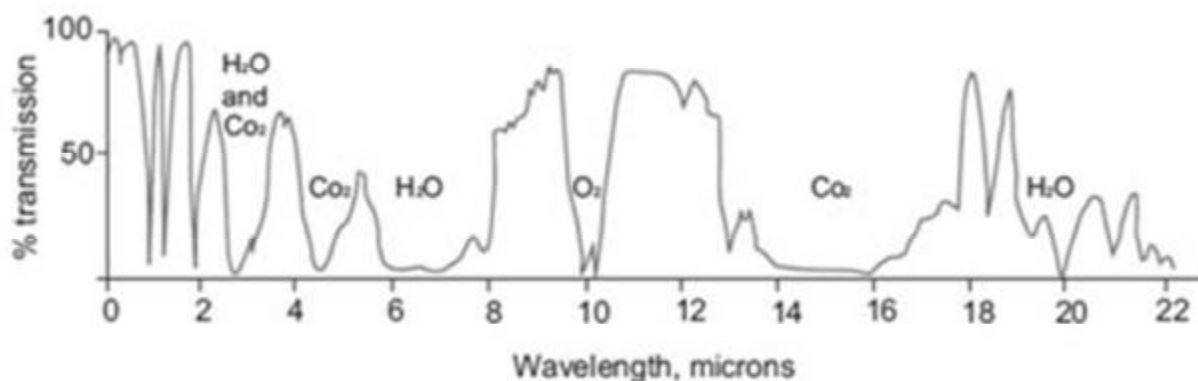


مقدمه

موج الکترومغناطیس در مسیر خود از منبع انرژی به سمت اشیاء از اتمسفر می‌گذرد. امواج تحت تاثیر مولکول‌ها و ذرات معلق در اتمسفر قرار گرفته و دچار تغییراتی می‌شوند. به طور کلی اتمسفر از دو طریق جذب (Absorption) و پراکنش (Scattering) بر روی امواج الکترومغناطیس اثر می‌گذارد. پراکنش باعث انحراف موج از مسیر اصلی آن می‌شود ولی جذب انرژی باعث تغییر انرژی درونی مولکول‌های اتمسفر خواهد شد. تاثیر این دو نوع تعامل اتمسفر و انرژی الکترومغناطیس در برخی از طول موج‌ها بسیار شدید است، بنابراین باید کاملاً از چگونگی مکانیسم انتقال امواج در اتمسفر آگاه باشیم. این اطلاعات در طراحی سنجنده‌ها و همچنین انجام تصحیحات بر روی تصاویر اخذ شده بسیار مهم و کارگشا هستند. اتمسفر بخشی از انرژی الکترومغناطیس را از خود عبور داده و بخشی دیگر توسط مولکول‌های موجود در اتمسفر جذب می‌شوند. مهم‌ترین مواد جذب‌کننده در اتمسفر عبارتند از: ازن، اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخار آب. این مواد بخشی از انرژی رسیده را جذب کرده و تبدیل به گرما می‌کنند. جذب انرژی در برخی از بخش‌های طیف الکترومغناطیس بسیار زیاد بوده و در برخی دیگر پایین است. به آن قسمت‌هایی از طیف الکترومغناطیس که جذب اتمسفری در آنها در پایین‌ترین سطح قرار دارد "پنجره‌های اتمسفری" (Atmospheric Windows) می‌گویند. طراحان سنجنده‌ها، معمولاً باندهای سنجنده‌ها را در پنجره‌های اتمسفری طراحی کرده و سعی می‌کنند از بخش‌هایی که جذب اتمسفری در آنها بسیار بالاست، اجتناب کنند. شکل 1-1 تاثیر اتمسفر بر روی انرژی الکترومغناطیس را در طول موج‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل 1-1: تاثیر اتمسفر بر روی انرژی الکترومغناطیس

جذب اتمسفری در بخش فرابنفش، به علت وجود لایه ازن بسیار بالاست. در مقابل در بخش مرئی اتمسفر به صورت شفاف عمل کرده و جذب بسیار کمی دارد. این نقاط جذب ازن (در 0.6 میکرومتر و مولکول‌های

اکسیژن در 0.69 و 0.76 میکرومتر می باشند. بنابراین مهم ترین پنجره های اتمسفری عبارت خواهند بود از:

• بخش مرئی و مادون قرمز انعکاسی در 0.4 تا 2 میکرومتر

• دو پنجره باریک حول طول موج های 3 و میکرومتر

• یک پنجره قابل توجه در 8-14 میکرومتر

1-1-1 پراکنش اتمسفری

پراکنش اتمسفری هنگامی اتفاق می افتد که انرژی الکترومغناطیس با مولکول ها و ذرات موجود در اتمسفر برخورد کرده و از مسیر اصلی خود منحرف می گردد. مقدار پراکنش به عوامل چندی بستگی دارد که مهم ترین آنها عبارتند از: طول موج، مقدار و غلظت مولکول ها و اجزای پراکنده در اتمسفر و میزان فاصله ای که انرژی از مبدأ تا مقصد در اتمسفر طی می کند. هرچه فاصله طی شده بیشتر باشد، یا مقدار و غلظت مولکول ها و ذرات پراکنده اتمسفر بالاتر باشد، پراکنش می تواند بیشتر شود. بیشترین سهم در پراکنش را مولکول های اکسیژن، نیتروژن، ازن و همچنین ذرات معلق در هوا نظیر ذرات بخار آب، گرد و غبار و دود دارا می باشند. جو زمین، لایه ای از گازها است که زمین را احاطه کرده اند و بوسیله جاذبه زمین نگهداشته شده اند. جو زمین شامل نیتروژن (78.1%) و اکسیژن (20.9%) همراه مقدار کمی از آرگون (0.9%)، دی اکسید کربن (متغیر، ولی حدود 0.035%)، بخار آب و دیگر گازها می شود. جو زمین موجودات روی زمین را از طریق جذب اشعه فرابنفش خورشید و کم کردن دمای بالای بین روز و شب محافظت می کند. مرز دقیقی بین لایه های مختلف جو وجود ندارد؛ ولی جو به سرعت با افزایش ارتفاع رقیق می شود و هیچ مرز مشخصی بین جو و فضای خارج از جو وجود ندارد. 75% از جو زمین تا ارتفاع 11 کیلومتر از سطح سیاره وجود دارد. همچنین ارتفاع 100 کیلومتری یا 62 مایلی به عنوان مرز بین اتمسفر و فضا بطور مکرر استفاده می شود. پراکنش اتمسفری به دو دسته عمده "انتخابی (Selective)" و "غیر انتخابی" تقسیم می گردد. پراکنش انتخابی تنها بر روی دسته خاصی از طول موج ها اثر قابل توجه دارد، در صورتی که پراکنش غیر انتخابی وابستگی خاصی به طول موج نخواهد داشت. پراکنش انتخابی خود به دو دسته مهم تقسیم می گردد: پراکنش "ری لی" و پراکنش "می". در ادامه این پراکنش ها را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

1-1-1-1 پراکنش ری لی

این نوع پراکنش در اثر تعامل انرژی الکترومغناطیس با ذراتی است که از طول موج برخوردار کرده، کوچک ترند. این نوع ذرات عمدتاً از مولکول های اکسیژن، نیتروژن و ذرات بسیار ریز گرد و غبار تشکیل می شوند. مقدار این نوع پراکنش با توان چهارم طول موج نسبت عکس دارد. بنابراین هرچه طول موج کوتاه تر باشد، مقدار پراکنش آن نیز بیشتر است. عمده ترین نوع پراکنش، پراکنش نوع ری لی است که در بخش مرئی برای نور آبی (طول موجهای $0.4 - 0.5 \mu$) بیشترین مقدار را خواهد داشت. پراکنش ری لی عامل پراکنش نور آبی در اتمسفر است که در نهایت باعث می شود آسمان آبی رنگ به نظر برسد. همین مسئله در هنگام طلوع و غروب خورشید نیز اتفاق می افتد. در این اوقات نور خورشید که فاصله بیشتری را در اتمسفر نسبت به موقعیت های دیگر طی می کند، دچار پراکنش شده و نور قرمز با طول موج بزرگتر خود کمتر دچار پراکنش می شود و در نتیجه بیشترین نوری که به چشم ما می رسد نور قرمز بوده و عملاً خورشید به صورت قرمز یا نارنجی به نظر می رسد. اثر پراکنش ری لی، طول موجهای کوتاهتر بیشتر دچار پراکندگی می شوند

1-1-2 پراکنش می

این نوع پراکنش بر اثر ذراتی در اندازه های $10 - 0.1 \mu$ اتفاق می افتد. با توجه به این اندازه ها می توان گفت که این نوع پراکنش در اثر ذراتی در حد طول موج امواج الکترومغناطیس (امواج مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی) ایجاد می شود. مقدار این پراکنش نیز با طول موج نسبت عکس دارد. البته در اینجا شدت آن نصف و یا کمتر از نصف شدت پراکنش نوع ری لی می باشد، بنابراین بر طول موج-های بزرگتر اثر بیشتری نسبت به پراکنش ری لی دارد. علت بوجود آمدن رنگ قرمز آسمان در هنگام غروب که در اثر پراکنش ریلی می باشد، رنگ قرمز غروب و رنگ آبی آسمان بیشتر در اثر پراکنش ری لی به وجود می آید.

1-1-3 پراکنش غیر انتخابی

پراکنش غیر انتخابی در اثر ذراتی از اتمسفر اتفاق می افتد که از طول موج های معمول (مورد استفاده در سنجش از دور) بسیار بزرگتر هستند (مثلاً بزرگتر از 10μ). بنابراین موج با هر طول موجی که باشد در اثر برخورد با اینگونه ذرات دچار پراکنش شده و به این ترتیب می توان گفت که پراکنش غیر انتخابی مستقل از طول موج است. بارزترین نمونه این نوع پراکنش رنگ سفید ابرهاست. قطرات درشت آب در ابرها باعث پراکنش تمامی امواج مرئی شده و از ترکیب آنها رنگ سفید ابرها به نظر می رسد. مانند اثر ابرها و پراکنش غیر انتخابی بر روی امواج الکترو مغناطیس.

1-2 اثرات اتمسفر بر روی امواج الکترومغناطیس

با توجه به آنچه که گفته شد، جو زمین به دو صورت بر روی امواج الکترو مغناطیس اثر می گذارد، اولاً باعث جذب انرژی الکترو مغناطیس شده و بایستی محل‌های جذبی مربوط به هر مولکول و عنصر موجود در جو، مشخص و معین شود؛ تا بتوان از آن در طراحی سنجنده‌ها استفاده نمود. اثر دیگر جو، بدین صورت است که باعث پراکنش امواج می‌شود و بایست اثر آن از روی تصاویر حذف شود. اثرات اتمسفر (مخصوصاً پراکنش) بر روی تصاویر متعددند.

در غیاب اتمسفر، مقدار انرژی ثبت شده برای یک جزء تصویر، تابعی از مقدار انرژی تابیده شده به جسم و خصوصیات شیمیایی - فیزیکی مؤثر آن بر مقدار انعکاس انرژی می باشد، اما حضور اتمسفر همانطور که شکل 1-5 نشان می دهد باعث پیچیدگی این سیستم می شود. همانطور که گفتیم در طراحی سنجنده‌ها سعی بر این است که از طول موج‌هایی که جذب اتمسفری در آنها زیاد است، استفاده نشود و به همین خاطر پراکنش اتمسفری مهم ترین و بیشترین تاثیر را روی تصویر دارد

پراکنش انرژی باعث می شود یک قطعه بر روی زمین به غیر از موج‌هایی که مستقیم به سمت آن تابیده می شوند، بخشی از امواج حاصل از پراکنش نیز به آن برسند. این انرژی اضافه، به "تابش آسمانی (Sky Irradiance)" معروف است. بخشی از انرژی رسیده به پیکسل نیز ممکن است از طریق دیگری باشد. انرژی منعکس شده از قطعات مجاور دچار پراکنش شده و به جای طی مسیر مستقیم به پیکسل مورد نظر ما برخورد می نماید (شکل 5). به این نوع انرژی اضافه، "مولفه دوم تابش آسمانی (Sky Irradiance Component)" (2) گویند. اینها مجموعه‌ای از انرژی‌ها هستند که به قطعه‌ای بر سطح زمین به صورت مستقیم و یا بر اثر پراکنش اتمسفری می رسند. حال ببینیم اتمسفر بر روی انرژی رسیده به سنجنده، چه تاثیراتی خواهد داشت. بخشی از انرژی‌هایی که توسط اتمسفر دچار پراکنش شده اند، بدون اینکه به زمین برسند به سمت سنجنده هدایت و ثبت می شوند. بخشی از امواجی که از قطعات همسایه به سمت سنجنده حرکت می کنند نیز در اتمسفر دچار پراکنش شده و به انرژی‌های تابیده شده از قطعه مورد نظر ما اضافه می گردند، این نوع انرژی‌ها به "تابش انحرافی (Path Radiance)" معروفند.

اولین اثر بصری اتمسفر بر روی تصاویر، کاهش کنتراست تصویر است. کنتراست را می توان "نسبت میان روشن ترین و تاریک ترین مناطق یک تصویر دانست". با سیستم پیچیده‌ای که اتمسفر برای انرژی‌های ثبت شده پیش می آورد، انرژی‌ها به صورت واقعی ثبت نشده و معمولاً به مقدار انرژی‌های ثبت شده اضافه می گردد. کاهش کنتراست تصویر، باعث ضعیف نمودن قدرت آشکارسازی تصویر و پنهان شدن جزئیات آن می

شود. به جز از دست دادن جزئیات با ارزش، اثرات اتمسفری، قدرت تمایز میان اشیا را نیز پایین می آورند، که عملاً باعث مشکل تر ساختن استخراج اطلاعات از تصویر می شوند. باید توجه داشت که بیشتر اثرات اتمسفری وابسته به طول موج هستند و بنابراین هنگام استفاده از باندهای مختلف یک سنجنده باید به این نکته توجه داشت. دومین عامل موثر بر روی اثرات اتمسفری طول مسیری است که امواج الکترومغناطیس تا رسیدن به سنجنده طی می کنند. بنابراین انتظار می رود که سنجنده های با زاویه دید (Field Of View) بزرگ دارای اثرات اتمسفری بیشتری در حاشیه های تصویر باشند و مرکز تصاویر آنها تاثیر کمتری از اتمسفر پذیرفته باشد. اثرات اتمسفری را در صورت حاد بودن معمولاً با الگوریتم های مختلفی بر روی تصویر کاهش می دهند.

ذرات معلق موجود در هوا (هوآویزها) نقش اصلی در تعیین شرایط آب و هوایی ایفا کرده و تأثیر بسزایی بر سلامتی انسان دارند. از طرف دیگر مطالعه هوآویزها از ابعاد نظامی نیز حائز اهمیت است. همچنین هوآویزها بر تعادل و توازن انرژی تابشی زمین نیز بطور مستقیم یا غیر مستقیم اثر می گذارند. مطالعات نشان می دهد که اثر هوآویزها بر موجودی گازهای گلخانه ای نیز مطرح و غیر قابل انکار بوده و لزوم اهتمام به مطالعه این ذرات را بیشتر محرز می کند. در اختیار نداشتن اطلاعاتی از چگونگی توزیع هوآویزها در جو کره زمین، مدلسازی وضعیت آب و هوا را دشوار می سازد. اما از همه مهمتر بدلیل تغییرات شدید مقدار هوآویزها، اثر آنها بر آلودگی سطوح بسیار شدید بوده و در نتیجه استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای را با عدم قطعیتی غیر قابل پیش بینی روبرو می کند.

تا کنون از هر دو طیف مرئی و فروسرخ، برای آشکارسازی هوآویزها استفاده شده است. در استفاده از طیف مرئی از تغییر مقدار انرژی تابشی بازتابیده (رادیانس) ناشی از حضور هوآویزها برای تشخیص آنها استفاده می شود. لذا آشکارسازی آنها با کسر کردن بازتابندگی ناشی از عوارض سطح زمین از تصویر صورت می گیرد. در محدوده های روزنه جوی در IR (InfraRed) از طیف فروسرخ برای آشکارسازی هوآویزها استفاده می شود که در این طیف، هوآویزها با اختلاف فاحشی در تصویر آشکار می شوند. زمانی که مقدار هوآویزها در جو اندک باشد، سیگنال اصلی دریافتی توسط سنجنده، مربوط به عوارض سطح زمین خواهد بود ولی اگر میزان آلاینده های هوآویزها بیشتر باشد و لایه ضخیمی را به خود اختصاص دهند، در این صورت انرژی پراکنده شده و یا تابش شده از هوآویزها، بخش عمده سیگنال دریافتی را تشکیل داده و تبدیل داده های ماهواره ای را به اطلاعات زمینی با عدم قطعیت مواجه می سازند. در باندهای حرارتی در مجموع اندازه گیری ها بر اساس دمای درخشندگی (Brightness Temperature) می باشد. تغییرات غیر عادی در دمای درخشندگی، که با استفاده از محدوده مشخصی از طیف IR بدست می آیند، می تواند وسیله ای برای آشکارسازی هوآویزها

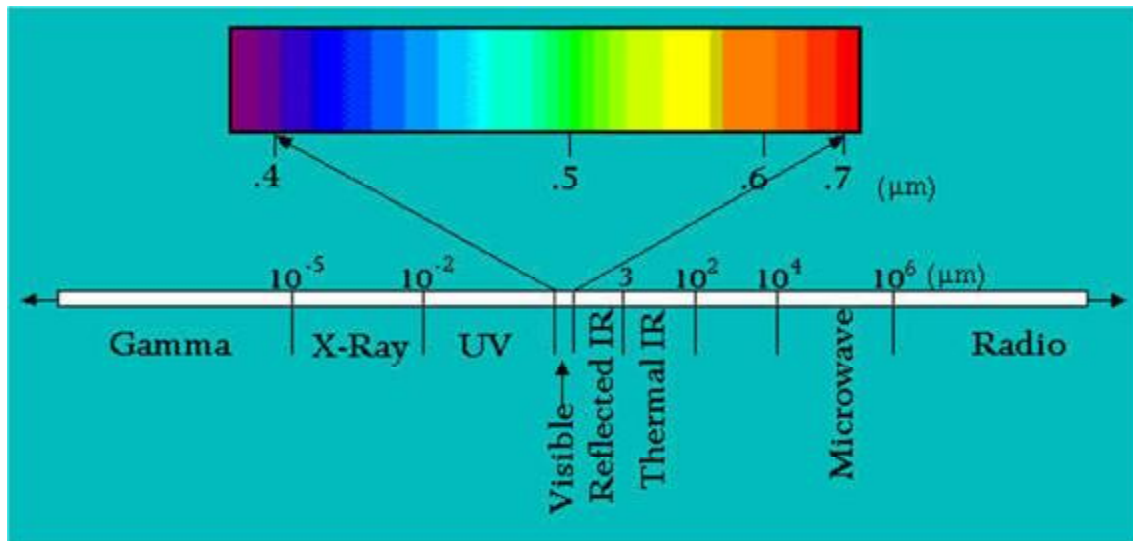
شود. الگوریتمهای مورد استفاده به منظور بازیابی اجزای هواویز، بایستی از یک مدل فیزیکی برای استخراج کل مقدار هواویزها تبعیت کنند. بدین منظور بایستی با استفاده از تجهیزات خاصی، ضخامت نوری هواویزها مورد مطالعه و اندازه گیری قرار گیرد.

طیف الکترومغناطیس

انرژی تابشی خورشید به صورت موج با سرعتی ثابت در حدود 300 هزار کیلومتر در ثانیه انتشار می‌یابد، آن بخش از طیف الکترومغناطیس که قابل رویت هستند موج مرئی یا نور خوانده می‌شود. امواج الکترومغناطیس، طول موجهای مختلفی از 0/03 انگستروم تا چندصد متر دارند که به صورت طیفی پیوسته هستند و نمی‌توان مرزی مشخص و آشکار از هم آنها را تفکیک نمود، اما در سنجش از دور برای شناخت بهتر موج الکترومغناطیس آن را به بخشهایی تقسیم می‌کنیم.

به ترتیب دامنه امواج از کم به زیاد به قرار زیر است:

اشعه گاما، اشعه ایکس، اشعه ماوراء بنفش، موج مرئی، موج مادون قرمز (انعکاسی و حرارتی)، موج ماکروویو (رادار) و موج رادیویی.



اشعه گاما و ایکس با فرکانس زیاد و طول موج خیلی کوتاه که دارای بار الکتریکی شدیدی هستند به وسیله میدان مغناطیسی زمین در جو بالا جذب می‌شوند و در سنجش از دور کاربردی ندارند.

اشعه ماوراء بنفش

طول موج این بخش از طیف الکترومغناطیس در فاصله 0/003 تا 0/4 میکرومتر قرار دارد و بر حسب نزدیکی

به موج مرئی به بخش‌های زیر تقسیم می‌شود.

ماوراء بنفش خیلی دور (از 0/003 تا 0/2 میکرومتر)

ماوراء بنفش دور (از 0/2 تا 0/3 میکرومتر)

ماوراء بنفش نزدیک (از 0/3 تا 0/4 میکرومتر)

تنها 10 درصد از این امواج به سطح زمین می‌رسد که در سنجش از دور کاربرد کمی دارد. برای بررسی میزان

UV موجود در اتمسفر یا سطح زمین در بخش ماوراء بنفش نزدیک (از 0/3 تا 0/4 میکرومتر) که مقدار

بیشتری از آن، از جو زمین عبور می‌کند در سنجش از دور استفاده می‌شود.

موج مرئی

ناحیه نور مرئی بخشی از طیف الکترومغناطیس است که چشم انسان قادر به روئیت آن است و در ناحیه 0/4 تا

0/7 میکرومتر قرار دارد. در طبیعت بیش از 50 درصد انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد مربوط به

همین امواج است. نور مرئی به سه بخش اصلی آبی، سبز و قرمز تقسیم می‌شود.

بخش آبی (0/4 تا 0/5 میکرومتر)

بخش سبز (0/5 تا 0/6 میکرومتر)

بخش قرمز (0/6 تا 0/7 میکرومتر)

مخلوط یکسانی از این سه بخش باعث می شود که رنگ به شکل سفید و در نبود هیچ کدام از این رنگ‌ها سیاه شکل می‌گیرد.

موج مادون قرمز (Infrared)

محدوده این بخش از طیف الکترومغناطیس از $0/7$ میکرومتر تا 1 میلی‌متر است.

ناحیه مادون قرمز بر اساس نزدیکی به موج مرئی به سه بخش تقسیم می‌شود:

مادون قرمز نزدیک $0/7$ تا $1/3$ میکرومتر

مادون قرمز میانی $1/3$ تا 3 میکرومتر

مادون قرمز دور 3 میکرومتر تا 1 میلی‌متر

در تقسیم‌بندی دیگر موج مادون قرمز به دو بخش تقسیم می‌شود:

مادون قرمز انعکاسی ($0/7$ تا 3 میکرومتر) یعنی مادون قرمز نزدیک و میانی

مادون قرمز حرارتی یا Thermal (3 تا 15 میکرومتر)

منبع اصلی مادون قرمز انعکاسی، نور خورشید است و 40 درصد از انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین را شامل می‌شود. منبع اصلی مادون قرمز حرارتی گرمای ناشی از تابش خورشید به سطح یا جو زمین یا انرژی زمین گرمایی است. اکثر سنجنده‌ها قابلیت کار در این طول موجها را دارند. برای شناسایی خیلی از پدیده‌های اقلیمی از بخش مادون قرمز حرارتی استفاده می‌کنند که پنجره اتمسفری (8 تا 14 میکرومتر) نیز در این بخش قرار دارد. پنجره اتمسفری بخشی از طیف حرارتی است که موج بازتابیده از عوارض یا پدیده‌های مربوط به سطح یا جو زمین بدون هیچ مانعی به بیرون از اتمسفر زمین منتقل می‌شوند که مهم‌ترین آنها بخار آب موجود در اتمسفر است. در اصطلاح جو زمین در این شفاف عمل می‌کند.

امواج راداری یا ماکروویو

طول موج این بخش از 1 میلی‌متر تا 1 متر است. این امواج در شرایط بد آب و هوایی نیز قادر به عبور از جو زمین هستند و چندان تحت تأثیر اتمسفر قرار نمی‌گیرند. اما مقدار فرکانس آنها کم است، یعنی تعداد کمی از آنها در حالت طبیعی یافت می‌شود. بنابراین برخی سنجنده‌ها که فعال خوانده می‌شوند از این نوع امواج تولید کرده و به سمت زمین می‌تابانند که با ثبت امواج بازگشتی از سمت زمین نسبت به شناخت عوارض اقدام می‌کنند.

این امواج قدرت نفوذپذیری زیادی در ابر، باران، مه، برگ درختان و پوشش گیاهی دارند، پس بنابراین در شناخت عوارض زیرین این پدیده‌ها می‌توانند کمک شایانی کنند. عمده امواج تولیدی یک سانتی‌متر تا 3 انتی‌متر طول دارند.