واژهٔ انگلیسی رادار درواقع از حروف نخست واژه‌های انگلیسی «Radio Detection And Ranging» به‌معنای «فاصله‌یابی و ثبت رادیویی» تشکیل شده‌است. اگرچه سابقهٔ استفاده از امواج رادار و فناوری‌های مربوط به آن، به سال‌های جنگ جهانی دوم و انجام مقاصد نظامی بازمی‌گردد، اما امروزه این فناوری کاربردهای جدید و متفاوتی یافته است که کاربری آن در مطالعات منابع زمینی و به‌ویژه دانش‌های زمین‌شناختی، از آن جمله است.

مقالهٔ حاضر کوشیده‌است، بدون واردشدن به جزئیات تخصصی، کاربرد امواج رادار را در مطالعات زمین‌شناسی به سادگی توضیح دهد. در انتها باید عنایت شود که توجّه و هدف این نوشته به روش دورسنجی راداری محدود بوده و کاربرد روش موسوم به رادار نفوذکننده (Ground Penetrating Radar) را در بر نمی‌گیرد.

زمین‌شناسی و رادار

فرخ برزگر

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

امواج رادار

امواج رادار که امروزه در زندگی روزمرهٔ ما انسان‌ها هم برای خود جایی پیدا کرده‌است(مانند استفاده از اجاق های مایکروویو برای پخت و پز و یا برقراری ارتباط)، بخشی از طیف الکترومغناطیس است که آن‌را بخش مایکروویو[1] یا «ریز موج» می‌خوانند.

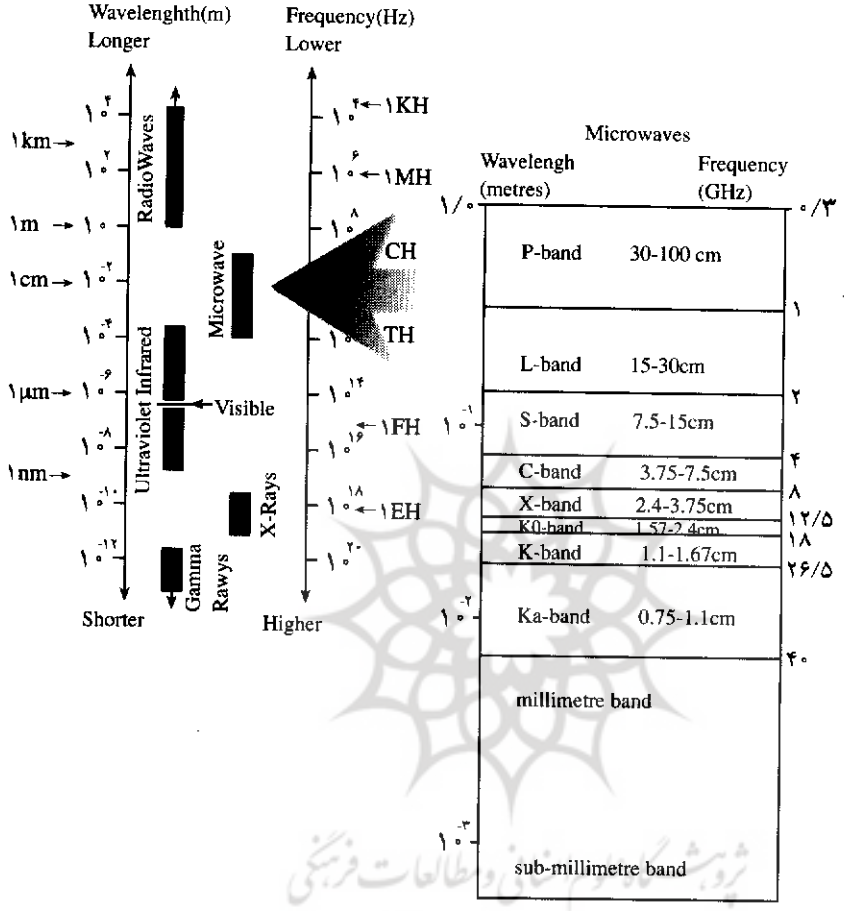
همان‌گونه که می‌دانید، طیف الکترومغناطیس مجموعهٔ به‌هم‌پیوسته‌ای از طول‌موج های گوناگون است که از اشعهٔ کیهانی(امواج گاما) شروع و تا امواج رادیویی می‌یابد. برای سهولت اشاره در نوشتار، طیف الکترومغناطیس را به بخش‌هایی چند تقسیم و به هر بخش نامی ویژه داده‌اند که عبارتند از: امواج گاما، امواج ایکس، اشعه ماورای بنفش(فرابنفش)، بخش امواج مرئی از ۰/۳ تا ۰/۷ کیلومتر(طول موج) که چشم انسان در این محدوده قابلیت عملکرد دارد و تنها می‌تواند این محدوده از امواج را ببیند، امواج مادون

قرمز (فروسرخ) امواج میکروویو و بالاخره بخش موسوم به امواج رادیو. در شکل ۱، این بخش ها به صورت طول موج و فرکانس (تواتر) و به ویژه امواج میکروویو و باندهای کوچک تر درونی آن نشان داده شده اند.

نظر به این که در آغاز، استفاده از امواج رادار و گسترش فناوری های مربوط بدان برای مسائل نظامی مطرح بوده است،

لذا برای سری نگه داشتن محدوده های کوچک یا باندهای این امواج، آن ها را با حروف خاص مشخص می کرده اند.

هم اکنون نیز همین حروف برای نامیدن و معرفی زیربخش های موجود یا باندها، توسط همهٔ کاربران و دست اندرکاران (چه نظامی و چه غیرنظامی) مورد استفاده قرار می گیرد؛ همچون حرف های: Ka, K, Ku, X, C, S, L, P در بخش مایکروویو. شکل ۱ نیز در همین رابطه است. در شکل ۲ نیز مقایسه ای بین طول موج ها ی این امواج در حسگرها و ماهواره هایی که از این بخش استفاده می کنند، انجام شده است.



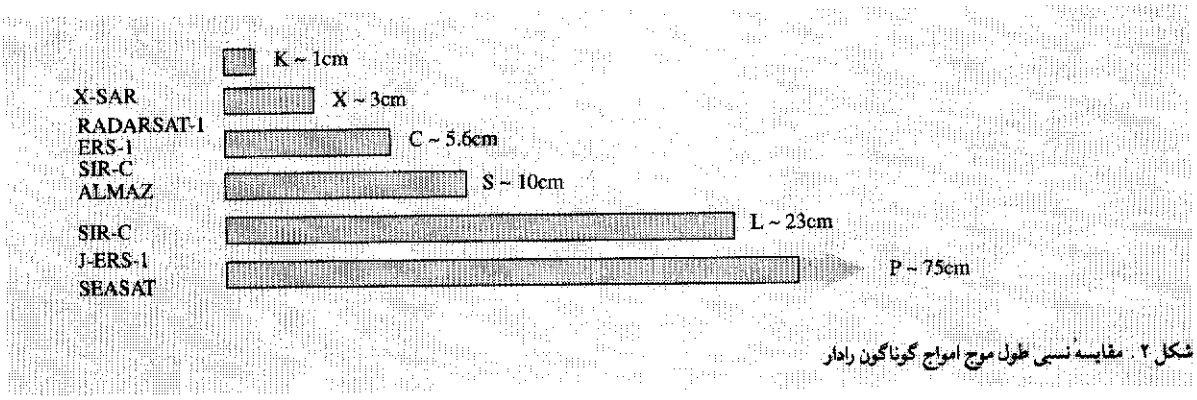
شکل ۱. بخش های گوناگون طیف الکترومغناطیس و بازهای گوناگون امواج رادار در بخش میکروویو.

ویژگی های رادار

ویژگی هایی که سبب می شوند، امواج رادار برای مطالعات منابع زمینی و به ویژه دانش زمین شناسی، به کار گرفته شوند، به طور خلاصه عبارتند از:

۱. **استفاده از امواج رادار و حسگرهای مواد آن ها در تمامی ساعات روز و شب**: از آن جایی که امواج رادار برای تهیهٔ تصویر از سطح زمین توسط بخش فرستندهٔ موجود در حسگر تولید می شود، لذا برخلاف حسگرهایی که از منبع انرژی طبیعی موجود در طبیعت، یعنی خورشید استفاده می کنند(مانند دوربین های عکاسی و در طی ساعات روز)، حسگرهای رادار، از نظر زمانی هیچ محدودیتی برای استفاده ندارند و در تمام ساعات شبانه روز می توان از این امواج که مصنوعی و توسط بخش فرستنده، تولید و به سطح زمین تابیده می شوند، برای تهیهٔ تصویر از سطح زمین، یاری گرفت.

یادآوری می شود که حسگرهای مورد استفاده در دانش یا هنر سنجش از راه دور، بر مبنای منبع انرژی مورد استفاده به دو گروه تقسیم می شود: گروه اول حسگرهای غیرفعال[۲] نام دارد و شامل آن دسته از حسگرها می شود که از منبع انرژی موجود در طبیعت



شکل ۲ . مقایسهٔ نسبی طول موج امواج گوناگون رادار

برای تصویربرداری استفاده می کنند(مانند دوربین طی ساعات روز)، و گروه دوم حسگرهای فعال[۳] که از منبع انرژی تولیدشده توسط سامانه های موجود برای تصویربرداری بهره می گیرند؛ مانند حسگرهای رادار و یا دوربین های عکاسی هنگام عکسبرداری در شب که انرژی موردنیاز آن ها توسط فلاش متصل به دوربین تأمین می شود.

۲ . عبور امواج رادار از میان دود، مه، باران های سبک و ابرها: از آن جا که طول موج امواج میکروویو از نظر اندازه از ذرات تشکیل دهندهٔ دود، مه، باران های ریز و ابرها، بزرگ تر است، با داشتن توان گذر از میان آن ها می توان در کلیهٔ مناطقی که دارای پوشش ابری، مه آلود و یا بارانی هستند(مانند مناطق باختری و شمالی کشور و رشته کوه های البرز)، برای تصویربرداری از سطح زمین استفاده کرد.

۳ . توان نفوذ در لایه های متشکل از دانه های ناپیوسته و عاری از رطوبت (مانند نهشته های سطحی موجود در نواحی بیابانی): طبق پژوهش های انجام شده، امواج رادار در صورت نبود رطوبت بین دانه های تشکیل دهندهٔ نهشته ها و ناپیوستگی دانه های تشکیل دهنده، می توانند ژرفای حدود ۸ متری نیز در درون چنین لایه هایی نفوذ کنند واطلاعاتی در مورد پدیده های زیرسطحی(محدود به ژرفای ذکرشده) در اختیار ما بگذارد.

۴ . توان نفوذ در پوشش گیاهی: امواج رادار با توجه به طول موج مورداستفاده می تواند، از میان شاخ و برگ های درختان و درختچه ها نیز گذر کند و اطلاعاتی در مورد توپوگرافی موجود در بستر نواحی پوشیده از درخت و درختچه در اختیار ما بگذارد.

۵ . توان نفوذ در برف: افزون بر موارد یاد شده، از امواج رادار می توان برای تهیهٔ تصویر از پوشش برفی که در آن، آب به صورت بلور و در دانه های مجزای آن حبس شده است و تصویربرداری از این محدوده ها به دلیل وجود پوشش برفی توسط دیگر حسگرها میسر نیست، استفاده کرد. طبق پژوهش های انجام شده، بیشینهٔ میزان نفوذ امواج رادار در برف حدود ۳۰ سانتی متر است.

ماهواره های مجهز به حسگر رادار

حسگر رادار غیر از نصب روی سکوهای هوایی (هواپیماها)

جدول ۱ . مشخصات ماهواره‌ای مستقر در مدار زمین

Parameters	Seasat	SIR - A*	SIR - B*	Almaz	SIR - c / x SAR*	ERS - 1	JERS - 1	ERS - 2	RADARSAT 1	Envisat 1 ASAR	ALOS PALSAR	SAOCOM	RADARSAT 2
Country	USA	USA	USA	USSR	USA	Europe	Japan	Europe	Canada	Europe	Japan	Argentina	Canada
Launch Date	Jun '78	Nov '81	Oct '84	Mar '91	Apr '94	Jul '91	Feb '92	Apr '95	Nov. 1995	2001	2002	2003	2003
Lifetime(design)	3 months	2.5 days	8 days	2 years	each 11 days	3 years	2 years	3 years	5 years	5 years	3 - 5 years	5 years	5 years
Band	L	L	L	S	L,C,X	C	L	C	C	C	L	L	C
Wavelength	23.5	23.5	23.5	10	23.9, 5.7, 9.6	5.7	23.5	5.7	5.7	5.6	23.6	23	5.6

*** . کشور ژاپن، افزون بر ماهواره JERS-1، ماهواره دیگری را برای مطالعات دریایی در مدار زمین قرار داده که نام اختصاری آن MOS-1 است.

و استفاده‌های گوناگون از این طریق، از سال‌های گذشته روی ماهواره‌ها نیز نصب شده‌است. هم‌اکنون از این ماهواره‌ها و سفینه‌های فضایی که توسط کشورهای مختلف در مدار زمین قرار گرفته‌اند، برای تهیهٔ تصویر راداری از سطح کرهٔ زمین و جمع‌آوری داده‌های لازم برای مطالعات گسترده روی منابع زمین، بهره‌گیری می‌شود.

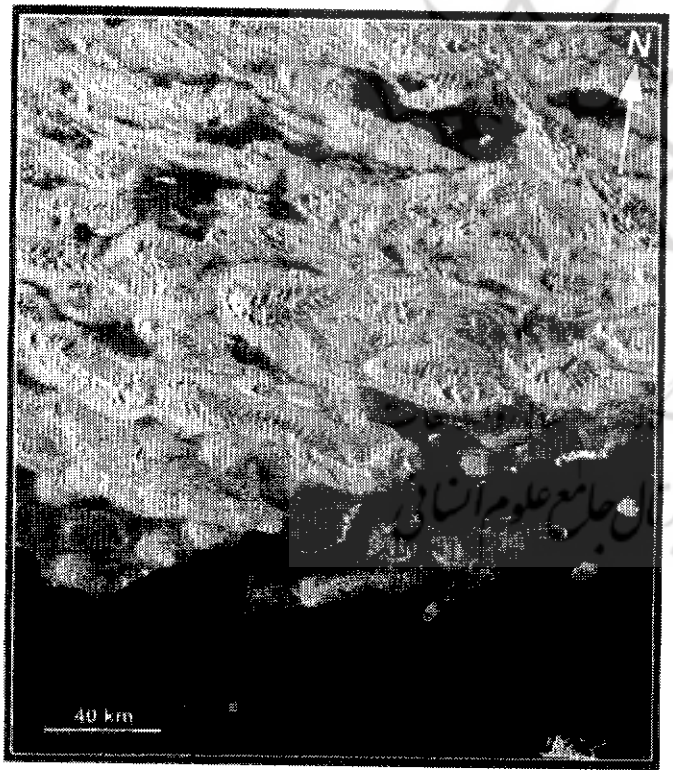
مشخصات بسیاری از این ماهواره‌ها یا حسگرها، شامل نام کشور سازنده، تاریخ قرارگرفتن در مدار، طول عمر (در زمان طراحی) درنظر گرفته شده، باند امواج رادار و بالاخره طول موج مورداستفاده، در جدول ۱ ارائه شده‌است.

کاربردها

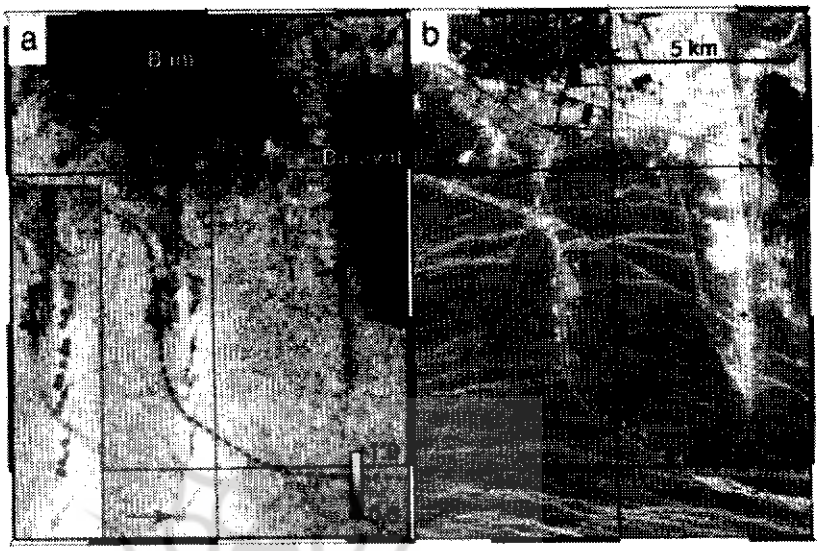
داده‌های راداری در بسیاری از رشته‌های علوم منابع زمین، مانند کشاورزی، جنگل، کاربری زمین، آب‌شناسی، مطالعات برف و یخ، اقیانوس‌شناسی و بالاخره دانش زمین‌شناسی کاربرد دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱. مطالعات ژئومورفولوژی و تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی: نظر به این‌که حسگرهای رادار قادر به تهیهٔ زوج تصویر[۴] از سطح زمین هستند، با استفاده از این مزیّت می‌توان از داده‌های رادار برای تهیهٔ داده‌های توپوگرافی در دو بعد (نقشه) و سه بعد بهره گرفت. در عمل این کاری است که هم‌اکنون با دقت ۳۰ متر برای کشور آمریکا و با دقت ۹۰ متر برای کل سطح جهان انجام می‌شود. در همین راستا، به علّت این‌که تغییرات توپوگرافی در سطح زمین با دقت بسیار از طریق داده‌های راداری ثبت می‌شود، از این داده‌ها می‌توان در مطالعات ژئومورفولوژیک و تفکیک پدیده‌ها و واحدهای گوناگون ژئومورفولوژیکی، به‌ویژه در مناطق دارای پوشش جنگلی که مطالعهٔ دقیق آن‌ها تاکنون (چه از طریق عکس‌های هوایی و چه از طریق تصویرهای ماهواره‌ای) میسر نبوده‌است، با دقت فراوان بهره گرفت. همچنین، انجام مطالعات مشابه در بخش‌های پوشیده از بیابان و شناسایی پستی و بلندی‌های موجود در این نواحی غیرقابل دسترس و استخراج اطلاعات و دستیابی به دانایی‌های جدید نیز میسر است (شکل ۳).

۲. استخراج اطلاعات مرتبط با زمین‌شناسی ساختمانی: با توجه به برخورداری از توان نگرش و استفاده از زوج تصویرهای راداری، کسب اطلاعات تکمیلی و یا جدید در مورد ساختارهای زمین‌شناسی، مانند چین‌ها و گسل‌ها نیز ممکن است که خود این اطلاعات نیز می‌تواند گاه سبب تجدیدنظر و اصلاح



شکل ۳ تصویر تهیه شده توسط حسگر رادار نصب شده در ماهوارهٔ (Radarsat) متعلق به کشور کانادا، اخذشده در تاریخ ۱۱ نوامبر ۱۹۹۷ (۲۱ آبان ۱۳۷۶) از نواحی جنوبی کشور و بخش ساحلی ـ خاوری رشته کوه‌های زاگرس و خلیج فارس. در این تصویر، بخش سیاهرنگ، خلیج فارس را نشان می‌دهد که در میان آن، جزایر قشم، هرمز، هنگام، لارک و تنب بزرگ به‌صورت لکه‌های خاکستری دیده می‌شوند. طاقدیس، گنبدهای نمکی و دشت‌های گسترده در این منطقه (محدوده‌های دارای رنگ خاکستری بسیار تیره) نیز به خوبی نمایان هستند. محدودهٔ دارای رنگ خاکستری روشن (تقریباً سفیدرنگ) نزدیک به لبهٔ خاوری تصویر مربوط به بندرعباس است. ابعاد اسمی عکسدانه (پیکسل) در این نوع تصویر برابر ۷۵×۵۰ متر روی زمین است.



شکل ۴ : مقایسهٔ دو تصویر ماهواره‌ای : تصویر حسگر ASTER ماهواره TERRA(b) و تصویر حسگر رادار ماهواره ERS(A). در این مقایسه، راستا و ماهیت گسل جدید در محدودهٔ پیرامون شهر بم به روشنی قابل تشخیص است.

مدل‌های تکتونیکی حاکم بر محدودهٔ مورد مطالعه شود. نمونهٔ مؤثری از این کاربرد و آزمایشگاه پیشرانه‌های جت (JPL) انجام شد که نه تنها سبب شناسایی یک گسل جدید ظاهر شده در سطح و گذرا از میانهٔ شهر و از زیر ارگ بم گردید، بلکه سبب درک ماهیت حرکتی این گسل نیز شد(طالبیان و همکاران، ۲۰۰۴)(شکل ۴).

۳. اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی‌های قائم در امتداد گسل‌ها و برخاستن زمین[5]: نظر به این که امواج رادار با توجه به طول موج مورداستفاده، در برابر تغییرات روی داده در ارتفاع حساس است و تحت تأثیر این جابه‌جایی‌ها قرار می‌گیرد.

با استفاده از دو تصویر گرفته شده در یک فاصلهٔ زمانی(حدود شش ماه تا یک سال) از یک منطقه و با استفاده از روش‌های مربوط به این موضوع، می‌توان این تغییرات را تا حد ۳ ـ ۲ سانتی‌متر در سال شناسایی و اندازه‌گیری کرد. این جابه‌جایی‌ها می‌تواند در پیوند با برخاستگی ناحیه‌ای[6]، جابه‌جایی‌های قائم رویداده در امتداد گسل‌های جنبا و پایش مداوم آن‌ها، و برخاستن ساقهٔ اصلی گنبدهای نمکی باشد.

۴. اندازه‌گیری میزان فرونشست:[7] با توجه به نکتهٔ پیش گفته، امواج رادار و تصویرهای تهیه شده با فواصل زمانی ذکرشده می‌تواند در اندازه‌گیری فرونشست‌های ناحیه‌ای و به‌ویژه فرونشست دشت‌ها مؤثر واقع شود. همان‌گونه که می‌دانیم، استخراج آب‌های زیرزمینی و انباشته شده در آبخوان‌ها و یا استخراج نفت از مخازن، سبب فرونشست‌های محلی و یا منطقه‌ای می‌شود که تاکنون اندازه‌گیری آن‌ها غالباً با استفاده از روش میکروژئودزی (نقشه‌برداری فوق‌العاده دقیق با استفاده از سامانه‌های تعیین موقعیت جهانی GPS) میسر بود، ولی این امر به‌ویژه هم‌اکنون توسط داده‌های راداری نیز کاملاً ممکن است و امروزه در بسیاری موارد و به‌هنگام اجرای طرح‌های عمرانی و ایجاد تأسیسات زیربنایی (نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، پل‌ها و مانند آن‌ها)، از این داده‌ها و روش‌های پردازش و استخراج اطلاعات خاص استفاده می‌شود.

۵. شناخت پدیده‌های زیرسطحی: با توجه به توضیحات ذکرشده در مورد ویژگی نفوذ رادار در ژرفا، از تصویرهای رادار می‌توان با توجه به محدودیت ژرفای یادشده، برای شناخت پدیده‌های پوشیده توسط پوشش‌های سطحی مانند بستر قدیمی رودخانه‌ها و شعبه‌های آن‌ها، لایه‌های سنگی پوشیده شده و مانند آن، استفاده کرد.

* کارشناس مرکز سنجش از دور

زیرنویس

1. Microwave
2. Passive
3. Active
4. Stereo Pair
5. Uplifting
6. Rogional Uplift
7. Subsidence