



# مبانی سنجش از دور

(جلسه دوم)



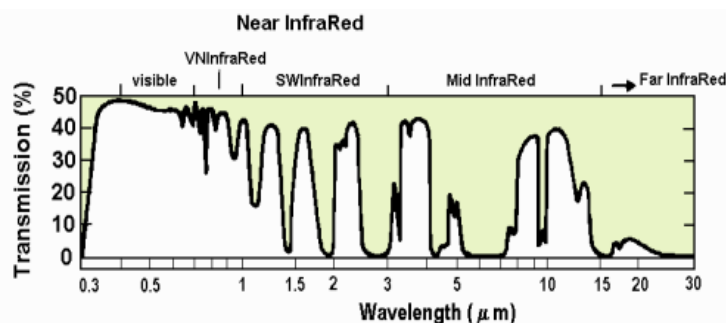
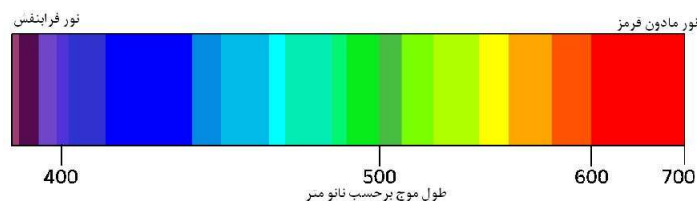
# مطالب این جلسه



- یادآوری
- سکوها
- خصوصیات مداری ماهواره‌ها
- انواع مدارها
- سنجنده‌ها و مشخصات آن‌ها
  - قدرت تفکیک و انواع آن
- انواع سنجنده‌ها از لحاظ
  - منبع انرژی
  - نوع داده
  - هندسه جمع‌آوری داده
  - طیفی

# یادآوری

- تعریف سنجش از دور و دلایل استفاده از آن
- جمع‌آوری داده در مورد یک شی بدون تماس با آن



- موج و طیف الکترومغناطیس

- اثر اتمسفر

■ جذب

□ پنجره‌های اتمسفری

■ پراکنش

□ غیر انتخابی

□ انتخابی

- پراکنش ری‌لی: ذرات کوچکتر از طول موج برخوردی
- پراکنش مای: ذرات در حد طول موج برخوردی

# سکوها

- سنجنده‌ها در RS وظیفه اخذ و ثبت داده‌ها را بر عهده دارند اما برای نگهداری و انتقال آن‌ها از سکوها (Platforms) استفاده می‌شود.
- دو سکوی پر استفاده:
  - هواپیما

□ تصویر برداری هوایی (Airborne)

□ ارتفاع ۱۰۰ متری تا ۴۰ کیلومتری

□ تنظیم پارامترهایی نظیر ارتفاع پرواز، تعداد تصویر گرفته‌شده از یک منطقه و زمان تصویر برداری

□ تاثیرات اتمسفری و مشکل پوشش ابری کمتر از تصاویر فضایی است.

▪ ماهواره

□ تصویر برداری فضایی (Space borne)

□ ارزان‌تر از تصویر برداری هوایی

□ سطح پوشش وسیع‌تر و تنوع اطلاعات بیشتر

- تصویر برداری هوایی و فضایی مکمل یکدیگر بوده و هرگز به عنوان رقیب در نظر گرفته نمی‌شوند



# خصوصیات مداری ماهواره‌ها

- مدار یک ماهواره، در حالت کلی مسیری است که ماهواره در طول عمر خود بر روی آن حرکت می‌کند.

۳ خصوصیت مهم مداری ماهواره‌ها در ادامه بیان شده‌است:

- **زمان تناوب ماهواره** مدت زمانی است که ماهواره یک دور کامل مدار خود را طی می‌کند.

$$T = 2 \pi r \sqrt{\frac{r}{gR^2}}$$

R شعاع زمین، g شتاب ثقل و  $r = R + h$  که در آن h ارتفاع ماهواره از سطح زمین است.

- **زاویه میل ماهواره (Inclination Angle)**، زاویه میان صفحه مداری و صفحه استوایی زمین است که مشخص‌کننده پوشش در عرض‌های جغرافیایی است.

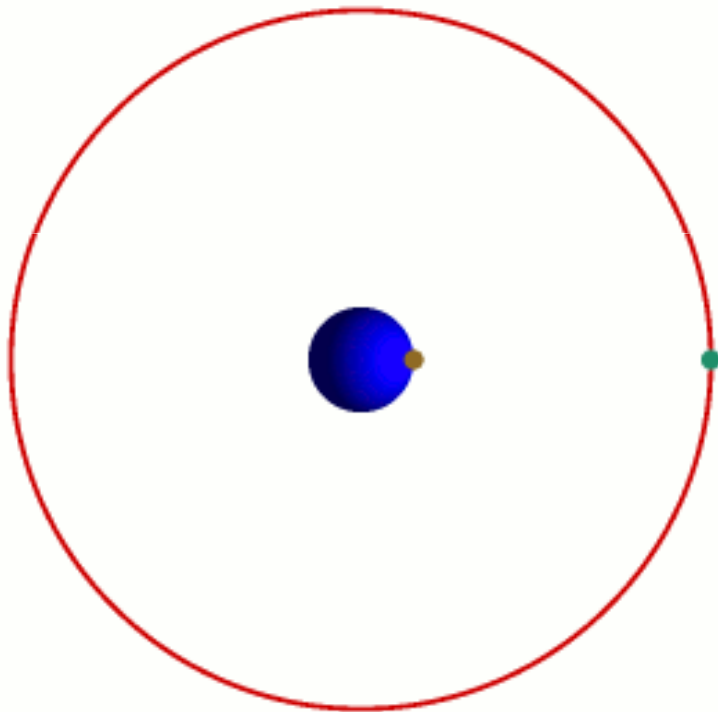
- **زمان بازدید مجدد (Revisit Time)** مدت زمان لازم برای تصویربرداری مجدد از یک منطقه بدون احتساب قابلیت‌های سنجنده و یا ماهواره برای تغییر آن است.



# انواع مدارها

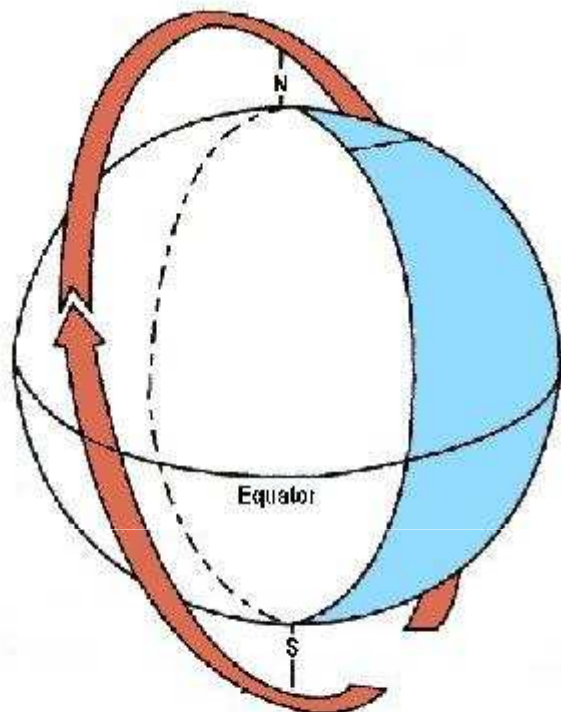
- **مدارهای زمین آهنگ (Geo-Synchronous)** مدارهایی هستند که زمان تناوب ماهواره در آن‌ها ضربی از زمان چرخش زمین به دور خود است.
  - این مدارها مسیری تکراری داشته و باعث می‌شوند تا ماهواره از مسیر قبلی عبور نماید.
  - **مدارهای زمین مرجع (Geostationary)** مدارهایی زمین آهنگ هستند که دارای زمان تناوبی معادل چرخش زمین می‌باشند، بنابراین می‌توانند نسبت به یک نقطه زمینی ثابت فرض شوند.
    - ارتفاع بسیار زیاد این مدارها امکان تصویربرداری قسمت عمده‌ای از سطح زمین را فراهم می‌آورد.
    - کاربرد عمده این نوع از مدارها در ماهواره‌های هواشناسی و مخابراتی است.
- **مدارهای خورشید آهنگ (Sun-Synchronous)** مدارهایی ژئوسنتریک هستند که ماهواره در آن‌ها در یک زمان محلی ثابت از نصف‌النهار محل عبور می‌کنند.
  - اکثر ماهواره‌ها در RS از این مدار استفاده می‌کنند.

# مدارهای زمین مرجع

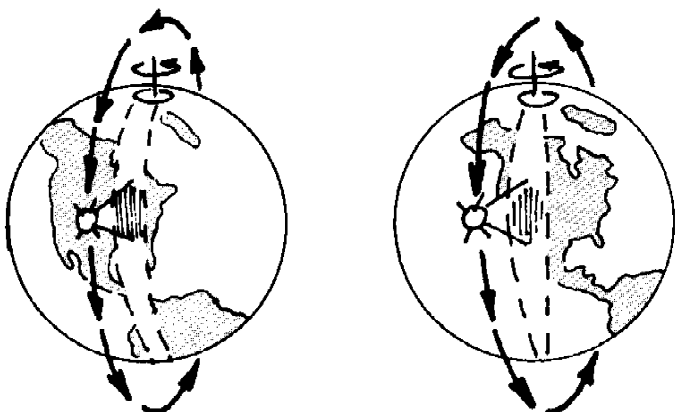


- مدارهای زمین مرجع دقیقا بالای خط استوا (در عرض جغرافیایی صفر درجه) قرار دارند.
- گریز از مرکز مداری برای این ماهواره صفر است.
- تنها تفاوت ماهواره در مدار زمین مرجع نحوه آرایش آن‌ها نسبت به طول جغرافیایی است.
- سرعت مداری ماهواره در این مدار  $3.07$  کیلومتر بر ثانیه و ارتفاع آن  $35786$  کیلومتر از سطح آب‌های آزاد بر فراز خط استوا است.

# مدارهای خورشید آهنگ



- این نوع مدارها اکثرا مدارهایی دایره‌ای هستند که مداری قطبی یا نزدیک به قطب دارند.
- مدارهای قطبی مدارهایی هستند که زاویه میل آن‌ها ۹۰ درجه یا نزدیک به ۹۰ درجه می‌باشند.
- ماهواره‌های مشاهداتی، اکتشافی و بعضی از ماهواره‌های هواشناسی از این نوع مدار استفاده می‌کنند.
- از معایب این نوع مدار می‌توان به عدم سنجش داده‌های یک نقطه خاص بر روی زمین توسط سنجنده به طور پیوسته اشاره کرد.







## سنجنده‌ها

- سنجنده (Sensor) دستگاهی است که انرژی الکترومغناطیس را دریافت کرده و پس از اعمال یک سری تبدیلات به صورت عددی یا آنالوگ ذخیره می‌نماید. (ITC, 1999)
  - آشکارساز (Detector) بخشی از یک سنجنده است که عمل اندازه‌گیری انرژی الکترومغناطیس را بر عهده دارد.
- از مهمترین خصوصیات یک سنجنده می‌توان به **میدان دید** و **قدرت تفکیک** (Resolution) اشاره کرد. قدرت تفکیک خود به چهار صورت کلی بیان می‌شود:
  - قدرت تفکیک مکانی (Spatial Resolution)
  - قدرت تفکیک طیفی (Spectral Resolution)
  - قدرت تفکیک رادیومتریکی (Radiometric Resolution)
  - قدرت تفکیک زمانی (Temporal Resolution)



تصویری با قدرت تفکیک بالا



تصویر با قدرت تفکیک پایین



# میدان دید

- میدان دید یک سنجنده عبارت است زاویه اسکن از یک سمت تا سمت دیگر.

▪ این زاویه در عمل به همراه ارتفاع سکو، قابلیت برداشت سنجنده را مشخص می کند.

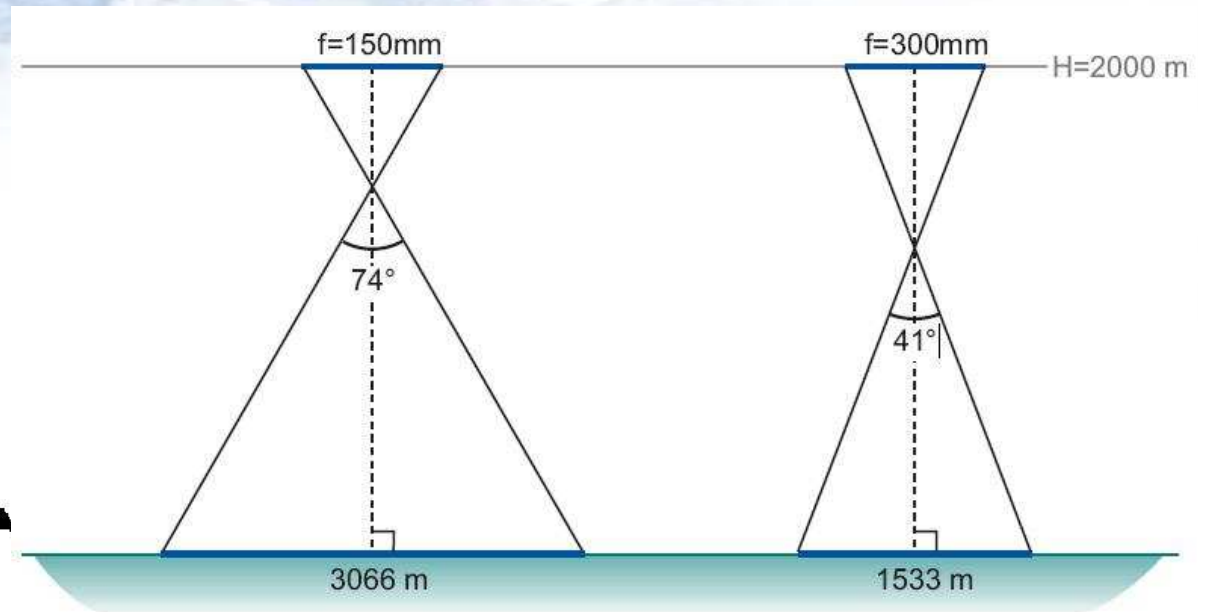
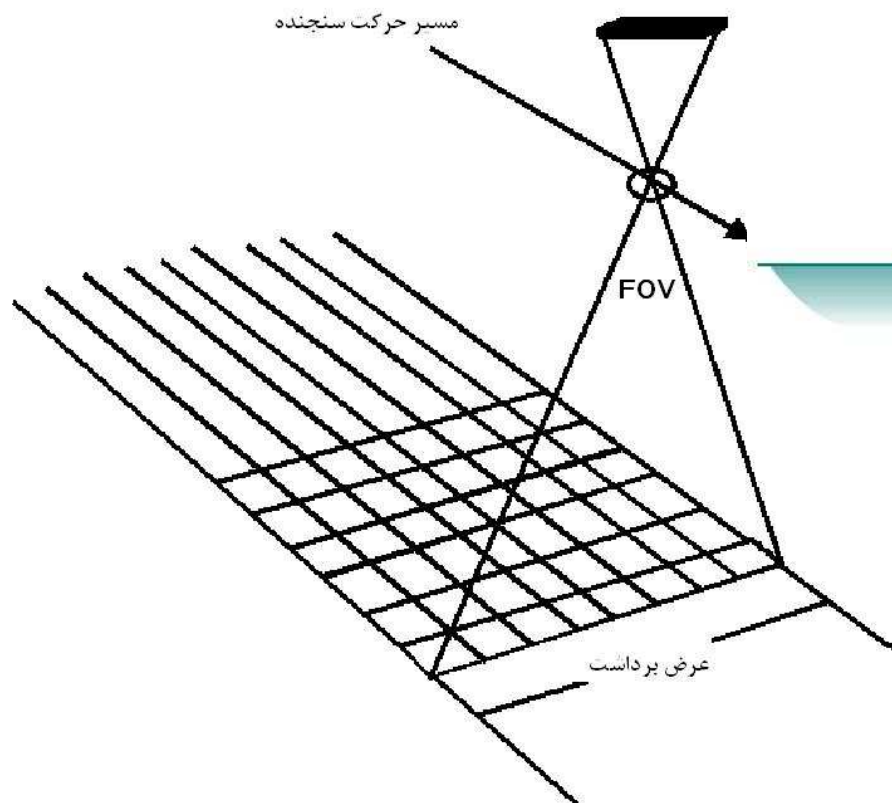
- معادل زمینی این زاویه را عرض برداشت (Swath Width) می گویند که برابر عرض تصویر بر حسب متر یا کیلومتر بر روی زمین است.

$$SW = 2h \tan\left(\frac{FOV}{2}\right)$$


در رابطه فوق،  $h$  ارتفاع سکو،  $SW$  عرض برداشت و  $FOV$  میدان دید سنجنده است. ( $FOV$  مخفف Field of View می باشد).

- میدان دید برای سنجنده های Airborne معمولاً بزرگ است (چرا؟) اما در ماهواره ها زاویه ای کوچکتری مورد استفاده قرار می گیرد.

# میدان دید







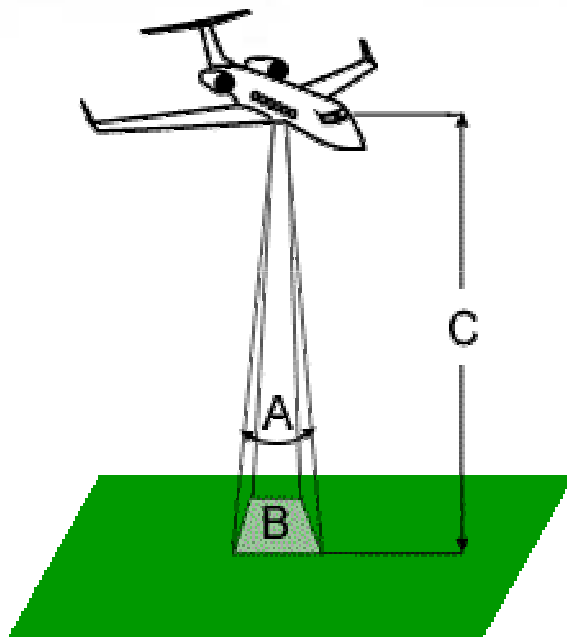
# قدرت تفکیک مکانی

- قدرت تفکیک مکانی (Spatial Resolution) توانایی ثبت اشیاء کوچک مجاور یکدیگر تعریف می‌شود.
- قدرت تفکیک مکانی به دو صورت بیان می‌شود:
  - **میدان دید لحظه‌ای** (Instantaneous Field of View) IFOV
    - منطقه‌ای بر روی زمین که توسط سنجنده در یک لحظه از یک ارتفاع مشخص برداشت می‌گردد.
    - IFOV معمولاً بر حسب زاویه و یا فاصله معادل زمینی بیان می‌شود.
  - **اندازه پیکسل** (Pixel Size)
    - معادل زمینی ابعاد آشکارساز بر حسب متر
- مقادیر IFOV و Pixel Size توسط تولیدکننده سنجنده ارائه می‌شود.



# قدرت تفکیک مکانی

- مقدار  $A$  معادل میدان دید لحظه‌ای IFOV می‌باشد.
- مقدار  $B$  نمایان‌گر اندازه پیکسل است
- و مقدار  $C$  ارتفاع سنجنده را نمایش می‌دهد.



# قدرت تفکیک طیفی

• ۴ خصوصیت برای بیان ویژگی‌های طیفی یک سنجنده بیان می‌شود:

۱. دامنه طیفی (Spectral Range):

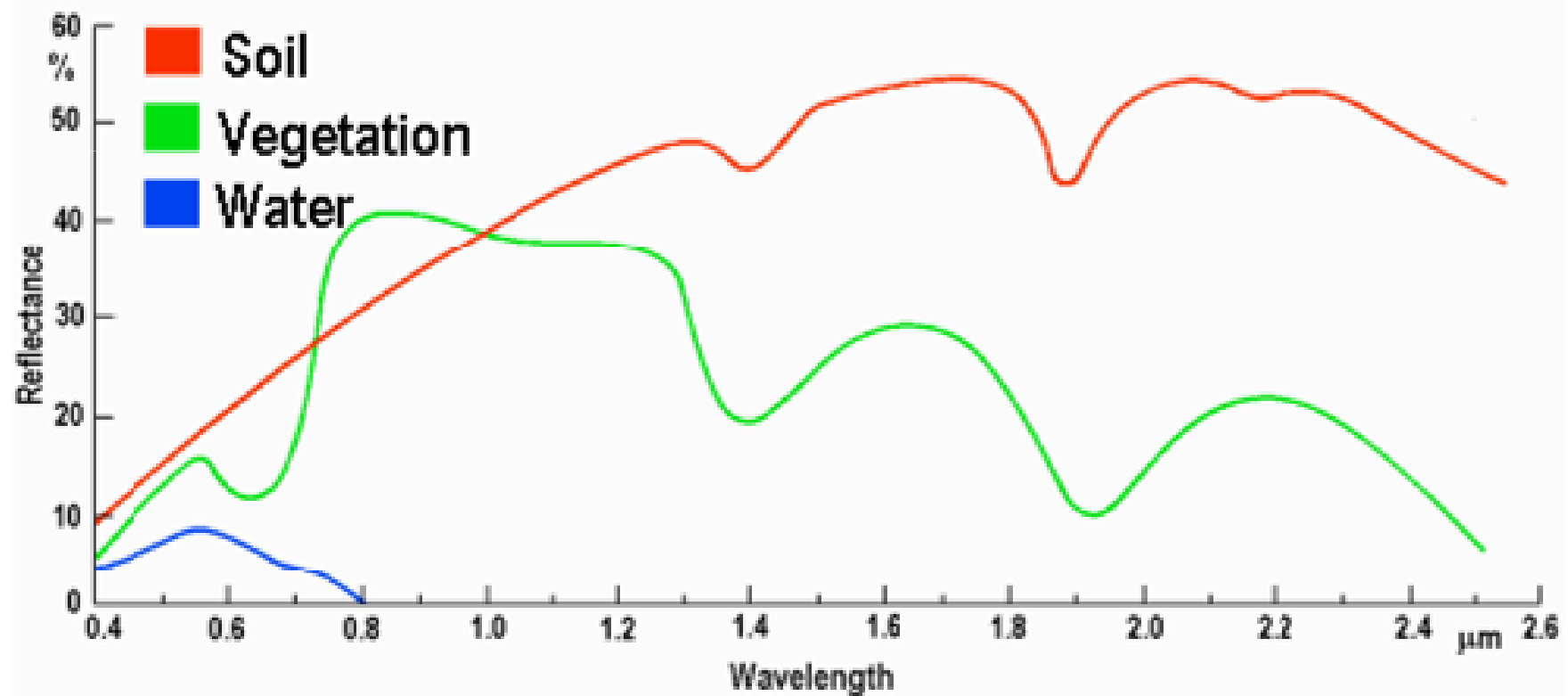
- دامنه طیفی که یک سنجنده پوشش می‌دهد. (طیف مرئی و مادون قرمز و ...)
- جذب اتمسفری مهمترین عامل محدودکننده دامنه طیفی است که در برخی از بخش‌های طیف الکترومغناطیس باعث جذب انرژی و عدم دریافت آن توسط سنجنده می‌شود.

۲. عرض طیفی باند (Spectral Band Width):

- هرچه عرض باند کوچکتر باشد، در محاسبات مربوطه می‌توان از روابط دقیق‌تری سود جست.
- هرچه عرض باند وسیع‌تر باشد، انرژی‌های مربوط به طول موج‌های دیگر نیز در این بخش جمع‌آوری شده و بررسی رفتار طیفی خاص یک شی را مشکل می‌سازد.

# قدرت تفکیک طیفی

- با استفاده از منحنی رفتار طیفی اشیای گوناگون می‌توان عرض باند مورد نیاز را تعیین کرد.



# قدرت تفکیک طیفی

## ۳. نمونه برداری طیفی (Spectral Sampling):

- بر حسب تعداد باندها و فاصله میان باندها بررسی می شود.
- برداشت عوارض با باندهای بیشتر موجب بالا بردن قدرت تمایز میان اشیا گوناگون می شود. در سنجش از دور، سنجنده های مورد استفاده معمولا چند طیفی هستند.
- در حالت ایده آل، تعداد باندهای سنجنده و همچنین فاصله آن ها با یکدیگر باید به گونه ای باشد که خروجی آن ها کاملا مطابق با منحنی رفتار طیفی عوارض باشد.

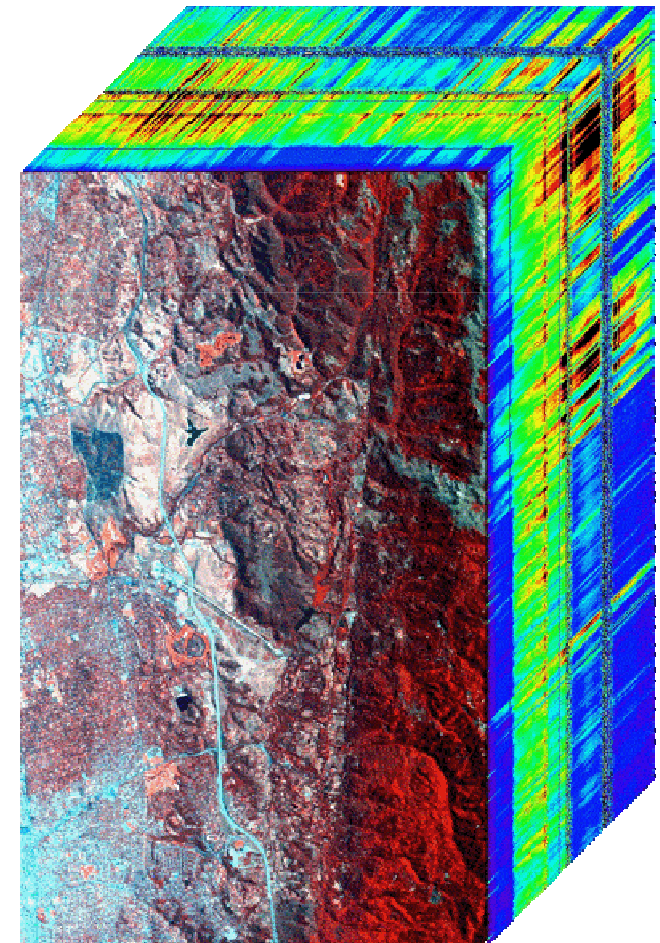
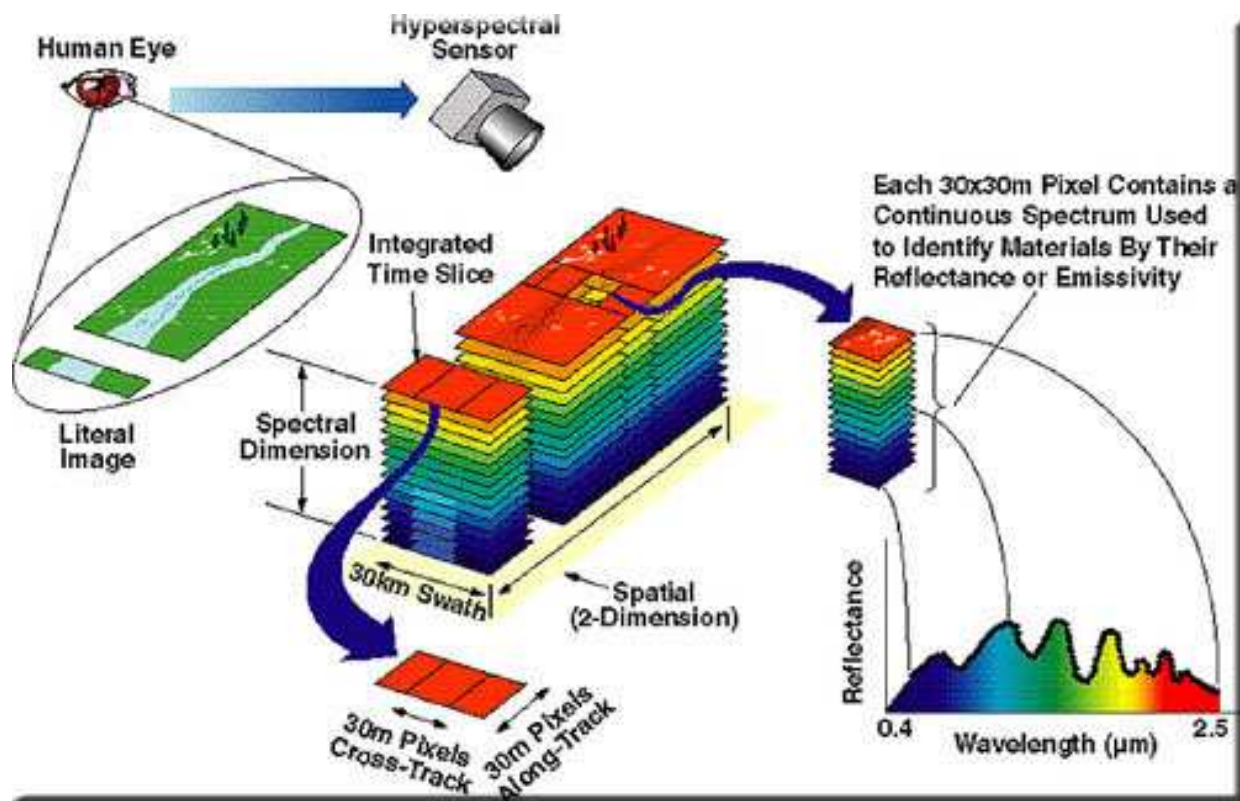
## ۴. نسبت سیگنال به نویز (Signal / Noise):

- سیگنال، داده های جمع آوری شده در سنجنده را شامل می شود در حالی که نویز را می توان تغییرات ناخواسته ای دانست که به سیگنال اضافه می شود.
- هرچه نسبت سیگنال به نویز یک سنجنده بالاتر باشد، داده ها قابل اعتمادترند.
- دو عامل موثر در نسبت سیگنال به نویز، عرض باند و سیستم تصویربرداری است.



# قدرت تفکیک طیفی

- قدرت تفکیک طیفی بر حسب نمونه برداری طیفی، از چندطیفی تا فراطیفی





# قدرت تفکیک رادیومتریک

- قدرت تفکیک رادیومتریک یا حساسیت رادیومتریک (Radiometric Sensitivity)، حد درجه جزئیاتی است که داده‌های جمع‌آوری شده در آن بیان می‌شوند.
- هرچه تعداد این درجات بالاتر باشد، جزئیات بیشتری از تصویر قابل استخراج است.
  - تصویر رقومی باینری (مقدار صفر یا ۲۵۵ به هر پیکسل اختصاص داده شود).
  - حال اگر تعداد درجات خاکستری بالاتر رود، جزئیات بیشتری از تصویر مشخص خواهد شد مثلاً تصویر ۴ بیتی با ۱۶ درجه خاکستری یا ۸ بیتی با ۲۵۶ درجه خاکستری.
  - در حقیقت، این مقدار بیان‌گر مقدار خانه‌های حافظه‌ای است که برای ذخیره مقدار یک پیکسل در یک باند لازم است.
- تصویر یک سنجنده با قدرت تفکیک رادیومتری بالا لزوماً به معنای نمایش با جزئیات بهتر نیست. کیفیت نمایش داده‌ها کاملاً به فن‌آوری و کیفیت وسایل نمایشی نظیر چاپگر یا نمایشگر نیز بستگی دارد.

# قدرت تفکیک رادیومتریک

- مقایسه تصویری ۲ بیتی با یک تصویر ۸ بیتی





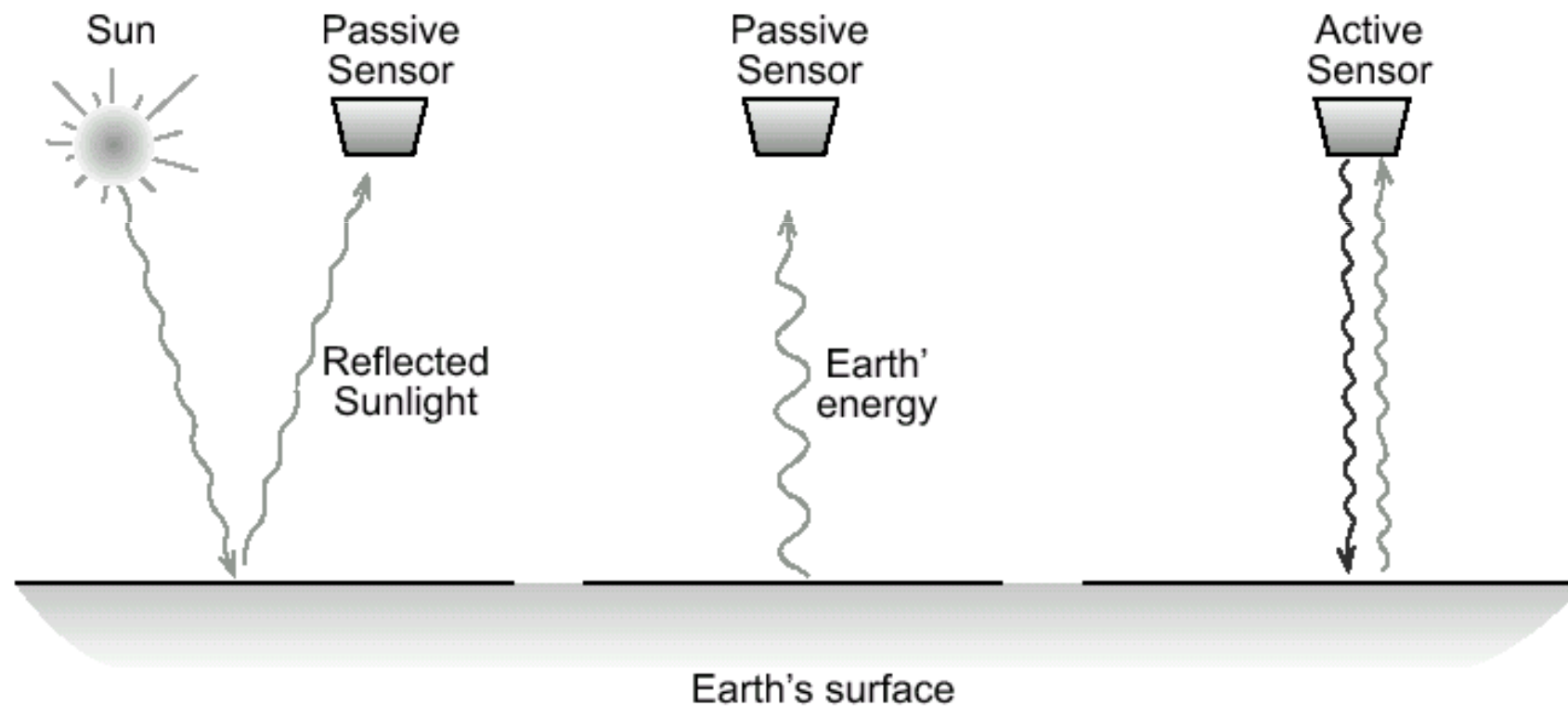
# قدرت تفکیک زمانی

- حداقل زمان مورد نیاز یک سنجنده برای تصویربرداری مجدد از یک ناحیه مشخص را قدرت تفکیک زمانی (Temporal Resolution) می‌گویند.
- این مقدار براساس خصوصیات مداری ماهواره محاسبه و برحسب زمان بازدید مجدد (Revisit Time) بیان می‌گردد.
- این مدت زمان برای ماهواره‌هایی با مدار قطبی نسبتاً زیاد است مثلاً برای LANDSAT ۱۶ روز و برای SPOT1 ۲۶ روز است.
- در سنجنده‌هایی نظیر IKONOS و SPOT که قابلیت نشانه‌روی وجود دارد، قدرت تفکیک زمانی بالا بوده و مدت زمان مورد نیاز برای تصویربرداری مجدد کاسته می‌شود.

# انواع سنجنده‌ها

- سنجنده‌ها از لحاظ منبع انرژی، نوع داده، هندسه جمع‌آوری داده و طیفی طبقه‌بندی می‌شوند.
- سنجنده‌ها از لحاظ منبع انرژی خود به ۲ دسته تقسیم می‌شوند:
  - سنجنده‌های غیرفعال (Passive Sensors):
    - این سنجنده‌ها از انرژی انعکاسی خورشید و یا انرژی انتشاری اشیاء استفاده می‌کنند. (طول موج مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی - طول موج کوتاه‌تر)
    - وابستگی شدید به شرایط جوی و اثرات اتمسفری
  - سنجنده‌های فعال (Active Sensors):
    - این نوع سنجنده‌ها انرژی الکترومغناطیس را خود تولید کرده و انعکاس آن را دریافت و ثبت می‌کنند. (سنجنده‌های راداری - طول موج بلندتر)
    - سطح پایینی از وابستگی به عوامل جوی

# سنجنده‌های فعال و غیر فعال





# انواع سنجنده‌ها

- سنجنده‌ها از لحاظ نوع داده به ۲ دسته تقسیم می‌شوند:

- سنجنده‌های آنالوگ (Analog Sensors):

- سنجنده‌های براساس فیلم (Film-Based)

- معمولاً در ارتفاع پایین و در تصویربرداری هوایی (Airborne) در هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- استحکام هندسی سیستم‌های آنالوگ معمولاً بهتر از سیستم‌های دیجیتال است، به همین دلیل کاربرد فتوگرامتری آن‌ها بیشتر است.

- سنجنده‌های دیجیتال (Digital Sensors):

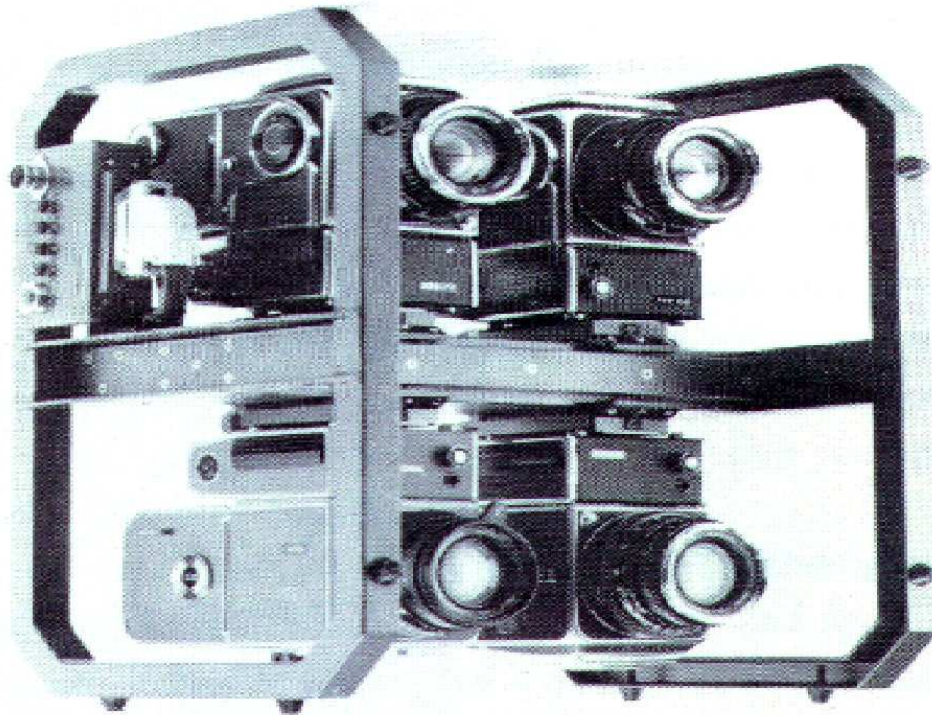
- عدم محدودیت تعداد فیلم برای این گونه سنجنده‌ها

- وزن کمتر نسبت به سیستم‌های آنالوگ و سرعت ثبت بیشتر

- طراحی سیستم براساس CCD (Charge Couple Device)



• نمونه‌ای از یک سنجنده چند لنزی آنالوگ



# انواع سنجنده‌ها

- سنجنده‌ها از نظر هندسه جمع‌آوری داده به ۴ دسته تقسیم می‌شوند:

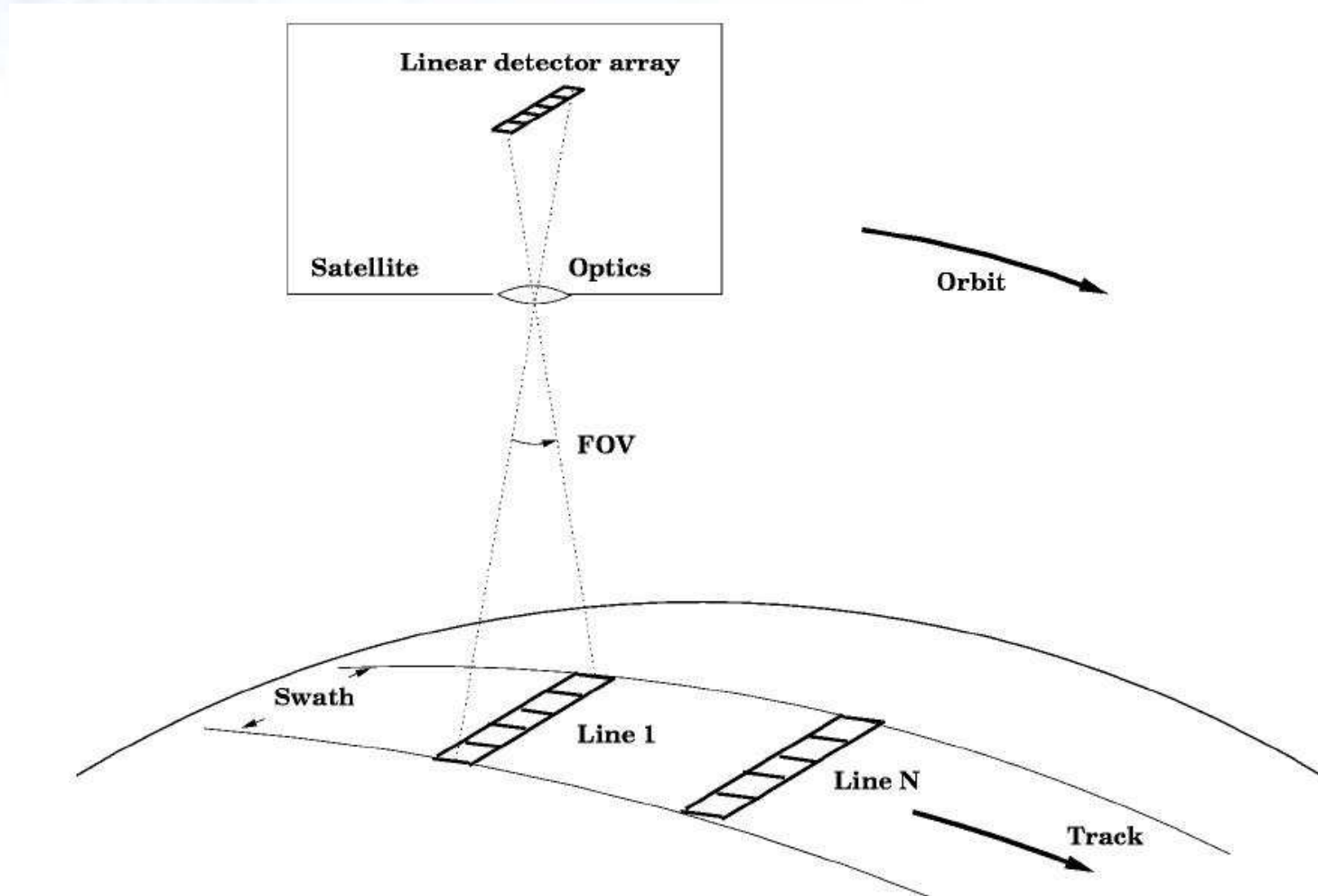
۱. سنجنده‌های سطحی (Frame Type) یا دوبعدی:

- در یک لحظه کوتاه، کل تصویر را اخذ و ثبت می‌کنند.
- استحکام هندسی بالای این نوع سنجنده‌ها (به دلیل سبک تصویربرداری خود) موجب می‌شود تا از آن‌ها بیشتر در کاربردهای فتوگرامتری استفاده شود.

۲. سنجنده‌های خطی (Linear Type):

- استفاده از فن‌آوری Pushbroom
- آرایش صدها آشکارساز در کنار یکدیگر و بر روی یک خط که با هر بار تصویربرداری، یک از خط تصویر تشکیل می‌شود.
- هواپیما یا ماهواره در هنگام اخذ هر خط از تصویر دارای وضعیتی جداگانه است، بنابراین استحکام هندسی سنجنده‌های خطی از نوع دو بعدی کمتر است.

- ساختار یک سنجنده خطی و استفاده از فن آوری Pushbroom





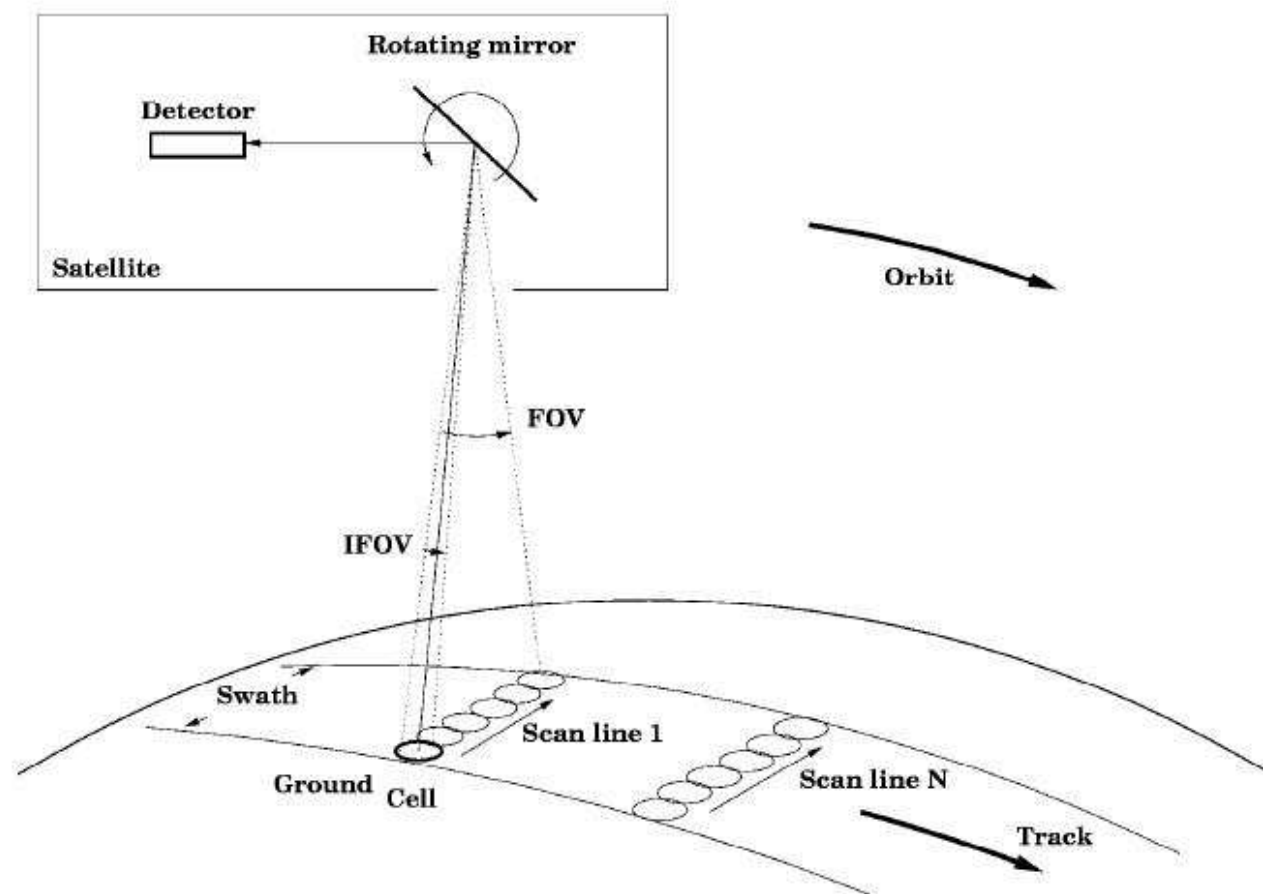
# انواع سنجنده‌ها

۳. سنجنده‌های نقطه‌ای (Point Type):

- استفاده از فن‌آوری Whiskbroom
- سنجنده‌ای Optical-Mechanical
- در آن واحد تنها یک نقطه از زمین برداشت می‌شود که با استفاده از یک سیستم نوری (آینه دوار، عدسی‌ها و منشورها)، بقیه نقاط روی سطح زمین نیز برداشت می‌شوند.
- هندسه ضعیف تصویر و کاهش نسبت سیگنال به نویز
- کاربرد در سنجش از دور، استفاده کم در فتوگرامتری
- ساخت و کالیبراسیون ساده‌تر، قیمت تمام‌شده کمتر از دیگر انواع سنجنده و در نتیجه، تصاویر ارزان‌تر.



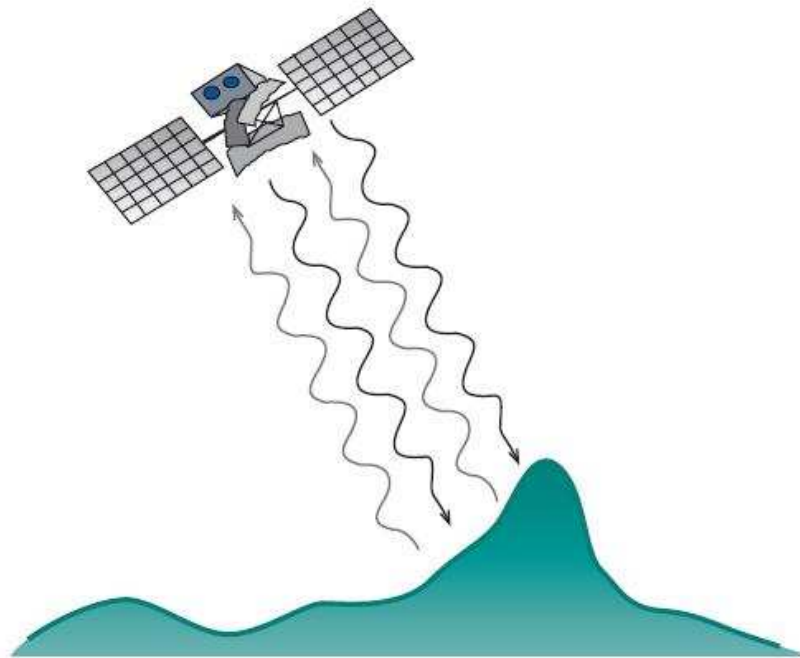
- ساختار یک سنجنده نقطه‌ای و استفاده از فن‌آوری Whiskbroom



# انواع سنجنده‌ها

## ۴. سنجنده‌های راداری (RADAR Sensors):

□ تصویربرداری به صورت مایل صورت می‌گیرد و از هندسه‌ای کاملاً متفاوت استفاده می‌کنند.




□ از امواج مایکروویو برای اندازه‌گیری بهره می‌گیرند.

□ سنجنده‌های راداری را می‌توان به نوعی سیستم اندازه‌گیری فاصله دانست.



# انواع سنجنده‌ها

- سنجنده‌ها از لحاظ طیفی نیز طبقه‌بندی می‌شوند. این نوع طبقه‌بندی براساس تعداد باندی است که سنجنده داراست.
  - سنجنده‌های پانکروماتیک (Panchromatic) و یا سنجنده‌های تک‌باندی
    - یک دامنه وسیع از بخش مرئی تا مادون قرمز نزدیک
  - سنجنده‌های چندطیفی (Multispectral)
    - به صورت قراردادی سنجنده‌هایی با ۱۰ یا ۱۵ باند
    - پرکاربردترین سنجنده‌ها در دنیای سنجش از دور
  - سنجنده‌های فراطیفی (Hyperspectral)
    - سنجنده‌هایی با بیش از ۳۰ باند
    - قدرت تمایز اشیا در تصاویر این گونه سنجنده‌ها فوق‌العاده بالاست.



## در جلسه بعد . . .

- آشنایی با سنجنده‌های مهم
- سیستم‌های تصویربرداری راداری