صور الرادار

د . محمد يوسف قاري
م. صالح الغوينم

فكرة الرادار ليست شيئاً جديداً إنما ترجع إلى أواسط القرن الثامن عشر الميلادي حين لاحظ العلماء أن طائر الخفاش يعرف طريقة بدقة متناهية على الرغم من عدم عمل جهازه البصري في الليل ، وبعد الدراسة وُجد أنه يصدر ويرسل موجات كهرومغناطيسية بسرعة معينة تنعكس إذا إصطدمت بأي عائق من العوائق ليعرف بُعدها من سرعة الإنعكاس .

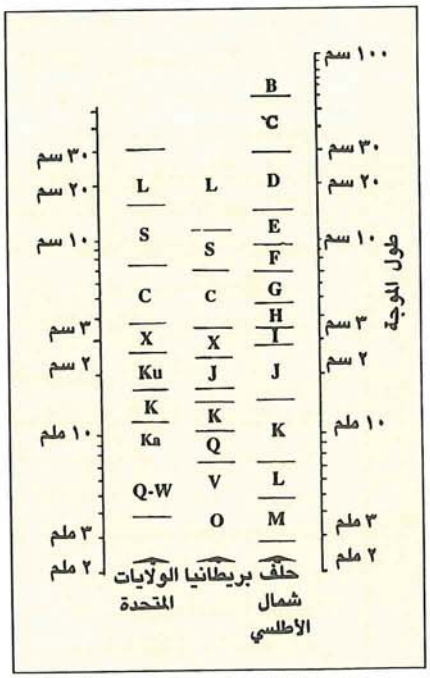
وقد تمت ملاحظة إنعكاس موجات الراديو واصطدامها بالأجسام في أواخر القرن الثامن عشر وبدايات القرن التاسع عشر ، وعليه جاءت تسمية الجهاز الذي يقوم بعكس تلك الموجات من الطيف الكهرومغناطيسي بالرادار . وذلك حسب الأحرف الأولى من العبارة (RADIO DETECTION AND RANGING -RADAR) ، وهي تعني أن الرادار جهاز لتعيين المسافات والمواقع والإتجاهات للأهداف بوساطة توجيه ذبذبات الراديو التي تصطدم بالهدف وترتد إلى جهاز الإستقبال وقد قلت شدة ذبذبتها ، ويستخدم الرادار موجات الراديو (كما يدل الإسم) في مجال الطيف الكهرومغناطيسي من ٣ ملم إلى ٣ م بذبذبة تتراوح ما بين ١٠٠ ميجاهرتز إلى ١٠٠ ألف ميجاهيرتز . وقد تم تقسيم هذا المجال إلى نطاقات موجية اعطيت أحرف للدلالة عليها ، ويوضح شكل (١) نظم التقسيم في الرادار ذي الرؤية الجانبية (Side Looking Radar) المستخدمة في حلف شمال الأطلسي والولايات المتحدة وبريطانيا رغم عضويتهما في ذلك الحلف .

تم تطوير الرادار كثيراً خلال الحرب العالمية الثانية لأغراض الملاحة وتحديد الأهداف وإنتاج الصور ، وقد كانت الرادارات آنذاك بدائية أعطت صوراً لاترى فيها الأجسام بوضوح جيد. وفي عام ١٩٥٠م تم تطوير الرادار الجوي ذي الرؤية الجانبية للحصول على صور دون الحاجة إلى التحليق فوق الأراضي التي لايمكن الطيران فوقها (مثل أراضي العدو) ، ولكن لم يتم إنتشاره وإستخدامه للأغراض المدنية إلا في السبعينيات الميلادية حيث أدت الحاجة لتلك المعلومات ـ لاحقاً من علماء البيئة ـ إلى ظهور الرادارات التصويرية (Imaging Radars) التي تهتم بتكوين صور لسطح الأرض .

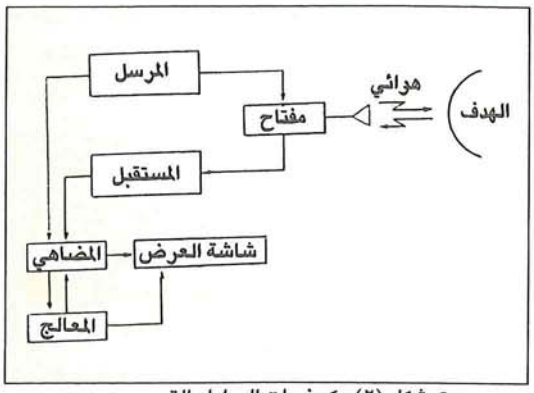
ويعد الرادار نظاماً فعالاً (Active System) من أنظمة الإستشعار عن بعد ، فهو يوفر مصدر الطاقة من نفسه ، حيث يرسل هذه الطاقة (طاقة كهرومغناطيسية) إلى الأرض ومن ثم يستقبل المنعكس منها خلال فترة زمنية معينة ، وبعدها يتم تسجيل تلك الطاقة على هيئة صورة ، وذلك عكس الأنظمة الأخرى مثل أنظمة التصوير الفوتوغرافي والأشعة الحرارية حيث يتم تسجيل الطاقة المنعكسة أو التي تم إشعاعها من سطح الأرض ليتم إنتاج الصور منها. وهناك ميزة أخرى لنظام الرادار ألا وهي عدم إحتياجه إلى الإضاءة وعدم تأثره بأحوال الطقس ، أي أنه يمكن لنظام الرادار العمل ليلاً وتحت سماء ملبدة بالغيوم حتى وإن كانت كثيفة .

الرادار الفضائي

يوجد نظامين من أنظمة الرادار الفضائي هما:ـ **الرادار التصويري** (Imaging Radar) . **والرادار غير التصويري** (Non-Imaging Radar) والأخير يختص بتحديد المواقع والإتجاهات والمسافات مثل رادار قياس الإرتفاعات (Altimeter) ، ورادار دراسة شكل الأسطح (Scatterometers/Spectrometers) . سيتناول هذا المقال الرادار التصويري ، وهو يُستخدم في الحصول على صور عالية الوضوح (High Resolution) يمكنها تغطية مساحات كبيرة من سطح الأرض .



● شكل (١) نطاقات الرادار حسب الأنظمة العالمية المختلفة .



● شكل (٢) مكونات الرادار التصويري .

● الرادار التصويري

يتكون الرادار التصويري ، شكل (٢)، من عدد من الأجزاء هي :- **هوائي** (Antenna) إستقبال وإرسال ، **مرسل** (Transmitter) ، **مستقبل** (Receiver) ، **معالج** (Processor) مع **شاشة** عرض (Display) ، **مضاهي** (Correlator) ، **مفتاح** (Switch) .

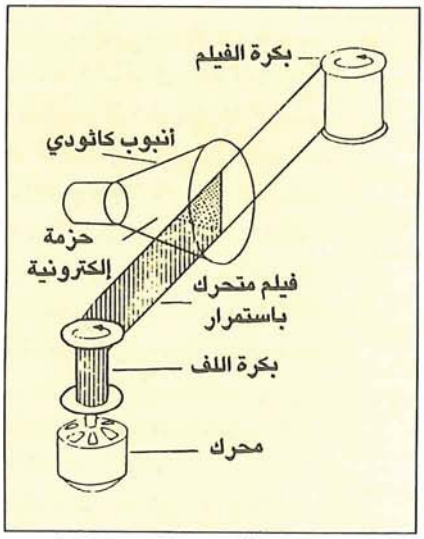
يعد الهوائي من أهم الأجزاء الرئيسة في الرادار حيث يرتبط طوله بجودة الصورة فكلما كان الهوائي طويلاً كانت قوة التفريق أكبر والصورة أكثر وضوحاً . وبما أن رادارات التصوير تُحْمل على الطائرات والأقمار الصناعية ـ وهي لايمكنها حمل هوائي طويل ـ فقد أمكن الإستفادة من حركتها الأمامية في التعويض عن طول الهوائي ، وتنقسم الرادارات التصويرية حسب طول الهوائي المحمول بالطائرة إلى نوعين هما : الرادار ذو الهوائي الطويل ويطلق عليه **الرادار ذو الفتحة الحقيقية** (Real Aperature Radar -RAR) ، والرادار ذو الهوائي القصير ويطلق عليه **الرادار ذو الفتحة المركبة** (Synthetic Aperature Radar - SAR) ، أو **الرادار ذو الفتحة الجانبية** (Side Looking Aperature Radar - SLAR).

* عمل الرادار

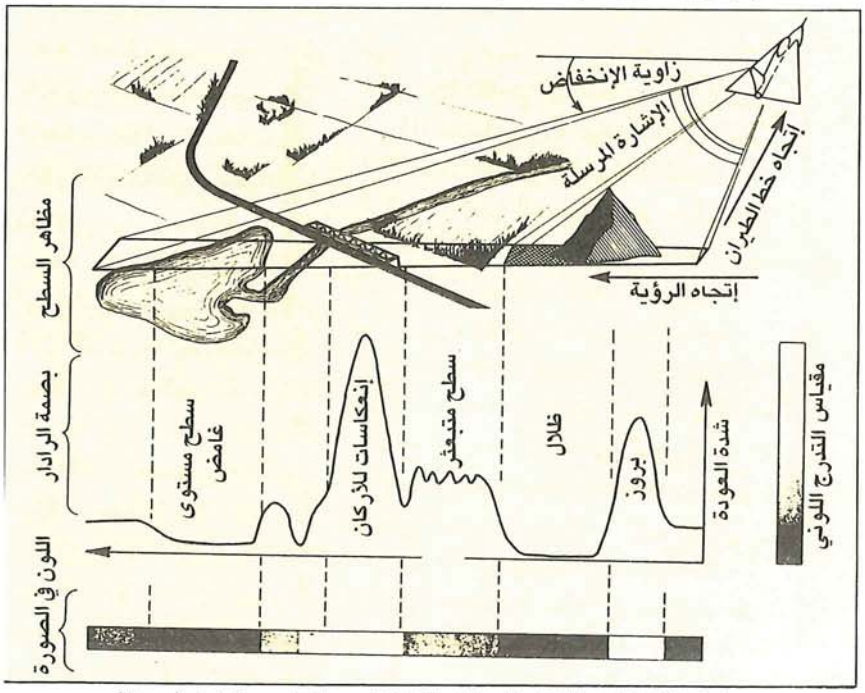
تستطيع الموجات الرادارية ، شكل (٣)، إختراق الضباب والغيوم والدخان والأمطار الخفيفة دون تغيير ، وترسل الطاقة على شكل نبضات (pulses) قوية قصيرة تسير بسرعة الضوء ، وتضرب الاشارات النبضية (Pulsed Signals) اهدافها وتتعرض إما **للتشتت** بعيدا عن الرادار، وإما **الإمتصاص** بوساطة الهدف ، و إما **الإرتداد** (الانعكاس) إلى المستقبل .

تكون النبضة المرتدة أقل قوة من المرسلة ويتم اقفال المرسل لتخفيض التداخل والتمكن من تسجيل النبضة المرتدة . ولذلك يتم فتح وقفل إشارات الرادار في أطوار زمنية متناسبة مع إرسال النبضات . يتم في المستقبل قياس قوة الإشارة المرئية والتَي تحددها الدرجات الرمادية من الاسود حتى الابيض للصورة (Gray Scale Tone) ، كما يتم تحديد زمن وصول الإشارة للمستقبل لتحديد المسافة من الهدف . وعليه فإن قوة الإشارة وزمن وصولها تعدان من العناصر الأساس للصورة الرادارية التي يتم تسجيلها كاشارات رقمية أو قياسية على فيلم لتحول إلى صور تشابه الصور الجوية ذات اللون الأسود والأبيض ، ومن الجدير ذكره أن إرسال الإشارات الرادارية يتم بزاوية مائلة تسمى زاوية الرؤية (Depression Angle) حتى يتم الحصول على معلومات التضاريس ، أما إذا ارسلت الإشارات عموديا فإنها ترجع مباشرة إلى المستقبل قوية ، وفي هذه الحالة لاتوضح الصورة المتكونة معلومات تضاريسية .

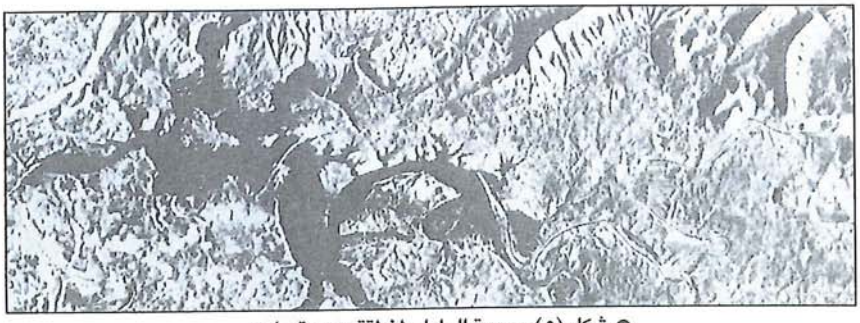
تنطلق النبضات الرادارية من الهوائي المثبت في الطائرة الذي يحاول مسح المنطقة من الغرب إلى الشرق كما في شكل (٤) ، وبما أن الأسطح الشرقية للمنحدرات الجبلية تكون مطلة على نطاق رؤية الرادار فإنها تكون قاتمة اللون أوسوداء على هيئة ظلال بسبب تشتت الطاقة المرسلة من النظام الراداري . أما المستوى المجاور للبحيرة والنهر كما في الشكل السابق فإنها تكون مغطاة بأنواع مختلفة من المحاصيل الزراعية والنباتات الطبعية ، ونسبة لأن هذه الأسطح غير منتظمة فإنها تتسبب في ترك بصماتها بألوان رمادية مختلفة التدرج ، من جانب آخر تظهر بصمة



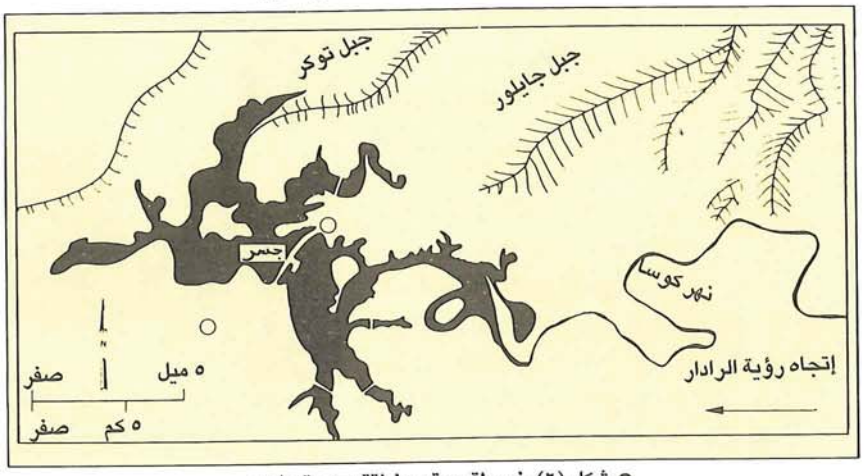
● شكل (٣) كيفية تكوين صورة الرادار .



● شكل (٤) إشارات الرادار المرسلة والمرتدة (بحيرة وايس بألباما ـ أمريكا) .



● شكل (٥) صورة الرادار لمنطقة بحيرة وايس .



● شكل (٦) خريطة موقع منطقة بحيرة وايس .

مضيئة للجسر الحديدي نظراً لإنعكاس الأركان الحديدية مثلها مثل القرى والمدن التي تتكون تركيبتها من العديد من إنعكاسات الأركان . كذلك فإن المياه الراكدة يكون سطحها مستو جداً مثل المرآة عاكسة كل الطاقة الساقطة عليها بعيداً عن المستقبل ، ولذلك فإنها تظهر بلون أسود غامقَ جداً . ويلاحظ مما سبق أن درجة اللون في صور الرادار لا تكفي للتعرف على مظاهر سطح الأرض ، فالمناطق العالية الإرتفاع ذات الأسطح غير المواجهة لمصدر الطاقة المرسلة من نظام الرادار لها بصمة سوداء اللون مثلها مثل أي سطح أملس ومستو على الرغم من أن كلا الظاهرتين تختلفان بعضهما عن بعض ، عليه فإن التعرف على بصمات الظواهر في صور الرادار لاتعتمد فقط على درجة اللون بل أيضاً على الحجم والشكل والنسيج والظواهر الأخرى المصاحبة. ويعتمد وضوح صور الرادار (قوة التفريق المكاني Spatial Resolution ـ) على طور وقوة إرسال الإشارات (النبضات) ، وعرض حزمة (عمود) الإستقبال . ولتحسين درجة الوضوح يجب تخفيض عرض الحزمة (تصغير طول النطاق الموجي) المستخدمة من الطيف الكهرومغناطيسي. ويوضح الشكل (٥) صورة ألتقطت بوساطة الرادار لمنطقة بحيرة وايس وما جاورها في ولاية ألباما بأمريكا ، بينما يوضح الشكل (٦) خريطة لموقع تلك المنطقة .

الصور الرادارية

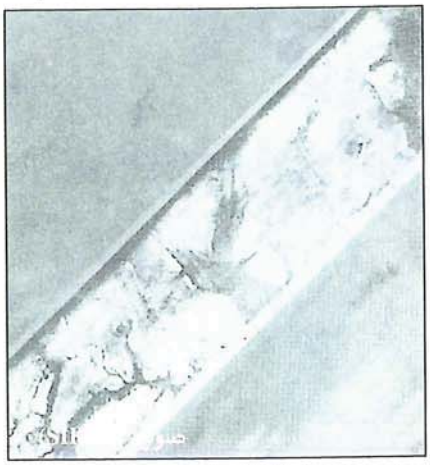
تتأثر جودة الصور الرادارية بالصفات الفيزيائية للهدف وعناصر نظام الرادار نفسه. وتشمل الخصائص الفيزيائية للهدف الإنحدار وشكل السطح ونعومته وعدم تماثله والخصائص الكهربائية مثل ثابت العزل الكهربائي والإمتصاص وخاصية التوصيل للسطح وبعده أو قربه منه أو بالغطاء المغطي للسطح ، وتشكل عناصر نظام الرادار المؤثرات الأساس في مدى جودة الصورة الرادارية وهي كما يلي :ـ

● الطول الموجي

يقسم المجال الموجي المستخدم في الرادار إلى نطاقات تختلف عنْ النطاقات المرئية بأنها مفردة ، وعليه لايمكن استخدام الالوان لتمييز الاشياء بناءاً على التعدد الطيفي ، أي أن صور الرادار تتميز بأنها صور ذات لون أبيض وأسود. وقد صممت معظم الرادارات للعمل في نطاق وتردد معين ، ولذلك لابد من معرفة خصائص كل نطاق موجي للتمكن من تفسير الصورة بكفاءة . ومن الأمثلة على ذلك الصورة المأخودة من (SIR-A) للصحراء المصرية مقارنة بصورة غير رادارية مأخوذة بلاندسات لنفس المنطقة والتي تمكن الرادار فيها من أختراق (Penetration) الرمال وإبراز تضاريس تحت سطحية لمجرى نهر قديم .

● القطبية

وهي عملية ارسال الموجات في المستوى الأفقي(Horizontal) أو العمودي ، (Vertical)، ويستخدم الرمز (H) للتعبير عن الأفقية و(V) عن العمودية ، وبذلك يمكن استخدام اربعة انماط للإرسال والإستقبال هي :(VV), (HV), (VH), (HH) وذلك بالإرسال مثلا أفقيا والإستقبال عموديا (VH) وهكذا . وقد وجدت عدة



● صورة رادارية تظهر شبكة معقدة من الأودية بالصحراء المصرية مقارنة بصورة مأخوذة بلاندسات .

مؤشرات على ان هناك اهداف يمكن تمييزها بدقة باستخدام النمط (HV) بينما دل العكس باستخدام النمطين (HH) و (VV).

● قوة التفريق

يعبر عن قوة التفريق (Resolution) في صور الرادار بأنها اقصر مسافة بين هدفين في إنتاج اشارتين منفصلتين في الصورة، ولايعود المصطلح للحجم الحقيقي للأهداف، وكمثال لذلك الجسر على النهر فإن النهر والجسر يعطيان نفس الاثر ولذلك لايمكن ملاحظة الجسر نفسه، وعلى العكس فان أعمدة النور بشارع الجسر يمكن ملاحظتها بسبب كونها على مسافة قوة التفريق المثلى. وترتبط قوة التفريق لنظام الرادار بعناصر التصميم للنظام وهي: ـ طاقة النظام (Power)، والتردد، وتصميم الهوائي، وزاوية الرؤية وحركة المركبة الحاملة للرادار.

معالجة صور الرادار

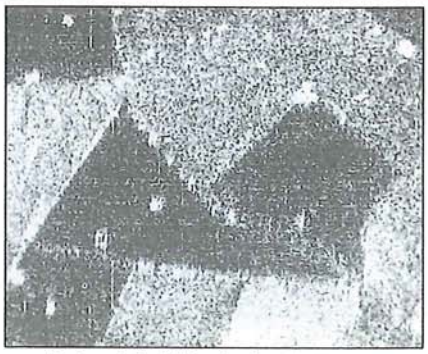
تتعرض صور الرادار إلى تشوهات تنتج عن إعطال الأجهزة أو بسبب زاوية الإنخفاض (Depression Angle) التي تؤدي إلى إختلاف مواضع التضاريس أو ما يسمى بإنزياح التضاريس (Relief Displacement). ويتم معالجة التشوهات عن طريق برامج الحاسب الآلي في أنظمة معالجة الصور الفضائية. وبعد معالجة تلك التشوهات يمكن تسجيل الصور المصححة النهائية على أفلام فتغدو كأنها صور فوتوغرافية.

نظم الرادار

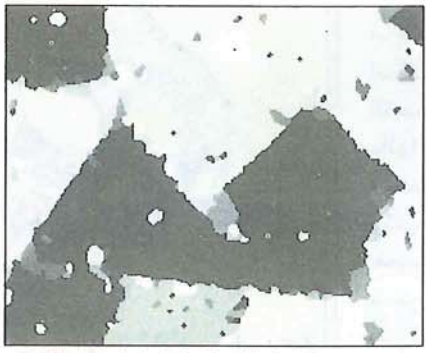
هناك العديد من أنظمة الرادار التي تم إضافتها إلى الأقمار الصناعية الخاصة بدراسة الأرض وتصويرها بالرادار من الفضاء، ومن هذه النظم ما يلي :ـ

١ ـ قمر البحر

أطلق قمر البحر (SEASAT) في يونيو ١٩٧٨م لدراسة الظواهر الموجودة في البحار والمحيطات وسطح الأرض من ارتفاع ٧٩٠ كم بعرض ١٠٠ كم ودرجة تفريق مكاني (Spatial Resolution) ٢٥ متراً، وقد تم بوساطتة تغطية معظم أجزاء قارتي



● صورة رادارية مشوشة لحقول زراعية.



● صورة رادارية معالجة لحقول زراعية.

أمريكا الشمالية وأوربا وما بينهما بصور رادارية جيدة، غير أن مفعول هذا القمر إنتهى بعد مائة يوم من إطلاقه بسبب خلل كهربائي.

٢ ـ مكوك الصور الرادارية

يعد مكوك الصور الرادارية (Shuttle Imaging Radar - SIR-A) أول مكوك فضائي يحمل رادار بعد فشل مهمة قمر البحر (SeaSat)، وقد كان الهدف من إطلاقه إجراء الدراسات الجيولوجية، وقد تم تركيب هذا الرادار في المكوك الأمريكي كولومبيا الذي أطلق في نوفمبر ١٩٨١م.

يعمل هذا الرادار في النطاق الموجي (L) بتردد ١٢٧٨ ميجاهيرتز، ويوضح الشكل (٧) مساحة تغطية المكوك (حوالي ١٠مليون كم٢) التي تقع بين خطي عرض ٤١° شمالاً و ٣٦° جنوباً من الأراضي والبحار، ومما يجدر ذكره أن الصور الملتقطة بوساطة هذا المكوك بعرض ٥٠كم وبقوة تفريق ٤٠م.

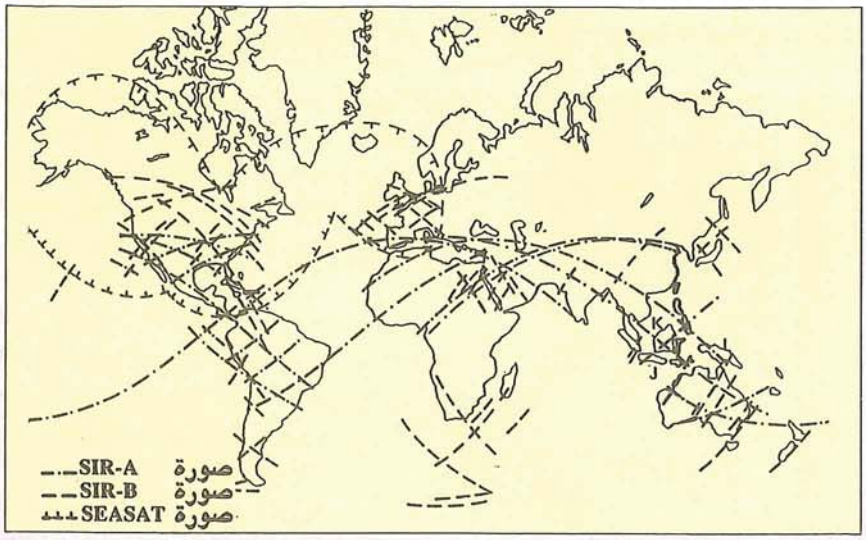
تم في أكتوبر ١٩٨٤م إطلاق مكوك راداري آخر (SIR-B)، وقد تحسنت الصورة الملتقطة بوساطة هذا المكوك نتيجة لتطوير هوائي رادار المكوك (SIR-A)، حيث بلغت قوة التفريق فيه ٢٥ متراً بدلاً من ٤٠ متراً، وكان ارتفاع هذا المكوك ٢٢٥كم وغطى شريط أرضي عرضه ٤٠كم.

٣ ـ القمر الأوربي

اطلق القمر الأوربي للإستشعار عن بعد (ERS-1)، عام ١٩٩١م ولا يزال يرسل بياناته، وقد تم تطوير الرادار المحمول على متنه بحيث يمكن استخدامه لإعطاء صور أكثر وضوحاً، ويستفاد من صور ذلك القمر في دراسات عديدة منها دراسة المناطق الثلجية والقطبية للأرض.

٤ ـ القمر الصناعي الياباني

أطلق القمر الصناعي الياباني لدراسة الثروات الأرضية (JERS-1) إلى الفضاء في فبراير ١٩٩٢م بإرتفاع ٦٠٠ كم تقريباً وعلى متنه مستشعرين هما نظام الرادار المتطور ذي الصور الواضحة والمستشعر البصري، وتبلغ قوة تفريق الصورة



● شكل (٧) خريطة المناطق المغطاة بالأقمار الصناعية الرادارية (SIR-A)، (SIR-B)، (SEASAT).