سنجنده‌ها، عکسها، تصاویر ماهواره‌ای و عوامل عدم استحکام آنها

نویسنده: مهندس سعید صادقیان (دانشجوی دکتری فتوگرامتری دانشگاه تهران)

۱) طبقه‌بندی ماهواره‌ها و سنجنده‌های دورکاوی

۱-۱) داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمین مرجع

داده‌های مربوط به عوارض سطح زمین، برای بسیاری از فعالیتهای مربوط به برنامه‌ریزی و کنترل و مدیریت منابع زمینی و عوارض ساخت دست بشر، کاربرد دارند. معمولاً داده‌هایی از این نوع برروی نقشه که نشان دهندهٔ اطلاعات برروی یک سطح مبنای مرجع است نمایش داده می‌شوند. اگرچه نقشه‌های غیررقومی هنوز مهم هستند، امّا امروزه، داده‌ها به صورت رقومی در پایگاه‌های داده یا سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ذخیره می‌شوند. زمین مرجع بودن داده‌ها، بسیار ضروری است زیرا امکان ترکیب و انطباق مجموعهٔ داده‌های مختلف را فراهم می‌نماید.

یک تصویر ویا عکس ماهواره‌ای، یک دید عالی از منطقهٔ وسیعی از سطح زمین را فراهم نموده و دید جامعی از عوارض مهم فیزیکی و فرهنگی ارایه می‌نماید. چنین تصاویری می‌تواند بهترین داده‌های موجود در بسیاری از مناطق غیرقابل دسترس زمین که نقشه‌های قابل اطمینانی ندارند باشند. اگرچه یک تصویر و یا عکس ماهواره‌ای خام،دارای معایبی نظیر وجود اعوجاجهای ناشی از تغییر ارتفاع و موقعیّت سنجنده و اختلاف ارتفاع و کرویّت زمین و همچنین عدم نمایش تمامی عوارض مورد نیاز کاربر می‌باشد. از این رو به منظور بهترین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌ها باید پردازش شوند تا اعوجاجها حذف و اطلاعات سه بُعدی استخراج شود و عمل تفسیر به منظور تعیین نوع و کاربری عوارض انجام شود. اطلاعات اخذ شده از سایر منابع، امکان تکمیل کردن نقشه را فراهم می‌نماید. همچنین با افزودن یک شبکه به منظور نمایش سیستم اطلاعات مختصات کشوری از نظر سیستم مختصات با دیگر نقشه‌ها و داده‌های رقومی مثلاً موجود در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند هماهنگی داشته باشد.

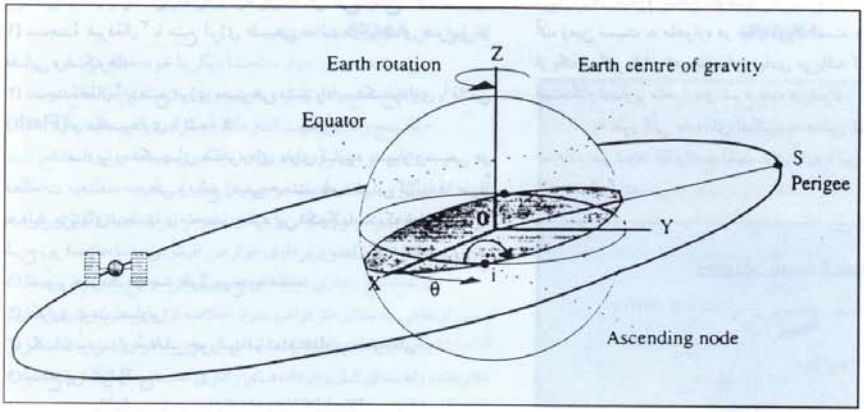
۱-۲) طبقه‌بندی ماهواره‌های دورکاوی

به طور کلّی می‌توان ماهواره‌ها را بنابر مدارهایی که می‌پیمایند در سه گروه رده‌بندی نمود.

۱-۲-۱) ماهواره‌های مدار پایین؛ مانند شاتل فضایی و ماهوارهٔ کاسموس (Cosmos) و اکثر ماهواره‌های ویژهٔ رصدهای نظامی، زمین را در ارتفاعی بین ۳۰۰ - ۲۰۰ کیلومتر دور می‌زنند. طول عمر مؤثّر این ماهواره‌ها بر اثر کشش ترمزی جّو، کوتاه، و از چند روز تا چند هفته است. فیلمهای تهیه شده به وسیلهٔ آنها یا به هنگام برگشت شان به زمین و یا وقتی در داخل محفظه‌ای با چتر به بیرون پرتاب می‌گردند دریافت می‌شود.

۱-۲-۲) ماهواره‌های واقع بر مدار همگام با خورشید؛ زمین، را در ارتفاع ۹۰۰ - ۸۰۰ کیلومتر دور می‌زنند. این نوع ماهواره‌ها در سری لندست (Landsat) آمریکایی که از سال ۱۹۷۲ م شش عدد از این ماهواره‌ها به فضا فرستاده شده است. و یا سری اسپات (Spot) فرانسوی که سه ماهواره از این نوع یکی در سال ۱۹۸۶ م و یکی درسال ۱۹۹۰ م و دیگری در سال ۱۹۹۳ م به فضا پرتاب شده‌اند، قرار دارند و طول عمرشان چند سال است و تصاویر را به صورت رقومی ثبت می‌کنند که هر یک ناحیه‌ای به مساحت ۳۵۰۰ تا ۳۵۰۰۰ کیلومترمربع را می‌پوشانند. این ماهواره‌ها تقریباً هر بیست روز یک بار بر فراز نقطه‌ای از زمین عبور می‌کنند که در همان زمان خورشید هم از آن نقطه می‌گذرد، به همین علّت ماهواره‌های همگام با خورشید نام گرفته‌اند.

۱-۲-۳) ماهواره‌های همگام با زمین. مانند متئوسات (Meteosat) در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری در یک مدار استوایی قرار داده می‌شوند. این ماهواره‌ها تصاویر را به صورت رقومی ثبت می‌کنند که یک



نگارهٔ (۱)

ربع کرهٔ زمین را با قدرت تفکیکی در حدود پنج کیلومتر می‌پوشانند. از آن‌جا که موضع آنها نسبت به زمین ثابت است و در محدودهٔ دید ثابتی نسبت به یک ایستگاه دریافت زمینی قرار دارند، هر نیم ساعت تصویرهایی را به ایستگاه مخابره می‌کنند. امّا نمی‌توانند کلاهکهای یخی قطبی را جاروب[1] نمایند.

۱-۳) طبقه‌بندی سنجنده‌ها

۱-۳-۱) تقسیم بندی سنجنده‌ها براساس هندسهٔ تشکیل تصویر؛

به منظور اندازه‌گیری وتولید نقشه از هر تصویری، نیاز به تعریف هندسهٔ سیستم تشکیل تصویر است تا بتوان تأثیر حرکت سکّو را برروی سنجنده در نظر گرفت و همچنین شکل زمین تحت پوشش تصویر را تعریف نمود.

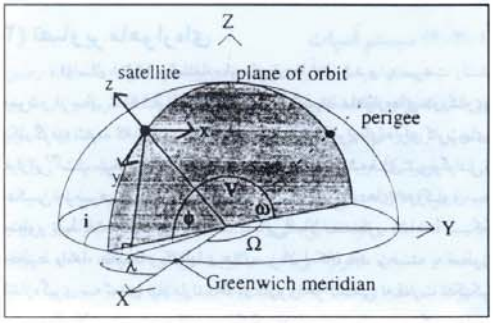
همواره ایجاد ارتباط بین تصویر و زمین الزامی است تا بتوان موقعیّت و ارتفاع سنجنده را با دقّت بسیار بالا تعریف نمود.

یک قاب[2] از سه روش زیر تشکیل می‌شود.

۱) به صورت عکسبرداری کلّ قاب در یک لحظه، در این حالت احتیاجی به معرفی پارامتر زمان در مدل ریاضی نیست. مدل تمام قاب به صورت سیستم تصویر مرکزی و حالت متداول در معادلات فتوگرامتری است.

۲) به صورت یک سری از خطوط که معمولاً عمود بر مسیر حرکت سنجنده است. در این حالت تنها یک خط می‌تواند بدون پارامتر زمان در نظر گرفته شود، امّا برای ساخت یک قاب کامل باید زمان نیز در نظر گرفته شود. اسکنرهای پوش بروم (Pushbroom) در این دسته قرار می‌گیرند.

۳) به صورت یک سری از نقاط که هر نقطه در زمان جداگانه‌ای ثبت گردیده است. این نوع دارای بیشترین اعوجاج در هنگام جمع‌آوری تصویر و پیچیده‌ترین مدل ریاضی می‌باشد. سیستم‌های اسکنر (Scanner) و مایکروویو (Microwave) در این دسته می‌باشند.



نگارهٔ (۲)

۱-۳-۲) طبقه‌بندی سنجنده‌ها براساس بازده اطلاعاتی

اطلاعات مورد نیاز از طریق اندازه‌گیری وثبت تغییرات در امواج الکترومغناطیس صورت می‌گیرد. تغییراتی که باعث شناسایی اشیاء به هنگام تجزیه و تحلیل می‌گردند تغییرات طیفی، مکانی و زمانی است.

در طول موجهای مختلف، بازتاب، پدیدهٔ متفاوت است و همین طور در یک طول موج خاص، اجسام مختلف دارای بازتابهای متفاوتی هستند. بنابراین هر جسم دارای مشخّصهٔ طیفی خاصّی است. بر همین اساس سنجنده‌ها ساخته می‌شوندو این سنجنده‌ها براساس نوع بازده اطلاعاتی به دو دستهٔ تصویری و غیرتصویری طبقه‌بندی می‌شوند.

سنجنده‌های تصویری		سنجنده‌های غیر تصویری
نوع مصّور	نوع رقومی	
دوربینهای عکسبرداری	اسکنرهای چندطیفی	اسکترومتر، رادیومتر، ترمومتر

۱-۳-۳) طبقه‌بندی سنجنده‌ها براساس نوع منبع انرژی

۱) سنجندهٔ غیرفعّال[3] با منبع انرژی طبیعی مانند دوربینهای هوایی و فضایی و اسکنرها؛

۲) سنجندهٔ فعّال[4] با منبع انرژی مصنوعی مانند رادار، عکسبرداری با فلاش (Flash) و عکسبرداری با اشعهٔ x .

تصاویر و عکسهای ماهواره‌ای دارای کاربرد بسیار وسیعی در مطالعات مختلف محیطی ومنابع زمینی هستند. وسعت این کاربردها صرفاً به دلیل مزیّتهای برجسته و منحصر به فرد این تکنیک است که خلاصهٔ آن به شرح زیر است.

۱) تصویر همزمان در چند طول موج مختلف؛

۲) تکراری بودن تصاویر؛

۳) یکسان بودن زاویهٔ تابش خورشید در تمام تصاویر ماهواره‌ای؛

۴) سطح پوشش وسیع؛

۵) بررسی ومطالعهٔ سریع در زمان کوتاه برای یک منطقهٔ وسیع.

۲) تصاویر ماهواره‌ای

از سال ۱۹۵۷ م استفاده از ماهواره‌ها آغاز شد و به سرعت رشد نمود و از سال ۱۹۷۲ م با پرتاب ماهوارهٔ لندست، ماهواره‌های دورکاوی بکار گرفته شدند که امروزه تصاویر و عکسهای ماهواره‌ای دارای کاربریهای فراوانی است. برخی از کاربردهای دورکاوی تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی، عکسی موضوعی و مدل ارتفاعی رقومی است. کاربردهای دورکاوی به منظور تهیهٔ نقشه به قدرت تفکیک فضایی[5] بالا به منظور مشاهدهٔ شبکهٔ خطوط راه‌ها، جاده‌ها و کانالها و علاوه بر آن امکان دید برجسته به منظور اندازه‌گیری سه بُعدی نیاز دارند. امّا در کاربری هواشناسی به قدرت تفکیک دوره‌ای[6] بالایی نسبت به قدرت تفکیک فضایی نیاز دارد و در کاربریهایی نظیر کشاورزی، جنگلداری، زمین‌شناسی و آب‌شناسی نیز قدرت تفکیک فضایی متوسط و قدرت تفکیک دوره‌ای متوسط موردنیاز است.

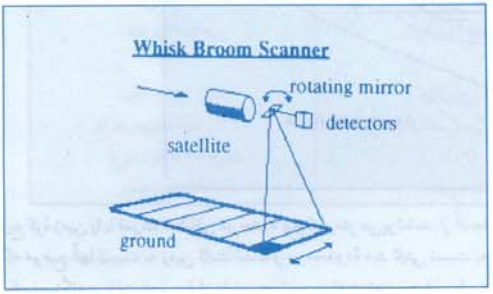
داده‌های لندست دارای قدرت تفکیک فضایی پایین و بدون دید برجسته‌بینی می‌باشند. امّا ماهوارهٔ اسپات که در سال ۱۹۸۶ م پرتاب گردید دارای داده‌های با قدرت تفکیک نسبتاً بالایی است که می‌تواند برای تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی و مدل رقومی زمین مورد استفاده قرار گیرد. اسپات اولین سنجنده‌ای بود که در غرب به طور جدّی تصاویر آن برای تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی کوچک مقیاس مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۱) سنجندهٔ اسکنر (Scanner)

اسکنرها، پر کاربردترین سیستم‌های تهیهٔ تصویر از فضا می‌باشند. لندست جزو مشهورترین این سیستم‌ها است. اسکنر، یک پیکسل (Pixel) یا گروهی از پیکسلها را در یک زمان ثبت می‌نماید. یک نوار تقریباً عمود بر مسیر حرکت توسط دوران یک آینه، حول محور پرواز، تصویربرداری می‌شود. نوار دوم در هنگام دوران بعدی آینه، مجاور نوار اوّل تصویربرداری می‌گردد.

در هنگام اسکن نمودن و حرکت ماهواره به طرف جلو و دوران آن، زمین نسبت به ماهواره در حال دوران است. داده‌های خام بدست آمده از یک اسکنر دارای اعوجاجهای زیادی می‌باشد که در قسمت بررسی عدم استحکام تصاویر ماهواره‌ای شرح داده می‌شوند.

به طور کلّی داده‌های اسکنر، به منظور تهیهٔ نقشه‌های توپوگرافی استفاده نمی‌شود. امّا واضح است برای کاربرد این تصاویر باید تصحیحات لازم اعمال گردد.



نگارهٔ (۳)

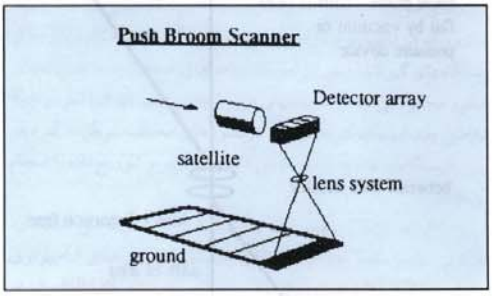
۲-۲) سنجنده‌های پوش‌بروم (Pushbroom)

سنجنده‌های پوش‌بروم جزو مهم‌ترین سیستم‌های تهیه نقشه می‌باشند. اسپات دومین سنجنده از این نوع است که به منظور تهیهٔ نقشه طراحی گشته است. سیستم‌های دیگری نظیر Moms طراحی و پرتاب شده‌اند. سنجندهٔ پوش‌بروم شامل یک سر ی آشکارساز خطی در صفحهٔ کانونی عدسی می‌باشد. هندسهٔ این سیستم قابل کالیبره شدن (Calibration)، مشابه دوربین عکسبرداری است. امّا موقعیّت و ارتفاع این سنجنده از خطی به خط دیگر تغییر نموده بدین صورت که یک تصویر از نوارهای بسیاری تشکیل یافته است. هر نوار دارای استحکام هندسی است امّا با نوار مجاور از نظر إلمانهای توجیه متفاوت است. از این رو مدل ریاضی، برای یک تصویر کامل، بسیار پیچیده است زیرا حرکات سنجنده باید مدوله گردد و به یک سیستم مرجع مطلقی وابسته شود.

پوشش برجسته بینی قابل دستیابی است. از این رو مدل سه‌بُعدی قابل تشکیل است. جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع زمین عمود بر مسیر پرواز، در طول ردیف سنجنده‌ها است ومقدار جابه‌جایی بستگی به فاصله از نقطهٔ اصلی وارتفاع آن دارد. اگر پوششی‌جانبی به وسیلهٔ مایل نمودن سنجنده ایجاد گردد اثر جابه‌جایی زیاد می‌شود. امّا نسبت باز به ارتفاع خوبی برای اندازه‌گیری ارتفاعی بدست می‌آید.

ماهواره‌های اسپات دارای پوشش جانبی[7] می‌باشند. در نتیجه نسبت باز (Base) به ارتفاع عدد مناسبی است. امّا دارای معایبی است. زیرا زوج تصاویر بدست آمده، حداقل یک روز اختلاف زمانی دارند که معمولاً

این مدّت به علّت شرایط نامساعد جوّی (ابری بودن) ممکن است بیشتر گردد.



نگارهٔ (۴)

۲-۳) رادار

سنجنده‌های رادار از نوع فعّال هستند که در محدودهٔ غیراپتیکی طیف الکترومغناطیس عمل می‌کنند و تصویر متفاوتی نسبت به سایر سیستم‌های غیرفعّال ایجاد می‌کنند. تصاویر راداری با توجّه به خاصیّتهای انعکاسی مناطق مورد سنجش و مستقل از وضعیّت روشنایی تشکیل می‌گردد. سیستم رادار برای تهیهٔ تصویر نواری شکل، پالس‌هایی (Pulse(s)) را به صورت متوالی و پی‌درپی توسط آنتن ویژه‌ای به طرف سطح زمین می‌فرستد. سیستم رادار می‌تواند با اندازه‌گیری مدّت زمان ارسال و بازگشت پالس‌ها و محاسبهٔ اختلاف زمان رفت و برگشت این پالس‌ها فاصلهٔ پدیدهٔ مورد نظر را تعیین، و تصویر را تشکیل دهد. هرچه پدیده دورتر باشد تأخیر زمانی بین پالس‌های ارسالی و پالس‌های دریافتی بیشتر می‌شود. عوارض توپوگرافی مانند خط الرأس، خط القعرها جز پر اثرترین عوارض برروی جواب رادار می‌باشند. اختلاف ارتفاع زمین باعث اعوجاج بسیار زیادی در تصاویر راداری می‌شود.

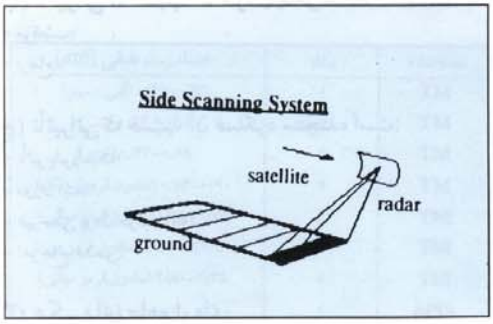
مزایا و محدودیتهای سیستم رادار

● مزایا:

۱) قابلیّت نفوذ از ابر و تاج پوشش گیاهان؛
۲) قابلیّت استفاده در روز و شب؛
۳) قابلیّت تهیهٔ نوارهای تصویر متوالی؛
۴) قابلیّت کنترل پارامترهای مختلف مثل طول موج، زاویهٔ انتشار و پولاریزیشن (Polarization).

○ محدودیتها:

۱) قابلیّت تفکیک شکلی ضعیف؛
۲) مشکل بودن تعبیر و تفسیر تصاویر.



نگارهٔ (۵)

پارامترهای ((Parameter(es)) مؤثّر در خصوصیّات تصاویر رادار

پارامترهای مؤثّر در خصوصیّات تصاویر رادار را می‌توان به دو بخش خصوصیّات سیستم و خصوصیّات پدیده تقسیم نمود.

■ خصوصیّات سیستم:

۱) طول موج (فرکانس)؛
۲) زاویهٔ انتشار؛
۳) پولاریزیشن؛
۴) قابلیّت تفکیک در جهت پرواز؛
۵) قابلیّت تفکیک در جهت نگرش.

خصوصیّات پدیده:

۱) ضریب دی‌الکتریک؛
۲) نسبت زبری مواد؛
۳) بازتاب گوشه‌ای و سطوح صیقلی و شیب‌دار؛
۴) سایهٔ راداری؛
۵) تاج پوشش.

۲-۴) بررسی عدم استحکام تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر خام ماهواره‌ای دارای اعوجاجهای زیادی می‌باشند که به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

الف) تأثیراتی که مسبّب آن زمین است:

- دوران زمین؛
- کرویّت زمین؛
- اختلاف ارتفاع زمین.

ب) تأثیراتی که مسبّب آن حرکت سکّو است:
- موقعیّت؛
- ارتفاع.

ج) تأثیراتی که مسبّب آن عملکرد سنجنده است:
- تأثیر پانورامیک؛
- دوران آینه؛
- غیرخطّی بودن حرکت آینه؛
- اعوجاج عدسی.

۳) عکسهای ماهواره‌ای

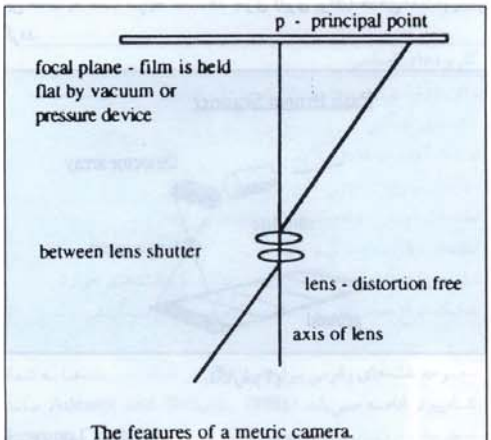
گروه دیگر از سیستم‌های تصویر گر، دوربینهایی هستند که محصول آن ها را در فتوگرامتری، اصطلاحاً «عکس»[۸] می‌نامند. در حالی که تصاویر حاصل از سنجنده‌ها را «تصویر»[۹] می‌نامند. عکسهای فضایی، عموماً دارای استحکام هندسی و قدرت تفکیک بیشتری نسبت به تصاویر فضایی هستند. با افزایش فاصلهٔ کانونی دوربینهای ماهواره‌ای متریک، که اخیراً طراحی شده‌اند، تا حدّی افزایش قدرت تفکیک عکسهای ماهواره‌ای را بدنبال داشته است.

استفاده از عکسهای فضایی به منظور تهیهٔ نقشه در غرب، از سال ۱۹۸۳ م در اروپا با مأموریت آزمایشگاه فضایی آلمانی Spacelab -1 که حامل دوربین متریک (MC) بود آغاز گردید. یک سال بعد سازمان فضایی آمریکا دوربین با ابعاد بزرگ (LFC) را به فضا فرستاد، که مدّت استفادهٔ از این دو دوربین کوتاه بود و از سال ۱۹۸۷ م محصولات دوربینهای فضایی شوروی سابق در دسترس قرار گرفت.

۳-۱) دوربینهای فضایی

دوربینهای عکسبرداری، تصاویر را برروی فیلم، و پس از عبور تمامی اشعه‌ها از میان یک عدسی که در مرکز تصویر واقع شده، تولید می‌نمایند. دوربین متریک دارای هندسهٔ داخلی ومرکز تصویر مشخصی است. دوربین غیرمتریک هندسهٔ داخلی مشخصی ندارد. هندسهٔ داخلی به وسیلهٔ کالیبره نمودن دوربین تعیین می‌شود. اجزاء اصلی یک دوربین متریک (هوایی و یا فضایی) در نگارهٔ ۶ نمایش داده شده است.

قدرت تفکیک تصویر متأثّر از سه عامل عدسی، امولسیون (Emulsion) فیلم وحرکت سنجنده می‌باشد. اگر یک عکس مثلاً در ۱:۵۰۰ ثانیه عکسبرداری شده باشد و یک سکّو فضایی در ارتفاع ۲۵۰ کیلومتر، ۱۵ متر در این زمان طی کند، در نتیجه موجب حرکت تصویر می‌شود. برای حل این مسأله می‌توان به وسیلهٔ استفاده ازجبران کنندهٔ حرکت تصویر بر آن فائق آمد. بدین صورت که فیلم یا عدسی در لحظهٔ عکسبرداری به منظور جبران خطای حرکت سکّو حرکت داده می‌شود.



The features of a metric camera.

نگارهٔ (۶)

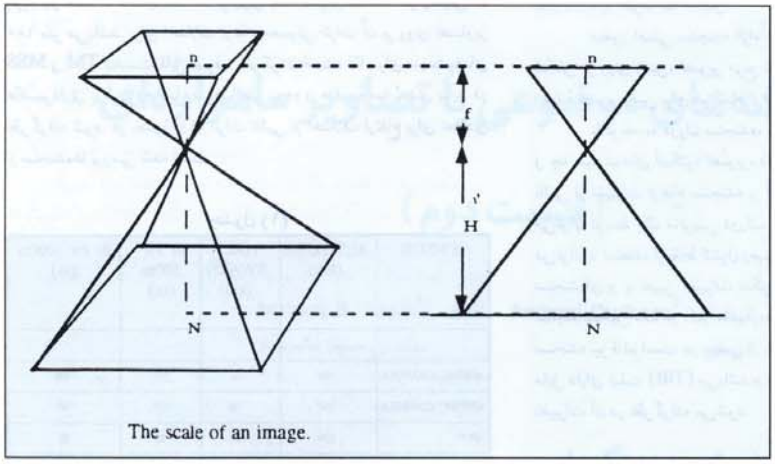
۳-۲) سیستم تصویر مرکزی

سیستم تصویر مرکزی، اساس تشکیل تصویر یک قاب در بسیاری از سنجنده‌ها از جمله دوربینهای فضایی است. همچنین در سیستم پوش بروم برای تشکیل یک خط از داده‌ها و در سیستم اسکنرها، به منظور تشکیل یک پیکسل بکار می‌رود. وقتی یک قاب در یک لحظه از زمان تشکیل شود محل تقاطع دسته اشعه‌ها، مرکز تصویر را مشخص می‌نماید. حتّی در حالتهای دوم و سوم می‌توان یک مرکز تصویر وابسته به زمان در نظر گرفت. تعیین مرکز تصویر به منظور مطالعهٔ اثرات جابه جایی ناشی از اختلاف ارتفاع بر روی تصویر ضروری است. یک تصویر به وسیلهٔ تصویر شدن خطوط نورانی ساطع شده از یک شیء بر صفحهٔ کانونی عدسی بوجود می‌آید. عدسی همانندنقطه‌ای که اشعه‌های نورانی از آن عبور می‌کنند عمل می‌کند. مقیاس عکس در این حالت F:H است. امّا در عمل زمین صاف و صفحهٔ کانونی افقی نمی‌باشد. در انتخاب یک دوربین برای استفاده در فضا یک تضّادی بین قدرت تفکیک بالا و دقّت ارتفاعی وجود دارد. قدرت تفکیک بالا نیاز به یک فاصلهٔ کانونی بسیار زیاد دارد که موجب می‌گردد زاویهٔ دید کوچک شود و یک زاویهٔ دید کوچک منجر به کم‌شدن نسبت باز به ارتفاع پرواز و درنتیجه کمی دقّت ارتفاعی می‌گردد.

۳-۳) بررسی عدم استحکام عکسهای ماهواره‌ای

۳-۳-۱) اثرات زمین

وقتی یک تصویر از بالای سطح زمین ثبت گردد انحناء آن برروی تصویر تأثیر می‌گذارد. اثر انحناء زمین بر روی تصویر کاهش مقیاس در



The scale of an image.

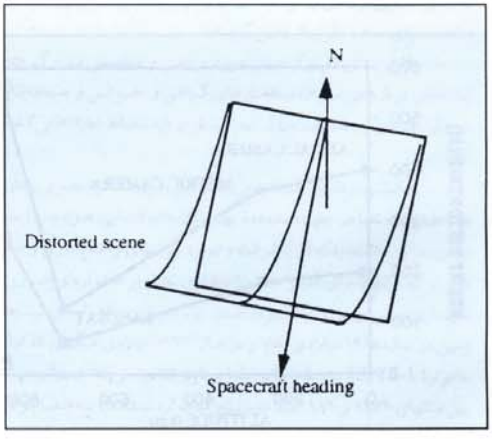
نگارهٔ (۷)

لبه‌های تصویر وکوچک شدن اندازهٔ آن عوارض است. انکسار نیز باعث اعوجاج می‌گردد. امّا به علّت این که اتمسفرزمین تنها بخش کوچکی از مسیر نور را شامل می‌شود معمولاً این اثر مهم نمی‌باشد. اگر تصویری با دوربین فضایی به صورت تک قاب تهیه شود، حرکات سنجنده در لحظهٔ باز و بسته شدن شاتر (Shutter) بر روی تصویر، ثبت شده و اعوجاجی ایجاد می‌گردد. در سیستم پوش‌بروم و یا سیستم های اسکنر، زمین در هنگام تشکیل خطوط و یا پیکسل‌های تصویر در حال گردش است که موجب اعوجاج نسبتاً زیادی می‌گردد. نگارهٔ ۸ نشان دهندهٔ اثر کلّی دوران زمین برروی داده‌های اسکنر می‌باشد.

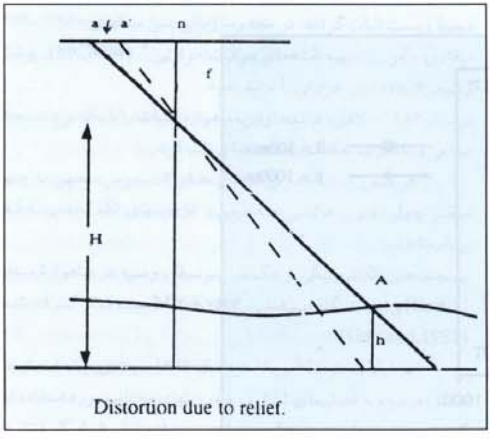
۳-۳-۲) اثر ناشی از اختلاف ارتفاع زمین

این اثر موجب تغییر مقیاس و جابه‌جایی شعاعی تصویر نسبت به نقطهٔ نادیر (Nadir) می‌گردد. بزرگی این جابه‌جایی به صورت aa=(an.h):H است.

این رابطه دلالت بر این می‌کند که هر چه ارتفاع سنجنده بیشتر باشد اثر جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع کمتر می‌شود. برای مثال؛ عارضه‌ای با ارتفاع ۱۰۰۰ متر در یک عکس هوایی با ارتفاع پرواز ۱۰۰۰۰ متری موجب جابه‌جایی ۱۰ متری برای نقطه‌ای واقع در لبهٔ عکس r=۱۰۰ میلی‌متر خواهد شد که معادل ۶۶۰ متر برروی زمین است. اگر از دوربین ◀



نگارهٔ (۸)



Distortion due to relief.

نگارهٔ (۹)

زاویهٔ باز استفاده شده باشد؛ امّا بر روی یک تصویر لندست اثر زمینی آن ۱۰۰ متر می‌باشد. برای اختلاف ارتفاع معمولی اثرات آن بر روی تصاویر MSS و TM لندست قابل صرف نظر کردن است، امّا برای سیستم‌های عکسبرداری پوش‌بروم قابل صرف نظر نبوده و هندسهٔ سه بُعدی باید در نظر گرفته شود. در جدول (۱) اثرات ناشی از اختلاف ارتفاع برای تعدادی از سنجنده‌ها بررسی شده است.

جدول (۱)

SENSOR	ALTITUDE (km)	HALF SWATH (km)	dr for 500m (m)	dr for 1000m (m)
AERIAL CAMERA	10	4	200	400
METRIC CAMERA	250	90	180	360
SPOT	830	30	18	36
SPOT WITH27°TILT	830	450	271	542
LANDSAT	705	90	64	128

Effect of relief distortion for some sensors

اثر ناشی از اختلاف ارتفاع توسط مدل ریاضی سه بُعدی که شامل هندسهٔ دو تصویر است قابل حذف می‌باشد و یا با وجود مدل ارتفاعی رقومی بتوان جابه‌جایی برای هر نقطه را محاسبه و اعمال نمود. برای سیستم‌های با قدرت تفکیک کم، نیازی به تصحیح جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع نیست و برای سیستم‌های با استحکام هندسی لازم می‌باشد.

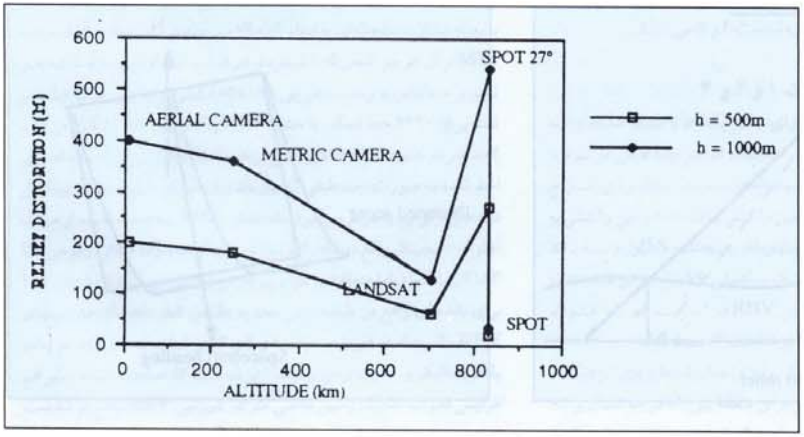
۳-۳-۳) حرکات سکّو

محور اصلی سنجنده الزاماً قائم نمی‌باشد، از این رو منطقهٔ مربع شکلی بر روی زمین، تصویر مربع شکلی ارایه نمی‌کند. نگارهٔ ۱۰ نشان دهندهٔ تصویر زمین برای هر کدام از دورانهای محورهای مختصات است.

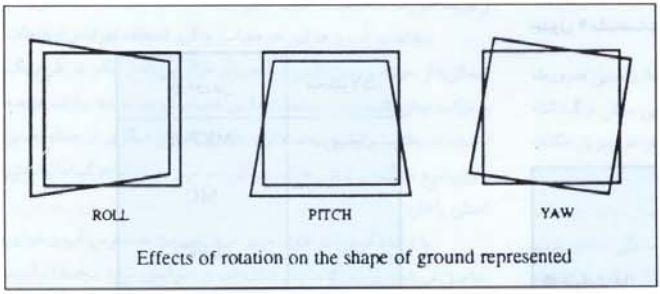
با توجّه به دوران سنجنده، چه دوربینهای فضایی و چه پوش بروم و چه سیستم‌های اسکنر، تصویر، دارای اعوجاج خواهد شد و البته اثرات ناشی از تغییرات ارتفاع سنجنده بر آن افزوده می‌گردد. حرکات سکّو را می‌توان توسط یک ماتریس دوران، مدوله نمود. عناصر چنین ماتریسی را می‌توان با استفاده از نقاط کنترل زمینی و یا اندازه‌گیری حرکات سکّو توسط سنجنده‌ای و یا تعیین تغییرات سکّو نسبت به یک شیء ثابتی، نظیر یک ستاره، تشکیل داد. در اکثر ماهواره‌ها دورانها کوچک می‌باشند و محور سنجنده نیز قائم است. در بعضی از حالات، سکّو جهت دستیابی به تصاویر مایل دارای تیلت (Tilt) می‌باشد و در چنین حالتی نیز دوران فوق به همراه تغییرات آن در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴) برجسته‌بینی عکسهای ماهواره‌ای

اگر تصویر منطقه‌ای از دو منظر متفاوت در دسترس باشد دید سه بُعدی به منظور استخراج مختصات سه بُعدی فراهم می‌گردد. به منظور دید سه بُعدی از یک زوج عکس، باید شرایطی فراهم گردد. مراکز دو عکسبرداری نه به هم خیلی نزدیک و نه خیلی دور از هم‌دیگر قرار گیرند. اگر خیلی نزدیک باشند تفاوت کافی به منظور دید برجسته‌بینی وجود نخواهد داشت، و اگر خیلی دور باشند تشابه کافی وجود ندارد. عکسها باید از یک دوربین و یا دو دوربین مشابه، تهیه شده باشندو ارتفاع دو دوربین از زمین تقریباً یکسان باشد. اساس شرط هندسی با نسبت باز به ارتفاع (B:H) قابل بیان است. در نگاره‌های ۱۱ و ۱۲ فاصله دو مرکز تصویر به



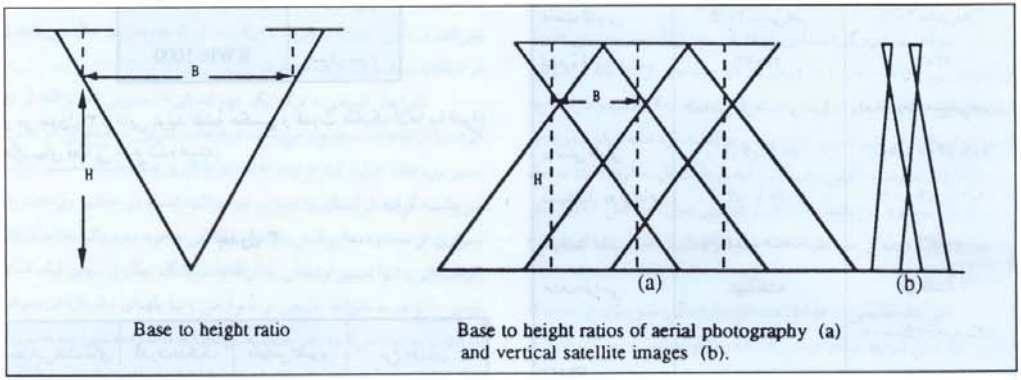
نمودار (۱)



Effects of rotation on the shape of ground represented

نگارهٔ (۱۰)

Effects rotation on the shape of ground represented



Base to height ratio

Base to height ratios of aerial photography (a) and vertical satellite images (b).

نگارهٔ (۱۱)

نگارهٔ (۱۲)

عنوان باز (B) نمایش داده شده است، و فاصلهٔ بین شئی تا مرکز تصویر به عنوان ارتفاع پرواز (H) نمایش داده شده است.

به منظور دستیابی به دید برجسته بینی خوب B:H باید بین ۰/۳ و ۱ باشد.

عکسهای تهیه شده با یک دوربین درون هواپیما به منظور تهیهٔ نقشه باید قائم و دارای پوشش طولی حداقل ٪۶۰ باشد. این مطلب موجب پوشش کامل زمینی ودستیابی به نسبت باز به ارتفاع خوبی می‌گردد. فاصلهٔ کانونی هر دوربین هوایی معمولاً در سه گروه واقع است شامل؛ زاویهٔ معمولی (f=۳۰۰ میلی‌متر) و زاویهٔ باز (f=۱۵۰ میلی‌متر) و زاویهٔ خیلی باز (f=۸۸ میلی‌متر) و با ابعاد عکس ۲۳۰میلی متر در ۲۳۰ میلی‌متر و پوشش طولی ٪۶۰، نسبت B:H به ترتیب ۰/۳ و ۰/۶ و یا ۱ خواهد بود. مثال بالا دربارهٔ عکسهای ماهواره‌ای نیز صادق است. عکسهای ماهواره‌ای KAF-1000 با پوشش طولی ۶۰ درصد و فاصلهٔ کانونی حدود ۱ متر دارای B:H = ۰/۱۲ سانتی‌متر می‌باشد که علی رغم افزایش ابعاد قاب از ۲۳ سانتی‌متر × ۲۳ سانتی متر و ۳۰ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر به منظور افزایش B:H، امّا B:H عدد مناسبی نمی‌باشد که موجب دقّت پایین ارتفاعی این عکسها می‌گردد.

۳-۵) مشخصات عکسهای ماهواره‌ای

عکسهای ماهواره‌ای به خاطر ارتفاع کم این ماهواره‌ها و ثبت آنالوگ (Analog) تصاویر برروی فیلم از جزئیات و تراکم اطلاعاتی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند و یکی دیگر از دلایل ارجحیّت عکسهای ماهواره‌ای بر تصاویر رقومی ماهواره‌ای، امکان استفاده از دستگاههای فتوگرامتری مانند دستگاههای تحلیلی وترمیم معمولی است، به این معنی که هر گونه استفاده از این عکسها چه جهت ایجاد نقشه‌های توپوگرافی، عکسی و موضوعی از طریق فن‌آوری موجود کشور عملی می‌باشد و همچنین عکس فضایی عموماً دارای استحکام هندسی و قدرت تفکیک بیشتری نسبت به یک تصویر فضایی است. از این رو به شرح مشخصات عکسهای فضایی می‌پردازیم. به طور کلّی دوربینهای فضایی و محصولات آن‌ها را در سه نسل مختلف طبق جدول ۲ می‌توان بررسی نمود.

جدول (۲)

نام دوربین	محصولات
MKF-6	سری اول
MC	
LFC	
KFA-1000. MK4	سری دوم
KWR-1000	سری سوم

و در جدول ۳ توانایی تولید نقشهٔ عکسی و قدرت تفکیک آن‌ها با انواع عکسهای فضایی درج شده است.

جدول ۳

مقیاس نقشه‌های تولیدی	قدرت تفکیک		مقیاس تصویر	نوع دوربین عکسبرداری
	خط میلی‌متر	متر		
۱:۱۰۰،۰۰۰	۱۶۵	۱۵	۱:۲۵۰،۰۰۰	MKF6
۱:۵۰،۰۰۰	۵۵	۱۵	۱:۸۰۰،۰۰۰	MC
۱:۵۰،۰۰۰	۸۰	۱۰	۱:۸۰۰،۰۰۰	LFC
۱:۵۰،۰۰۰	۱۰۰	۸	۱:۸۰،۰۰۰	MK4
۱:۲۵،۰۰۰	۵۰	۵	۱:۲۵۰،۰۰۰	KFA-1000
۱:۱۰،۰۰۰	۱۳۵	۱/۶	۱:۲۲۰،۰۰۰	KWR-1000

دوربین متریک (MC) و دوربین با ابعاد قاب بزرگ (LFC) در سری اوّل می‌باشند. این دوربینهای فتوگرافیک در کشورهای غربی بر روی فضاپیماهای مختلف در مدار زمین قرار گرفته و پس از اتمام عکسبرداری دوباره به زمین بازمی‌گشتند. پروژه‌های عکسبرداری در این کشورها به صورت موقّت و آزمایشگاهی بوده است. مؤسسهٔ فضایی اروپا[۱۰] در آلمان و NASA در آمریکا دو پروژهٔ جداگانه توسط دوربین متریک ساخت کمپانی Zeiss و دوربین LFC ساخت شرکت ITEK انجام دادند. در جدول ۴ مشخصات دوربین و محصولات آن مشخص شده است.

جدول (۴)

	دوربین متریک	دوربین با ابعاد قاب بزرگ
● پارامترها		
فاصله کانونی	۳۰/۵ سانتی‌متر	۳۰/۵ سانتی‌متر
اندازهٔ قاب	۲۳×۲۳	۲۳×۴۶
	(سانتی‌متر×سانتی‌متر)	(سانتی‌متر×سانتی‌متر)
پوشش طولی	٪۶۰ یا ٪۸۰	٪۸۰ یا ٪۶۰ و ٪۱۰
نسبت باز به ارتفاع	۰/۳ یا ۰/۶	۰/۳ و ۰/۶ یا ۱/۲
ظرفیت فیلم	۱۶۵۰قطعه-سه‌مخزن	۲۴۰۰قطعه
هدف‌طراحی	تهیهٔ‌نقشه	تهیه‌نقشه
	۱:۵۰،۰۰۰	۱:۲۵،۰۰۰-۱:۵۰،۰۰۰
FMC	ندارد	دارد
● عملکرد		
ارتفاع‌پرواز	۲۵۰کیلومتر	۲۹۶کیلومتر
مقیاس عکس	۱:۸۲۵،۰۰۰	۱:۹۷۰،۰۰۰
پوشش‌هرقاب	۱۹۰×۱۹۰	۴۴۶×۲۲۳
	(کیلومتر×کیلومتر)	(کیلومتر×کیلومتر)
قدرت‌تفکیک‌زمینی	۲۰متربرای‌هرزوج‌خط	۲۵-۱۱ متر
		برای‌هرزوج خط
مقیاس‌نقشه عکسی	۱:۸۰،۰۰۰	۱:۱۰۰،۰۰۰ - ۱:۴۴،۰۰۰
منحنی‌میزان	۸۰-۴۰متر	۳۰متر
قابل تهیه		
دقّت مسطحاتی	۵/۲متر	۹/۷متر
دقت ارتفاعی	۲۷-۱۳متر	۲۳-۸متر

جدول (۵)

دوربین	KFA-1000	KATE-200	MK4	KATE-140	MKF-6	KVR-1000	KFA-3000	
نوع سفینه	Cosmos 1	Cosmos 1	Cosmos 2	Salyut	Salyut	___	___	
	بدون‌سرنشین	بدون‌سرنشین		باسرنشین	باسرنشین			
فاصله کانونی (میلی‌متر)	۱۰۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۱۴۰	۱۲۵	۱۰۰۰	۳۰۰۰	
قاب‌فیلم(میلی‌متر×میلی‌متر)	۳۰۰×۳۰۰	۱۸۰×۱۸۰	۱۸۰×۱۸۰	۱۸۰×۱۸۰	۵۶×۸۱	۱۸۰×۱۸۰	۳۰۰×۳۰۰	
ارتفاع‌پرواز(کیلومتر)	۲۷۰	۲۷۰	۱۸۰-۴۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۲۰	۲۸۰	
عدد‌مقیاس	۲۷۰،۰۰۰	۱،۴۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰ ۱،۵۰۰،۰۰۰	۲۱۰،۰۰۰	۲۴۰،۰۰۰	۲۲۰،۰۰۰	۹۵،۰۰۰	
منطقه‌مورد‌پوشش (کیلومتر)	۸۰×۸۰	۲۲۰×۲۲۰	۱۱۰×۱۱۰ ۲۷۰×۲۷۰	۳۱۰×۳۱۰	۱۴۰×۲۰۰	۴۰×۴۰	۳۰×۳۰	
قدرت‌تفکیک‌زمینی(متر)	۵-۱۰	۱۵-۳۰	۵-۸	۶۰	۲۰-۵۰	۱-۲	۲-۳	
نوع‌عکس	اسپکتروزونال	پلیزونال	پلیزونال	سیاه‌وسفید	پلیزونال	سیاه‌وسفید	اسپکتروزونال	
زاویه‌میل(درجه)	۸۲°	۸۲°	۸۲°	۵۱/۲°	۵۱/۲°	–	–	

در مقابل کشورهای غربی، شوروی سابق در این زمینه فعالیّتهای مهمی داشته و اکنون هم توسط تعدادی ازکشورهای مشترك‌المنافع فعلی با روسیه این فعالیتها ادامه دارد، مؤسسهٔ فضایی پراودا (Priroda) تنها آژانس فضایی است که سیستم فتوگرامتری فضایی آن به صورت دائمی فعّال بوده و عکسبرداری به طور همیشگی انجام می‌گیرد. شش سیستم تقریباً غیرنظامی KAT 200, MKF -6 , KATE 140, MKF 4 KFA-1000, KFA-3000, که دو سیستم اخیر برروی فضاپیمای میر (Mir) نصب گردیده، به همراه یک سیستم نظامی KWR-1000 وظیفهٔ عکسبرداری از نقاط مختلف دنیا را در مقیاسهای متفاوت و کاربردهای مختلف برعهده دارند. در جدول ۵ مشخصّات کاملی از این عکسها درج شده است. □

پاورقی:

1) Scan (ning)
2) Frame
3) Passive
4) Active
5) Spatial Resolution
6) Temporal Resolution
7) Lateral
8) Photo
9) Image
10) European Space Agency: (ESA)