة أطول من تلك عند المدى القريب. عرض أشعة الميكروويف (الذي يزداد عند الأطراف)، بالإضافة إلى الوقت الذي يتعرض فيه الهدف للإشعاع، يعادلان بعضهما البعض، وبالتالي تظل القدرة على التفريق ثابتة بالنسبة للرقعة التي يتم رصدها كاملة، هذه الطريقة في الحصول على قدرة تفريق جيدة وثابتة للرقعة التي يتم رصدها، تسمى "الرادار ذا الهوائي الافتراضي (SAR) "synthetic aperture radar"، ويتم استخدامها في معظم الأنظمة الجوية والفضائية.

### ٣-٣ تشوهات الصور الرادارية :



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

ككل أنظمة الاستشعار، تنتج بعض التشوهات الهندسية في الصور نتيجة طريقة الرؤية الخاصة بالجهاز. ولكن «أنظمة الرادار» تختلف بعض الشيء عن غيرها، وذلك نتيجة الرؤية الجانبية لها، وطبيعة الرادار من حيث كونه جهازاً لقياس المسافات بالأصل. التشوه في مقياس المدى المائل "Slant range scale distortion" يحدث نتيجة لكون الرادار يقوم بقياس المسافة المائلة بين الأهداف وليس المسافة الأفقية الحقيقية بينها، ويترتب على ذلك تغير في مقياس الصورة بين المدى القريب والبعيد. ففي الصورة بالأعلى، يظهر الهدفان (A1, B1) ولهما نفس الحجم على سطح الأرض، ولكن الأبعاد التي تظهر لهما (A2, B2) على المدى المائل تكون مختلفة تماماً، حيث تظهر الأهداف عند المدى القريب كأنها مضغوطة مقارنة بالأهداف عند المدى البعيد، وباستخدام علم حساب المثلثات، يمكن حساب المسافة على المدى الأرضي (المسافة الأفقية)، بمعرفة المسافة المائلة وارتفاع المنصة.

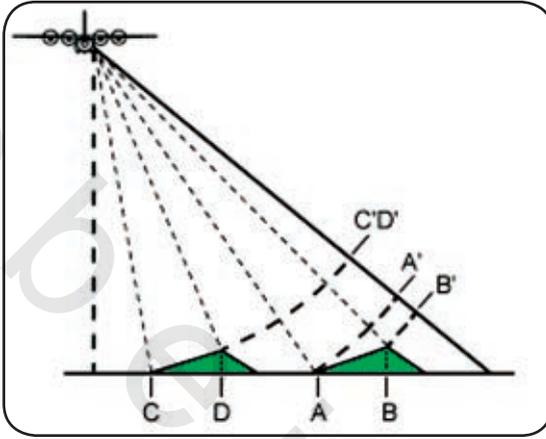


في الصور بالأعلى (الصورة العلوية) تظهر صورة ملتقطة بواسطة رادار (معروضة بالمسافات المائلة دون تعديل)، وتبدو الحقول والطرق عند المدى القريب (يسار الصورة) كأنها مضغوطة، عند تحويل المسافات والأبعاد في الصورة إلى المدى الأرضي (أفقياً)، تظهر الأهداف بشكلها الهندسي الطبيعي (الصورة السفلية).

كذلك تعاني «الصور الرادارية» من التشوهات نتيجة الإزاحة، مثلما يحدث عند استخدام آلات التصوير والمساحات الضوئية، تكون تلك الإزاحة في بعد واحد فقط عمودي على مسار الطائرة وتحدث ظاهرتا قصر المنظور المائل (foreshortening) والتوقف (layover) كنتيجة لتأثير الإزاحة.

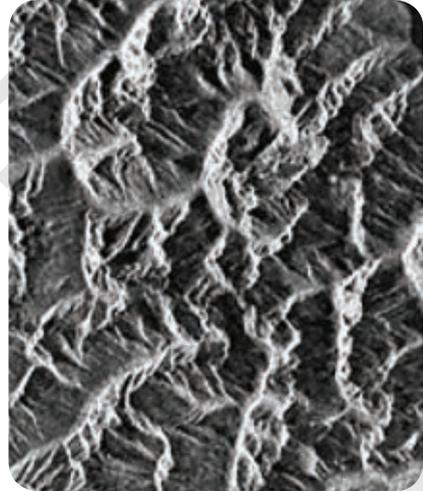
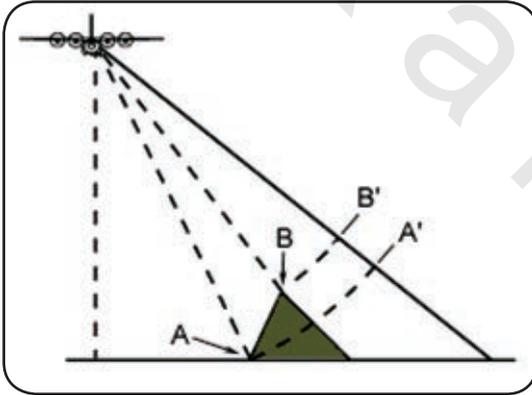


## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف



يحدث قصر المنظور المائل عندما يصل شعاع الرادار لقاعدة أحد الأهداف الطويلة، والتي تميل باتجاه الرادار (مثل الجبال) قبل أن يصل الشعاع إلى قمته، وذلك لأن الرادار يقيس المسافات المائلة، فتظهر المسافة (A-B) مضغوطة وتظهر بشكل غير صحيح كأنها المسافة (A'-B'). ويعتمد ذلك على العلاقة بين ميل الجبل أو التل وزاوية سقوط شعاع الرادار، وتحدث تلك الظاهرة بأقصى قيمة ممكنة لها عندما تكون أشعة الرادار عمودية على الميل، بحيث يتم تصوير قاعدة

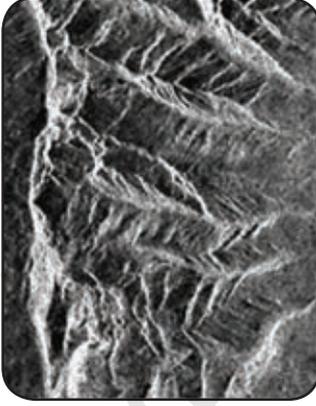
الهدف وميله و قمته معا (من النقطة C إلى D)، وبالتالي تختفي المسافة بين النقطتين وتظهر كأنها تساوي صفرا (C'D'). الصورة بالأسفل توضح صورة رادارية لتضاريس جبلية مائلة، ولكنها تعاني من ظاهرة قصر المنظور المائل، حيث تظهر الأبعاد التي تعاني تلك المشكلة بلون ساطع.



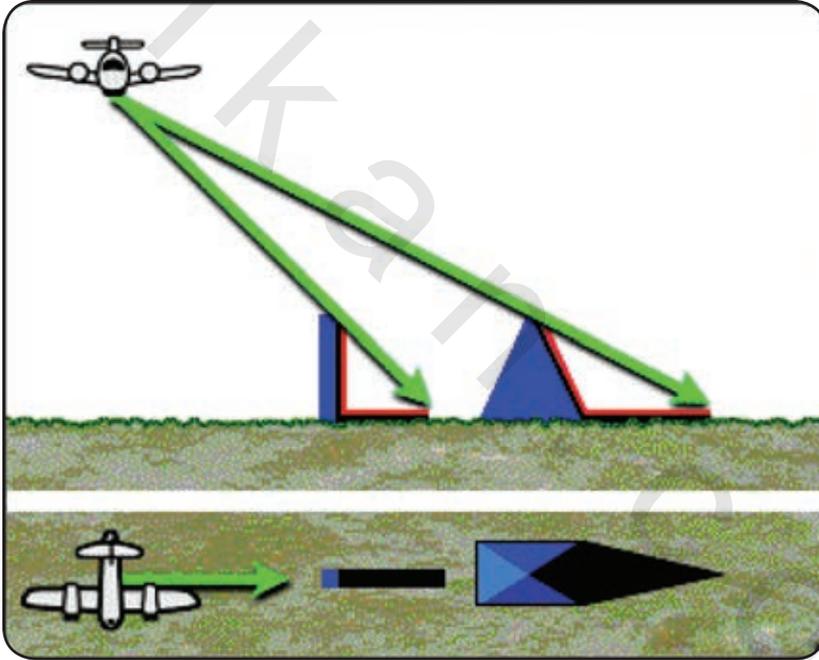
أما «ظاهرة التوقف» فتحدث عندما يصل شعاع «الرادار» إلى قمة هدف ما (ذو ارتفاع عال) قبل أن يصل إلى قاعدته، وبالتالي تعود الأشعة المرتدة من قمة الهدف قبل تلك القادمة من القاعدة، وكنتيجة لذلك تظهر قمة الهدف وكأنها قد أزيحت من مكانها قليلاً باتجاه الرادار، وتظهر قبل القاعدة (A-B'). تؤثر ظاهرة التوقف على الصور الرادارية تأثيراً مشابهاً لظاهرة قصر المنظور المائل.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف



تؤدي هاتان الظاهرتان إلى حدوث ما يسمى بالظل الراداري "radar shadow"، وهو يحدث عندما لا يتمكن شعاع الرادار من إضاءة سطح الأرض. تظهر الظلال باتجاه المدى البعيد، خلف الأهداف الرأسية أو التي جوانبها شديدة الانحدار، وتظهر تلك المناطق معتممة في الصورة، حيث لا تصلها طاقة وبالتالي لا يرتد منها أي إشعاعات؛ نتيجة ازدياد زاوية السقوط كلما اتجهنا إلى المدى البعيد، كذلك تأثير الظلال يزداد في نفس الاتجاه، حيث يزداد ميل الشعاع الساقط. تظهر الصورة التالية تأثير الظل الراداري على الجانب الأيمن من التلال التي تضاء من جهة اليسار.



الأسطح التي لونها «أحمر» تقع بالكامل في منطقة الظل، والمناطق «السوداء» هي مناطق مظلمة ولا تحتوي أية معلومات.

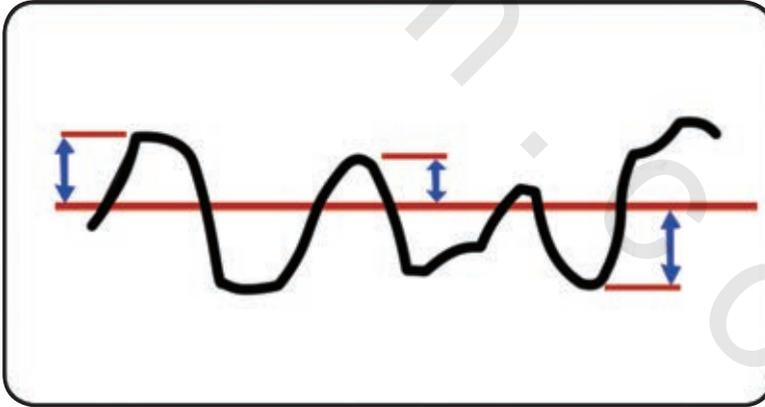


### ٤-٣ تفاعل الهدف وشكل الصورة :



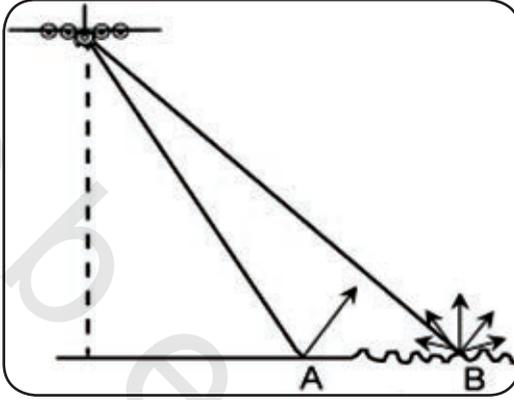
يعتمد «سطوع الهدف» في الصور على الطاقة التي أرسلت وعادت مرة أخرى للرادار من الأهداف . أما كمية و شدة الطاقة المنعكسة ، فتعتمد على كيفية تفاعل الطاقة مع السطح ، وذلك يتوقف على عدة عوامل . تشمل تلك العوامل خصائص الرادار نفسه (التردد، والاستقطاب، وهندسة الرؤية...)، إلى جانب خصائص السطح (الغطاء الأرضي، والتضاريس، وطبوغرافية الأرض،...)، ولأن العديد من تلك الخصائص ترتبط ببعضها البعض، فمن المستحيل تحديد تأثير كل منها على الصور على حدة، حدوث تغيرات في بعض العوامل قد يؤثر على عوامل أخرى مما ينتج عنه تغير في كمية الأشعة العائدة للرادار من الهدف، ولهذا فإن سطوع الأهداف في الصور يعتمد على مجموعة متغيرات، ولكن يمكن تقسيم تلك المتغيرات إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

- خشونة سطح الهدف .
- العلاقة بين هندسة السطح و الرؤية للرادار .
- محتوى الرطوبة و الخصائص الكهربائية للهدف .



خشونة سطح الهدف، تتحكم في تفاعل «أشعة الميكروويف» مع الهدف، ويعتبر أكثر العوامل تأثيراً في درجات ألوان الصورة، ويشير مصطلح خشونة السطح إلى متوسط الاختلاف في ارتفاعات تفاصيل السطح عن أي سطح مستو، ويقاس بالسنتيمترات، ويتوقف مظهر السطح بالنسبة للرادار (سواء ناعماً أو خشناً) على الطول الموجي، وزاوية السقوط .





يعتبر السطح ناعماً، إذا كان اختلاف الارتفاعات أصغر بكثير من الطول الموجي لأشعة الرادار، وكلما اقتربت تلك الاختلافات من قيمة الطول الموجي، كان السطح أكثر خشونة، وبالتالي فإن السطح الواحد سيظهر أخشن للأطوال الموجية القصيرة، وأنعم كلما ازداد الطول الموجي.

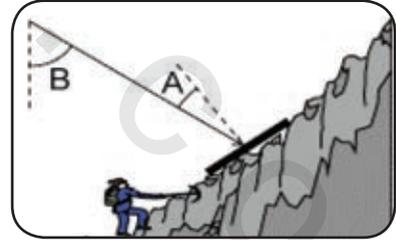
يظهر بالصورة، السطح الناعم (A)، الذي تنعكس عنه الأشعة (الانعكاس المنتظم) و يكون اتجاهها بعيداً عن

الرادار، ويعود جزء صغير فقط - من الأشعة الساقطة - باتجاه الرادار، ذلك يؤدي لظهور الأسطح الناعمة ممثلة بدرجات لونية داكنة في الصور الرادارية. أما «السطح الخشن» (B)، فيقوم بتشتيت الطاقة - الساقطة عليه - بشكل متساو تقريباً في كل الاتجاهات، وبالتالي يعود جزء كبير من الطاقة باتجاه الرادار، فتظهر تلك الأسطح بدرجات لونية فاتحة.

كذلك تلعب زاوية السقوط بالإضافة إلى الطول الموجي، دوراً ملحوظاً في مظهر السطح. فلنفس السطح ونفس الطول الموجي، يظهر السطح بشكل أنعم كلما زادت زاوية السقوط، وكلما تحركنا خلال الرقعة التي يتم رصدها - من المدى القريب إلى البعيد - تقل كمية الطاقة التي تعود للرادار، وبالتالي تظهر الصورة بلون داكن.

تعرضنا من قبل لزاوية السقوط (الرؤية)، وعلاقتها بهندسة الرؤية، وكيفية تأثيرها على

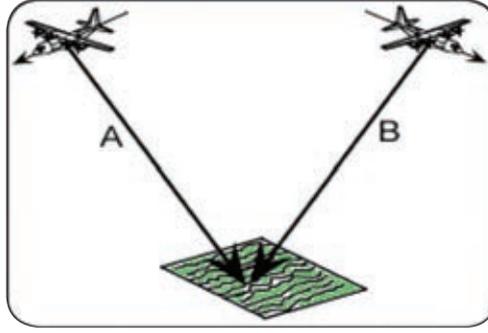
الإشارات التي تعود للرادار. ولكن عند الحديث عن هندسة السطح وتفاعل الأشعة مع الهدف وشكل الصورة، يكون مصطلح «زاوية السقوط المحلية» (local incidence angle) أكثر قدرة للتفريق وملاءمة. وتعرف هذه الزاوية، بأنها الزاوية (A) بين شعاع الرادار والخط العمودي على الميل عند نقطة السقوط، وبالتالي فإن زاوية السقوط المحلية تأخذ في اعتبارها ميل الأرض بالنسبة لشعاع الرادار. وعندما تكون الأرض



مستوية (غير مائلة)، تكون زاوية السقوط المحلية هي نفسها زاوية الرؤية للرادار (B)، ولكن ليست تلك هي الحالة في معظم الأحوال، حيث إن الأرض غالباً ليست مستوية وبها برونات (جبال، هضاب....) وبشكل عام فإن وجود ميل في مواجهة الرادار، يجعل زاوية السقوط المحلية صغيرة، مما يؤدي إلى رجوع الأشعة إلى الرادار بقوة، وتظهر تلك المناطق في الصور ساطعة اللون.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

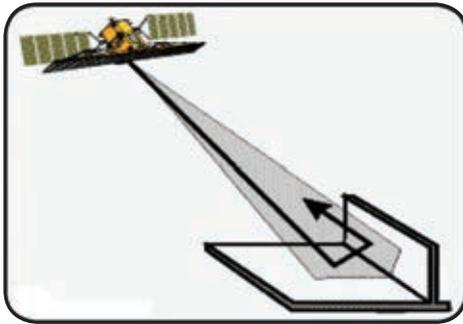


وبناء على ما سبق ، فإن العلاقة بين «هندسة الرؤية للرادار و هندسة السطح» وخصائصه، تلعبان دوراً هاماً في كيفية تفاعل الطاقة مع الهدف، و السطوح المقابل لتلك الأهداف في الصور .

اتجاه الرؤية للرادار يوصف باتجاه شعاع الرادار بالنسبة للسطح . فاتجاه الرؤية يمكن أن يؤثر بشكل واضح على شكل الأهداف في الصور الرادارية، بالأخص عندما تكون تلك الأهداف على هيئة خطية (مثل المحاصيل الزراعية، و سلاسل الجبال). إذا كان اتجاه الرؤية يكاد يكون عمودياً على الهدف (A)، فسوف ينعكس جزء كبير من الأشعة باتجاه الرادار، و يظهر ذلك الهدف بلون ساطع . أما إذا كان اتجاه الرؤية مائل بالنسبة للهدف (B)، فتقل نسبة الأشعة المنعكسة باتجاه الرادار ، و يظهر الهدف بلون داكن .

اتجاه الرؤية هو عنصر هام في تحسين التباين (Contrast) بين الأهداف في الصورة ، و تظهر أهميته بشكل كبير في المناطق الجبلية ، و ذلك لتقليل تأثير ظواهر التوقف و الظل. فعن طريق التقاط الصورة من أكثر من اتجاه ، يمكن تحسين تمييز الأهداف الموجودة بالصورة .

الأسطح التي لها سطحان (أو أكثر) متعامدان (عادة تكون أسطح ملساء) يمكن أن



تؤدي لحدوث ظاهرة الانعكاس الركني "corner reflection" ، و ذلك إذا كانت الزاوية في مقابل الهوائي الخاص بالرادار مباشرة، وضع السطح عند الزوايا القائمة يؤدي إلى انعكاس معظم الطاقة باتجاه الهوائي نتيجة ارتدادها مرتين (أو أكثر) عن السطح. العواكس الركنية corner reflectors ذات الزوايا المعقدة توجد بكثرة في مناطق العمران (المباني ، الشوارع، الكباري ، و العديد من المنشآت الأخرى) . أما العواكس الركنية الطبيعية فتكون مثل الصخور، و المنحدرات، و النباتات المستقيمة في المياه . و عامة فإن تلك الأهداف تظهر بلون ساطع في الصور، مثل المباني في هذه الصورة الرادارية.

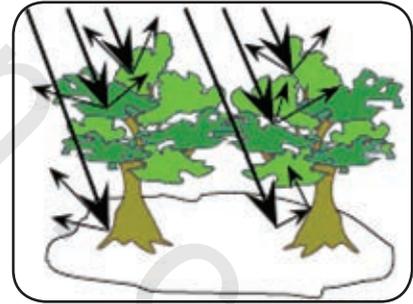




تؤثر الرطوبة على الخصائص الكهربائية للهدف، كما أن تغير الخصائص الكهربائية يؤثر على الامتصاص، والانتقال والانعكاس لأشعة الميكروويف، وبالتالي فإن محتوى الرطوبة يؤثر على طريقة انعكاس الأشعة عن الهدف وطريقة ظهور الأهداف في الصور. وبشكل عام، فإن الانعكاس (وسطوع الأهداف في الصور) يزداد بزيادة محتوى الرطوبة، ولذلك فإن التربة والغطاء النباتي يظهران بشكل أكثر سطوعاً عندما يكون محتوى الرطوبة بهما كبيراً.

عندما يكون الهدف «مبللاً أو رطباً»، يكون التشتمت من الجزء العلوي للهدف هو الأكثر حدوثاً وتأثيراً. نوع الانعكاس (من الانعكاس المنتظم إلى الانعكاس العشوائي) وكميته يعتمدان على مدى انتظام السطح أو عدمه بالنسبة للرادار. إذا كان السطح «شديد الجفاف» ويظهر كسطح أملس بالنسبة للرادار، فإن الطاقة قد تتمكن من اختراق السطح، سواء كان ذلك السطح متصللاً (مثل: التربة، الرمال، الجليد) أم لا (مثل: أوراق وفروع أشجار الغابات). بالنسبة للسطح الواحد، تستطيع الأطوال الموجية الأكبر أن تخترق السطح لمسافات أكبر من غيرها.

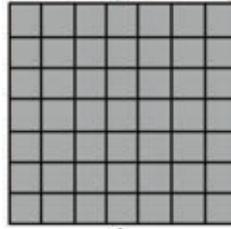
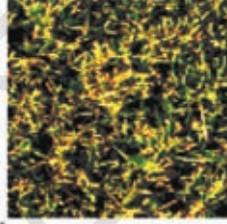
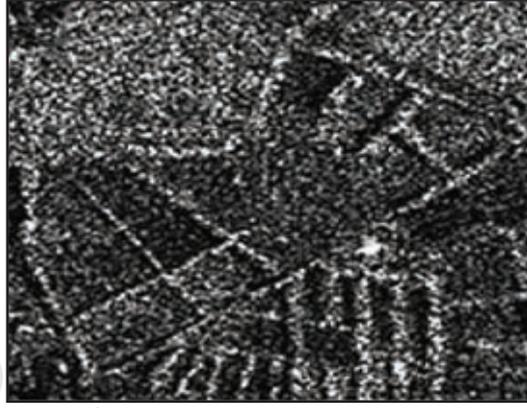
إذا نجحت «أشعة الرادار» في اختراق السطح العلوي، فقد تحدث ظاهرة التشتمت الحجمي "Volume scattering"، وهو نوع من التشتمت يحدث لأشعة الرادار، خلال وسطها، ويتكون عادة من عدة ارتدادات وانعكاسات من المكونات المختلفة للوسط. على سبيل المثال: قد يحدث التشتمت في الغابات، بسبب الأوراق في أعلى الأشجار، والأوراق والفروع التي تليها، وجذوع الأشجار والتربة على مستوى الأرض. قد يساهم هذا النوع من التشتمت في زيادة أو تقليل سطوع الصورة، بناءً على كمية الطاقة التي تشتمت وتعود مرة أخرى للرادار.



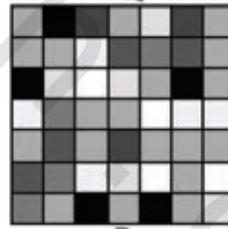
### ٥.٢ خصائص الصور الرادارية:

تظهر في معظم الصور الرادارية نقاط بدرجات مختلفة وتسمى تلك النقاط "Speckles". ويتم تشبيه تلك النقاط بحيبيبات "الملح والفلل" المنتشرة على الصورة. ويحدث ذلك نتيجة العديد من التداخلات البناءة والهدامة للأشعة المنعكسة للرادار. مثال على ذلك: الأهداف المتجانسة مثل حقل كبير مغطى بالعشب، فبدون تأثير النقاط، سيظهر على هيئة لون فاتح في الصورة (A)، بينما الانعكاسات الناتجة عن أوراق النباتات كل على حدة، لكل وحدة قدرة تفريق، ينتج عنها أن بعض عناصر الصورة (pixels) تظهر بلون فاتح وأخرى بلون داكن (B)، وبالتالي يظهر الحقل وكأن به نقط.





A

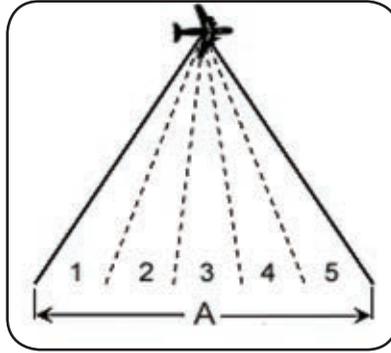


B

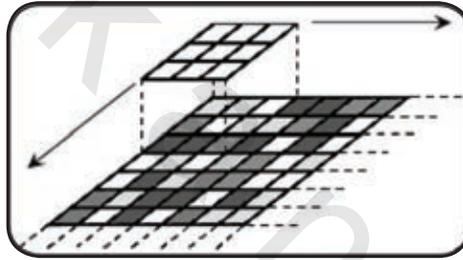
النقاط (Speckles) هي نوع من أنواع الضوضاء (noise) التي تقلل من جودة الصورة، ويمكن أن تجعل التعامل مع الصورة واستخلاص المعلومات منها (سواء بالنظر أو بالمعالجة الرقمية)، أمراً صعباً، وبالتالي فإنه يجب التقليل من تلك النقاط في الصورة قبل استخدامها والتعامل معها. تقليل النقاط (Speckle reduction)، يمكن تحقيقه بطريقتين:

- معالجة الرؤية المتعددة "multi-look processing"
- التصفية المكانية "spatial filtering"

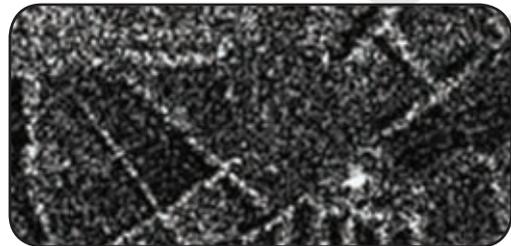




معالجة الرؤية المتعددة، تشير إلى تقسيم الشعاع الراداري إلى عدة أشعة أضيق (في هذا المثال تم تقسيمه إلى 5)، كل شعاع جزئي له رؤية مستقلة للمشهد. كذلك فكل منها معرض لتأثير النقاط، ولكن بتجميعها والحصول على المتوسط، تقل كمية النقاط.



بينما تتم عملية معالجة «الرؤية المتعددة» أثناء الحصول على الصور، تتم التصفية المكانية على الصورة المتكونة، عند المعالجة الرقمية للصورة، ويتم عن طريق تمرير نافذة صغيرة من عناصر الصورة pixels (مثلاً:  $3 \times 3$ ، أو  $5 \times 5$ )، على كل بكسل في الصورة، وإجراء عملية حسابية باستخدام كل بكسل مقابلة لتلك النافذة (حساب المتوسط)، واستبدال البكسل التي تتوسط تلك النافذة بقيمة المتوسط. تتحرك تلك النافذة على كل الصفوف، والأعمدة بمقدار بكسل لكل حركة، حتى تتم تغطية الصورة بالكامل، وينتج عن تلك العملية حدوث انطماس وعدم وضوح لمعالم الصورة، ويقل مظهر النقاط بشكل عام.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

تظهر صورتان السابقتان تأثير تلك العملية، فالصورة بالأعلى هي قبل استخدام المرشح والصورة بالأسفل هي بعد تلك العملية. توجد بعض العمليات الأكثر تعقيداً التي تستخدم لتقليل تأثير النقط، مع الحفاظ على وضوح الصورة.

كل من هاتين العمليتين تقلل تأثير النقط، ولكن على حساب قدرة تفريق الصورة ووضوحها، لذلك فإن تقليل النقاط يجب أن يتم بدرجة معينة على حسب التطبيق الذي ستستخدم فيه تلك الصور، وكمية التفاصيل المطلوبة له. فإذا كان ذلك التطبيق يحتاج تفاصيل كثيرة وقدرة تفريق عالية، فيجب استخدام هاتين العمليتين بشكل بسيط أو عدم استخدامهما تماماً، أما إذا كان التطبيق هو رسم الخرائط مثلاً (العمل على مقياس كبير) فيمكن استخدامهما.

توجد صفة أخرى تميز الصور الرادارية، وهي الرؤية المائلة والتشوهات التي تنتج عنها (تحدثنا عنها سابقاً في الجزء ٣-٣) (تشوه مقياس المدى المائل)، حيث إن الأهداف الموجودة في المدى القريب تكون مغطوة بالنسبة للأهداف عند المدى البعيد؛ نتيجة الاختلاف في المقياس. ويفضل - بالنسبة لكثير من التطبيقات - عرض الصور الرادارية بعد تصحيح ذلك التشوه، وذلك للحصول على قياسات حقيقية للأهداف في الصورة، ذلك يتطلب أن يتم تحويل الصور من المدى المائل إلى المدى الأرضي.

يقوم الهوائي الخاص «بالرادار» بإرسال طاقة أكبر عند منتصف الرقعة المعرضة للأشعة من تلك عند أطراف الرقعة، ويعرف ذلك التأثير باسم الهوائي "antenna pattern"، ويؤدي ذلك إلى انعكاس الأشعة من منتصف الرقعة بقوة أكبر من الأطراف، بالإضافة إلى أن الطاقة المنعكسة تقل كلما ازدادت المسافة، وبالتالي فإنه بالنسبة لسطح الواحد، تقل الطاقة المنعكسة كلما ابتعدنا خلال الرقعة؛ نتيجة لذلك تختلف درجة (شدة) ألوان الصورة باتجاه المدى. تستخدم عملية «تصحيح الهوائي» "antenna pattern correction" لتوحيد شدة السطوع في الصورة.



مستويات السطوح التي يستطيع نظام الاستشعار تمييزها ترتبط بقدرة للتفريق القياسات الاشعاعية Radiometric Resolution، وتسمى الحيز الديناميكي "Dynamic range".

فبينما تتمكن المستشعرات البصرية- كتلك الموجودة بأقمار "لاندسات" و "سبوت" من التمييز بين ٢٥٦ مستوى، فإن أنظمة الرادار تستطيع تمييز حوالي ١٠٠,٠٠ مستوى!! تستطيع العين البشرية التمييز بين حوالي ٤٠ مستوى فقط في آن واحد، وبالتالي المستويات الخاصة بالصور الرادارية تكون كثيرة جداً بالنسبة لما يمكن تمييزه بالعين. حتى أجهزة الكمبيوتر قد تجد صعوبة في التعامل مع ذلك الكم من المعلومات، لذلك معظم أجهزة الرادار تسجل وتتعامل مع البيانات على ١٦ بت (bits)، وبالتالي تنتج ٦٥,٥٣٦ مستوى، ويتم تقليصها لـ ٨ بت (٢٥٦ مستوى) عند عرضها على الكمبيوتر.

المعايرة "Calibration": هي عملية التأكد من أن نظام الرادار والإشارات التي يقوم بقياسها صحيحة بقدر الإمكان. فقبل تحليل الصور، تحتاج معظم الصور الرادارية إلى عملية المعايرة النسبية "relative calibration"، حيث تقوم تلك العملية بتصحيح التغيرات التي تطرأ على الهوائي واستجابات نظام الرادار، والتأكد من أنه يمكن إجراء قياسات منتظمة العديد من المرات. تلك المعايرة تمكننا من إجراء مقارنات بين الأهداف المختلفة في الصورة الواحدة، وبين الصور وبعضها البعض. ولكن إذا أردنا إجراء قياسات كمية دقيقة تمثل الطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف، فتصبح المعايرة المطلقة "absolute calibration" ضرورية في تلك الحالة.

المعايرة المطلقة: هي عملية تربط بين الطاقة التي يتم تسجيلها والطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف لكل وحدة قدرة تفريق. للوصول لذلك يجب إجراء قياسات تفصيلية لخصائص نظام الرادار، وكذلك القياسات الكمية لخصائص الأهداف. كذلك يتم استخدام جهاز على الأرض يسمى "transponder"، ويستخدم قبل التقاط الصور للمعايرة، حيث يقوم باستقبال الإشارة من الرادار وتكبيرها، وإرسال إشارة - معلومة الشدة - للرادار مرة أخرى، وعن طريق معرفة الشدة الحقيقية لتلك الإشارة، يمكن معايرة الاستجابات المختلفة للأهداف.

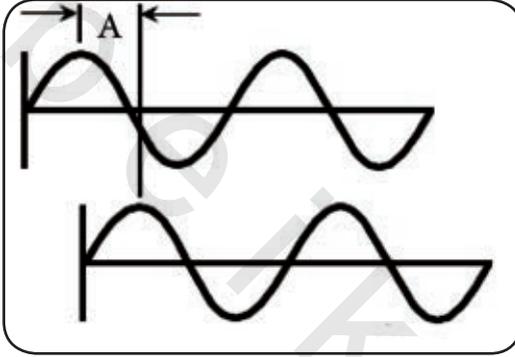
### ٦.٣ التطبيقات الرادارية المتقدمة:

بالإضافة للحصول على المعلومات واستخدامها، توجد ثلاثة تطبيقات أخرى للرادار تستحق الذكر.



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

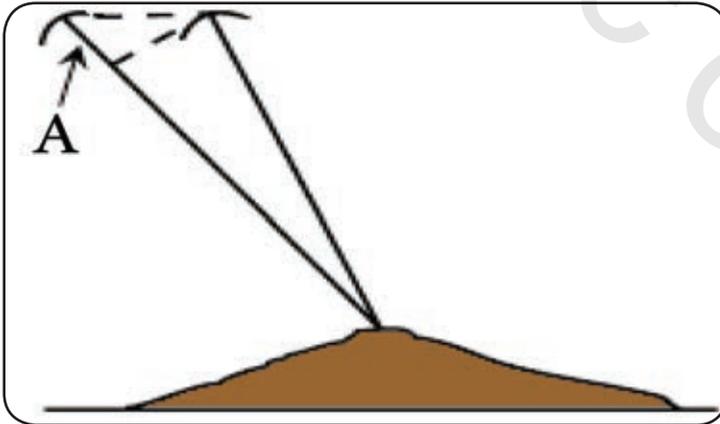
وأولها هو "الرادار المجسم" "Stereo radar": وهو يشبه رسم الخرائط المجسمة "stereo mapping" باستخدام التصوير الجوي، حيث يتم التقاط صورتين لكل منطقة، و لكن بزوايا سقوط مختلفة، أو اتجاهات نظر متعاكسة. وعلى عكس الصور الجوية، حيث تكون الإزاحة في اتجاه أنصاف أقطار دائرة مركزها نقطة النظير تحت آلة التصوير مباشرة، فإن الصور الرادارية تظهر الإزاحة في اتجاه المدى فقط.



عند التقاط زوج من الصور لكل منطقة (إحدهما باتجاه الشمال والأخرى باتجاه الجنوب)، قد يكون هناك اختلاف كبير بينهما، وبالتالي يكون من الصعب التعامل معها بصرياً ورقمياً. في التضاريس الجبلية، يظهر ذلك بشكل أكثر وضوحاً، حيث إن الظل في الاتجاه الآخر من الهدف سوف يلغي التأثير المجسم للأهداف. تم استخدام التصوير المجسم الجانبي لعدة سنوات للمساعدة في دراسة الغابات و طبقات الأرض،

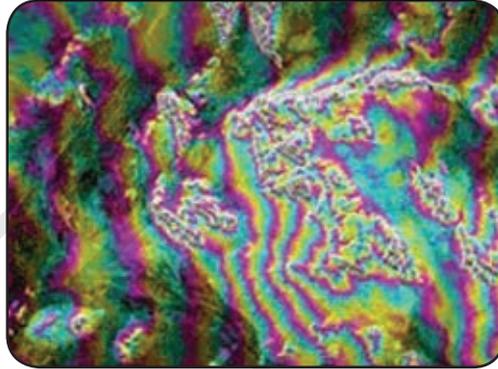
وكذلك رسم الخرائط الطبوغرافية. عملية الحصول على قياسات للمسافات والارتفاعات من البيانات الرادارية المجسمة، تسمى المساحة الرادارية radar grammetry، وهو شبيه بالمساحة التصويرية photogrammetry التي تتم لنفس الغرض، و لكن باستخدام التصوير الجوي.

وتستخدم تلك الطريقة لمعرفة ارتفاعات التضاريس باستخدام الرادار. توجد طريقة أخرى متقدمة تسمى "القياس بالتداخل" "interferometry"، وتعتمد على قياس خاصية من خصائص الموجات الكهرومغناطيسية، وهي الطور "phase". لنفترض أن لدينا موجتين لهما نفس الطول الموجي والتردد وتتحركان في الفراغ، و لكن نقطة بداية إحدهما تختلف قليلاً عن الأخرى (تسبقها أو تتأخر عنها).

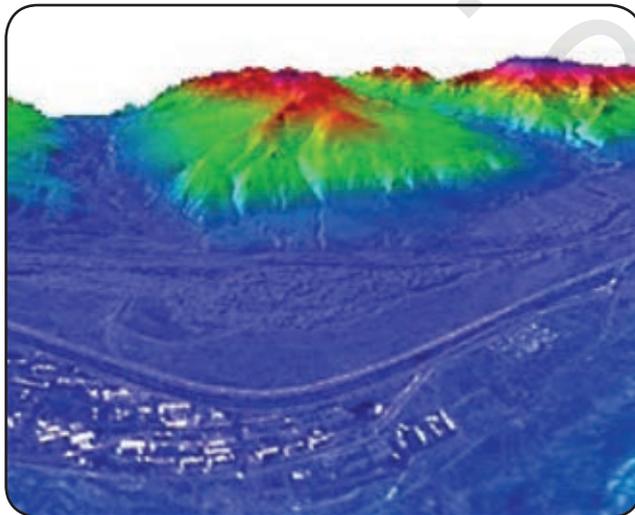


الإزاحة بين نقطتين متقابلتين على الموجتين (A)، تسمى «فرق الطور» "phase difference" أنظمة القياس بالتداخل، تستخدم هوائيين يبعدان عن بعضهما قليلاً، وذلك على البعد الخاص بالمدى، ويقوم كل منهما بتسجيل الطاقة العائدة من كل خلية قدرة تفريق resolution cell .

ويمكن أن يكون كل من الهوائيين موجودين على نفس المنصة، أو يتم الحصول على البيانات على مرحلتين باستخدام نفس المستشعر، وذلك للأنظمة المحمولة في الجو أو الفضاء .



عن طريق قياس فرق الطور بين الموجتين العائدتين "phase difference"، يمكن قياس فرق المسار بقدرة تفريق تتناسب مع وحدات الطول الموجي (سنتيمترات مثلاً)، وبمعرفة مكان الهوائي بالنسبة لسطح الأرض، يمكن معرفة مكان وحدة القدرة على التفريق. فرق الطور بين وحدتي قدرة تفريق متجاورتين، يظهر في ذلك الرسم، حيث تعبر الألوان عن الاختلاف في الارتفاعات، ويمكن استخدام تلك البيانات في معرفة المعلومات الطبوغرافية، ورسم صور ثلاثية الأبعاد لتضاريس الأرض .

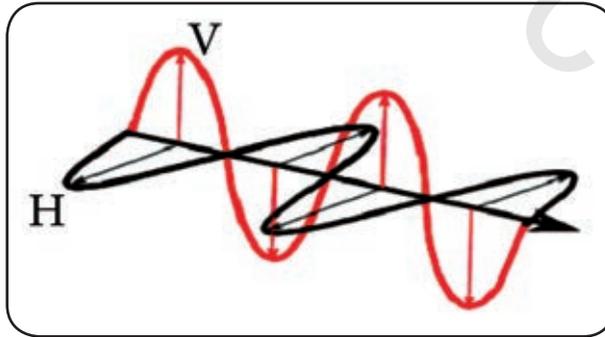


### مفهوم القطبية تعرضنا له سابقاً عند الحديث عن أساسيات الرادار

قياس القطبية polarimetry، كما يوضح اسمه، يعتمد على التمييز بين الاستقطابات التي يستطيع جهاز الرادار الإرسال والاستقبال عبرها، حيث تقوم معظم أجهزة الرادار بإرسال واستقبال موجات الميكروويف باستقطاب أفقي (H) أو رأسي (V). أما الرادارات متعددة القطبية (multi - polarization) تستطيع الإرسال والاستقبال باستقطاب أفقي أو رأسي سواء بشكل متماثل أو متعاكس (HH, VV, HV, VH). رادارات قياس الاستقطاب "polarimetric radars" تستطيع التعامل مع أنواع الاستقطاب الأربعة السابق ذكرها، كل من قنوات الاستقطاب تلك لها حساسيات مختلفة لأنواع الأهداف المختلفة وخصائصها، وبالتالي تسهل عملية التمييز بين الأهداف، بالإضافة إلى تسجيل شدة الإشارات لكل نوع من أنواع الاستقطاب، كذلك تستطيع تلك الرادارات تسجيل معلومات عن الطور الخاص بكل إشارة، والذي يمكن أن يستخدم لتحديد بصمة الاستقطاب لكل أهداف سطح الأرض.

### ٧-٣ قطبية الرادار:

عندما نتطرق إلى أشعة الميكروويف من حيث «الانتشار والتشتت»، يكون من الضروري التحدث عن قطبية الأشعة. ففي الموجات الكهرومغناطيسية، يشير مصطلح القطبية إلى موضع متجه المجال الكهربائي في المستوى العمودي على اتجاه الانتشار، بينما طول المتجه يمثل سعة الموجة (wave's amplitude)، ومعدل دوران المتجه يمثل التردد الموجي، والاستقطاب يشير إلى شكل وتوجه مقدمة المتجه. الشكل الموجي للمجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية ممكن أن يكون متوقفاً (إذا كانت الموجة مستقطبة)، أو عشوائياً (إذا كانت الموجة غير مستقطبة)، أو خليط بين الاثنين، وفي الحالة الأخيرة تلك، تكون درجة القطبية: هي النسبة بين الطاقة المستقطبة إلى الطاقة الكلية للموجة. ومثال على ذلك موجة (sine wave) أحادية الطول الموجي، التي لها تردد ثابت وسعة موجية ثابتة.



مثال على المستوى الأفقي (اللون الأسود)، والرأسي (اللون الأحمر) للموجة الكهرومغناطيسية.



كما ذكرنا فإن «أجهزة الرادار» ترسل وتستقبل الموجات باستقطاب أفقي أو رأسي، بأربع مجموعات من القطبية للإرسال والاستقبال، ودراسة تلك المجموعات هو ما يعرف بعلم «قطبية الرادار».

توجد أربع مجموعات كما ذكرنا سابقاً:

- HH: إرسال أفقي، واستقبال أفقي.
- VV: إرسال رأسي، واستقبال رأسي.
- HV: إرسال أفقي، واستقبال رأسي.
- VH: إرسال رأسي، واستقبال أفقي.

تسمى أول مجموعتين بـ «الاستقطاب المتماثل» "like-polarized"، والمجموعتان الباقيتان بالاستقطاب المتعاكس "cross-polarized".

أمثلة على الأنظمة الرادارية:

أحادي القطبية	HH أو VV (ومن الممكن أن يكون HV أو VH)
ثنائي القطبية	(HH و HV)، أو (VV و VH)، أو (HH و VV)
قطبية تبادلية	HH و HV، بالتبادل مع VV و VH
قياس الاستقطاب	HH، HV، VV، VH

كذلك يمكن الإشارة للنوع الأخير باسم «رباعي القطبية» "quadrature polarization" أو الاستقطاب الكلي "fully polarimetric".

### المعلومات الاستقطابية:

مصفوفة التشتت، هي التي يتم الحصول منها على وصف لطريقة تشتت السطح أو الهدف للطاقة الكهرومغناطيسية، ومنها أيضاً يمكن الحصول على معلومات أخرى عن الاستقطاب، مثل بصمة الاستقطاب.

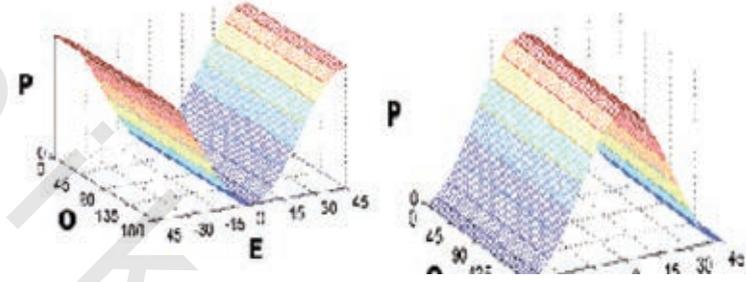
### بصمة الاستقطاب:

لأن الموجات الساقطة والمتشتتة، يمكن أن يكون لها أنواع عديدة من الاستقطاب، ومصفوفة التشتت تتكون من أربعة أعداد مركبة، فإنه من المفيد تبسيط الأمر باستخدام رسم ثلاثي الأبعاد. فـ «بصمة الاستقطاب» للهدف تمكنا من التعبير عن خصائص التشتت له بشكل مرئي، وتسمى أيضاً «رسم استجابة الاستقطاب» "polarization response plots".



## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة يكون لها مجال كهربائي على هيئة قطع ناقص (ellipticity) بين الزوايا  $45^{\circ}$  و  $135^{\circ}$ ، ويكون اتجاهها (orientation) بين  $0^{\circ}$  و  $180^{\circ}$ . ويتم استخدام هذه المتغيرات لتكوين المحور السيني والصادي (x and y axes) للرسم ثلاثي الأبعاد، ويتم حساب شدة الاستقطاب وتمثيلها على المحور الثالث (z-axis).



استقطاب متماثل

استقطاب متعاكس

P = power, O= orientation, E= Ellipticity

### معايرة البيانات:

واحدة من أهم العمليات في رادارات قياس القطبية، وذلك لأن جزءاً كبيراً من المعلومات يكون في النسب والفروق بين السعات الموجية والطور لمجموعات الاستقطاب الأربع. وإذا لم تتم تلك العملية بشكل صحيح، فإن القياسات لن تتم بقدرة التفريق، وبالتالي نفقد ميزة القطبية.

### تطبيقات الاستقطاب:

باستخدام معلومات الاستقطاب قام العلماء بإجراء الكثير من الأبحاث، ومن هذه التطبيقات:

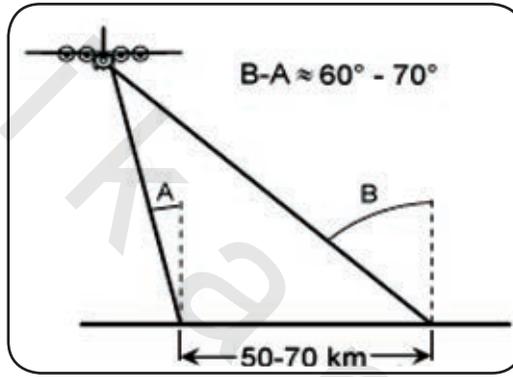
- الزراعة: لتمييز أنواع المحاصيل، مراقبة ظروف الزراعة، قياس رطوبة التربة.
- الغابات: تقدير الكتلة الحيوية، تحديد أنواع النباتات، مراقبة الحرائق وإزالة الغابات.
- الجيولوجيا: رسم الخرائط الجيولوجية.
- المياه: مراقبة الأغشية الجليدية.
- المحيطات: تحديد أماكن الجليد، أماكن الرياح الساحلية، وقياس شدة الأمواج.



- الشحن البحري: لتحديد أماكن السفن وتصنيفها .
- المناطق الساحلية: تحديد أماكن البقع النفطية ، و أماكن الزراعة .

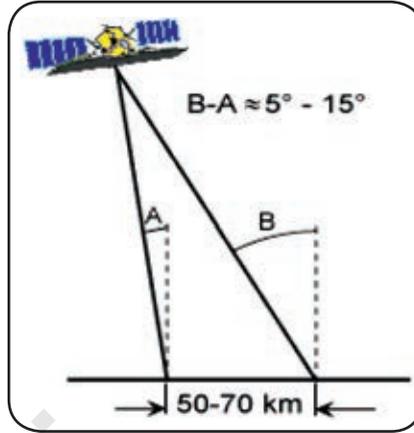
### ٨.٣ الرادارات المحمولة في الجو أو الفضاء:

توجد اختلافات بين النوعين ، تعتمد على الهدف من عملية الرصد والتصوير . وبغض النظر عن نوع المنصة الحاملة للرادار، توجد ميزة كبيرة لاستخدام «الرادار ذي الهوائي الإفتراضي» (SAR)، وهي أن القدرة على التفريق المكانية لا تعتمد على ارتفاع المنصة، وبالتالي يمكن الحصول على قدرة تفريق عالية من الجو أو الفضاء .



وبالرغم من أن قدرة التفريق لا يوجد فيها خطأ ولا تعتمد على الارتفاع، إلا أن الارتفاع يؤثر بشكل كبير على هندسة الرؤية (الزوايا والأبعاد)، وعلى الرقعة المغطاة من الأرض . فالرادار المحمول جواً يجب أن يقوم بالتصوير على حيز واسع من الزوايا، حوالي ٦٠° أو ٧٠°، وذلك ليتمكن من تغطية رقعة كبيرة من الأرض (من ٥٠ إلى ٧٠ كم تقريباً) وكما ذكرنا في الأجزاء السابقة، فإن زاوية السقوط (الرؤية) تؤثر بشكل كبير على الأشعة المنعكسة عن الأهداف، وكذلك الطريقة التي تظهر بها الأهداف في الصور كذلك تتأثر ظواهر قصر المنظور المائل، والتوقف، والظل بالتغير في زاوية السقوط أما الرادارات في الفضاء، فتستطيع تجنب تلك المشاكل الهندسية، وذلك لأنها توجد على ارتفاعات أعلى من الطائرات بحوالي مائة مرة . فعلى بعد مئات الكيلومترات، تستطيع تلك الرادارات تغطية رقعة جيدة من الأرض ولكن بزوايا صغيرة تتراوح بين ٥ و ١٥ درجة، مما يسمح بالحصول على إضاءة منتظمة ويقلل التغيرات التي تحدث في الصورة بسبب هندسة الرؤية .





على الرغم من كون الأنظمة الجوية أكثر عرضة وتأثراً بهندسة الرؤية، إلا أنها أكثر مرونة في التقاط الصور في أكثر من اتجاه وأكثر من زاوية سقوط، كذلك فإن تلك الأنظمة لها القدرة على جمع البيانات لأي مكان في أي وقت (طالما كانت الأحوال الجوية وظروف الطيران ملائمة)، وعلى العكس، فإن أنظمة الرادار الفضائية لا تمتلك مثل هذه القدرة، وهندسة الرؤية الخاصة بها وأوقات جمع البيانات مرتبطة بالنمط الخاص بمداراتها. ولكن أنظمة الفضاء لها ميزة أخرى وهي القدرة على التقاط الصور بشكل أسرع لمناطق كبيرة، وهندسة الرؤية الخاصة بها ثابتة. الأنظمة الجوية لها القدرة على التقاط الصور بشكل دوري أكثر من الأنظمة الفضائية، ولكن بناءً على مداراتها وهندسة الرؤية والمنطقة المراد تصويرها، يمكن أن يقل زمن إعادة الزيارة الخاص بالقمر ليوم واحد.

الأنظمة المحمولة جواً تكون أكثر عرضة للتغيرات في السرعة وتأثير الحركة، بالإضافة إلى الأحوال الجوية، وللتغلب على تلك المؤثرات، يجب أن يستخدم الرادار نظام ملاحية وتحديد مواقع معقد جداً، وكذلك نظام معالجة صور متقدماً، لإزالة تلك التأثيرات. وبشكل عام، يمكن معادلة التغيرات الحركية الكبيرة مثل الاضطرابات الجوية، ولكن على العكس فإن الأنظمة الفضائية لا تعاني من مثل تلك الاضطرابات، حيث إن مداراتها ثابتة ويمكن حساب أماكنها بقدرة التفريق، ولكن في الصور الفضائية، يجب الأخذ في الاعتبار بعض العوامل الأخرى، مثل دوران الأرض وتحديدها، وذلك للحصول على التوقيع الصحيح لأماكن الأهداف على سطح الأرض.



### ٩-٣ أمثلة على الأنظمة الرادارية الجوية والفضائية:

فيما يلي سنورد بعض الأمثلة للأنظمة المحمولة في الجو والفضاء:

:AirSAR



الوكالة الأمريكية للملاحة الجوية وإدارة الفضاء "ناسا"، كانت تنصدر الأبحاث الخاصة بالرادارات متعددة الترددات والاستقطابات (SAR) لسنوات عديدة، وقد أطلقت معامل الطائرات النفاثة «كاليفورنيا» العديد من الأنظمة المتطورة لحساب وكالة ناسا. فنظام "AirSAR" الذي يعمل في الحيزات (C,L,P)، هو نظام استقطابي متقدم من النوع SAR، وهو يستطيع التقاط الصور في تلك الحيزات بكل مجموعات الاستقطاب الممكنة. والبيانات التي يتم الحصول عليها منه يمكن معايرتها واستخلاص القياسات منها. وقدرة التفريق المكانية له حوالي ١٢ مترا. وتتراوح قيمة زاوية السقوط من  $0^{\circ}$  عند نقطة النظر إلى  $70^{\circ}$  عند المدى البعيد. ونتيجة قدرته على التقاط الصور في حيزات مختلفة ومجموعات استقطاب متعددة، وكذلك على حيز كبير من الدرجات لزوايا السقوط، أصبح استخدامه مفيدا في الكثير من الأبحاث والتجارب.

:Convair - 580



تم تصميم وتطوير نظام "Convair - 580 C/X SAR" بواسطة «كندا»، وكان الهدف منه إجراء الأبحاث والتجارب، وخاصة للتمهيد لحمل أنظمة "SAR" على متن الأقمار الصناعية، كذلك كان يستخدم في دراسة البقع النفطية، وبعض التطبيقات البيئية الأخرى. ويعمل هذا الرادار على الحيزات (C,X)، وعلى مدى كبير من زوايا السقوط (من  $5^{\circ}$  إلى  $90^{\circ}$ ). كذلك يتميز ذلك النظام بوجود هوائي آخر مثبت على جسم الطائرة، وذلك ليتمكن الرادار من العمل كجهاز قياس بواسطة التداخل.



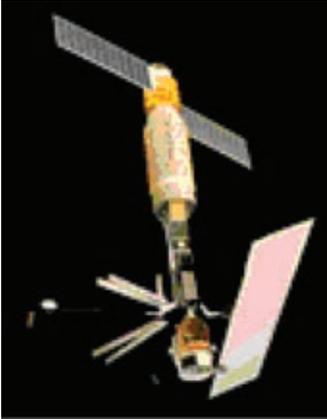
### :STAR

كذلك تمتلك «كندا» نظاماً آخر وهو (Sea Ice and Terrain Assessment Radar) «STAR» و كان من أوائل الأنظمة التي تستخدم تجارياً على مستوى العالم، ويعمل كل من «STAR - 1» و «STAR-2» على الحيز (X)، باستقطاب (HH)، ووضعين مختلفين لقدرته التفريق. فالرقعة المغطاة يتراوح عرضها بين ١٩ و ٥٠ كم، وتتراوح القدرة على التفريق بين ٥ و ١٨ م. وقد تم تصميمه في البداية لمراقبة الجليد في البحار، وكذلك مراقبة تضاريس سطح الأرض. و قد كان «STAR-1» هو أول نظام «SAR» يقوم بمعالجة البيانات على متنه، وكذلك مد المحطات الأرضية بالمعلومات مباشرة.



### :SEASAT

بعد النجاح الذي حققته الأنظمة الجوية، أصبحت الخطوة التالية هي استخدام الأقمار الصناعية في هذا المجال. تم إطلاق القمر «SEASAT» عام ١٩٧٨، وكان هو أول قمر صناعي مستخدم في الأغراض المدنية يقوم بحمل رادار «SAR». وقد كان الرادار يعمل على الحيز (L) باستقطاب (HH). زوايا الرؤية الخاصة به ثابتة وتتراوح بين ٩° و ١٥°، وعرض الرقعة التي يمكنه رصدها ١٠٠ كم، بقدرة التفريق مكانية ٢٥ متراً. وقد تم تصميمه في الأساس لمراقبة المحيطات والجليد في البحار، ولكنه التقط العديد من الصور لليابسة أيضاً. زوايا السقوط الصغيرة أدت إلى زيادة ظواهر قصر المنظور المائل والتوقف خاصة عند المناطق ذات التضاريس المرتفعة. بالرغم من أن القمر عمل لمدة ثلاثة أشهر فقط، إلا أنه أوضح الكم الهائل من المعلومات الذي يمكن الحصول عليها من الرادارات المحمولة في الفضاء.

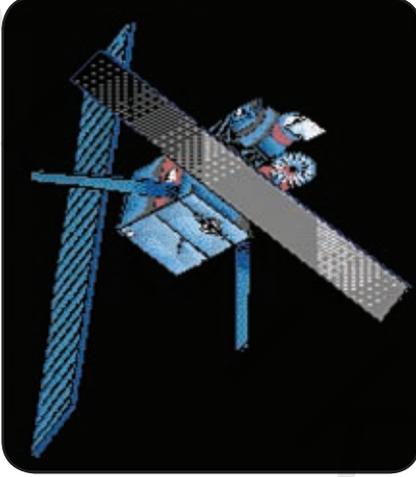


### :ERS

بعد نجاح تجربة «SEASAT»، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) القمر الصناعي «ERS-1» في يوليو عام ١٩٩١. وكان على متنه رادار لقياس الارتفاعات، و جهاز قياس إشعاعات



للأشعة تحت الحمراء، ومستشعري حيز أشعة الميكروويف، و جهاز يعمل في الحيز (C) لقياس شدة الأشعة المنعكسة، حيث يستخدم في قياس الانعكاسات عن أسطح المحيطات، وكذلك اتجاه وسرعة الرياح على أسطح المحيطات. كما يمكنه العمل كجهاز "SAR"،

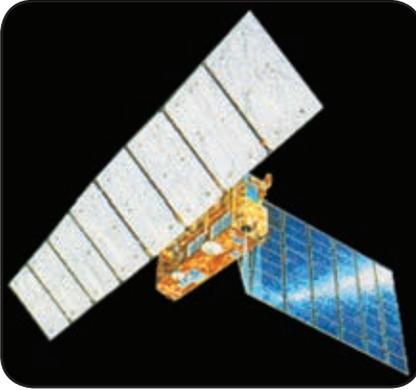


حيث يقوم بجمع الصور على رقعة عرضها أكثر من ١٠٠ كم، وزوايا السقوط تتراوح بين ٢٠° و ٢٦°، وتصل دقته إلى ٣٠ متراً. نوع الاستقطاب الخاص به هو (VV)، مما يجعله بالإضافة إلى زوايا الرؤية الخاصة به، يتمكن من رصد خشونة أسطح الأهداف.

زمن إعادة الزيارة الخاص به يمكن تغييره عن طريق تعديل مداره، ويتراوح من ٣ أيام إلى ١٦٨ يوماً، وذلك بناءً على وضع التشغيل المستخدم، ولكن بشكل عام فإن فترته المدارية تكون ٢٥ يوماً.

تم إطلاق قمر آخر من نفس المجموعة "ERS - 2" في أبريل عام ١٩٩٥، وقد تم تصميمه من أجل الأبحاث والتطبيقات الخاصة بمراقبة المحيطات. وكما حدث مع "SEASAT"، فإن زوايا السقوط أثرت على التقاط بعض التضاريس، نتيجة التأثيرات الهندسية.

### : JERS



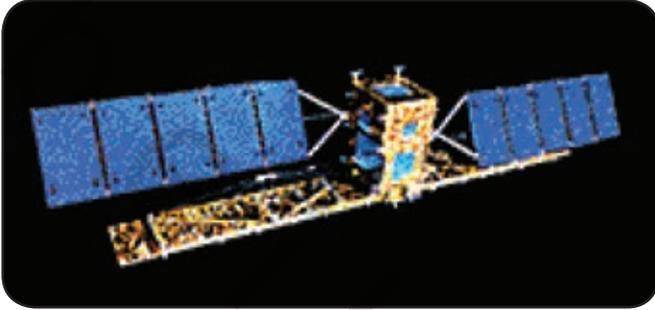
أطلقت وكالة الفضاء اليابانية «N SADA» القمر "JERS.1" في فبراير عام ١٩٩٢. بالإضافة لكونه يحمل مستشعريين بصريين، فقد كان مزود برادار "SAR" ذي استقطاب (HH)، ويغطي رقعة بعرض ٧٥ كم، ودقته المكانية حوالي ١٨ متراً. تختلف هندسة الرؤية الخاصة به عن تلك الخاصة بالقمرين السابقين، حيث إن زاوية السقوط الخاصة به عند منتصف الرقعة تكون ٢٥°، وبالتالي تكون

الصور الخاصة به أقل عرضة للمشاكل الناتجة عن التضاريس. كذلك فإن الأطوال الموجية للحيز (L) تكون كبيرة إلى حد ما، مما يسمح لها باختراق النباتات وبعض الأسطح.



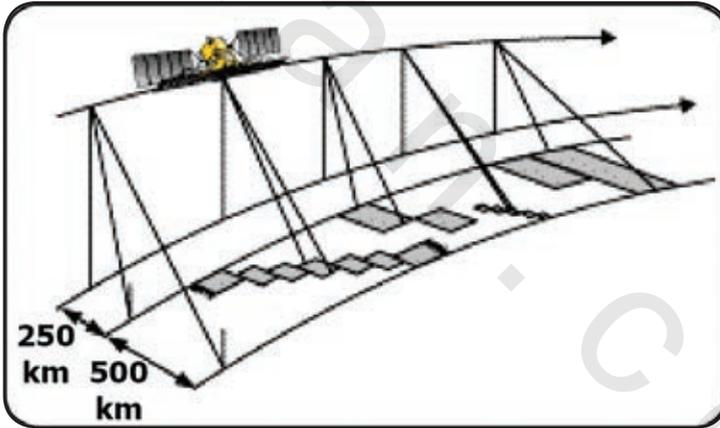
### : RADARSAT

بإطلاق القمر "RADARSAT" الخاص بكندا عام ١٩٩٥، حدثت طفرة في الاستشعار عن بعد باستخدام الرادارات المحمولة في الفضاء "SAR". يحمل القمر راداراً متطور يعمل في الحيز (C)، والاستقطاب الخاص به هو (HH)، كما يمكنه توجيه الشعاع الخاص به مما يسمح



بالتقاط الصور على مدى ٥٠٠ كم. حيث يتراوح عرض الرقعة بين ٣٥ و ٥٠٠ كم، وتتراوح دقته بين ١٠ و ١٠٠ متراً، وتتراوح زوايا السقوط بين أقل من ٢٠° وأكثر من ٥٠°، والفترة المدارية للقمر هي ٢٤ يوماً يستطيع القمر توفير صور يومية للمنطقة

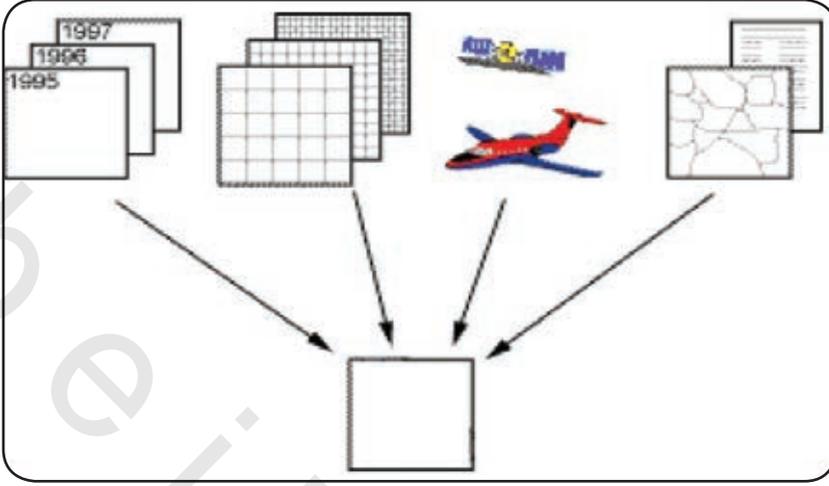
القطبية الشمالية، وكذلك تصوير أي منطقة في كندا كل ثلاثة أيام.



### ١٠-٢ التعامل مع البيانات وتحليلها:

قديماً، عندما كان الاعتماد على «التصوير الجوي» فقط، كانت إمكانية إجراء تكامل بين البيانات المأخوذة من أكثر من مصدر محدودة. أما الآن، وقد أصبحت معظم البيانات متاحة بالصيغة الرقمية، فقد أصبح الأمر أسهل بكثير، وتعتمد تلك العملية على جمع أو دمج البيانات مختلفة المصادر، وقد يتضمن ذلك أن تكون البيانات مختلفة زمنياً أو في دقتها أو طبيعتها أو نوع جهاز الاستشعار الملتقطة بواسطته.



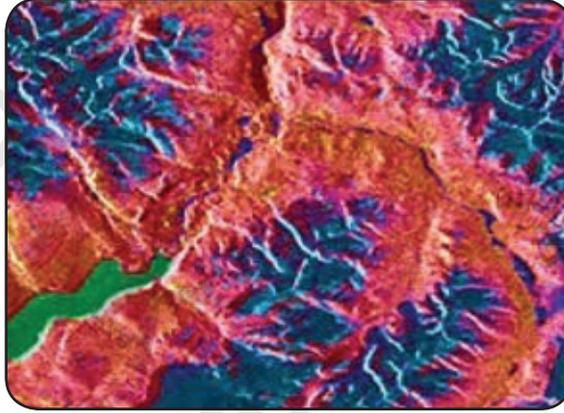


تعرضنا سابقاً لنقطة دمج بيانات مختلفة زمنياً، حيث تستخدم تلك البيانات لمراقبة التغيرات التي تحدث لمنطقة ما بمرور الوقت، ويمكن رصد تلك التغيرات بعدة طرق منها المقارنة بين عدة تصنيفات، أو التصنيف باستخدام مجموعات متكاملة من البيانات المختلفة زمنياً .

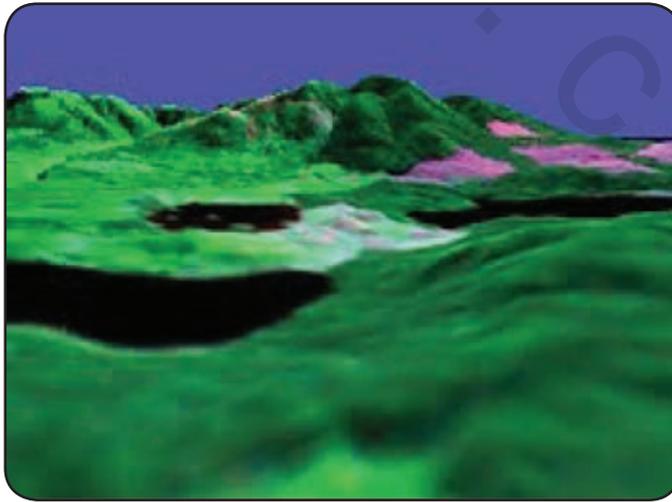


## الاستشعار عن بعد باستخدام أشعة الميكروويف

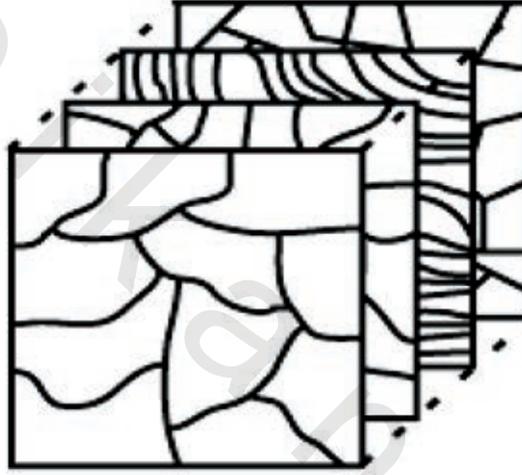
أما دمج الصور المختلفة في دقتها، فيستخدم في عدة تطبيقات، فإذا قمنا بدمج صورة ذات قدرة تفريق عالية مع أخرى ذات قدرة تفريق أقل، فإن ذلك يحسن قدرة التفريق للصورة بشكل عام، و يحسن التمييز بين عناصرها. و تستخدم تلك الطريقة مع الصور الخاصة بالقمر "سبوت"، حيث يتم دمج «الصور البانوكروماتية» ذات القدرة العالية على التفريق (١٠ أمتار)، مع الصور متعددة الأطياف ذات القدرة الأقل على التفريق (٢٠ متراً). حيث إن الصور «متعددة الأطياف» توفر قدره تفريق طيفية عالية، بينما الوضع البانوكروماتي، يوفر قدرة تفريق مكانية عالية.



البيانات من أكثر من نوع لأجهزة الاستشعار، يمكن دمجها أيضاً. ومثال على ذلك دمج الصور البصرية متعددة الأطياف مع الصور الرادارية. فهذان النوعان من البيانات يوفران معلومات تكمل بعضها البعض. فالبيانات البصرية، توفر معلومات طيفية مفصلة، تفيد في التمييز بين الأنواع المختلفة من الأغذية الأرضية، بينما الصور الرادارية، توضح التفاصيل الهيكلية في الصورة.



في التطبيقات التي تستخدم بيانات متكاملة من عدة أجهزة استشعار، يجب أن تكون تلك البيانات مسجلة بالنسبة لأحد أنظمة الإحداثيات الجغرافية، وذلك يسمح أيضا للبيانات الإضافية بالتكامل مع البيانات الأساسية. على سبيل المثال: المعلومات الخاصة بالارتفاعات، في صيغتها الرقمية، تسمى (DEM) "Digital elevation Model" يمكن دمجها مع البيانات الخاصة بالاستشعار عن بعد، لتستخدم في عدة أغراض. وقد تستخدم تلك البيانات في عملية التصنيف للصور، حيث إن تأثيرات الارتفاعات يمكن تصحيحها باستخدام تلك البيانات، مما يؤدي إلى تحسن قدرة التفريق، التصنيف بشكل عام، كذلك يستخدم هذا النوع من البيانات في عمل نماذج ثلاثية الأبعاد.



كما ذكرنا سابقاً، فإن دمج البيانات المختلفة المصادر والأنواع، هو الهدف الأساسي، وعند التعامل بالبيانات في صيغتها الرقمية، حيث تكون جميع المصادر مسجلة بالنسبة لقاعدة جغرافية، وهذا هو المفهوم الخاص بنظام المعلومات الجغرافية (GIS)، وتعتبر البيانات الرقمية للارتفاعات "DEM" هي مثال على ذلك النوع من البيانات، يوجد كذلك أمثلة أخرى مثل الخرائط الرقمية لأنواع التربة و الغطاء الأرضي، أنواع الغابات، و شبكات الطرق، و العديد من المعلومات التي تختلف تبعاً للتطبيق. النتائج التي يتم الحصول عليها بعد عمليات التصنيف لعناصر الصورة - على هيئة خريطة- يمكن استخدامها أيضاً في نظام المعلومات الجغرافية "GIS" كنوع آخر من المعلومات الذي يستخدم لتحديث خرائط موجودة بالفعل.

كذلك عند تحليل عدة أنواع من البيانات معاً، فإن المعلومات التي نحصل عليها تكون أكثر قدرة للتفريق، ويوجد عدد لا حصر له من التطبيقات التي تحتاج ذلك النوع من تحليل البيانات. وسوف نتحدث لاحقاً عن بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد، والتي يستخدم معظمها أنواعاً مختلفة من البيانات.

