بسمه تعالی

جزوه درس فتوژئولوژی دوره کارشناسی

رشته زمین‌شناسی

محسن احتشامی معین‌آبادی

هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی

۱۳۹۳-۹٤

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمات و کلیات	**۱**
فصل دوم: ویژگی های هندسی عکس های هوایی	**۱۸**
فصل سوم: استریوسکوپی، استریوسکوپ و کاربرد استریومتر	**۲۴**
فصل چهارم: پیشنیاز تفسیر عکس های هوایی	**۳۷**
فصل پنجم: تفسیر عکس های هوایی	**۵۵**
فصل ششم: کاربرد عکس های هوایی	**۷۷**

فصل اول:

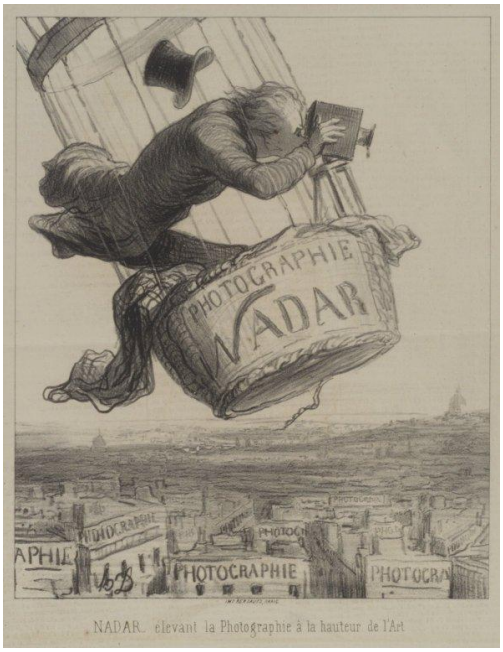
مقدمات و کلیات

۱- تعریف فتوژئولوژی: فتوژئولوژی عبارتست از تفسیر عوارض زمین شناسی و زمین ریخت شناسی و شناسایی رخساره های سنگی مختلف بر روی عکسهای هوایی.

۲- تعریف عکس هوایی و مزایای مطالعه آن: عکس هوایی تصویر سطح زمین است که از هوا با کمک دوربینی که رو به پایین نگاه می کند، گرفته شده است. عکس های هوایی یکی از منابع اطلاعات زمین شناسی هستند که ممکن است در جای دیگری در دسترس نباشد. مطالعه عکس های هوایی جایگزین مطالعات صحرایی نیست، بلکه استفاده از آن سبب صرفه جویی در زمان شده، امکان مشاهده محدوده گسترده تر با جزییاتی بیشتر نسبت به نقشه ها را فراهم می کنند. عکس های هوایی را در هر زمان و مکان می توان مطالعه کرد و هزینه کمتر و سهولت بیشتر نسبت به مطالعات صحرایی از دیگر مزایای آنهاست.

۳- تاریخچه تهیه و برداشت عکسهای هوایی

اولین عکس های هوایی در بیش از ۱۲۰ سال پیش با کمک بالن برداشت می شد. هرچند در برخی موارد نادر هنوز این وسیله برای برداشت عکس هوایی استفاده می شود، اما پیشرفت این فن مدیون اختراع هواپیما است. عکس های هوایی به ویژه برای مقاصد نظامی در جنگ جهانی اول کاربرد گسترده ای پیدا کردند.



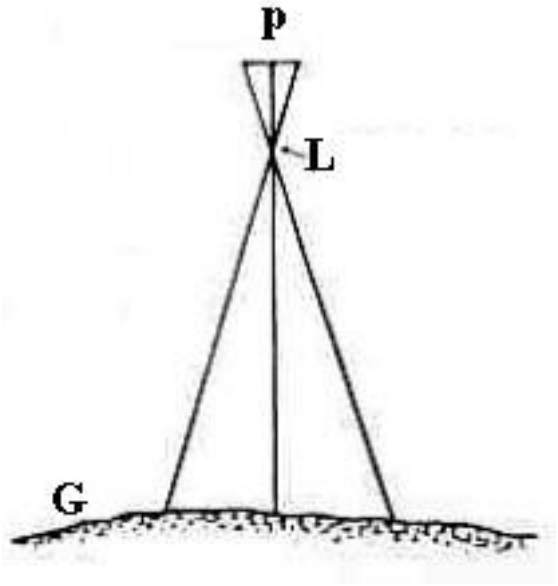
کارتونی از اولین تلاشها برای برداشت عکس هوایی با بالن

۱۹۰۴ میلادی – عکسبرداری هوایی از اهرام مصر

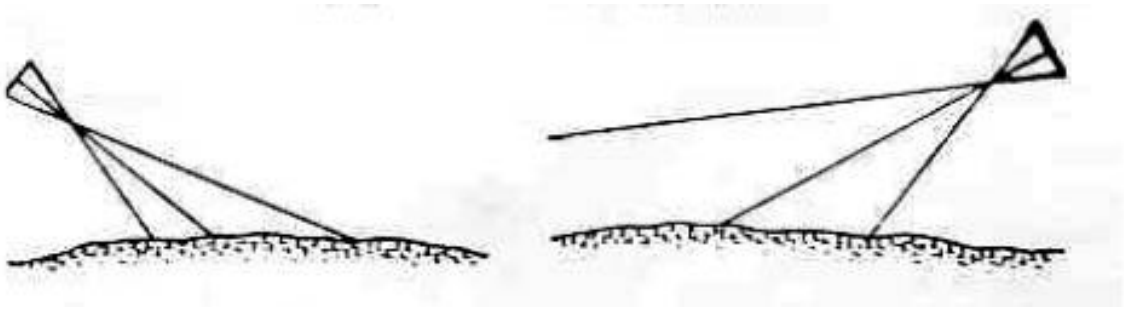
امروزه در برداشت عکس های هوایی علاوه بر هواپیما از دوربین های نصب شده بر روی روباتهای پرنده یا کنترل از را دور نیز استفاده می شود. نمونه آن سیستم عکسبرداری هوایی کوپترکم ۸ است.

کوپترکم ۸

٤- انواع عکسهای هوایی: عکس های هوایی شامل انواع قائم (اورتوفتو)، مایل و بسیار مایل و رنگی هستند.



در عکس هوایی قائم، محور نوری دوربین که از مرکز عدسی (L) عبور می کند بر سطح زمین (G) و مرکز عکسی (P) عمود است. این نوع عکس متداول ترین عکس های هوایی است.



در عکس های هوایی مایل (سمت چپ) و بسیار مایل (سمت راست) محور نوری دوربین نسبت به سطح زمین زاویه کمتر از ۹۰ درجه می سازد. عکس های مایل و بسیار مایل برای مناطقی که برداشت عکس قائم امکان پذیر نیست کاربرد دارند مانند مناطق مرزی، دهانه آتشفشانهای فعال و غیره.

٥- کاربرد عکس های هوایی

کاربرد این عکس ها در تهیه نقشه توپوگرافی، تهیه نقشه های زمین شناسی ناحیه ای، نقشه های ناحیه ای خاک، استفاده در جنگلبانی، کاربری زمین، امور نظامی، باستان شناسی، شهرسازی، زمین شناسی مهندسی و کواترنری، زمین ساخت و غیره.

٦- علائم حاشیه ای (Fiducial marks) و اطلاعات حاشیه عکس

شکل زیر نمونه یک عکس هوایی قائم را نشان می دهد. یکی از نقاط مهم در عکس قائم مرکز عکس است که موقعیت نقطه ای که محور نوری دوربین در هنگام عکسبرداری بر زمین عمود بوده است را معین می کند. برای معین کردن این نقطه بر روی عکس از اتصال علایم حاشیه ای که به صورت علامت مثلث یا بعلاوه در گوشه ها یا وسط اضلاع عکس نمایان است، استفاده می کنند.

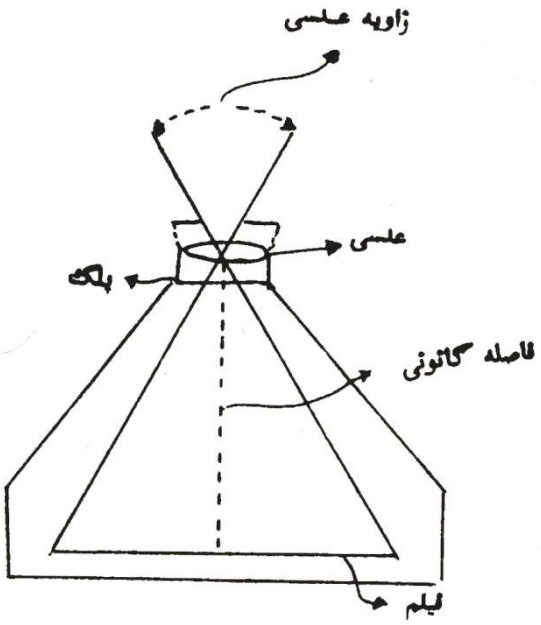
نمونه یک عکس هوایی قائم از کوههای البرز در استان البرز. علائم حاشیه ای به صورت مثلث در گوشه ها و وسط اضلاع عکس مشخص شده است.

در حاشیه عکس های هوایی اطلاعاتی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از تاریخ برداشت عکس، سازمان یا شرکتی که عملیات عکسبرداری هوایی را انجام داده است. شماره عکس و ردیف پرواز، تراز، ارتفاع سنج، ساعت، سرعت پرواز و فاصله کانونی عدسی دوربین.

۷- دوربین عکسبرداری: دوربین عکسبرداری هوایی دارای اجزایی مشابه دوربین های معمولی است. با این تفاوت که کیفیت و ویژگی های خاص خود را دارد.

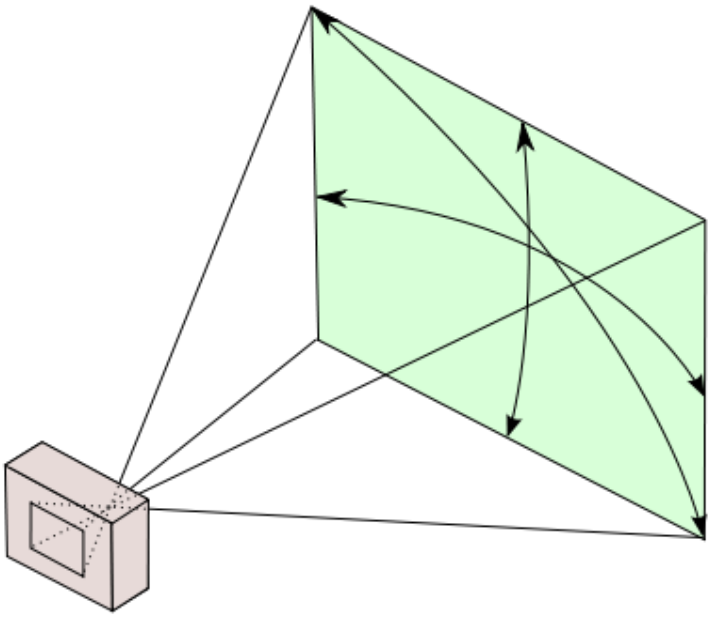
نمونه یک دوربین عکسبرداری هوایی

اجزای اصلی دوربین عکسبرداری در شکل زیر نشان داده شده است.



۷-۱- عدسی: ویژگی های مهم در کیفیت عدسی شفافیت، میدان دید مناسب، عدم اعوجاج یا تابیدگی، کیفیت بینایی هستند. عدسی های ساده معمولا به دلیل معایب فوق در عکسبرداری هوایی استفاده نمی شوند و عدسی دوربین هوایی از نوع مرکب است.

معایب عدسی ساده: هدر رفتن نور، خطای رنگی، خطای کرویت، کما، آستیگماتیسم، تابیدگی



زاویه دید عدسی در جهات مختلف قابل اندازه گیری است.

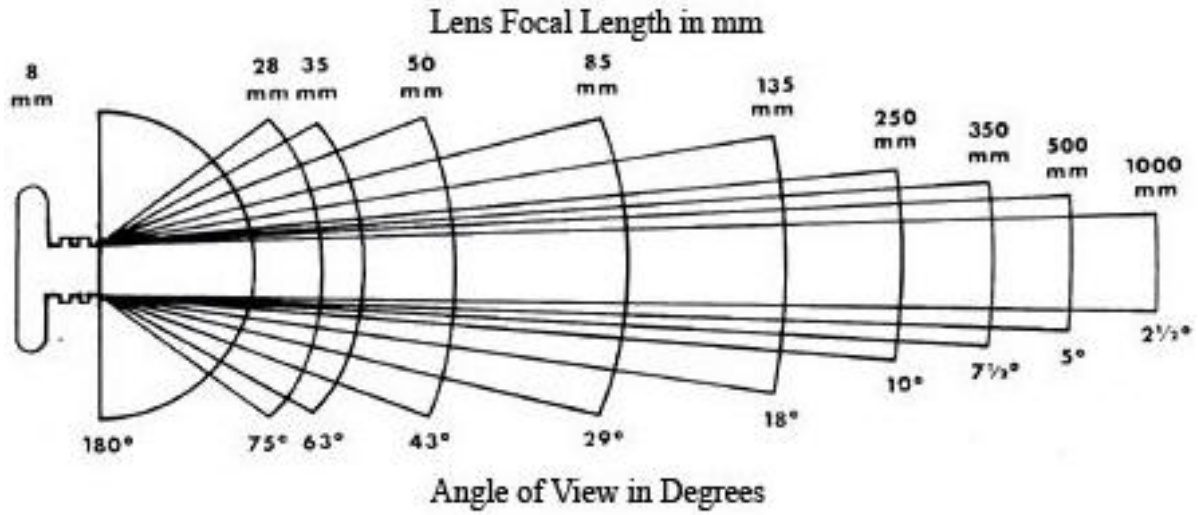
انواع عدسی براساس میدان دید

۱- کوچک زوایه: با زاویه مخروطی کمتر از ۶۰ درجه و فاصله کانونی بیشتر از ۲۰ سانتی متر.

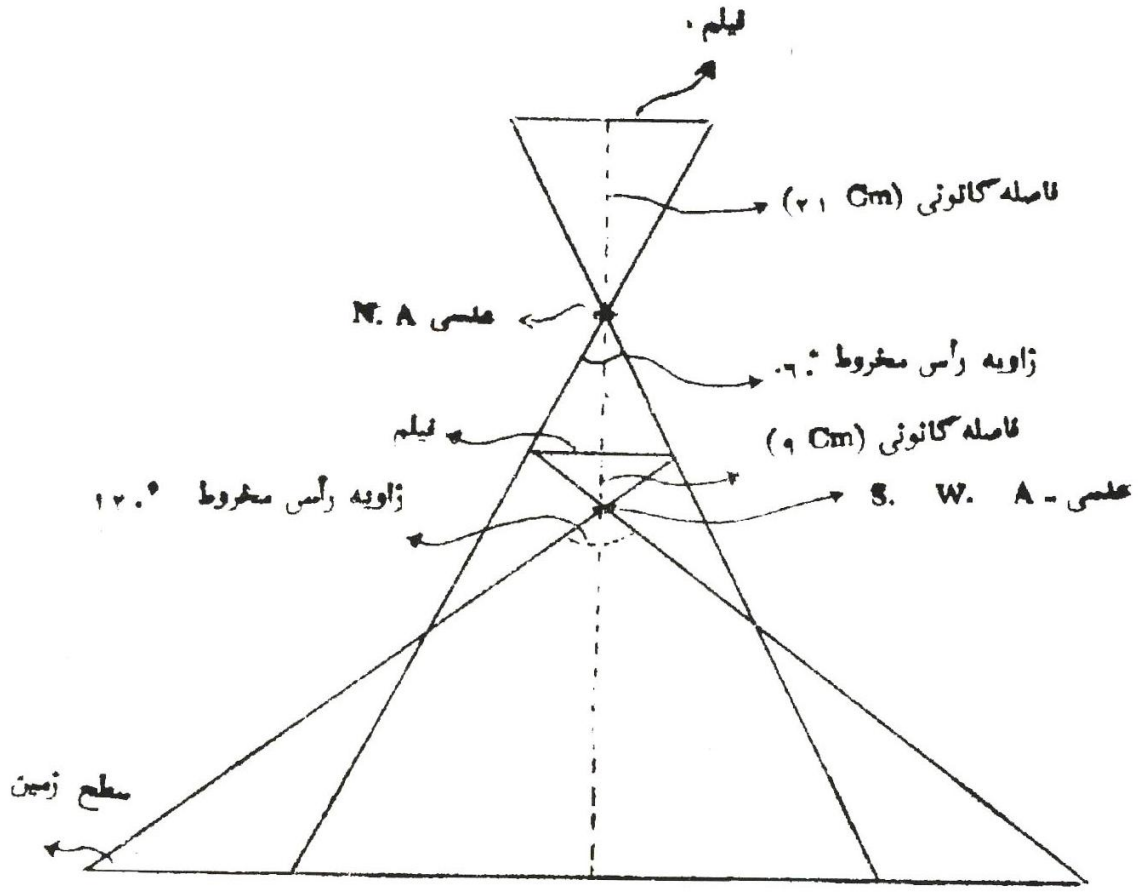
۲- معمولی: با زاویه مخروطی کمتر از ۶۰ درجه و فاصله کانونی ۲۱ سانتی متر.

۳- بزرگ زوایه: با زاویه مخروطی کمتر از ۹۰ درجه و فاصله کانونی ۱۵ سانتی متر.

۴- بسیار بزرگ زاویه: با زاویه مخروطی کمتر از ۶۰ درجه و فاصله کانونی بیشتر از ۸۸ میلی متر.



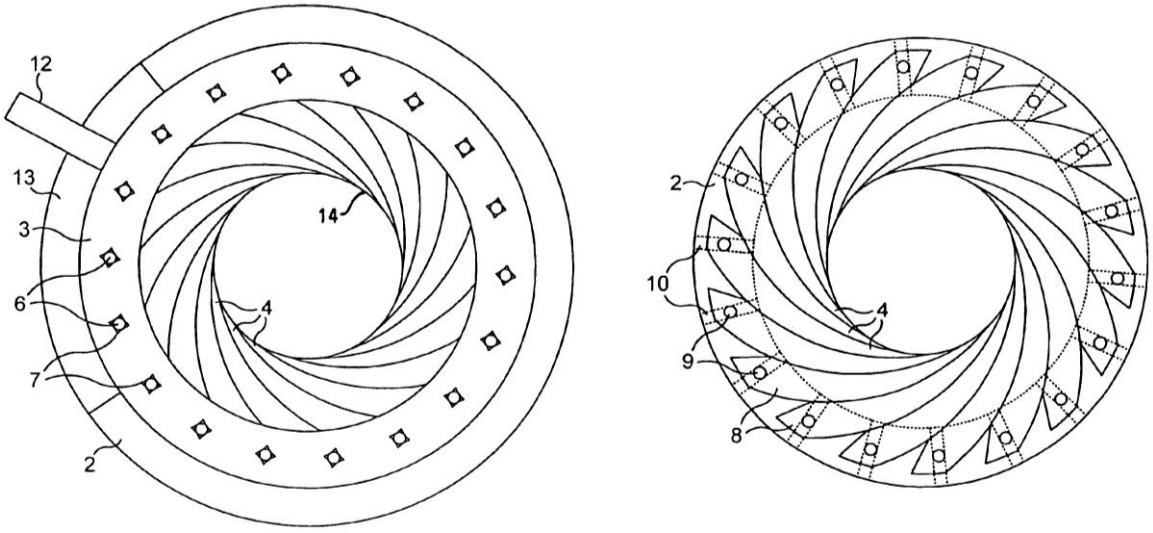
رابطه بین زاویه دید عدسی و فاصله کانونی آن معکوس است. هرچه فاصله کانونی عدسی بیشتر باشد، زاویه دید آن کمتر است و برعکس.



(نمایش میدان دید در دو نوع عدسی بازوایای متفاوت)

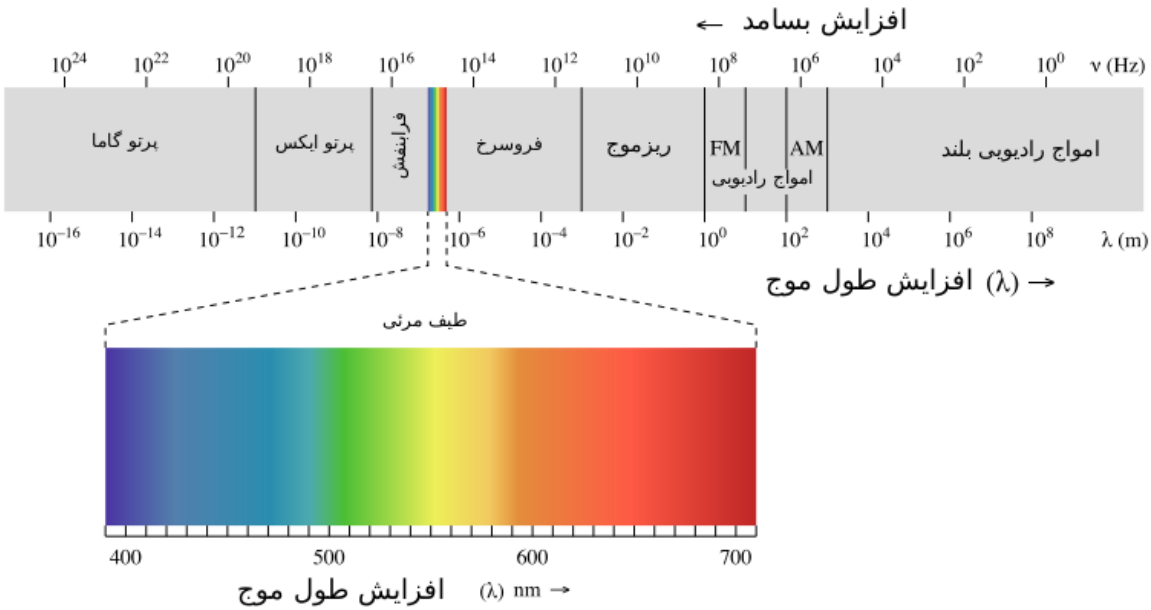
۷-۲ و ۳- پلک و دیافراگم:

وظیفه این دو در دوربین تنظیم نور و زمان است. در عکسبرداری هوایی زمان باز ماندن دوربین تابع جو، حساسیت فیلم، و سرعت حرکت هواپیما است. زمان بازماندن دوربین در عکسبرداری هوایی بین ۰.۰۱ تا ۰.۰۰۱ ثانیه است.



۷-٤- فیلم

فیلم، صفحه ای حساس نسبت به امواج الکترومغناطیس که در طیفی از این امواج حساسیت دارد.



طیف امواج الکترومغناطیس

در ساخت فیلم از ترکیب یدور نقره یا برومور نقره بر روی صفحه نازکی از سلوییدیا پلی استر استفاده می شود. ترکیبات مذکور نسبت به نور حساس بوده و در صورت برخورد نور به آنها نقره آزاد شده و به صورت دانه های سیاه رنگ بر روی فیلم مشاهده می شوند. فرایند ظهور فیلم به تثبیت نقره بر روی آن منجر می شود. درجه حساسیت در فیلم های مورد استفاده در عکسبرداری هوایی بالاست. برومور نقره به نورهای آبی و بنفش حساس است و برای سایر نورها باید از مواد خاص دیگری استفاده کرد.

انواع فیلم عبارتند از:

اورتوکروماتیک: این نوع فیلم به نور آبی حساس است و رنگ زرد را جذب می کند.

پن کروماتیک: به نورهای سبز، نارنجی، قرمز و مادون قرمز حساس است. حساسیت آن به نور سبز کم و به نور قرمز زیاد است. در هنگام استفاده از این نوع فیلم از فیلتر زرد در دوربین استفاده می شود. تشخیص گونه های گیاهی با تصاویر گرفته شده با این نوع فیلم دشوار است. فیلم های معمولی سیاه و سفید از نوع پن کروماتیک هستند.

فروسرخ (مادون قرمز): این نوع فیلم نسبت به نور آبی، بنفش، قرمز و فروسرخ حساس است. در هنگام عکسبرداری با این فیلم از فیلتر قرمز در دوربین استفاده می شود. تنها برای طول موجهای قرمز و فروسرخ کاربرد دارد. در عکس های تهیه شده با این فیلم از مناطق با پوشش گیاهی، درختان پهن برگ نسبت به درختان سوزنی برگ انعکاس بیشتری داشته و روشن تر دیده می شوند. توده های آب در این نوع فیلم سیاه رنگ ثبت می شوند. کاربرد این نوع فیلم در تعیین حدود تالاب ها، رودخانه ها و توده های آبی است.

۷-۵- فیلترها

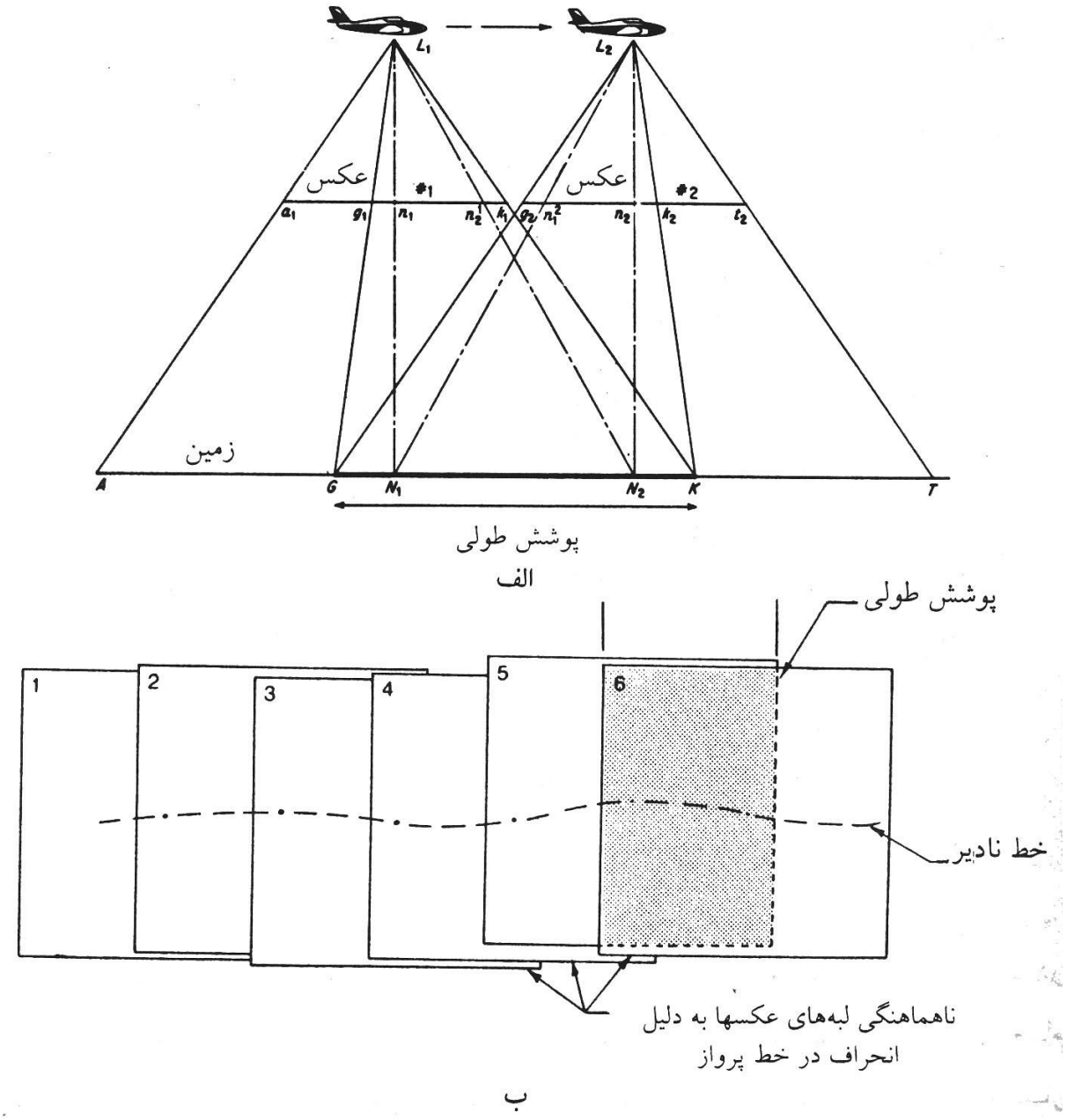
فیلترهای انواع مختلف و کاربردهای متفاوتی دارند. فیلتر زرد (منهای آبی)، فیلتر گرد و غبار از انواع آن هستند. فیلترهایی که در هنگام تهیه عکسهای رنگی استفاده می شوند، متفاوت هستند.

۸- شرایط ضروری برای برداشت عکس های هوایی

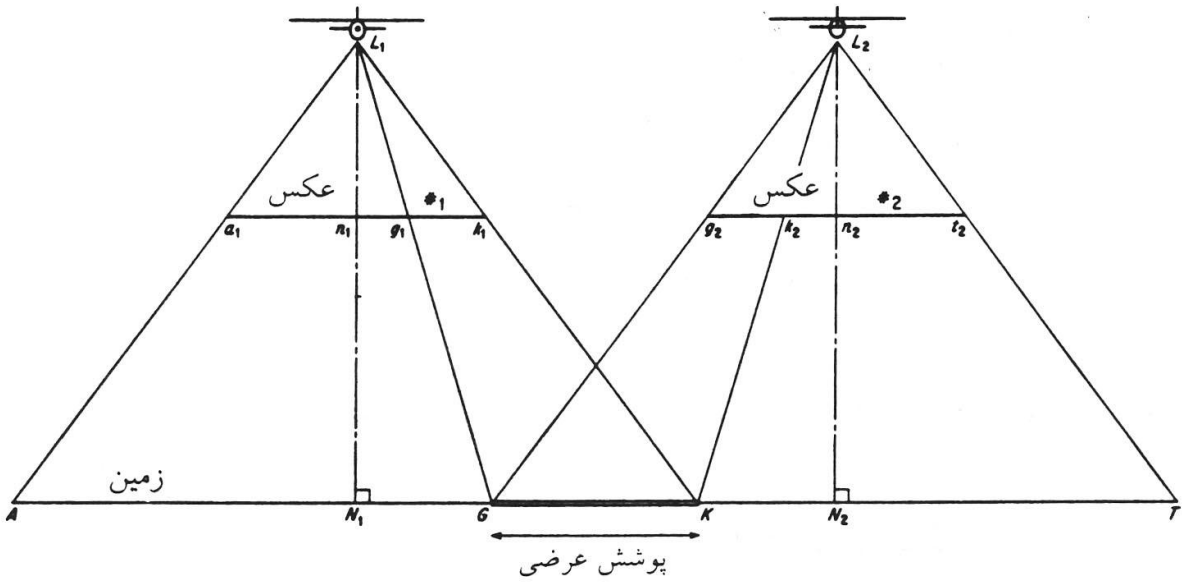
فصل مناسب که با توجه به شرایط اقلیم منطقه و پوشش گیاهی و کاربرد عکس هوایی تعیین می شود. برای نمونه برای مطالعه پوشش گیاهی عکسبرداری در فصلی صورت می گیرد که پوشش گیاهی بهترین وضعیت را داشته باشد. شرایط جوی مانند باد و طوفان سبب لرزش هواپیما شده که تاثیر آنها بر دوربین هواپیما قابل اندازه گیری نیست. به منظور جلوگیری از اثرات لرزش از غشایی مانند نمد یا کائوچو استفاده می کنند و دوربین را بر روی آن قرار می دهند.

۹- برداشت عکس های هوایی

یکی از کاربردهای برداشت عکس های تهیه مدل برجسته از سطح زمین است. بنابراین برداشت عکس باید به گونه ای صورت گیرد که عکس های هوایی متوالی دارای همپوشانی باشند. میزان همپوشانی بین دو عکس متاثر از باز فضایی (air base) است. باز فضایی فاصله هوایی بین دو نقطه عکسبرداری متوالی را گویند. همپوشانی عکس های هوایی به صورت طولی و عرضی وجود دارد. همپوشانی طولی می تواند تا ۶۰ درصد و همپوشانی عرضی نیز بین ۲۰ تا ۳۰ درصد هم برسد. در مناطق کوهستان همپوشانی عرضی بیشتر است.

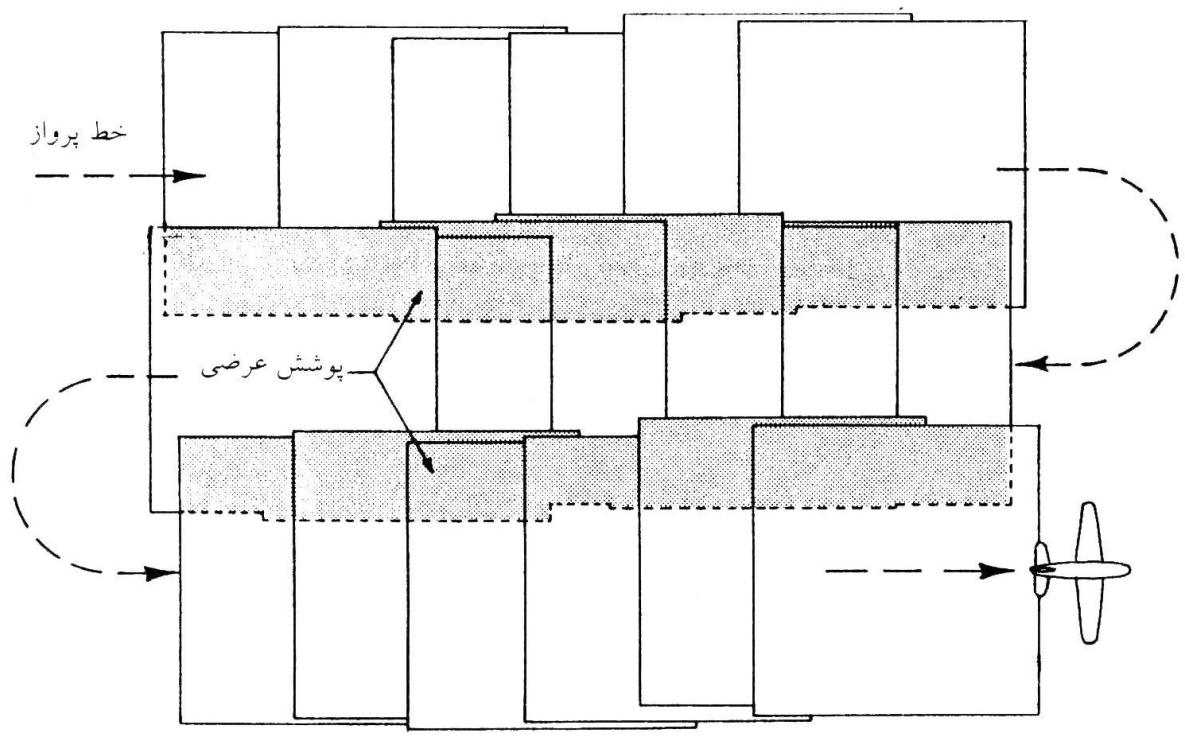


پوشش طولی در عکس های هوایی متوالی در هنگام عکسبرداری (الف) و بر روی عکس (ب)



نمایش پوشش عرضی در موقع عکسبرداری، جهت پرواز هواپیما عمود بر صفحه کاغذ است.

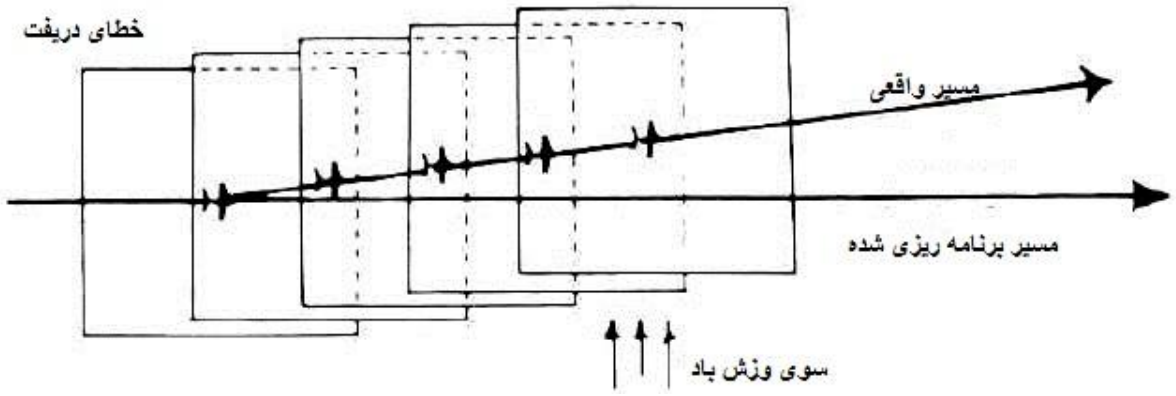
در هنگام برداشت عکس هوایی، هواپیما در مسیرهای از قبل برنامه ریزی شده و موازی هم با سرعت ثابت پرواز کرده و با فاصله های زمانی ثابت اقدام به برداشت عکس می کند. به مسیرهای موازی خطوط پرواز گویند. هر دو عکس متوالی که در یک خط پرواز برداشت شده اند را زوج عکسی (stereo pair) گویند.



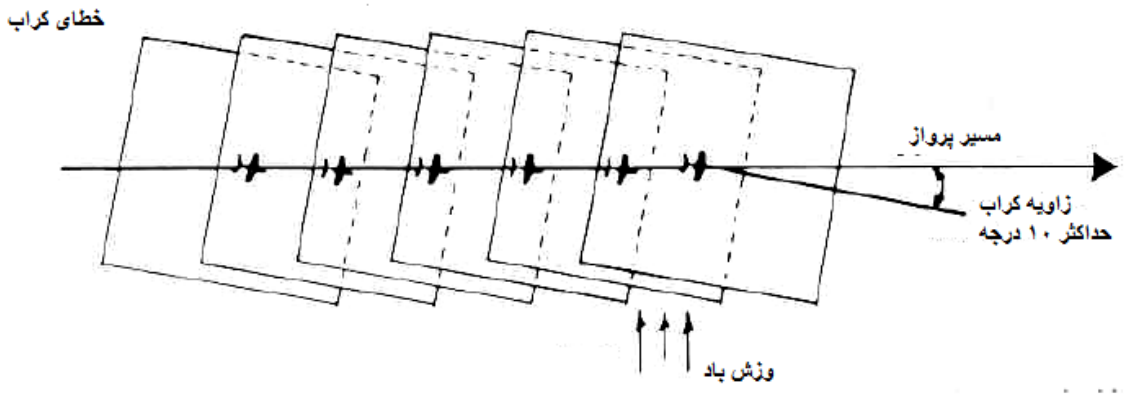
خطوط پرواز و پوشش عرضی و طولی

۱۰- خطاهای پرواز:

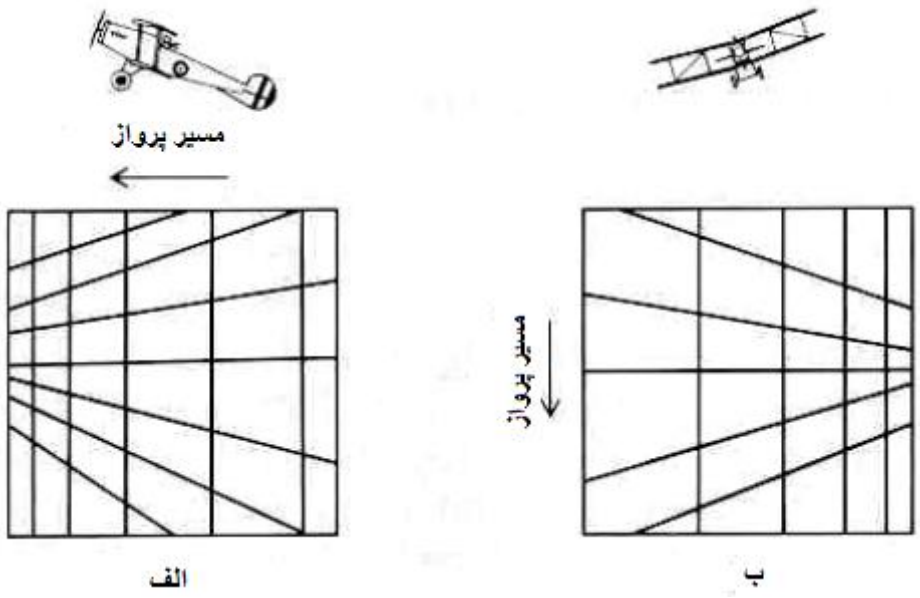
در هنگام برداشت عکس هوایی ممکن است خطاهایی رخ دهد که سبب بروز اشکال در عکس می گردند. اولین خطا می تواند ناشی از وزش باد باشد که سبب تغییر مسیر و جهت پرواز هواپیما شده و چنانچه تصحیح نگردد، وضعیتی در عکس های برداشت شده بوجود می آورد که به آن خطای راندگی توسط باد یا خطای دریفت (drift) گویند.در اثر این خطا در دو مسیر مجاور هم، عکسبرداری از بخشی از سطح زمین صورت نمی گیرد که به آن عدم پوشش عرضی یا gap گویند.



در حالت دیگری از خطا اگر پس از خطای دریفت، هواپیما به مسیر اصلی خود بازگردانده شود بدون اینکه دوربین تصحیح گردد، خطای crab رخ می دهد. بنابراین تصحیح هواپیما و دوربین باید همزمان باشد.



یکی از الزامات عکسبرداری هوایی اینست که در هنگام پرواز، هواپیما کاملا افقی باشد، هرگونه خطا در این زمینه سبب ایجاد خطای تیلت (tilt) شده که سبب می گردد در هنگام مطالعه سه بعدی عکس هوایی، دید سه بعدی مشکل و خسته کننده شود. یکی از عوامل ایجاد این خطا، سلولهای همرفتی در جو هستندکه می توانند سبب تغییر ارتفاع هواپیما در عکسهای مجاور هم گردند.

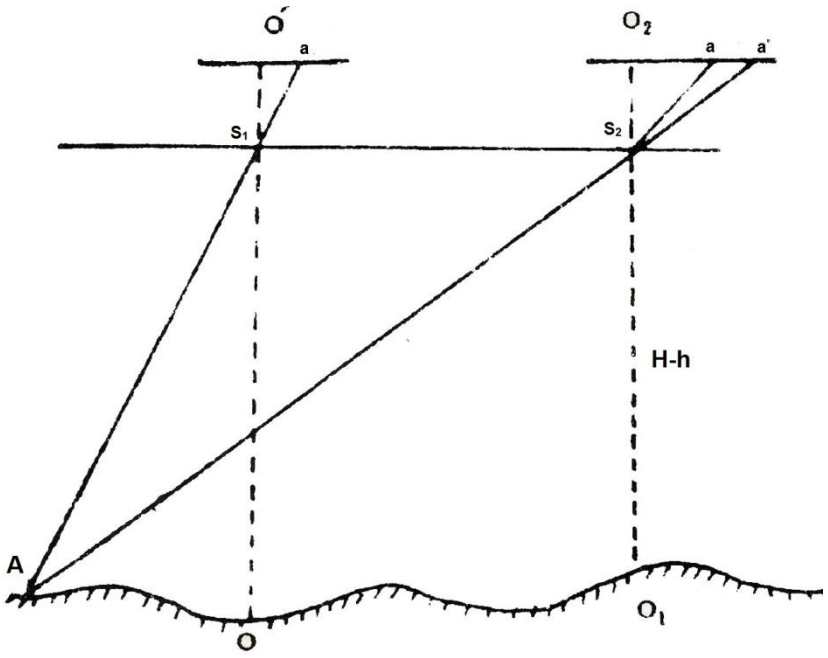


در اثر تغییرات ناشی از خطای تیلت، علاوه بر تغییر ارتفاع که سبب تغییر مقیاس می گردد، دید حالت مایل پیدا می کند که سبب دشواری برجسته بینی می گردد.

تغییرات سرعت هواپیما نیز خطای دیگری است که سبب تغییر در میزان همپوشانی عکسهای متوالی می گردد.

۱۱- کشیدگی تصویر در عکس های هوایی

برداشت عکس در فواصل زمانی معین با توجه به سرعت هواپیما صورت می گیرد به گونه ای در حین عکسبرداری دهانه دوربین در فاصله زمانی اندکی باز و بسته می شود. در این حین هواپیما مسیری را پیموده است که در نتیجه تصویر هر نقطه از روی زمین به شکل پاره خطی روی عکس ثبت می شود. به عبارتی تصویر در جهت پرواز کشیدگی پیدا می کند. برای نمونه در شکل زیر تصویر نقطه A روی سطح زمین بر روی دو عکس متوالی S_1 و S_2 ثبت شده است. خطوط OO' و O_1O_2 محورهای نوری دوربین در دو عکس متوالی را نشان می دهند. (H-h) ارتفاع از سطح زمین است. تصویر نقطه A در عکس اول a و در عکس دوم a' است. چنانچه موقعیت نقطه a در عکس اول را در عکس دوم نیز پیاده کنیم، پاره خط aa' میزان کشیدگی را در جهت پرواز معین می کند که مقدار آن برابر است با:



چگونگی رخداد کشیدگی تصویر در جهت پرواز

(1) $aa' = S_1S_2\frac{f}{(H-h)}$

(2) $S_1S_2=VT$

براساس رابطه های ۱ و ۲ داریم (۳) $aa' = VT\frac{f}{(H-h)}$

(۴) $S=\frac{f}{(H-h)}$

بنابراین

(۵) $aa'=VTS$

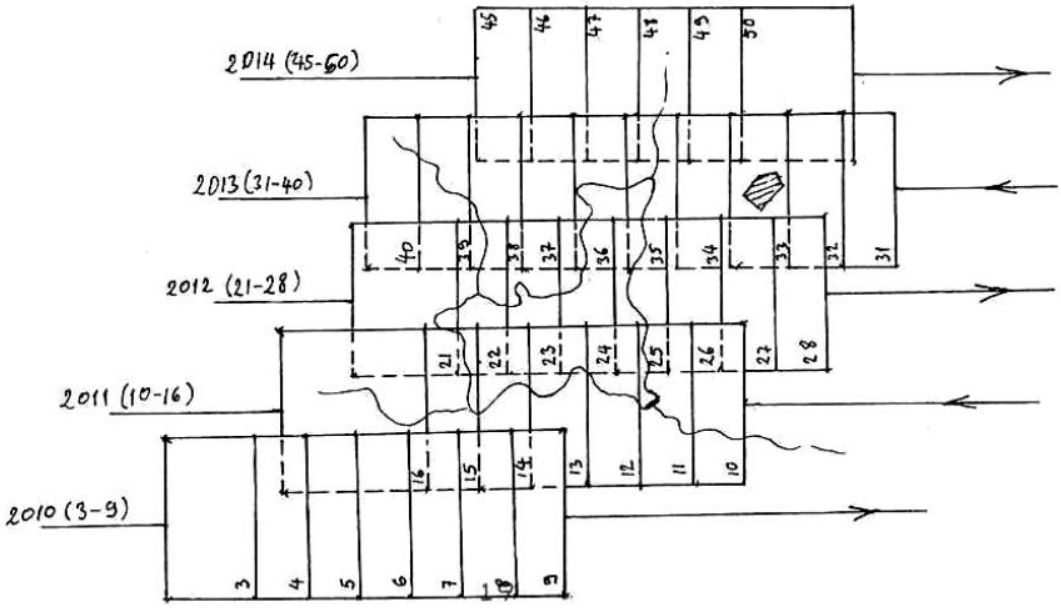
در رابطه های فوق، H ارتفاع پرواز هواپیما، h ارتفاع میانگین منطقه، V سرعت هواپیما، f فاصله کانونی عدسی دوربین، S مقیاس عکس، T سرعت پلک دوربین و aa' میزان کشیدگی است.

۱۲- فتوموزاییک، فتواندکس، و اندکس پرواز

اگر عکسها به صورت یک در میان کنار هم چیده شوند و از تمام آنها عکس گرفته شود، فتواندکس بدست می آید. در فتواندکس سریال هر عکس کنار آن نوشته می شود.

فتوموزاییک: در موزاییک کناره های همه عکس ها بریده شده و کنار هم چیده می شوند و شبیه به یک تصویر پیوسته را بوجود می آورند. شماره سریال عکس ها در انتهای هر نوار نوشته می شود.

اندکس پرواز: اندکس پرواز یک نقشه شماتیک است که خطوط پرواز، پنجره ها، شماره سریال عکس ها، شماره فیلم ها و عارضه های اصلی جغرافیایی مانند شهر، بزرگراه، دریاچه ها و غیره را نشان می دهد.



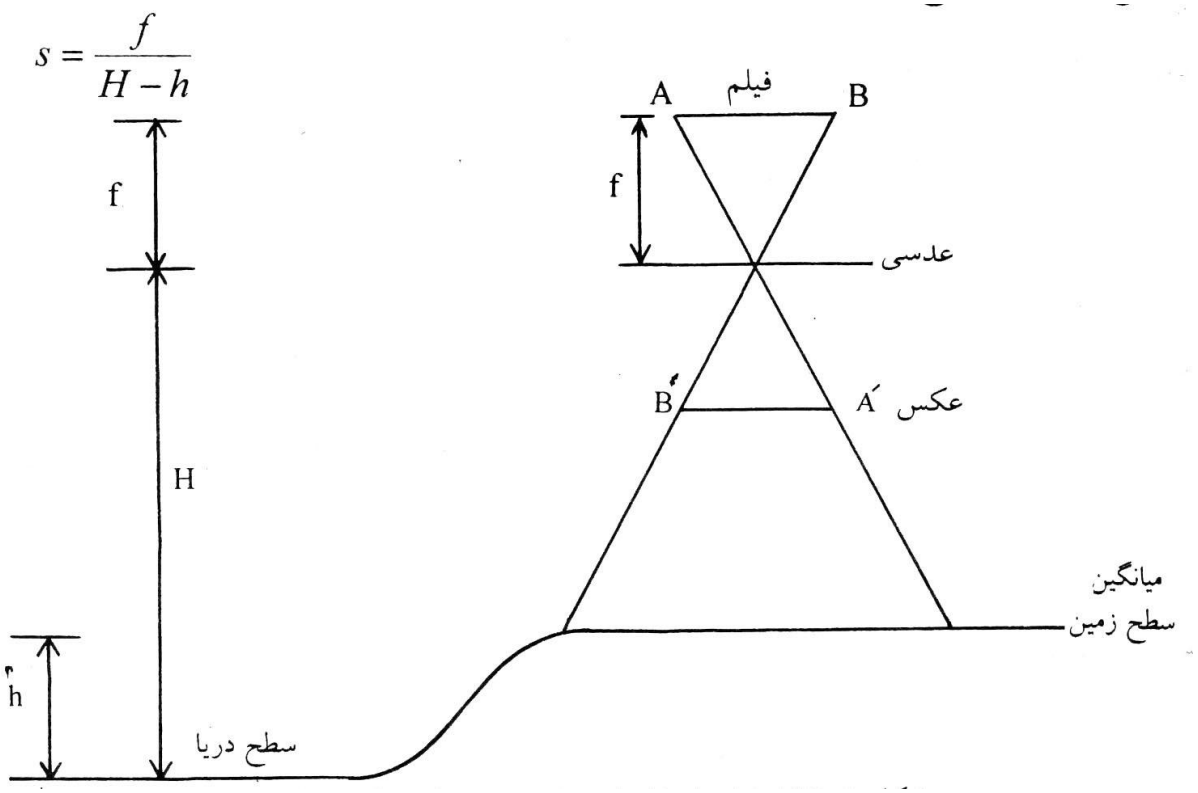
نمونه یک اندکس پرواز

فصل دوم:

ویژگی های هندسی عکس های هوایی

۱- مقیاس عکس

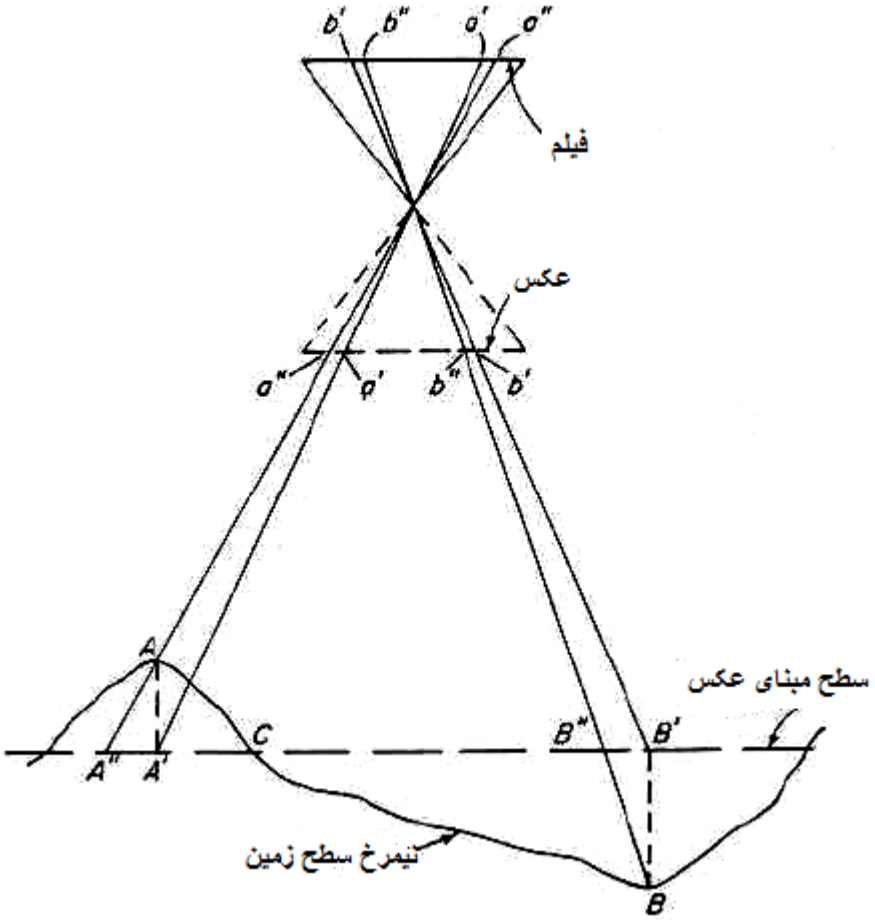
در شکل زیر هندسه کلی عکس هوایی در هنگام برداشت نشان داده شده است. براساس شکل زیر در هنگام برداشت عکس، تصویر سطح زمین بر روی فیلم به صورت نگاتیو ثبت شده و پس از چاپ فیلم به صورت مثبت بر روی کاغذ عکس پرینت می شود. مقیاس عکس هوایی (S) به نسبت میان فاصله کانونی عدسی دوربین و ارتفاع از سطح زمین بستگی دارد. ارتفاع از سطح زمین از اختلاف ارتفاع پرواز هواپیما از سطح دریا (H) و ارتفاع میانگین منطقه (h) بدست می آید.



۲- پدیده جابجایی در عکس های هوایی

در عکس های هوایی قائم، تنها در مرکز عکس مقیاس محاسبه عکس کاملا صدق می کند، اما در نقاط دیگر چون محور نوری دوربین نسبت به آنها قائم نیست، مقیاس متفاوت می شود. از سوی دیگر در این عکسها، به جز مرکز عکس همه نقاط مرتفع به سمت خارج جابجایی دارند که به آن جابجایی شعاعی در اثر ارتفاعات گویند. جابجایی در اثر افقی نبودن صفحه فیلم و اشکال فنی در دوربین نیز رخ می دهد. در شکل زیر نیمرخی از سطح زمین رسم شده است. تصویر نقطه ای در قله کوه مانند A در "a ثبت می شود. چنانچه از بالا بر نقطه A به صورت قائم نگاه کنیم، تصویر قائده آن یعنی نقطه 'A بر روی نقطه A می افتد، اما چون در عکس

هوایی قائم، تصویر فقط در مرکز عکس قائم است، تصویر نقطه A' روی عکس در نقطه ای مانند a' ثبت می شود. براساس روابط مثلثاتی فاصله $a'a''$ بر روی عکس که در واقع همان جابجایی ناشی از ارتفاع (dr) است را می توان از طریق فرمول زیر محاسبه کرد:

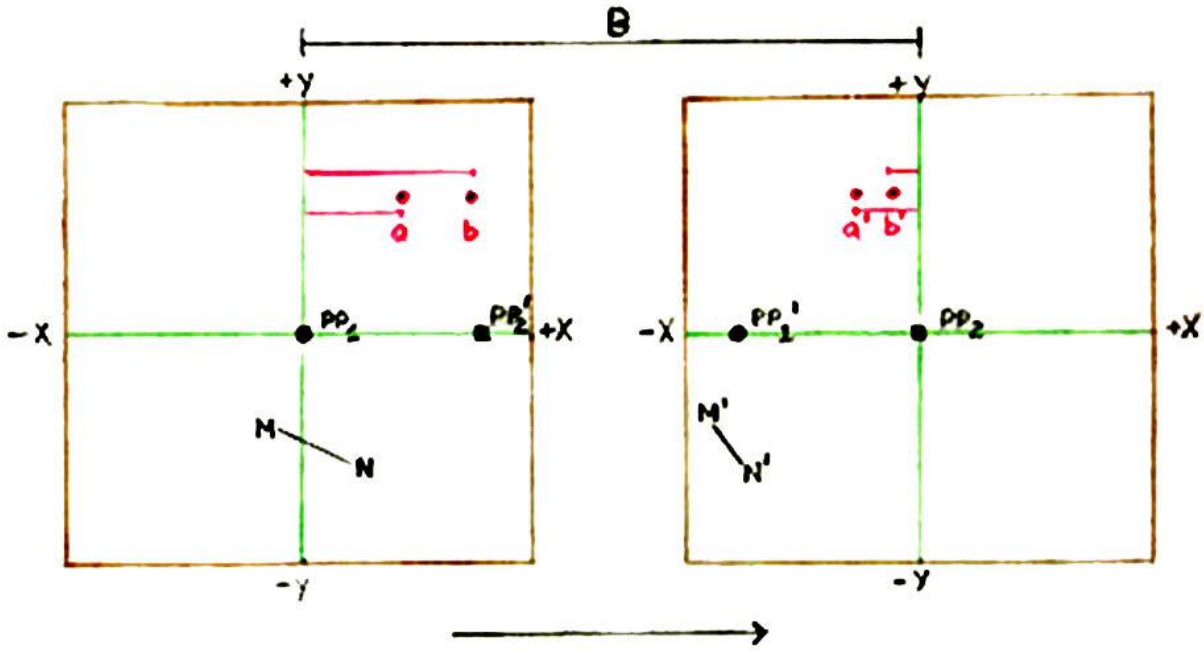


$$a''a'=dr=\frac{rh}{H}$$

که در رابطه فوق، H ارتفاع پرواز، h ارتفاع نقطه مورد نظر، مثلا در مثال فوق ارتفاع قله در نقطه A، و r فاصله بین نقطه مذکور و مرکز اصلی بر روی عکس هوایی است. به همین صورت برای نقطه B نیز جابجایی قابل محاسبه است. در هنگام استفاده از عکس هوایی برای تهیه نقشه، جابجایی ناشی از ارتفاعات تصحیح می شود. برای کاهش مقدار جابجایی از دوربین هایی با میدان دید کوچک استفاده می شود. عارضه ای به ارتفاع ۱۰ متر در عکسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ حدود ۰/۵۸ میلی متر جابجایی دارد.

۳- پارالاکس (Parallax)

به تغییر مکان ظاهری هر جسم نسبت به یک نقطه مبنا که در اثر تغییر زاویه دید یا موقعیت دید ایجاد شده، اثر پارالاکس گویند. در عکسبرداری هوایی، موقعیت عکسبرداری با حرکت هواپیما تغییر می کند، در نتیجه اثر پارالاکس بروز می کند. پارالاکس عبارتست از اختلاف ظاهری موقعیت یک نقطه در دو عکس متوالی. در شکل زیر PP_1 و PP_2 به ترتیب نقاط مرکز عکسی عکس های اول و دوم (چپ و راست) هستند. موقعیت نقاط عکسی متناظر روی عکس مجاور با PP_2' و PP_1' مشخص شده است. هر مرکز عکسی مانند یک مرکز دستگاه مختصات عمل می کند.

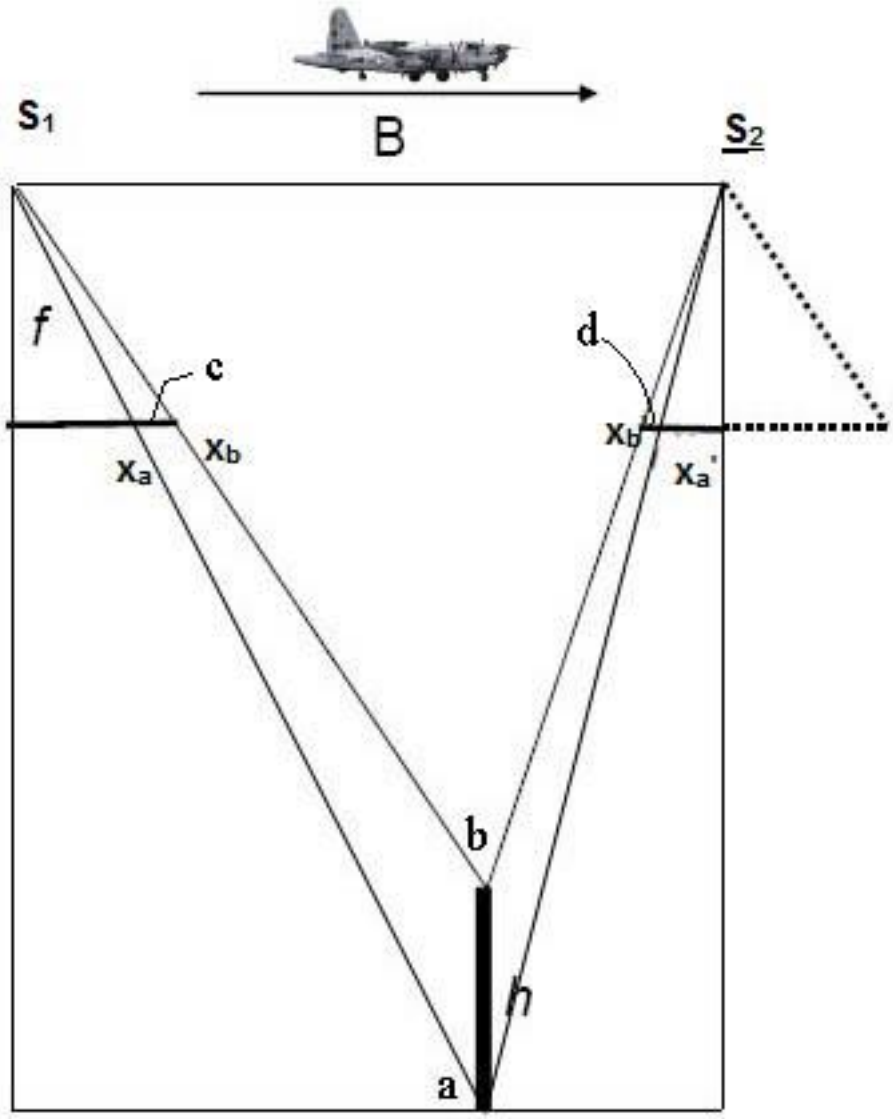


در شکل فوق برای نقاطی مثل a و b، پارالاکس نقطه a برابر است با $P_a = x_a - x_a'$ و برای نقطه b برابر است با $P_b = x_b - x_b'$.

چنانچه در شکل فوق، اختلاف P_a را از P_b بدست آوریم اختلاف پارالاکس نقاط a و b بدست می آید.

٤- اثر ارتفاع بر پارالاکس

شکل زیر تصویر تهیه شده از یک ستون قائم به ارتفاع h و قائده a و راس b را نشان می دهد که در دو عکس متوالی S_1 و S_2 ثبت شده است.



طبق فرمول پارالاکس پارالاکس نقطه a و b به ترتیب برابر است با:

$P_a = x_a - x_a'$

$P_b = x_b - x_b'$

همانطور که در شکل فوق مشاهده می شود، اختلافx_b و x_a (c) بزرگتر از اختلاف x_a' و x_b' (d) است. در نتیجه پارالاکس نقطه b بزرگتر از a خواهد بود. این نتیجه مهمی برای برداشت اطلاعات ارتفاعی از عکس

های هوایی است. بنابراین هرچه نقطه ای ارتفاع بیشتری داشته باشد، در اثر پدیده جابجایی ارتفاعات، پارالاکس بزرگتری خواهد داشت. از اختلاف پارالاکس بین نقاط مختلف برای محاسبه اختلاف ارتفاع بین نقاط مختلف استفاده می شود. همچنین اختلاف پارالاکس امکان دید سه بعدی در عکس های هوایی را فراهم می کند که در فصل بعد شرح داده می شود.

فصل سوم:

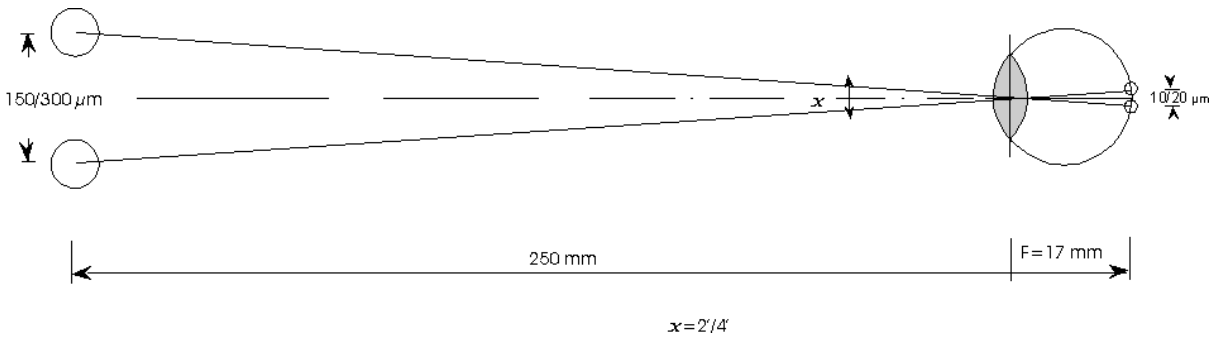
استریوسکوپی، استریوسکوپ و کاربرد استریومتر

۱- دید با یک چشم

چشم ها برای دیدن، مجبور به حرکت هستند. شش عضله خارجی که کره چشم را احاطه کرده است، چشم ها را به صورت هماهنگ در جهات مختلف حرکت می دهد. اما اصلی ترین عنصری که چشم ما برای دیدن به آن نیاز دارد، نور است. نور تصویر اشیا را در چشم می نشاند. اولین چیزی که نور هنگام ورود به چشم آن را لمس می کند، لایه نازکی از اشک است. پشت این لایه مرطوب، قرنیه چشم قرار دارد. این پوشش شفاف به تمرکز نور کمک می کند. نور پس از عبور از این لایه که زلالیه نام دارد، وارد مردمک می شود. باز شدن مردمک با عنبیه یا همان بخش رنگی چشم صورت می گیرد و میزان این بازشدگی به میزان ورود نور بستگی دارد. نور پس از آن به عدسی چشم می تابد که عملکرد آن مانند لنز دوربین است. عدسی، پرتوهای تابیده به شبکیه را متمرکز می کند. ضخامت عدسی با توجه به دور یا نزدیک بودن اشیا، تغییر می کند . در مرحله بعد نور وارد کره چشم می شود که مملو از مایعی ژل مانند به نام زجاجیه است. نور در نهایت به پرده ای به نام شبکیه می تابد که در قسمت انتهایی کره چشم واقع شده است. شبکیه مانند صفحه فیلم خام دوربین فیلمبرداری یا فیلم دوربین عکاسی است. پرتوهای نوری پس از برخورد با پرده شبکیه در قالب پیام هایی عصبی به مغز منتقل و در آنجا تفسیر می شود.

تصویری که توسط یک چشم دیده می شود، دوبعدی است و فاقد بعد سوم یا به عبارتی عمق است. هرچند عواملی مانند تغییر وضع ظاهری اشیا از جمله اندازه نسبی اشیا یا حرکت آنها، پراکندگی مناظر و سایه ها گاه به تشخیص بعد سوم با یک چشم کمک می کنند. منظور از بعد سوم تشخیص دوری و نزدیکی اشیا به چشم و فاصله آنهاست. پوشش یک جسم توسط جسمی دیگر، جابجایی سریع چشم، خاصیت دید رنگی چشم و تغییر زاویه دید، تا حدی شرایط را برای تشخیص بعد سوم با یک چشم فراهم می کنند.

هر چشم انسان دارای یک توان تفکیک است. به عبارت ساده توان تفکیک چشم کوچکترین فاصله بین دو جسم یا نقطه است که چشم انسان قادر به تفکیک آنها از یکدیگر است. شکل زیر توان تفکیک چشم انسان را نشان می دهد. در عمل، بینایی انسان مرهون پردازش مغز از تصاویر رسیده از دو چشم است که سبب دید سه بعدی یا به اصطلاح برجسته بینی می شود.



توان تفکیک چشم

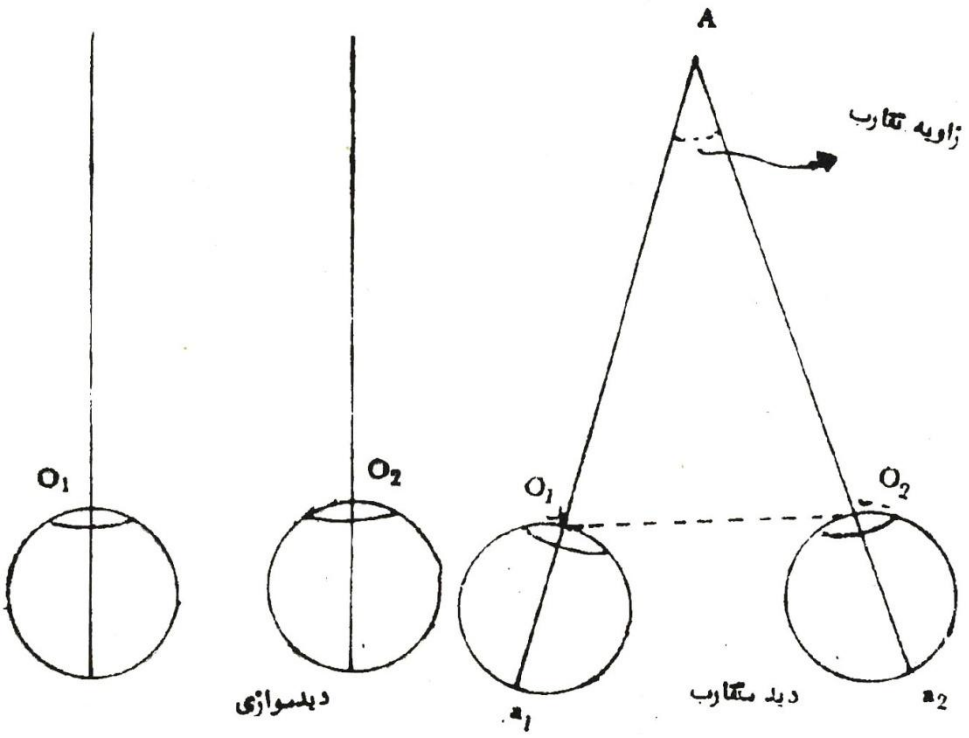
۲- برجسته بینی (stereoscopy)

برجسته بینی عبارتست از فنی که با کمک تصاویر حاصل از دید دوچشمی، دید سه بعدی ایجاد یا تقویت می گردد. هر تصویر استریوسکوپی را استریوگرام گویند که می توان آن را با کمک استریوسکوپ مشاهده کرد. روشهای استریوسکوپی به دو نوع کلی فعال و غیر فعال تقسیم می شوند. در انواع فعال، تصاویر از یک شی یا منطقه برای هر چشم مجزا بوده و هر چشم قادر است به صورت مجزا نیز تصویر مربوط به خود را مشاهده کند. اما در روشهای غیرفعال، با فیلتر کردن، بخش خاصی از تصویر به چشم مورد نظر ارسال می گردد، مانند استفاده از عینک های دید سه بعدی. در حالت عادی نیز زمانی که ما به اشیا نگاه می کنیم، دید سه بعدی یا برجسته بینی داریم. به منظور تشریح این مسئله نخست باید دید متقارب و دید موازی را تعریف کنیم.

دید متقارب (convergence): هرگاه ناظر به نقطه ای چشم بدوزد، محور چشم ها با کمک ماهیچه ها از حالت موازی خارج شده و به سمت شی می نگرد. زاویه تلاقی دو محور چشم ها با شی را زاویه تقارب گویند.

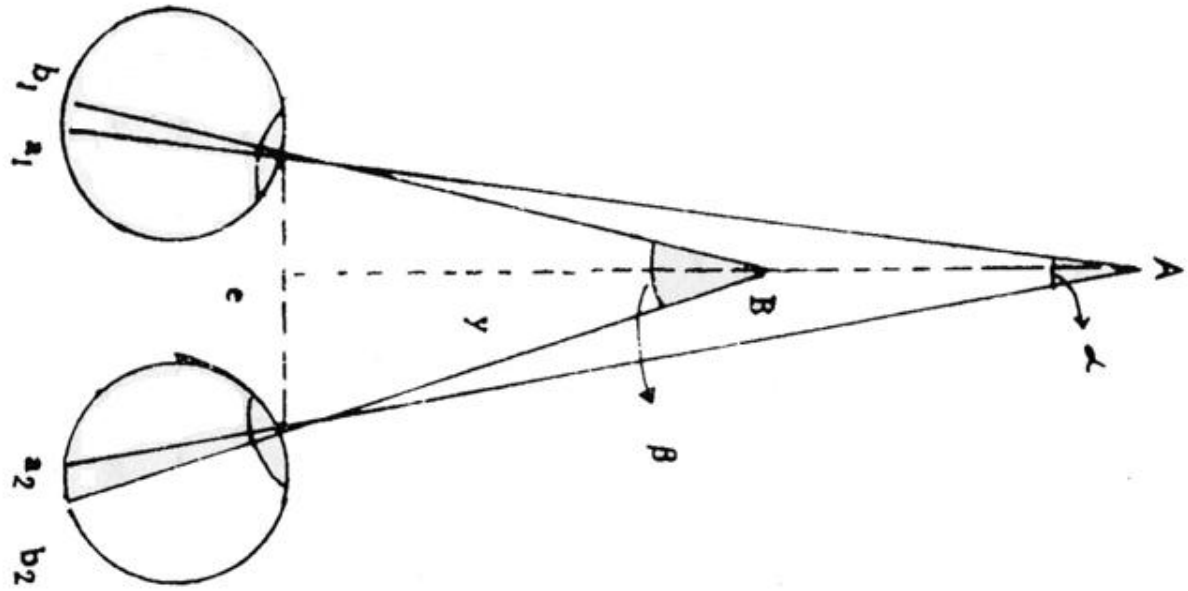
دید موازی (Parallel): هرگاه ناظر به افق خیره شود، محور چشمهایش موازی یکدیگر قرار می گیرند. در این حالت چشم ها وضع طبیعی و عادی دارند.

تطابق: هرگاه چشم ها از نقطه ای دور به نقطه ای نزدیک خیره شوند به منظور تشکیل تصویر بر روی شبکیه، عدسی چشم به کمک ماهیچه ها تغییر تحدب پیدا می کند که این کار را تطابق گویند.



دیدهای موازی و متقارب و زاویه تقارب

اساس برجسته بینی با دو چشم در اختلاف زاویه تقارب اشیا که است با دوری و نزدیکی آنها به چشم ها ارتباط دارد. همانطور که در شکل زیر دیده می شود اختلاف در زاویه های تقارب آلفا و بتا که متعلق به اشیا A و B هستند، سبب می شود تصویر آنها در نقاط مختلفی روی شبکیه تشکیل گردد و تشخیص عمق را امکان پذیر می سازد. کمترین مقدار اختلاف بین زاویه های بالا را توسط چشم سبب تشخیص عمق می گردد، حد برجسته بینی یا قدرت تفکیک استریوسکوپی گویند. این مقدار برای هر فرد ثابت بوده و مقدار کلی آن حدود ۳۰ ثانیه است. نقاط واقع در فاصله های بسیار دور، در عمل چون اختلاف تقاربشان صفر است، در یک سطح دیده می شوند، مانند ستارگان آسمان. سرنشینان هواپیما سطح زمین را از ارتفاع چهارهزار متری مسطح می بینند و فقط از روی سایه ها پستی و بلندی ها را تشخیص می دهند. به فاصله بین دو چشم، باز چشمی گویند که برای هر فرد مقدار ثابتی است.



۳- استریوسکوپ

یکی از مهمترین ابزارهای مورد استفاده در فتوژئولوژی، استریوسکوپ است. استریوسکوپ امکان مشاهده همزمان دو عکس هوایی را فراهم می کند، به گونه ای که با توجه به پوشش طولی عکس های هوایی، دو تصویر همزمان از یک منظره به دو چشم می رسد و در نتیجه برجسته بینی دو چشمی عملی می گردد.
استریوسکوپ انواع مختلفی دارد، اما پرکاربردترین آنها استریوسکوپ رومیزی است.

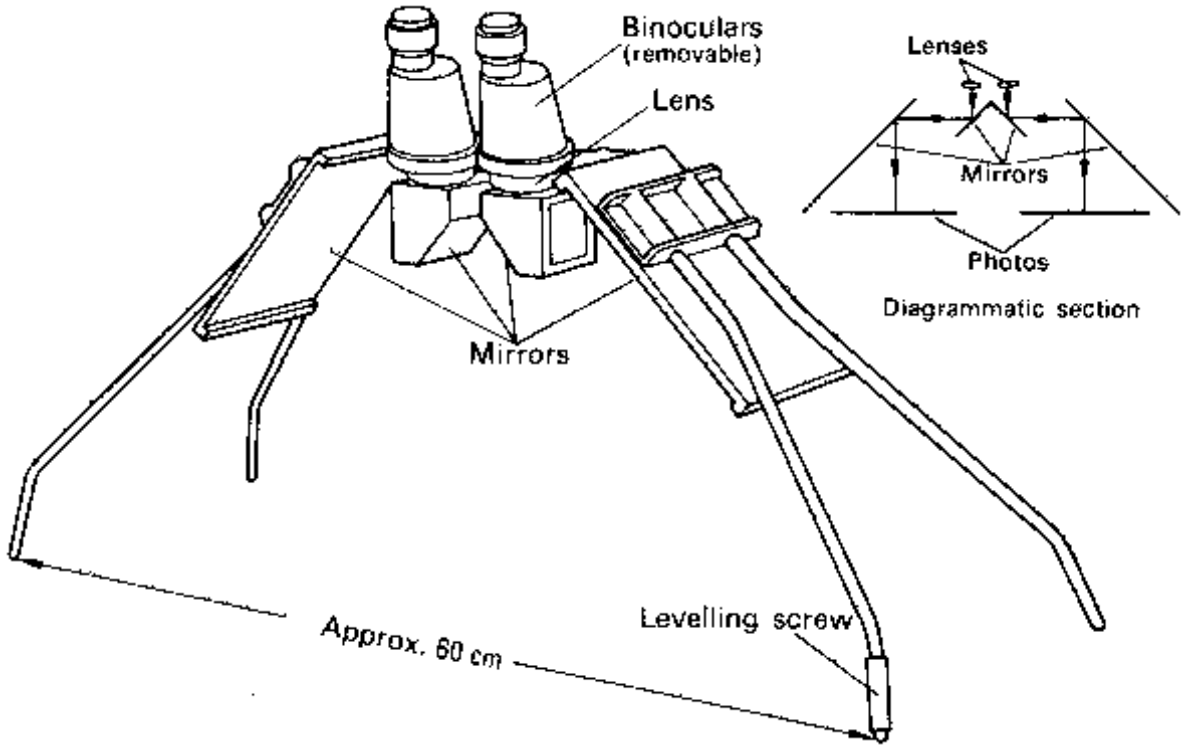
۳-۱- استریوسکوپ جیبی

ساده ترین نوع استریوسکوپ است که برای بررسی های سریع عکس های هوایی و یا کنترل در صحرا کاربرد دارد. ساختار آن متشکل از یک بدنه، پایه و دو عدسی ساده است که فاصله بین دو عدسی ممکن است ثابت و یا متحرک باشد. انواع متحرک آن برای تنظیم فاصله چشمی فرد مناسب تر هستند.

مدل قدیمی استریوسکوپ جیبی زایس

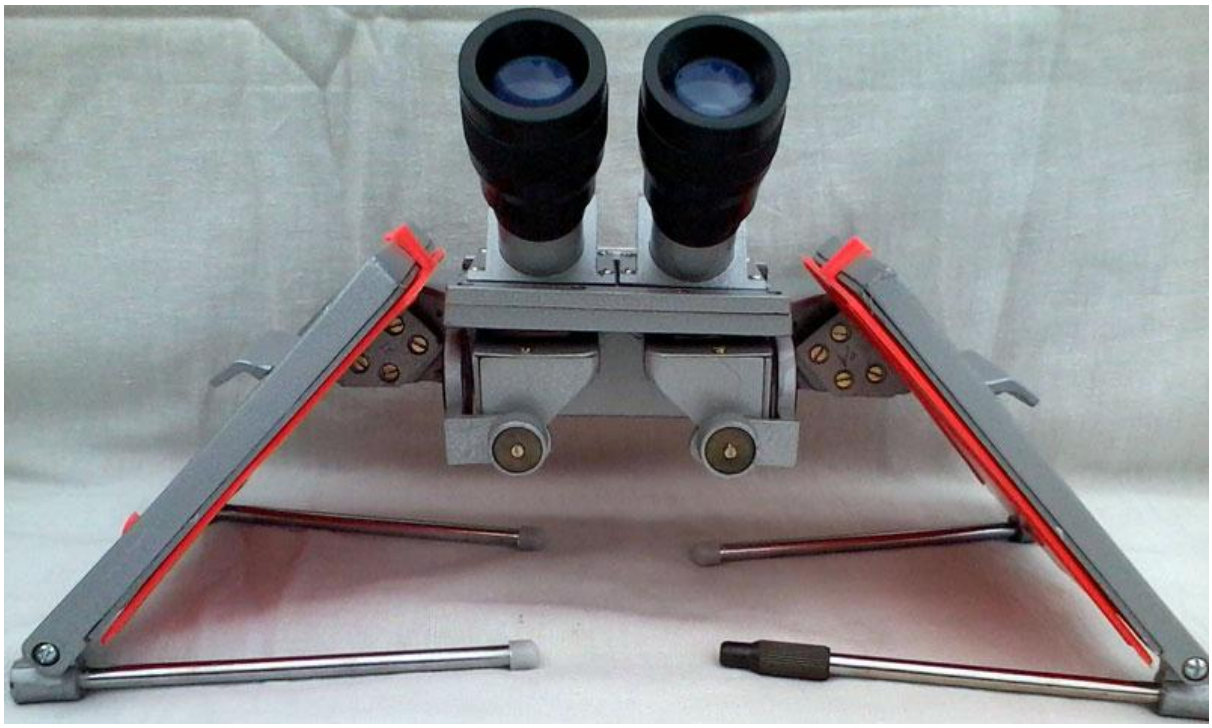
۳-۲- استریوسکوپ رومیزی

نوع کاربردی تر استریوسکوپ است. در ساختار آن دو عدسی وجود دارد که فاصله آنها از یکدیگر قابل تغییر است. استریوسکوپ با کمک پایه های خود به صورت موازی با سطح میز قرار می گیرد. تصویر دو عکس هوایی که در زیر استریوسکوپ قرار می گیرند، با کمک آینه های مورب که با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق قرار گرفته اند، به درون استریوسکوپ منتقل می شود. سپس نور از آنجا توسط دو آینه مورب دیگر و یا منشور به درون عدسی ها هدایت شده و سپس به سمت چشم خارج می گردد. این امکان وجود دارد که بر روی عدسی های فوق دو عدسی چشمی دیگر قرار داد تا بزرگنمایی و وضوح بیشتری را برای مشاهده کننده فراهم کنند. عدسی ها معمولا با کیفیت بالا استفاده می شوند. فاصله بین عدسی ها قابل تنظیم است. امکانات این نوع استریوسکوپ با توجه به مدل و قیمت آن می تواند متغیر باشد.



نمای کلی ساختار یک استریوسکوپ رومیزی

ز



یک مدل استریوسکوپ رومیزی به همراه عدسی های دوچشمی

با ورود رایانه به مطالعات زمین شناسی و امکان استفاده از نرم افزارهای سنجش از دور، امروزه انواع دیگری از استریوسکوپ ها نیز متداول شده است. برای نمونه استریوسکوپ های قابل نصب بر روی نمایشگر رایانه های شخصی یا همراه که امکان بررسی و تفسیر رقومی و همزمان را در نرم افزارهای سنجش از دور (نرم افزارهایی مانند PC Geomatica, ERDAS) فراهم می کند.

در کاربرد استریوسکوپ های رومیزی گاه ممکن است خطایی در مشاهده سه بعدی تصاویر ایجاد شود که به آن سودوسکوپی گویند. اگر محل قرار گرفتن دو عکس جابجا شود به گونه ای که اختلاف پارالاکس بین نقاط آنها معکوس گردد، در هنگام مشاهده عکس های زیر استریوسکوپ دید سودوسکوپی بوجود می آید یعنی بلندی ها به صورت مناطق پست و دره ها به صورت مناطق مرتفع دیده می شوند. اگر حتی یک عکس بگونه ای قرار گیرد که جهت سایه مخالف جهت ناظر باشد، یعنی سایه ها از ناظر دور شوند، می تواند این حالت رخ دهد که برای اصلاح باید عکس ۱۸۰ درجه چرخانده شود. در دید سه بعدی اختلاف

پارالاکس بر سایر عوامل موثر برتری دارد، لذا برخی اشخاص جهت سایه ها هر طور که باشد، با سودوسکوپی مواجه نمی شوند.

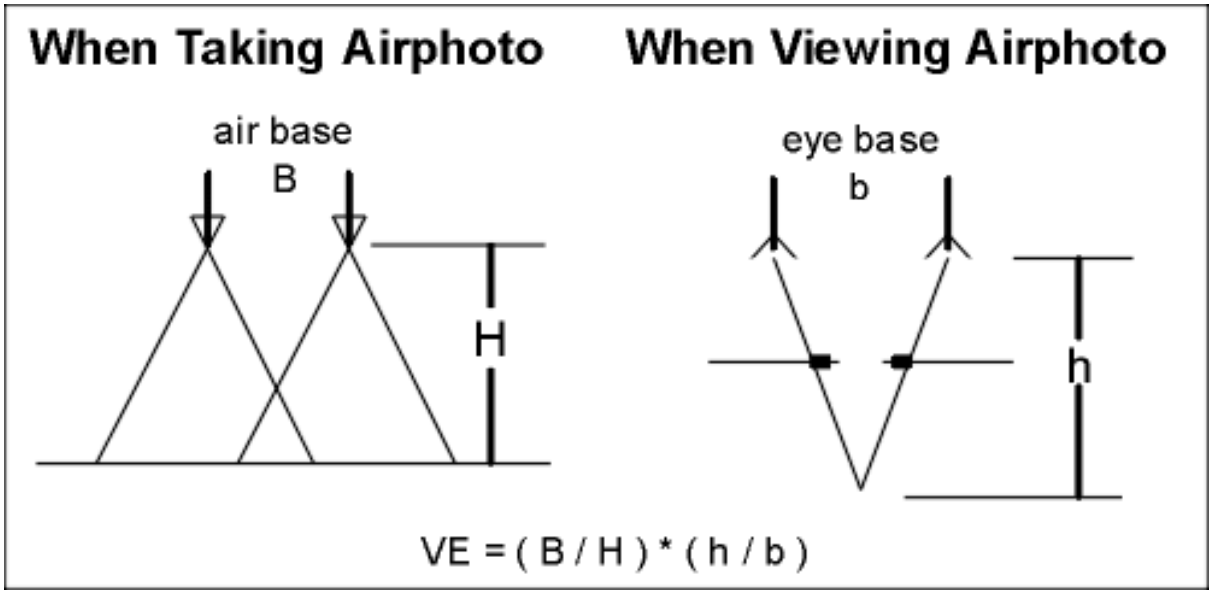
نمونه هایی از استریوسکوپ های نصب شده بر روی نمایشگر رایانه

٤- استریومتر

یکی از ابزارها که در مطالعه عکس هوایی به ویژه برای بررسی های فتوگرامتری کاربرد دارد استریومتر است. استریومتر یا پارالاکس بار وسیله ای است که برای اندازه گیری پارالاکس یک نقطه در زیر استریوسکوپ مورد استفاده قرار می گیرد.

۵- اغراق ارتفاعی

افزایش باز چشم سبب افزایش اختلاف پارالاکس (در اثر تغییر زوایای تقارب) و در نتیجه احساس عمق بیشتر می شود. از دید یک انسان عادی اشیا در فاصله دورتر از ۴۲۷ متر فاقد تصویر سه بعدی هستند (دید موازی)، اما از دید همین فرد در زمان عکسبرداری هوایی، باز چشم او همان باز طبیعی نبوده بلکه باز هوایی است. در عکس های هوایی با پوشش ۶۰٪، باز فضایی بزرگ بوده و در نتیجه در مقیاس قائم اغراق وجود دارد. به عبارتی مقیاس قائم عکس بزرگتر از مقیاس افقی است. این سبب می شود عوارض و ارتفاعات تفکیک بهتری پیدا کنند. در عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ که با عدسی با فاصله کانونی ۱۵ سانتی متر گرفته شده است، تا ۱ متر اختلاف ارتفاع را می توان تشخیص داد. بنابراین اغراق متاثر از نسبت باز فضایی به ارتفاع پرواز (B/H) است. در هنگام مشاهده استریوسکوپی می توان با افزایش فاصله عکس ها اغراق را بیشتر کرد. عوامل موثر بر اغراق شامل عوامل مربوط به عکس (باز فضایی، فاصله کانونی و ارتفاع پرواز) و عوامل مربوط به استریوسکوپ (فاصله استریوسکوپ از عکس، فاصله دو عکس و باز چشمی) می باشند. با تقریب بسیار خوب می توان اغراق ارتقاعی را از فرمول شکل زیر محاسبه کرد.

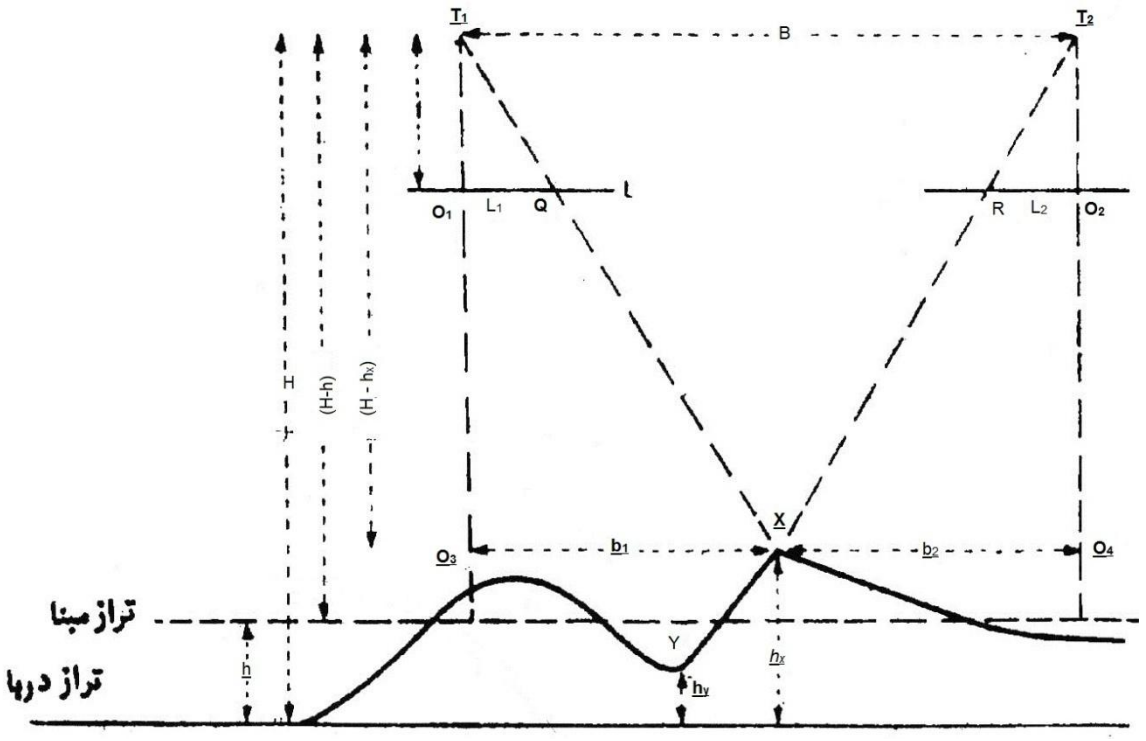


تفاوت باز چشمی در هنگام مشاهده عکس هوایی با استریوسکوپ

برای مثال برای عکس هوایی با مقیاس ۱:۳۰۰۰۰ که در ارتفاع ۳۰۰۰ پایی برداشت شده و پوشش طولی آن ۶۰٪ است، با فرض نسبت باز چشمی به ارتفاع استریوسکوپ از عکس برابر با ۰.۱۵، اغراق ارتفاعی در حدود ۲ خواهد بود.

۵- اندازه گیری اختلاف ارتفاع

همانطور که پیش از این بیان شد، اختلاف پارالاکس برای تعیین اختلاف ارتفاع بین نقاط بر روی عکس هوایی کاربرد دارد. در شکل زیر در نقطه x و y بر روی ارتفاعات فرضی انتخاب شده است. دو عکس در نقاط T1 و T2 برداشت شده که نقاط مذکور را ثبت کرده اند. به منظور تعیین اختلاف ارتفاع بین نقاط فوق می توان از قانون تشابه مثلث ها بین مثلث های T1O3X با T1O1Q و همچنین مثلث T2O2R با مثلث T2O4X استفاده کرد.



براساس قانون تشابه مثلث ها می توانیم بنویسیم:

T_1O_1 و T_2O_2 برابر با فاصله کانونی عدسی دوربین (f) هستند و همچنین O_1Q برابر با L_1 و O_2R برابر با L_2. با جایگذاری مقادیر فوق در رابطه های فوق داریم:

می دانیم $P_x=L_1 + L_2$

$$Px = \frac{fb_1}{(H-h_x)} + \frac{fb_2}{(H-h_x)} = \frac{f(b_1+b_2)}{(H-h_x)}$$ بنابراین

با توجه به اینکه $B=b_1 + b_2$

$$Px = \frac{fB}{(H-h_x)}$$ پس

در نتیجه

اگر h حد واسط h_x و h_y باشد و تفاوت بین h_x و h_y در مقایسه با H اندک باشد با جاگذاری $(H-h)^2$ به جای $(H-h_x)(H-h_y)$ خواهیم داشت:

چون فاصله بین مراکز عکسی (W) برابر است با $W=BS$

$$B=\frac{w(H-h_x)}{f}$$

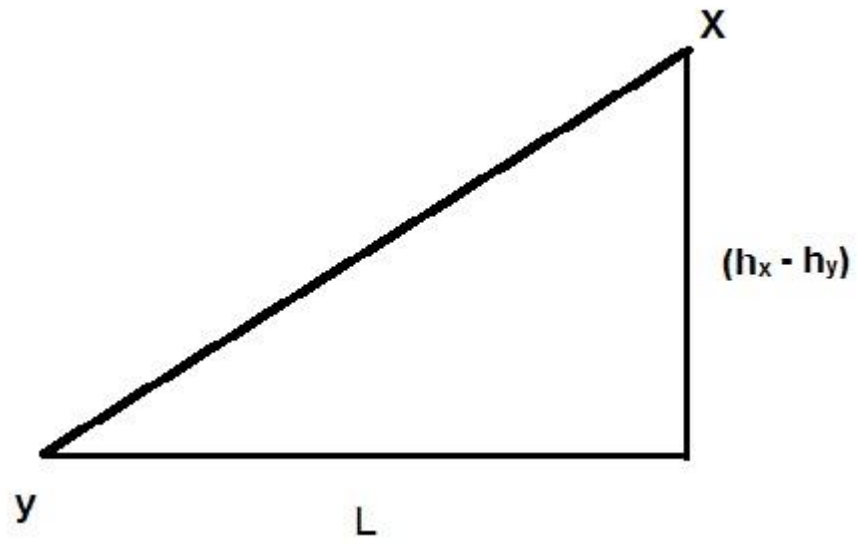
البته اگر $(h_x - h_y)$ بیش از سه درصد ارتفاع پرواز باشد (به عبارتی در مناطق با اختلاف ارتفاع زیاد و عکس هایی که در ارتفاع کم برداشت شده اند) رابطه زیر ترجیح داده می شود:

یا

بر این اساس، با تعیین نقاط متعدد بر روی عکس هوایی و اندازه گیری اختلاف پارالاکس بین نقاط با کمک استریومتر، از رابطه های فوق می توان اختلاف ارتفاع را بین نقاط مختلف بدست آورد و سپس با دانستن ارتفاع دقیق یک نقطه مرجع، نقشه توپوگرافی منطقه را با داده های بدست آمده و با کمک نرم افزارهایی مانند *Surfer* رسم کرد.

٦- اندازه گیری شیب روی عکس هوایی

در شکل زیر در نقطه x و y روی عکس هوایی را تصویر می کند که می خواهیم شیب توپوگرافی بین این دو نقطه را بدست آوریم. L فاصله افقی بین دو نقطه روی زمین است. C نیز میانگین فاصله بین دو نقطه که روی عکس اندازه گیری می شود. a زاویه شیب است



P اختلاف پارالاکس دو نقطه x و yاست. اگر دو نقطه مذکور رخنمونی از یک لایه باشند، در صورتی که از پیوسته بودن لایه مطمئن باشیم، شیب ظاهری لایه را می توان از این طریق بدست آورد.

فصل چهارم:

پیشنیاز تفسیر عکس های هوایی

تفسیر عکس های هوایی به مجموعه مطالعات بصری یا اندازه گیری ها بر روی عکس هوایی گفته می شود که نتیجه آن تهیه نقشه اولیه یا نقشه فتوژئولوژی است. به منظور تفسیر عکس هوایی از اطلاعات مختلفی که بر روی عکس وجود دارد استفاده می شود. در عکس‌های هوایی سیاه و سفید، اطلاعات به صورت تن ثبت می شود. علاوه بر تن، الگوی پستی و بلندی ها، الگوی آبراهه ها و رودخانه ها، پوشش گیاهی، بافت رخنمون ها، ساختارهای زمین شناسی، خاک، سازه های بشری و عوارض جغرافیایی از جمله دیگر اطلاعاتی هستند که بر روی عکس های هوایی ثبت شده و مورد استفاده قرار می گیرند.

٤-١- تن

تن در عکس های سیاه و سفید به صورت درجه ای از خاکستری است که بین دو رنگ انتهایی سیاه و سفید قرار دارد. از آنجا که چشم انسان قادر است تغییرات جزیی تن خاکستری را شناسایی کند، از این عامل به عنوان ابزاری موثر جهت تفسیر عکس های هوایی استفاده می شود. با این وجود، اسن عامل نیز حد و مرزی دارد و محدودیت های خود را در تفسیر دارد. وجود گرد و غبار در هوا، عرض جغرافیایی، زاویه انعکاس نور، حساسیت فیلم و فیلترگذاری بر تن عکس اثر دارند. از اینرو اعتقاد بر اینست که برای تن باید مقیاس یا استانداردی قائل شد تا معیاری برای سنجش بدست آید. هرچند برخی از پدیده های ذکر شده با کنترل زمان و کیفیت عکسبرداری قابل رفع هستند. علاوه بر این عواملی چون وجود پوشش گیاهی، رطوبت، هوازدگی و خاک نیز بر تن موثرند. در تفسیر فتوژئولوژی، تن بیشترین کاربرد را در تفکیک و تفسیر واحدهای سنگ شناسی دارد که البته این تفسیر برای همه انواع سنگها کاربرد یکسانی ندارد. برای مثال اگرچه ممکن است تفسیر سنگهای رسوبی با کمک تن اطلاعات خوبی در اختیار ما قرار دهد، اما این عامل برای تفسیر سنگ شناسی سنگ های دگرگونی کارایی چندانی ندارد. **در عمل برای تفسیر سنگ شناسی کاربرد تن باید به همراه دیگر عوامل از جمله الگوی زهکشی، وضعیت پستی و بلندی و بافت صورت گیرد.**

با توجه به مطالب فوق برخی اصول کلی نیز وجود دارند.

- در عکس هوایی از مناطق پوشیده از سنگهای آذرین، هرچه تن توده آذرین تیره تر باشد، ترکیب سنگ آذرین بازیک تر است و برعکس.

- سنگهای رسوبی دارای لایه بندی مانند سنگ گچ، سنگ آهک (بیشتر در مناطق گرم و خشک)، شیست ها، کوارتزیت و توده های نمکی دارای تن رنگی روشن تا سفید هستند در حالیکه شیل ها، اسلیت، ماسه سنگ و غیره تن های خاکستری متوسط تا تیره دارند.

عامل تن خود می تواند براساس یکنواختی (*uniformity*)، تغییرات، و تیز و برجسته بودن مرز (*sharpness*) دسته بندی شود. جدول زیر برخی از رابطه های نسبی موجود بین تن و ویژگی های خاک یا سنگ را نشان می دهد.

ویژگی تن	ویژگی سنگ یا خاک
الف. تغییرات تن	
سفید	خاکهای خوب زهکشی شده دانه درشت و خشک مانند ماسه و شن
خاکستری روشن	خاک دانه درشت به همراه مقداری خاک دانه ریز که اندکی ماده آلی دارد
خاکستری متوسط یا کدر	خاک دانه ریز با نیمرخ خوب توسعه یافته و ماده آلی، زهکشی ضعیف
خاکستری تیره یا سیاه	زهکشی داخلی ضعیف/ یا بالا بودن سطح آب زیرزمینی، درصد ماده آلی بالا، بافت دانه ریز غالب است.
ب. یکنواختی تن	
یکنواخت	معمولا در رسوبات رودخانه ای، دریاچه ای و سنگ های رسوبی ضخیم لایه دیده می شود. نشان دهنده بافت و رطوبت یکنواخت است.
ابری یا لکه دار (*motted*)	نشان دهنده تغییرات مهم در رطوبت یا بافت خاک است. تن تیره تر نشان دهنده فرونشست ها و تن های روشن تر مناطق خشک تر. دشت های ساحلی، پهنه های رسوبات یخچالی (تیل)، سنگ آهک در مناطق مرطوب و حوضه های نفوذ در پادگانه ها، دشت سیلابی همگی چنین حالتی را نشان می دهند.
نواری	در مناطقی که تغییرات واضح در بافت خاک یا سنگ و زهکشی یا رطوبت به صورت نواری رخ می دهد دیده می شود. در خاک های حمل شده، تن های نواری نشان دهنده مناطق خشک و تر از جمله در مئاندر رودخانه ها در دشت سیلابی، کانال های برون ریز قدیمی، ریپل مارک ها در رسوبات دریاچه ای، تلماسه های خطی و سنگهای رسوبی دارای لایه بندی یا سنگ های دگرگونی دارای برگوارگی شدید است.
خط خطی	در مناطق خشک رایج بوده که نهشته های آلکالی در آن وجود دارد.

	الگوی آن نامنظم، بلوکی و ریزبافت است. گدازه های جوان نیز می توانند چنین طرحی داشته باشند.
پ. برجسته بودن مرز تن	
واضح، متمایز	نشان دهنده تغییر سریع رطوبت خاک به ویژه در خاک های درشت دانه با نفوذپذیری بالا و زهکشی سریع است.
تدریجی	مرز نامشخص تدریجی با تن روشن و تیره نشان دهنده خاک ریزدانه با تغییر تدریجی در رطوبت خاک است.
خاکستری تیره، سیاه	مارن قرمز، ماسه سنگ قرمز، گدازه با ترکیب بازیک تا حدواسط، سنگهای آذرین بازیک، الترابازیک، کنگلومرا با اجزای تیره، زغال، آسفالت طبیعی و تورب.

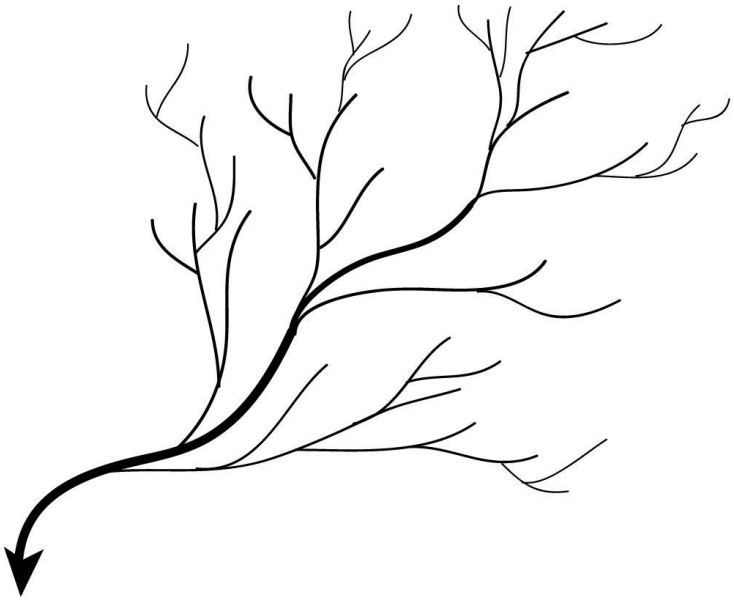
٤-٢- پستی و بلندی‌ها

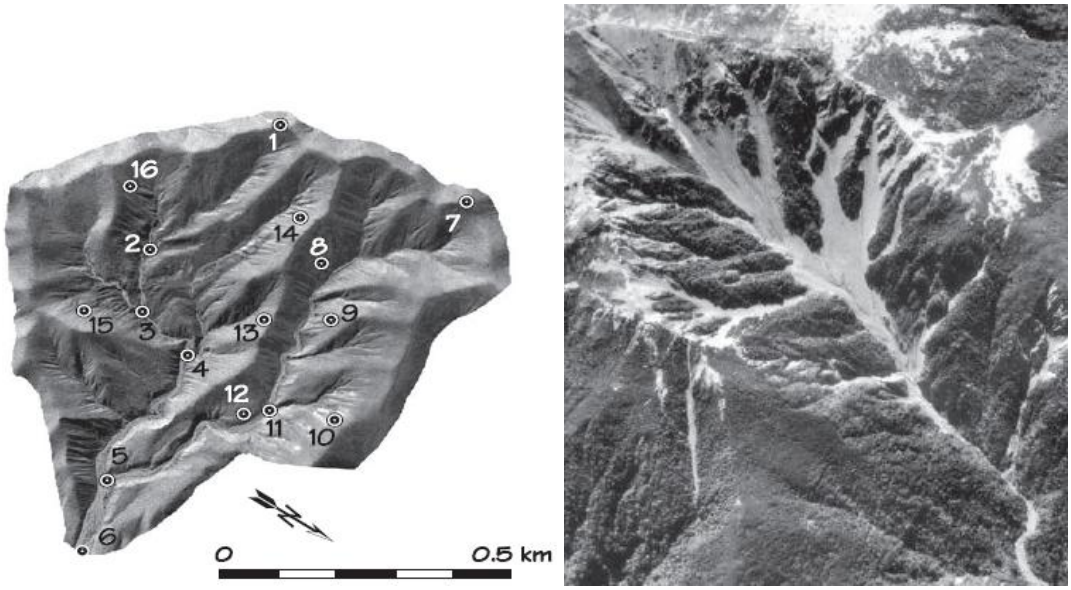
پستی و بلندی‌ها یا به عبارتی ناهمواری‌های سطح زمین محصول فرایندهای کوهزایی است که در دوره‌های مختلف زمین شناسی فعال بوده اند. در این مناطق واحدهای سنگی در اثر گسلش و چین خوردگی در سطح زمین رخنمون پیدا کرده و سپس در اثر عملکرد عوامل فرسایشی، اشکال متنوعی به خود می گیرند. یکی از پارامترهای موثر در ریخت شناسی پستی و بلندی ها، مقاومت سنگها در برابر فرسایش است. به طور کلی سنگهای مختلف مقاومت متفاوتی در برابر عوامل فرسایش دارند، هرچند اقلیم نیز در این مسئله نقش اساسی دارد و گاه سبب تغییر رفتار مقاومتی سنگها در برابر فرسایش می شود. برای مثال در مناطق کوهستانی واقع در اقلیم های گرم و خشک، سنگ آهک سنگی مقاوم در برابر فرسایش است که اغلب طرح ارتفاعات ستیغ ساز و صخره مانند را ایجاد می کند، اما همین سنگ در مناطق گرم و مرطوب به شدت انحلال پذیر بوده و مقاومت چندانی در برابر فرسایش آبی ندارد.

٤-٣- الگوی آبراهه‌ها و رودخانه ها

الگوی آبراهه ها یا الگوی زهکشی انواع مختلفی دارد که تشکیل آن در هر منطقه متاثر از ویژگی های سنگ بستر است. البته علاوه بر الگو، پارامتر تراکم آبراهه ها نیز مهم است.

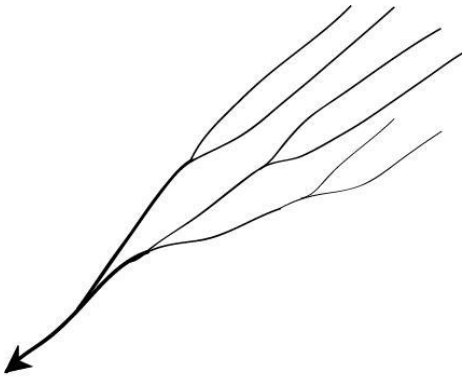
- الگوی شاخه درختی: این نوع الگو بیشتر در رسوبات افقی یا سنگ بسترهای مقاوم و همگن در دامنه هایی تشکیل می شود که شیب ملایم دارند. الگوی شاخه درختی می تواند حالت ساده یا پیچیده داشته باشد. معمولا این نوع الگو در بسترهایی تشکیل می گردد که هیچ سطح ضعف ساختاری و هیچ میان لایه نامقاومی که به آسانی فرسوده شود وجود ندارد. دامنه های کم شیب و مناطق پوشیده از ماسه ، سیلت و رس و شن نامتراکم، دامنه های کم شیب پوشیده از شیل ریزدانه، توف، سنگ بستر مقاوم و همگن، سنگهای دگرگونی درجه بالا و سنگهای افقی مستعد تشکیل این نوع آبراهه هستند.

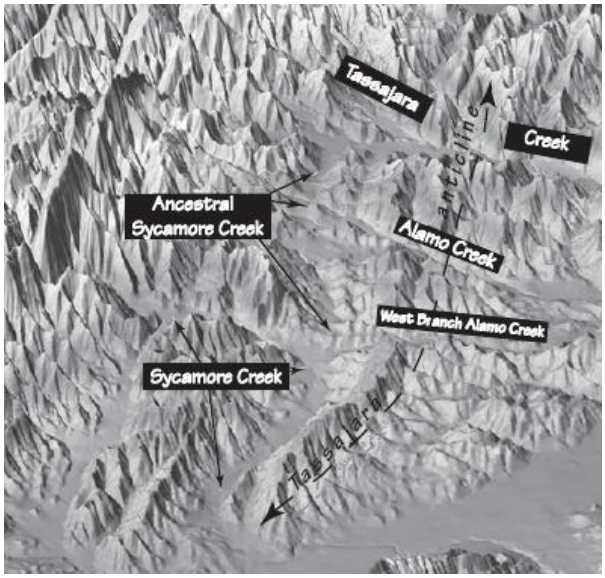




شکل کلی الگوی شاخه درختی در بالا، پایین سمت راست نوع ساده، سمت چپ نوع پیچیده

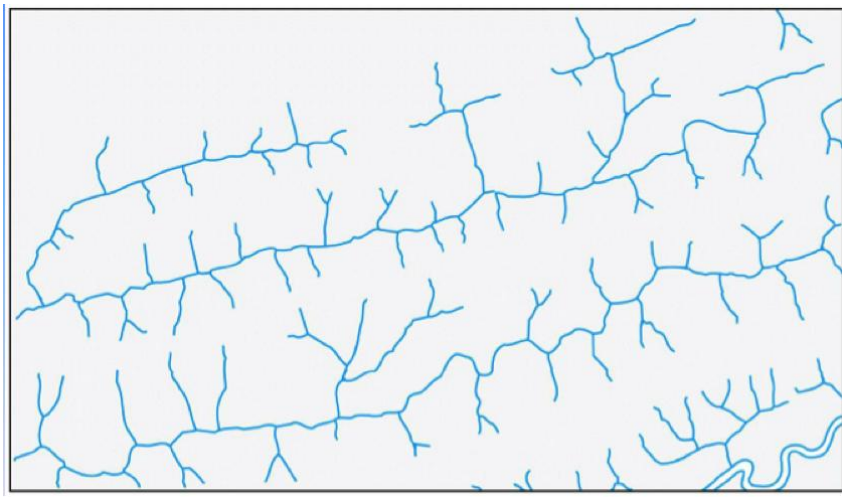
- الگوی موازی: در دامنه های با شیب متوسط تا تند که بستری از نهشته های ریزدانه یا سنگ بستر دارای شکستگی دارند و یا در مناطقی با اشکال طویل مانند تلماسه های طولی، تشکیل می شود. در مناطق خشک این الگو می تواند بازتاب کننده دامنه های وسیع شاخص دشتهای آبرفتی باشد. ، با ورود آبراهه به مناطق خشک آب خود را از دست داده و رسوبات شان را ته نشین می کنند. دامنه های پرشیب مانند آنچه در دشتهای ساحلی یا پشته های طویل دیده می شود مستعد تشکیل این نوع الگو هستند.

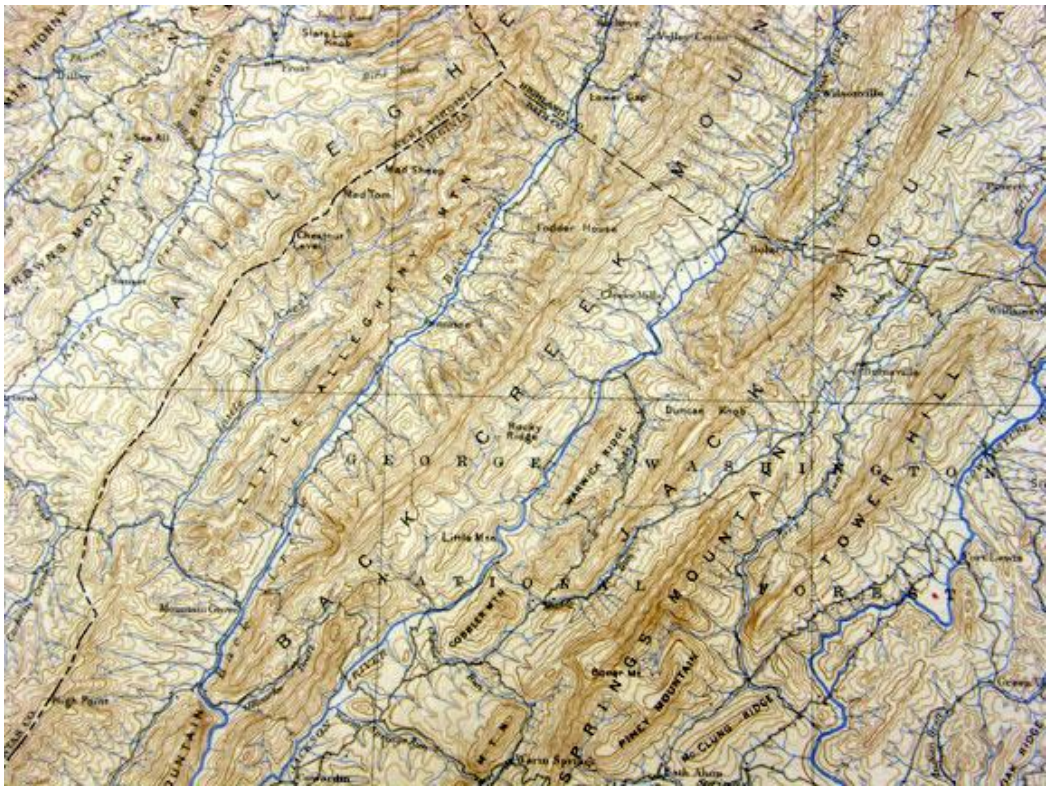




آبراهه نوع موازی در بالا، پایین سمت راست آبراهه نوع موازی در دامنه پرشیب. سمت چپ، آبراهه های نوع موازی (نامگذاری شده) از چپ به راست که در راستای شکستگی های بزرگ (گسل) سنگ بستر تشکیل شده اند.

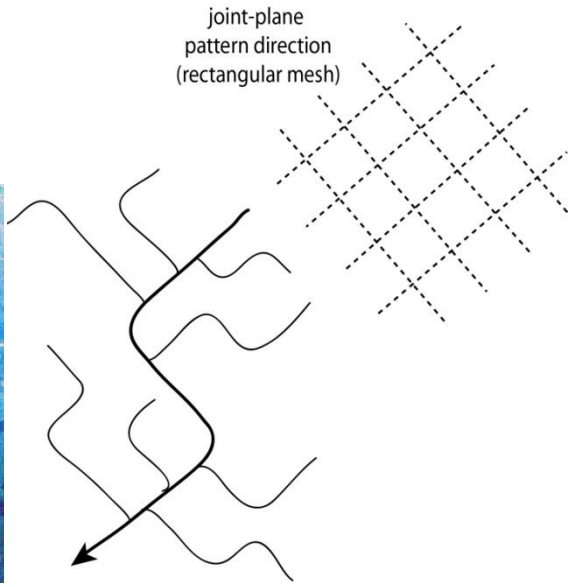
- آبراهه نوع نردبانی: در سنگ بسترهای شیبدار یا چین خورده تشکیل می شود. در این نوع آبراهه، شاخه های فرعی با زاویه ۹۰ درجه به آبراهه های اصلی متصل می شوند. تفاوت آن با آبراهه نوع عمود بر هم اینست که آبراهه های اصلی در نوع نردبانی موازی هم و آبراهه های فرعی آن شبیه به پله های یک نردبان به نظرمی رسند. این نوع آبراهه در تضاد با نوع شاخه درختی در مناطقی شکل می گیرد که تفاوت در مقاومت سنگ ها یا ساختارهای کنترل کننده سبب هدایت تشکیل رودخانه به روندهای خاص می گردد و شاخه های فرعی نسبت به روندهای اصلی تقریبا عمود قرار می گیرند. چین های موازی با مقاومت متفاوت در لایه ها و سنگهای رسوبی شیبدار مستعد تشکیل این نوع آبراهه هستند.



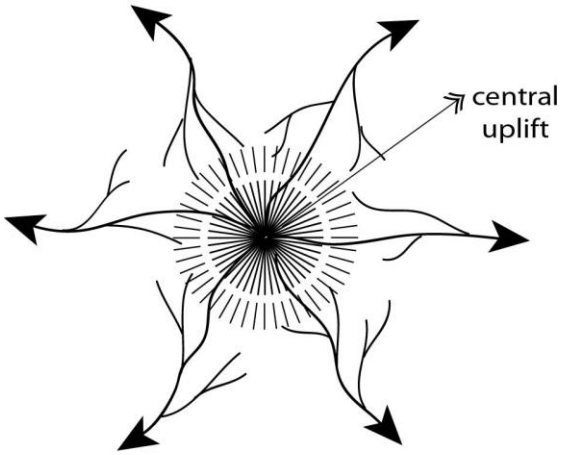


الگوی آبراهه نردبانی

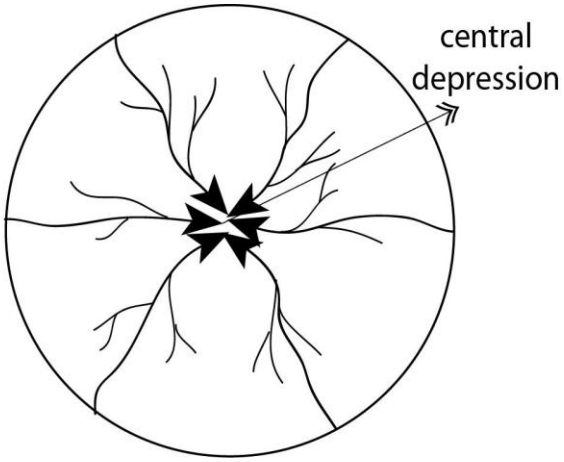
- نوع عمود بر هم: در سنگ بسترهای درزه و شکستگی دار تشکیل می شود. به تفاوت این الگو با نوع نردبانی توجه کنید. بیشتر در تقاطع درزه ها و گسلها تشکیل می گردد. سنگ بستر همگن و گسترده یا سنگ رسوبی مقاومی که دارای درزه و گسل باشد مستعد تشکیل این نوع آبراهه است. گاه به صورت ترکیبی با آبراهه نوع شاخه درختی دیده می شود.



شعاعی: این الگو که در آتشفشانها، گنبدها یا حوضه ها تشکیل می گردد نشان دهنده منطقه ای است که بطور یکسان به سمت داخل یا خارج شیب دارد. در حوضه ها (مانند کراتر، دهانه های برخورد شهاب سنگ) آبراهه ها به سمت داخل شیب دارند اما در گنبدها (نمکی یا آتشفشانی) و آتشفشان ها به سمت خارج شیب دارند.



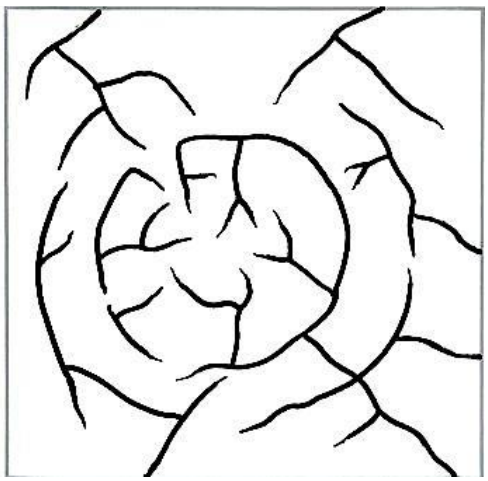
Radially outward



Radially inward

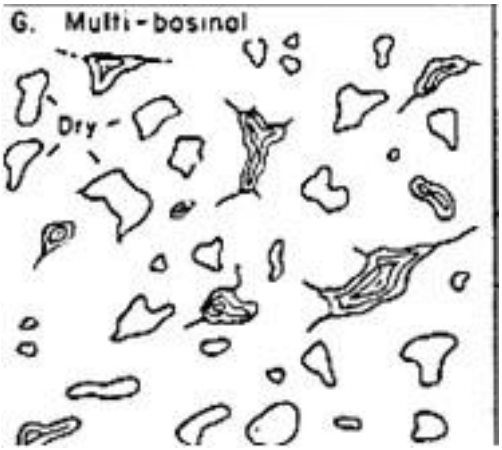
الگوی آبراهه شعاعی در قله کوه های آتشفشان سنت هلن و دماوند

-الگوی حلقوی: در مناطقی که تشکیل می گردد که ریخت سطح زمین به صورت گنبد و حوضه است. بطور کلی گنبدهایی که دچار بریدگی شده و همچنین در توده های آذرین درونی که دچار شکستگی های حلقوی (پوست پیازی) شده اند نیز محتمل است.



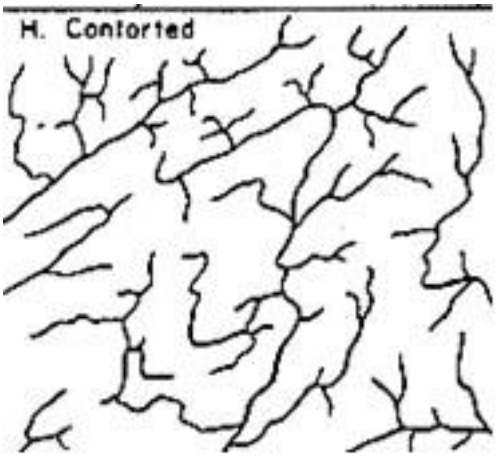
الگوی حلقوی، از یک گنبد در موریتانی

- الگوی چند حوضه ای که در زمینهای یخچالی هموار یا کارست ها تشکیل می گردد.

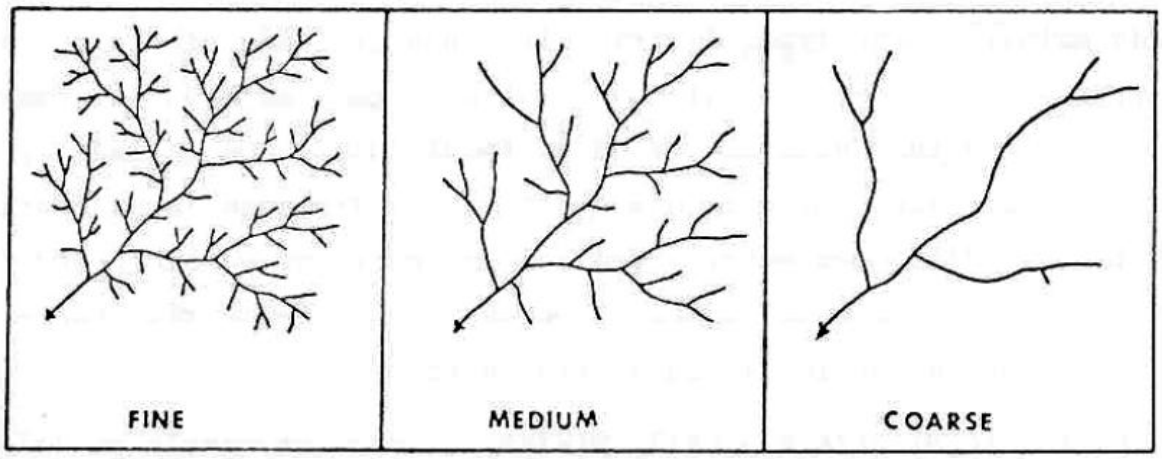


الگوی چند حوضه ای یا نامنظم، پایین الگوی زهکشی در یک چشم انداز کارستی

- الگوی کنتوربندی شده که در زمینهای دگرگون دیده می شود.



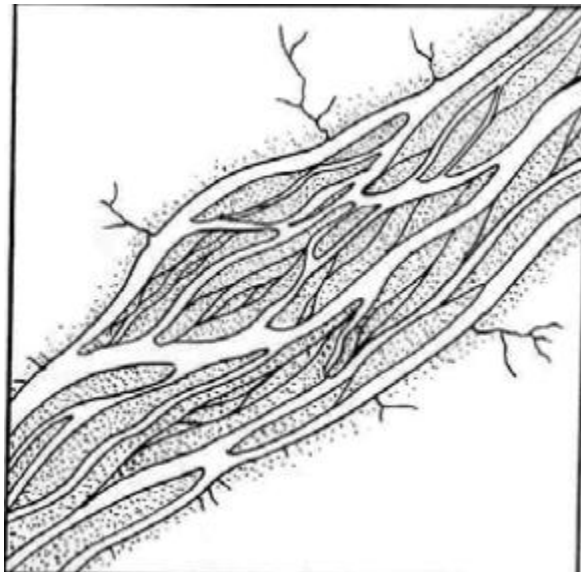
صرف نظر از اینکه یک الگوی آبراهه های از چه نوع باشد، از نظر تراکم می تواند به سه دسته ریزبافت؛ متوسط و درشت بافت طبقه بندی شود.



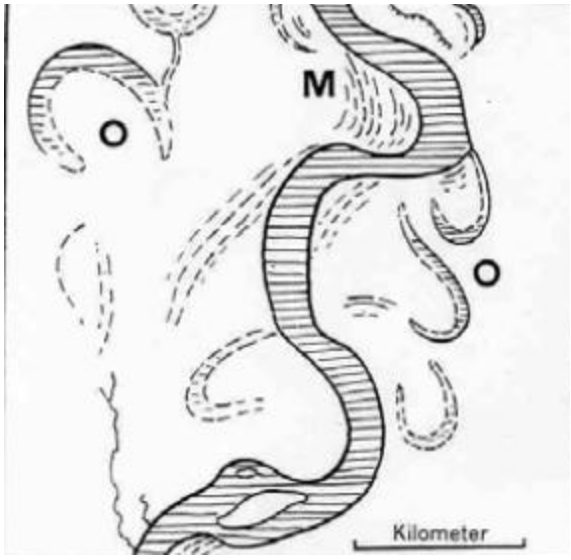
بافت آبراهه ها به طور مستقیم به نفوذپذیری بستر باز می گردد. مواد با نفوذپذیری بالا به بافت درشت می انجامند چون آب به سمت پایین و سفره های آب زیرزمینی زهکشی می شود و برعکس. موادی مانند ماسه سنگ دانه درشت، ماسه، مخلوط رسوب ماسه و شن و سنگ آهک چنین ویژگی دارند. مواد دانه ریز مثل رس سنگ و شیل نفوذپذیری پایینی دارند در نتیجه بافت آبراهه ها بر روی آنها ریز می شود.

برخی از انواع الگوها در واقع متعلق به رودخانه های بزرگ هستند که شامل رودخانه های نوع گیسویی و مئاندری می شود. البته رودخانه های مستقیم نیز دسته دیگری است.

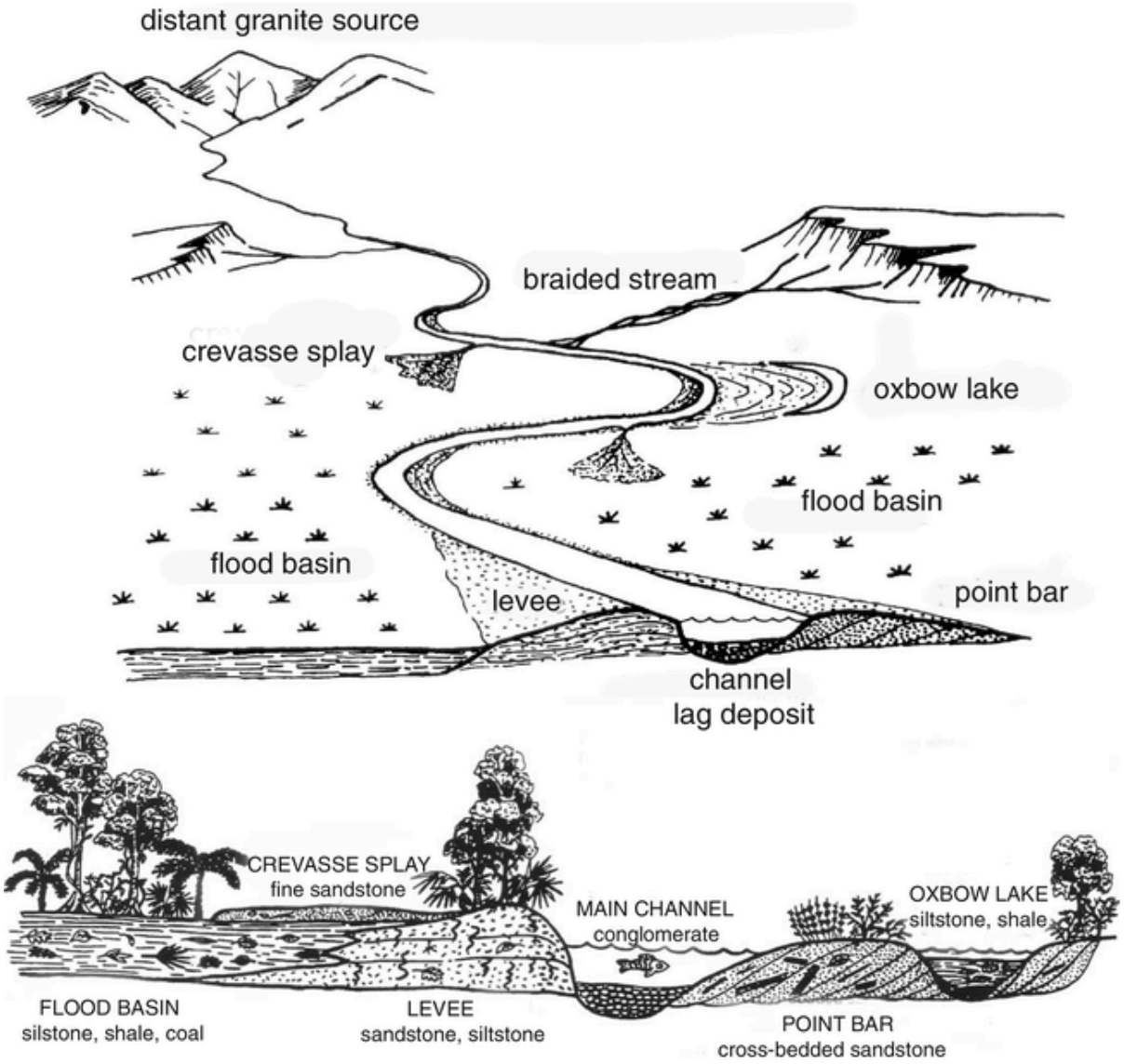
- رودخانه های گیسویی: نوع رودخانه بیشتر تحت کنترل میزان دبی و سرعت آب رودخانه و بار رسوب آن است. رودخانه های گیسویی در شرایطی تشکیل می شوند که رودخانه های بزرگ در خروج از کوهستان به دشت با یکدیگر پیوند می خورند. سرعت آب در این نوع رودخانه ها بیشتر از انواع مئاندری است.



- رودخانه های مئاندری: رودخانه هایی پیچشی یا مئاندری که با حجم آب بالا اما سرعت کم در دشتها جریان داشته و معمولا در اطراف خود یک دشت سیلابی وسیع دارند. مجموعه رسوبات، رودخانه و دشت سیلابی می توان یک الگوی آناستوموزی داشته باشد که در آن کانالهای رها شده، دریاچه های شاخ گاوی شکل و پشته های مئاندری منظره ای جالب پدید می آورند.



طرح آناستوموزی یک رودخانه مئاندری



کارتونی از اجزای یک رودخانه مئاندری و برش عرضی از نوع رسوباتی که در آن می تواند تشکیل شود. توجه کنید که رودخانه مئاندری در بالادست از کوهستان به صورت رودخانه گیسویی جدا شده و سپس به رودخانه مئاندری تبدیل شده است.

٤-٤- پوشش گیاهی

هرچند پوشش گیاهی در شناسایی برخی موارد به زمین شناسان کمک می کند، اما چنانچه منطقه ای پوشش گیاهی متراکم به ویژه جنگلی داشته باشد، عملا مطالعه عکس هوایی اطلاعات اندکی در اختیار زمین شناس قرار می دهد. گاه کاربرد عکس هوایی برای مطالعات پوشش گیاهی منطقه است. در برخی موارد امکان تفکیک نوع پوشش گیاهی از قبیل زمین زراعی، مرتع، بوته زار، جنگل تنک، جنگل انبوه و

غیره و همچنین تشخیص برخی از انواع گیاهان با کمک عکس های هوایی به ویژه با مقیاس بالا امکان پذیر است. هرگاه ترکیب کانی شناسی سنگ بستر بر ترکیب، بافت و ویژگی های دیگر خاک تاثیر بگذارد، تطابقی بین پوشش گیاهی و نوع سنگ قابل برقراری است. گونه های خاص گیاهان در زمینهای خاصی رشد می کنند. نوع و تراکم پوشش گیاهی نیز تحت تاثیر اندازه و موقعیت دامنه است که در شدت انرژی دریافتی دامنه ها ریشه دارد. دامنه های شمالی و جنوبی تفاوت رشد گیاهی دارند. اندازه دامنه تابع جنس سنگ بستر و ساختار است. سنگ بستر دامنه را تعیین می کند، دامنه بر خاک تاثیر می گذارد، سنگ بستر بر جنس خاک تاثیر دارد و خاک و دامنه بر گیاه تاثیر می گذارند و تنها تفاوت در پوشش گیاهی است که در عکس هوایی به چشم می خورد.

فروچاله ها در سنگ آهک در مرکز خود تیره تر دیده می شوند چون تجمع ذرات رس و سیلت در آنها در اثر شستشوی سنگهای کربناته و نوع پوشش گیاهی متفاوت، رخ می دهد. در امتداد گسلها ممکن است تجمعی از پوشش گیاهی رخ دهد که با تن تیره تر در یک روند بروز می کند.

٤-٥- خاک و پوشش رسوبی

وجود رخنمون خاک (و رسوب) سبب می شود مطالعه عکس هوایی به تهیه نقشه فتوژئولوژی نهشته های سطحی محدود گردد. در کشورهای پیشرفته بین نقشه های زمین شناسی سنگ بستر و نقشه زمین شناسی سطحی تفاوت قائل می شوند. در نتیجه در مناطقی که پوشش خاک گسترده است، تهیه نقشه زمین شناسی سنگ بستر با عکس هوایی غیرممکن است و نیاز به مطالعات زیرسطحی دارد. البته یکی از کاربردهای عکس هوایی در ارتباط با مطالعه خاکها است. در اینجا منظور از واژه خاک لایه ای از مواد سنگی نامتراکم است که بر روی سنگ بستر واقع است. پوشش رسوبی ممکن است شامل قطعات سنگ بستر، ذرات هوازده و غیرهوازده با ترکیبات مختلف، مواد حمل شده از مناطق دیگر توسط باد، آب، یخچال یا گرانش باشد. پوششی که از مواد درجا تشکیل شده را پوشش باقیمانده و آنچه از مناطق دیگر حمل شده را پوشش انتقالی گویند. هرگاه پوشش به هر طریقی تغییر یافته، دگرسان یا هوازده (شیمیایی یا فیزیکی) شود و یا تحت عملکرد مواد آلی قرار گیرد، خاک نامیده می شود. تغییرات تن عکس در خاکهای باقیمانده نشان دهنده تغییرات سنگ بستر است. این تغییر رنگ، ترکیب و بافت خاک معمولا در

عکس هوایی قابل مشاهده است. در برخی مناطق اقلیم، ویژگی جغرافیایی و زمان سبب تولید خاکهای یکدستی در منطقه می شود که دیگر نمایانگر ویژگی های سنگ بستر نیستند. مطالعات خاکشناسی با کمک عکس هوایی یکی از کاربردهای مهم این عکس ها را شامل می شود.

فصل پنجم: تفسیر عکس هوایی

(تفسیر سنگ شناسی و ساختاری)

تفسیر عکس هوایی برای پاسخ به سوالاتی از این دست است:

- یک عارضه خاص روی عکس هوایی چیست؟
- چگونه تشکیل شده است؟
- اهمیت زمین شناختی آن عارضه چیست؟

برای پاسخ به این سوالات دانسته های زیر کمک می کنند.

- موقعیت زمین شناسی منطقه ای که عکس هوایی از آن برداشت شده است.
- بررسی اطلاعات موجود (مرور ادبیات): نقشه ها، گزارشها، مقالات و ...
- اقلیم گذشته و حال از نظر تاثیر بر هوازدگی. مثلا تفاوت واکنش سنگ آهک به هوازدگی در اقلیم های مختلف.

۵- ۱- تفسیر سنگ‌شناسی عکس های هوایی

الف- تفسیر عکس های هوایی در ارتباط با سنگهای رسوبی

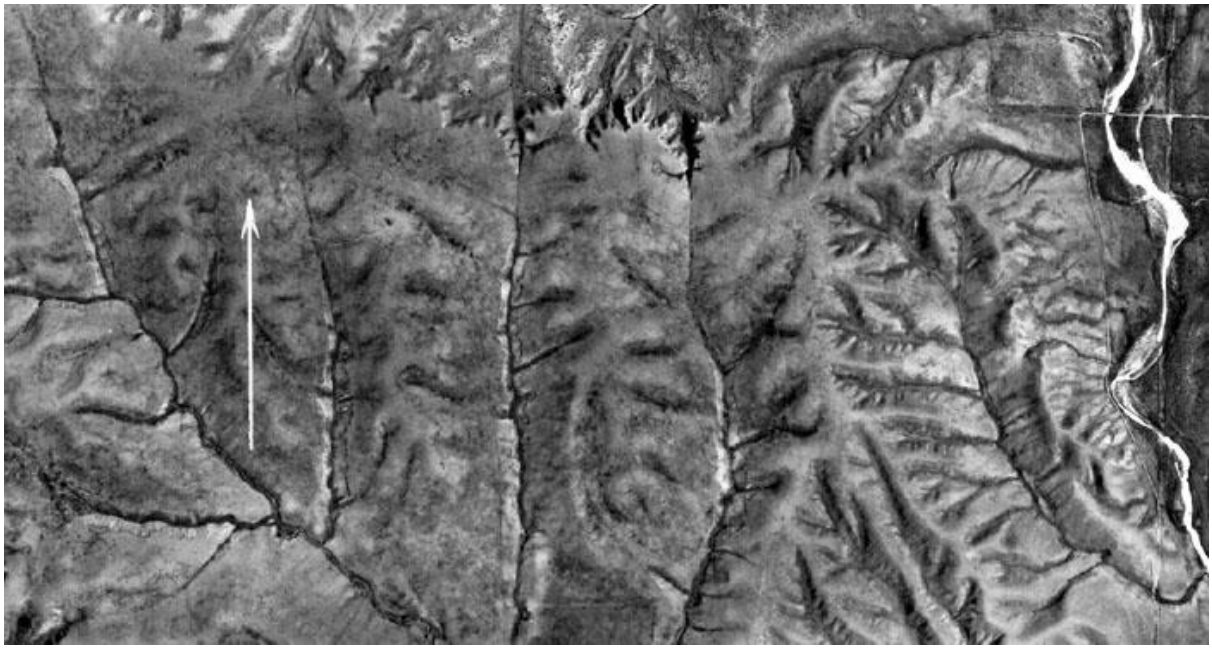
اطلاعاتی از قبیل وجود لایه بندی (ویژگی بارز سنگهای رسوبی)، الگوی زهکشی، مفاومت در برابر فرسایش، همبری واحد سنگی با واحدهای بالایی و پایینی خود، محیط زمین شناسی، تن، ریخت سنگها و غیره کمک می کنند تا سنگهای رسوبی را تفکیک کرد. اغلب در بین سنگهای رسوبی، نهشته های تبخیری مانند سنگ گچ و سنگ نمک به دلیل تن سفید خود به صورت برجسته در عکس قابل شناسایی هستند. البته این نوع سنگها قالب گنبدهای نمکی نیز فراوان هستند.

وجود چینه بندی در بیشتر سنگهای رسوبی نقش کلیدی در تفسیر آنها دارد. همچنین اختلاف این سنگها در برابر فرسایش سبب می شود در عکس هوایی لایه های مقاومتر برجستگی ها و طبقات نامقاوم فرورفتگی ها را تشکیل دهند. البته ممکن است در برخی انواع سنگهای رسوبی چینه بندی پوشیده ماند و سنگ در عکس حالت همگن شبیه به بعضی از انواع سنگهای آذرین یا دگرگونی نشان دهد. برای مثال سنگ آهک های توده ای چنین حالتی ممکن است داشته باشند که البته وجود اشکال فرسایشی و انحلالی مانند فروچاله ها و گودالها در سطح آنها به شناسایی آنها کمک می کند. سنگهای رسوبی کم شیب بیشتر الگوی شاخه درختی و انواع پرشیب آنها الگوی موازی را گسترش می دهند. تفکیک انواع سنگ رسوبی براساس مقایسه رنگ، مقاومت و موارد

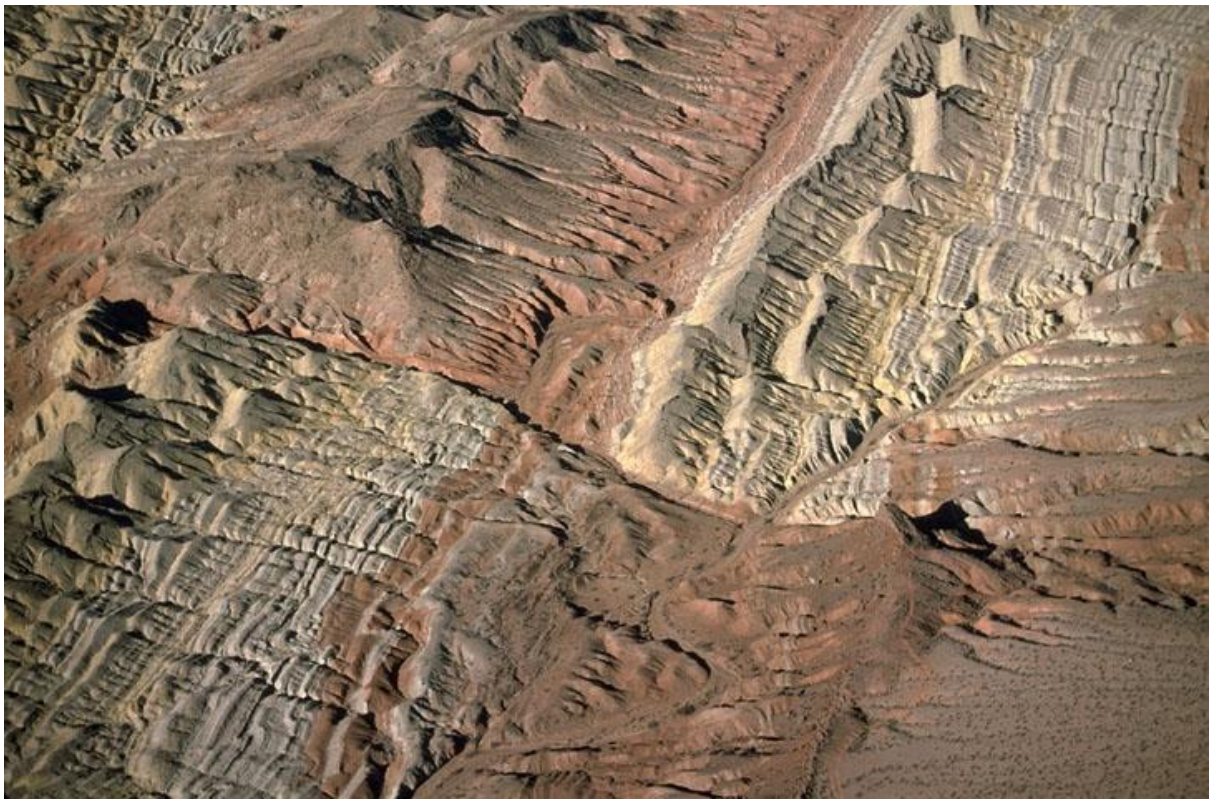
دیگر امکان پذیر است. شیلها معمولا از دیگر سنگهای رسوبی آواری مقاومت کمتری دارند و محلهای پست را تشکیل می دهند. تن رنگی تیره دارند در مقابل ماسه سنگ و کنگلومرا سنگهای مقاوم با تن رنگی خاکستری روشن تا متوسط بسته به رنگ طبیعی سنگ برجستگی ها را تشکیل می دهند و بیشتر الگوی شاخه درختی در آنها گسترش می یابد مگر اینکه دارای درزه های بزرگ باشند. سنگ آهک و دولومیت ممکن است مقاوم یا کم مقاوم باشند که به ضخامت لایه ها، خلوص و آب و هوا بستگی دارد. در مناطق مرطوب انحلال این سنگها شدید بوده و مقاومت کمی در برابر فرسایش دارند. اما در مناطق خشک و نیمه خشک سنگ آهکها و دولومیتها خط الراس های بلند و تیز را می سازند، اصطلاح سنگ آهک صخره ساز برای انواع سنگ آهک توده ای مقاوم بکار می رود. این سنگها در صورت خالص بودن تن رنگی روشن دارند.

بدلند (*badland*) سرزمینهای خشک با سنگها رسوبی غنی از رس و نرم هستند (مانند مارن) که توسط آب و باد دچار فرسایش شدید شده اند. وجود دامنه های تند، پوشش گیاهی ناچیز، نبود رگولیت و تراکم بالای آبراهه از ویژگی های این سرزمینها است. گذر از این زمینها با پای پیاده دشوار است.

Badland در سنگهای رسوبی



الگوی شاخه درختی با تراکم پایین در یک سنگ بستر کنگلومرایی



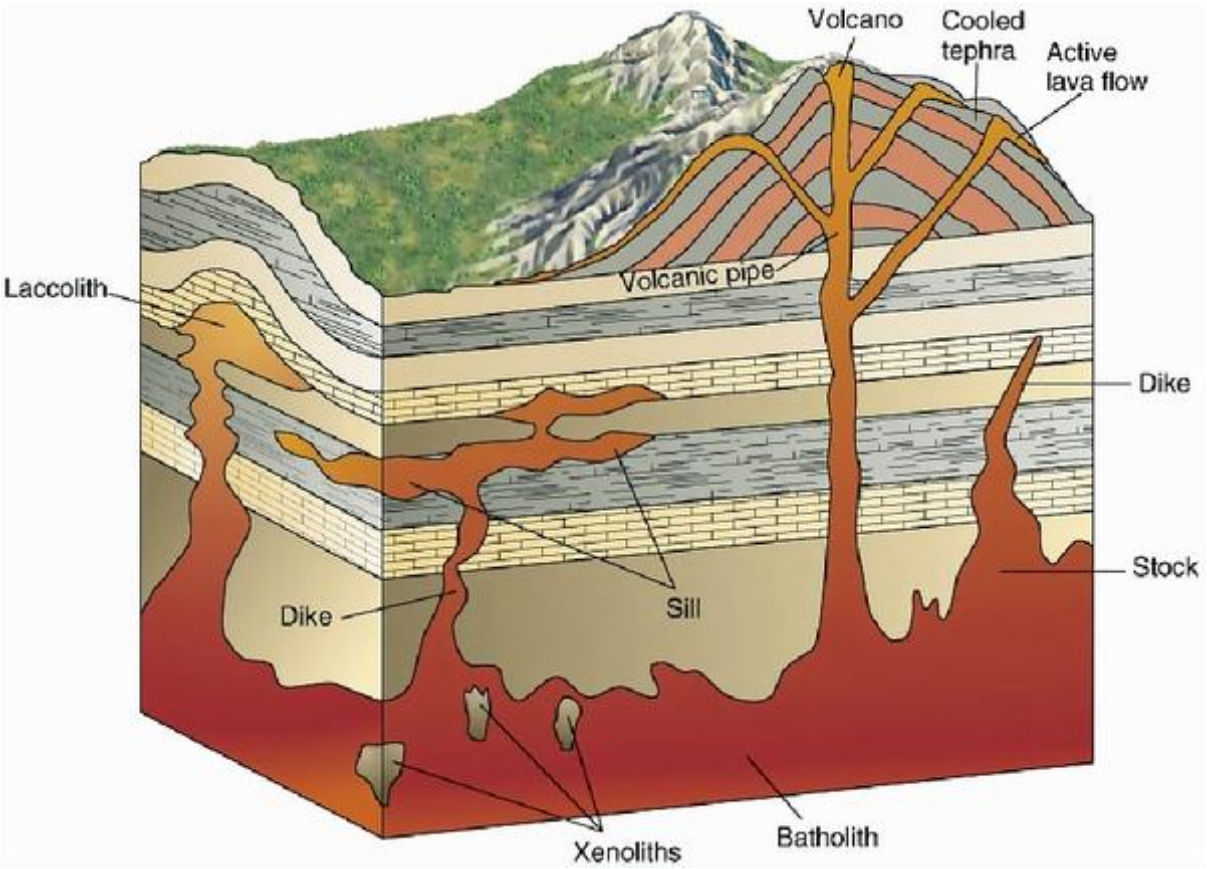
تناوبی از سنگهای رسوبی مختلف در عکس هوایی

عکس هوایی از واحدهای سنگ آهک کرتاسه

ب- سنگهای آذرین

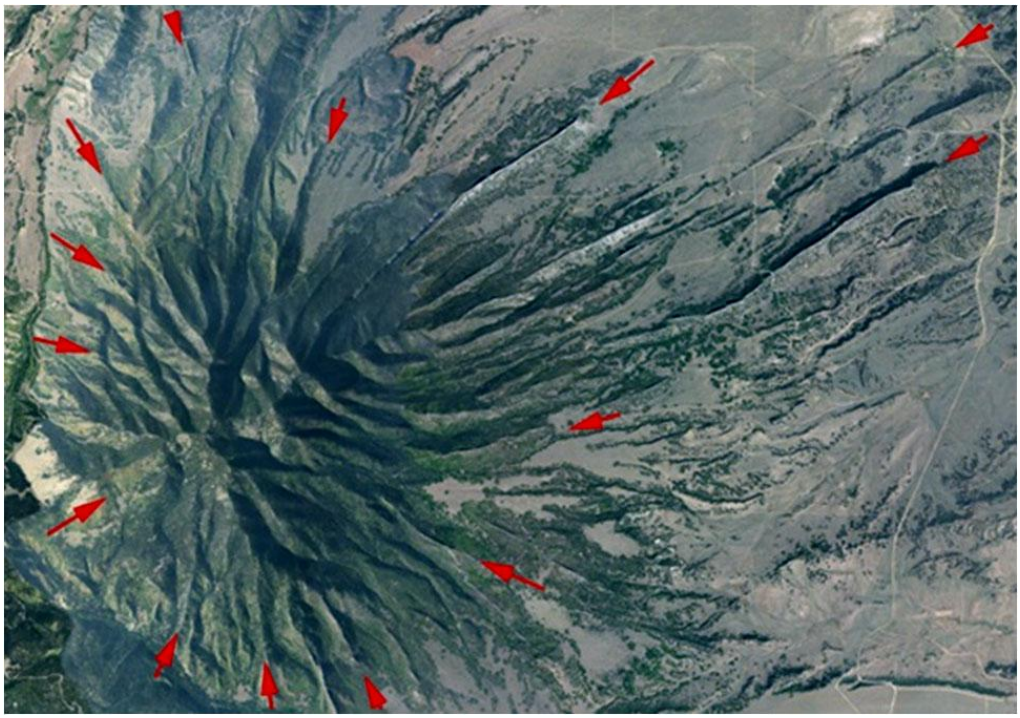
سنگهای آذرین بیرونی به واسطه سطح نامنظم و اشکال مخصوص مخروط های آتشفشانی تشخیص داده می شوند. نامنظم بودن و ناصافی به ویژه در جریانهای گدازه تازه که کمتر فرسایش یافته اند به خوبی دیده می شود. سطح این سنگها غیرقابل کشت و فاقد پوشش گیاهی است. سنگهای آذرین درونی به شکلهای مختلفی (شکل زیر) رخمون می یابند که در عکس های هوایی قابل تشخیص هستند. در کل هرچه ترکیب یک سنگ آذرین نفوذی بازیک تر باشد تن آن در عکس هوایی تیره تر است. مثلا گابرو از مونزونیت تیره تر دیده می شود. عموما مورفولوژی مناطق آذرین از تپه های با شیب ملایم تشکیل شده است. استوک؛ باتولیت؛ لاکولیت؛ دایک و سیل مهمترین اشکال سنگهای آذرین درونی هستند. دایکها معمولا به شکل خطوط مستقیم و طویل دیده می شوند. سیلها به آسانی دایکها قابل شناسایی نیستند. طرح های آبراهه های شعاعی و حلقوی در توده های بالا آمده مانند لاکولیت ها دیده می شوند. سنگهای آذرین اسیدی دارای تن روشن و زهکشی عمود بر هم دیده می شوند. مرز سنگهای آذرین نفوذی با سنگهای رسوبی ناپیوسته بوده و با قطع شدگی لایه بندی سنگهای

رسوبی مشخص می شود . در شناسایی سنگهای آذرین خروجی توجه به جریانهای گدازه؛ مخروطهای آتشفشانی و الگوهای آبراهه ای خاص آنها مانند شعاعی اهمیت دارد. دایک ها با زاویه زیاد لایه بندی سنگهای رسوبی یا سنگهای آذرین دربرگیرنده را با خطواره های موازی قطع می کنند.



استوک؛ باتولیت؛ لاکولیت؛ دایک و سیل مهمترین اشکال سنگهای آذرین درونی هستند

یک دایک مقاوم با رنگ روشن تر نسبت به سنگهای اطراف خود در کوههای آریزونا



دایکها در اطراف یک مخروط آذرین به صورت خطوطی مستقیم و طویل رخنمون دارند (پیکانها)

مرز بین یک توده بیوتیت کوارتز دیوریت (رنگ روشن) با سنگهای دگرگون شده مافیک (رنگ تیره) در همبری آن

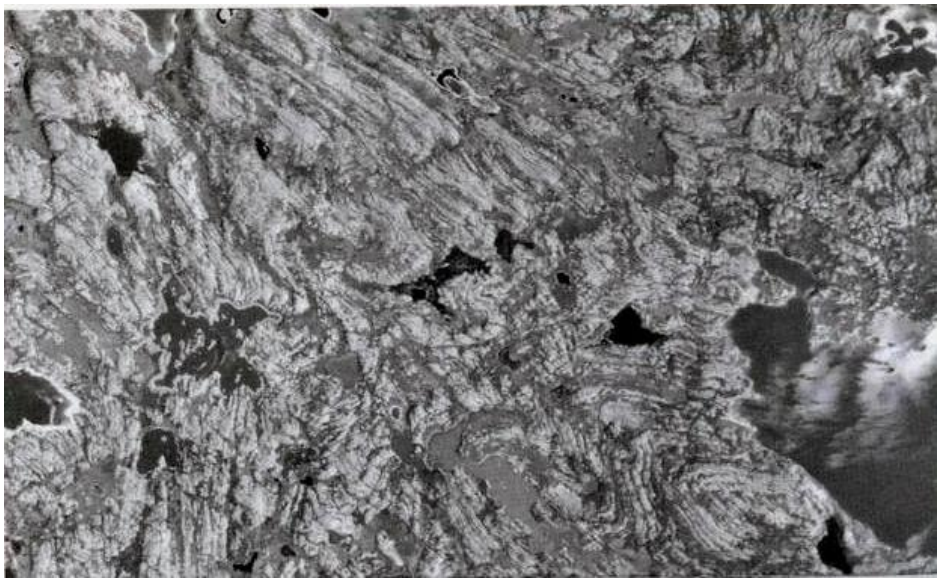
عکس هوایی از یک جریان بازالتی (تیره) به همراه دایکهای منشعب شده از مخروط در سمت چپ عکس

رخنمون یک توده آذرین درونی که درون سنگهای رسوبی نفوذ کرده است.

یک گنبد گرانیتی (کوه استون) در جورجیا

پ: سنگهای دگرگونی

به علت آنکه سنگهای دگرگونی در مقیاس هوایی، فاقد ویژگی های بارز هستند، شناسایی سنگهای دگرگونی در عکس هوایی در عمل با دانسته های قبلی در مورد زمین شناسی کلی منطقه مرتبط است. تفکیک این سنگها تنها براساس رنگ و تن و الگوی زهکشی؛ وجود یا عدم وجود تورق و تغییر در موقعیت آنها امکان پذیر است . عکس هوایی در شناسایی نوع سنگ دگرگونی کمک چندانی نمی کند و شناسایی نوع سنگ ملزم به مشاهدات صحرایی است. در اطراف توده های آذرین بزرگ، انتظار وجود سنگهای دگرگونی مجاورتی طبیعی است.



عکس هوایی سنگهای دگرگونی پرکامبرین در شمال کانادا، چین خوردگی شدید و تورق یکی از ویژگی این سنگها برای تفکیک آنهاست.

ت. رسوبات کواترنری

از آنجا که رسوبات جوانی که در محیط های رسوبی مختلف تشکیل می شوند، هنوز تحت فرایندهای دیاژنز قرار نگرفته و سنگ نشده اند، شناسایی آنها در عکس هوایی متفاوت با سنگهای رسوبی است. در واقع این رسوبات بیشتر براساس شناسایی محیط رسوبی کنونی مانند محیط رودخانه ای، دریاچه و غیره شناسایی می گردند. از نظر ریخت شناسی نیز این رسوبات می توانند عارضه ها یا لندفرم های مختلفی را تشکیل دهند،

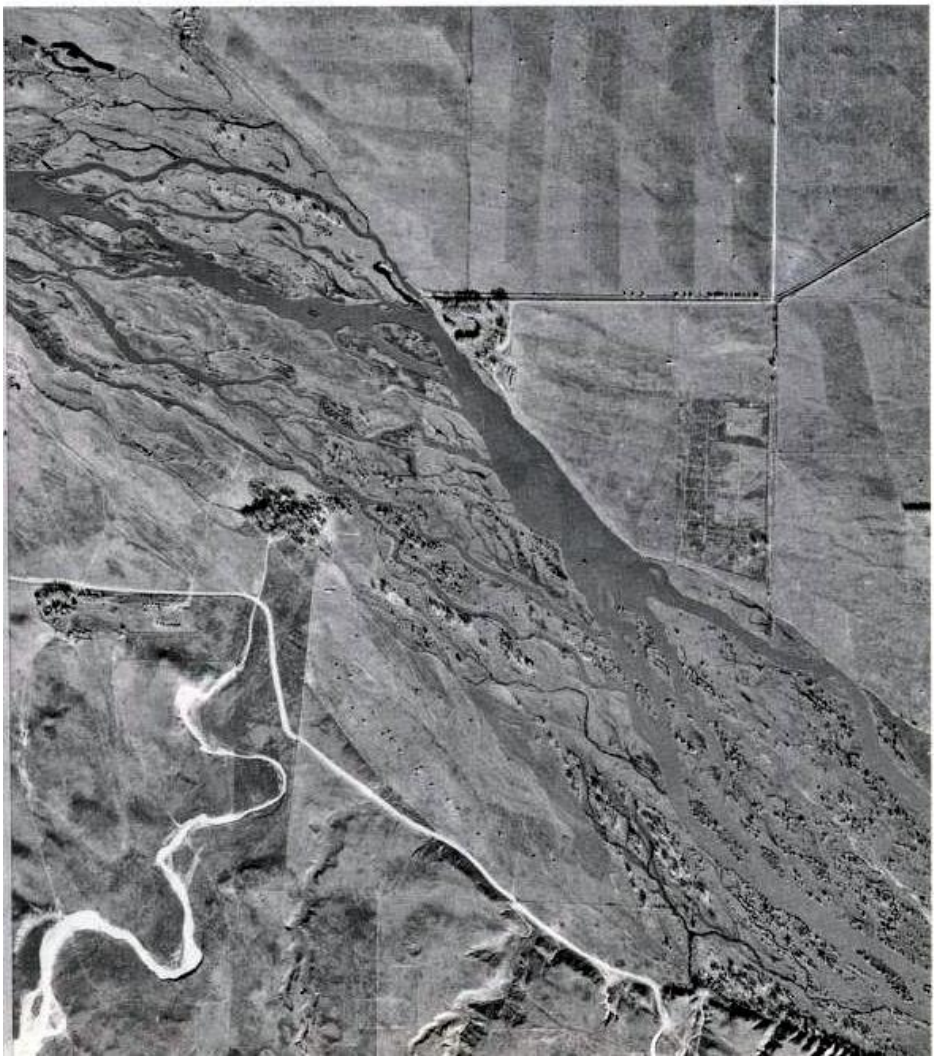
مخروط افکنه، پادگانه، کفه های نمکی، پلایا، توده های لغزشی، تلماسه ها و انواع نهشته های یخچالی بخش کوچکی از این لندفرم ها و عوارض هستند. در شناسایی این نوع رسوبات، توپوگرافی مهمترین عامل است.

عکس هوایی از یک رودخانه مئاندری، در مرکز کانال رسوبات کانال رودخانه ای نهشته می شود، اما در اطراف کانال دشت سیلابی قرار دارد که بخشی از آن به عنوان زمین کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است.

عکس هوایی از رودخانه ای در وایومینگ که چند سری پادگانه رودخانه ای را در دو طرف خود گسترش داده است.

ا

عکس هوایی از دو مخروط افکنه بزرگ و کوچک که توسط در محلی که رودخانه ها از کوهستان خارج می شوند، تشکیل شده اند. جریان رودخانه ها از راست به چپ است.



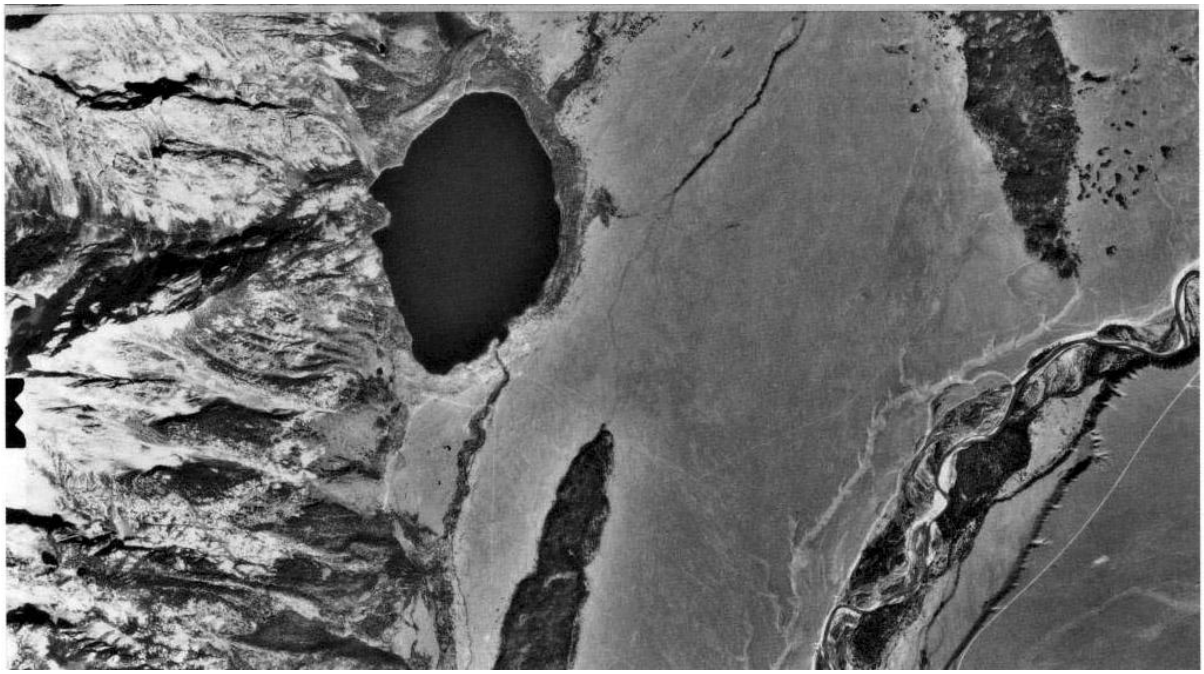
نهشته هایی که توسط یک رودخانه گیسویی برجای گذاشته شده است.

تلماسه (تپه های ماسه ای) در دره مرگ

عکس هوایی بخشی از دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۱،

الگوی زهکشی شاخص یک مرداب نمکی در ساحل

عکس هوایی از دلتای رودخانه کلرادو



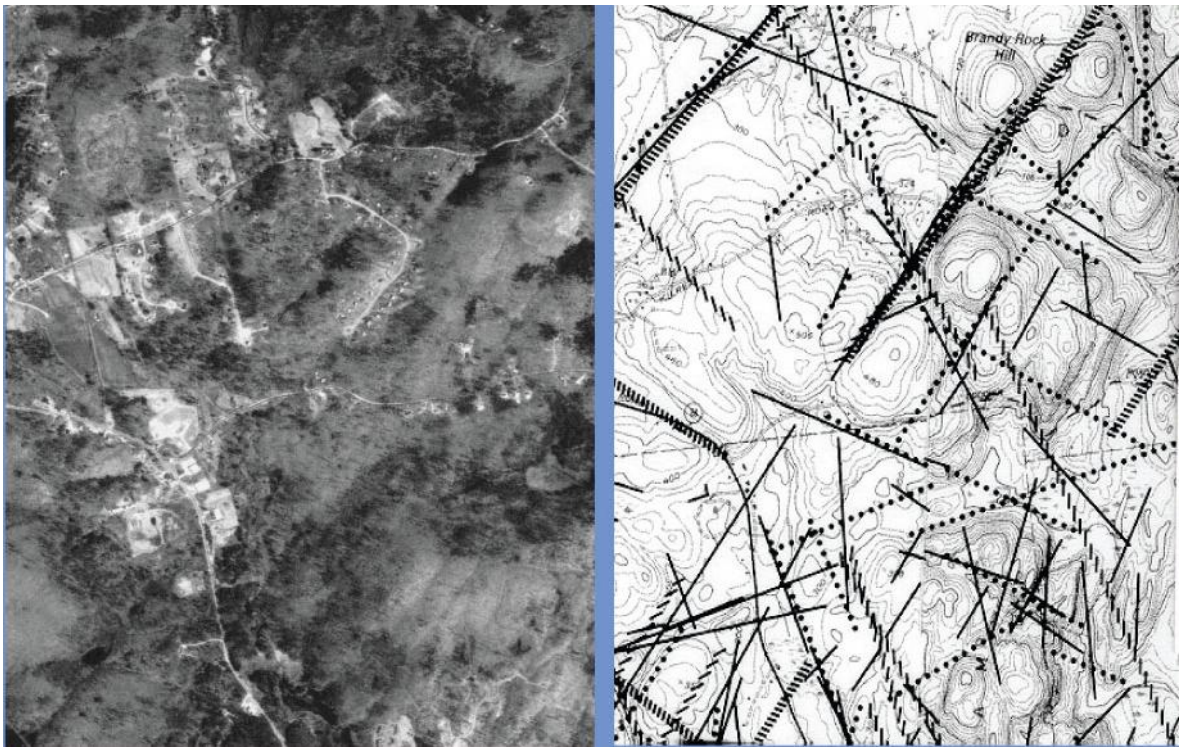
یک دریاچه یخچالی در وایومینگ که توسط رسوبات مورن یخچالی مسدود شده است.

۵-۲- تفسیر ساختاری

هرچند ساختارهای زمین شناسی به این موارد محدود نمی شوند، اما ساختارهای عمده زمین شناسی که در عکس های هوایی بررسی می شوند، چین خوردگی ها، خطواره ها و گسلها هستند. قبل از هر چیز تعیین شیب و جهت شیب لایه های سنگی از اهمیت بالایی برخوردار است.

خطواره ها (*lineaments*): به طور کلی به هر عارضه طبیعی خطی خطواره می گوییم. اما به طور خاص، برخی از خطواره ها منشا تکتونیکی دارند و می توانند گسل، درزه و یا شکستگی باشند. شناسایی خطواره ها یا با کمک بررسی عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای صورت می گیرد که در اینصورت خطواره های شناسایی شده را *photolineament* یا خطواره عکسی گویند و اگر خطواره با کمک داده های ژئوفیزیکی به ویژه مغناطیسی شناسایی شود، آن را خطواره مغناطیسی گویند. البته از نظر ماهیتی بسیاری از خطواره های ژئوفیزیکی می توانند با گسلهای مهم و پی سنگی در ارتباط باشند که اغلب در سطح زمین نیز روندهایی را نشان می دهند. ولی در کل هر خطواره عکسی با یک خطواره مغناطیسی منطبق نیست و برعکس. همانطور که پیشتر بیان شد بسیاری از خطواره های شناسایی شده در عکس هوایی ممکن است درزه یا شکستگی باشند. برخی نیز منشا توپوگرافی دارند و ساختاری معین تشکیل نمی دهند، مانند لبه پرتگاه یا یک خط الراس.

شناسایی خطواره هایی که منشا گسلی یا شکستگی دارند بسیار مهم است. تشخیص گسله بودن یک خطواره با بررسی های صحرایی و استفاده از داده های زمین شناسی و ژئوفیزیکی بسیار مطمئن بوده، اما در عمل بسیاری از خطواره ها را می توان با بررسی عکس هوایی و یا تصویر ماهواره ای و با کمک شواهد موجود تعیین تکلیف کرد. تهیه نقشه خطواره ها با کمک عکس هوایی در بسیاری از مطالعات زمین شناسی مهندسی و زمینساختی به ویژه برای پروژه های تحلیل خطر زمینلرزه، زمینلغزش و پروژه های عمرانی، حیاتی است. همچنین در تهیه نقشه های فتوژئولوژی ترسیم خطواره ها یکی از مراحل است که بعد با کنترل شواهد مواردی که گسله بودنشان تایید گردد، مجزا می شود. البته لازم به ذکر است که امروزه با کمک برخی الگوریتم ها امکان شناسایی خطواره ها با دقت خوب با نرم افزارهای دورسنجی امکان پذیر است. در ترسیم خطواره ها باید دقت کرد عوارض جغرافیایی خطی غیرطبیعی مانند راه آهن، جاده، خطوط انتقال نیرو، خطوط لوله و غیره به عنوان خطواره در نظر گرفته نشود.



عکس هوایی در سمت چپ که خطواره های آن با دقت مشخص و تفکیک شده است (سمت راست)

گسلها: بسیاری از خطواره ها درزه و شکستگی هستند، اما عمده خطواره های بزرگ می توانند منشا گسلی داشته باشند. در عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای از برخی شواهد می توان برای تشخیص گسله بودن یک خطواره استفاده کرد، اما بیشتر این مسئله نیازمند تجربه است. شواهدی از جمله تکرار لایه ها، قطع شدن

لایه ها، جابجایی آبراهه ها، قرار گرفتن خطی برخی عوارض مانند چشمه ها در یک راستا و بسیاری از عارضه های دیگر بدین منظور استفاده می شوند. مرز کوه و دشت را باید همیشه گسله در نظر گرفت. دره های رودخانه ای خطی و بزرگ ممکن است منشا گسله داشته باشند. رشد گیاهان در یک روند خطی مشکوک است. در کل دانسته ها از مباحث مربوط به شناسایی گسل در زمین شناسی ساختمانی در این مبحث کمک می کند.

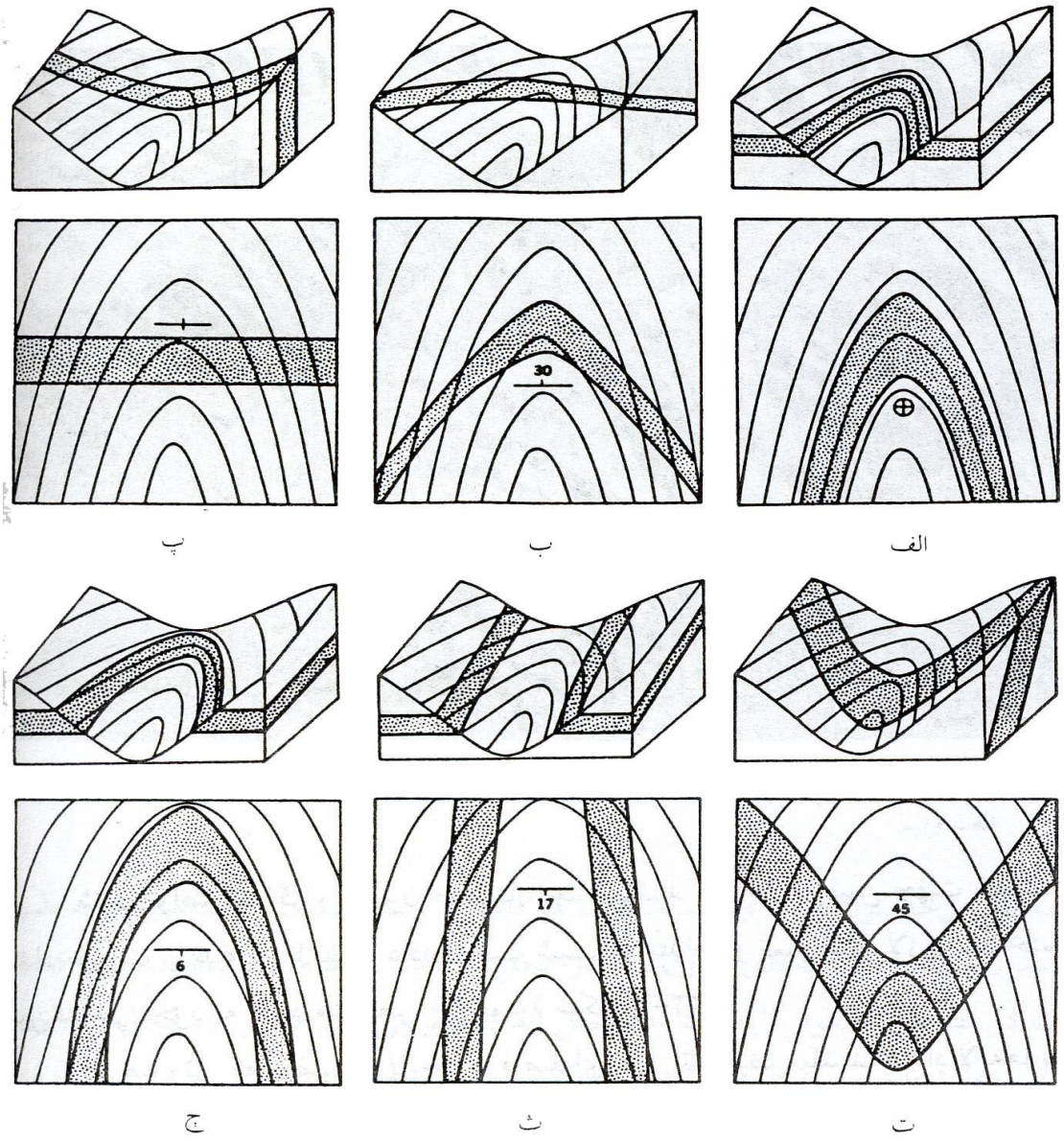
جابجایی آبراهه در راستای یک گسل امتدادلغز راستگرد

© 2011 Pearson Education, Inc.

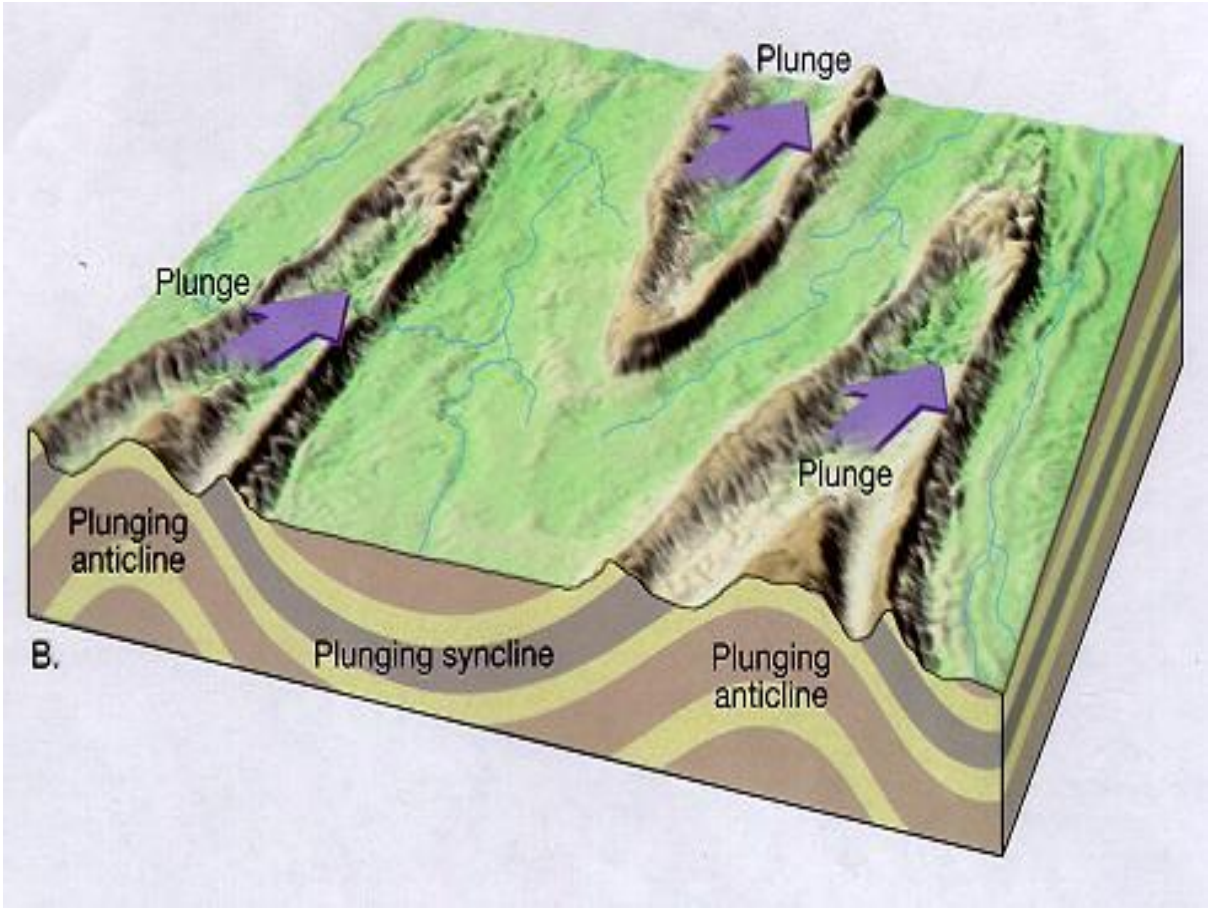
عکس هوایی یک گسل راستالغز راستگرد در نوادا

گسل راندگی که سبب جابجایی واحدهای تیره رنگ بر روی واحدهای روشن از چپ به راست شده است.

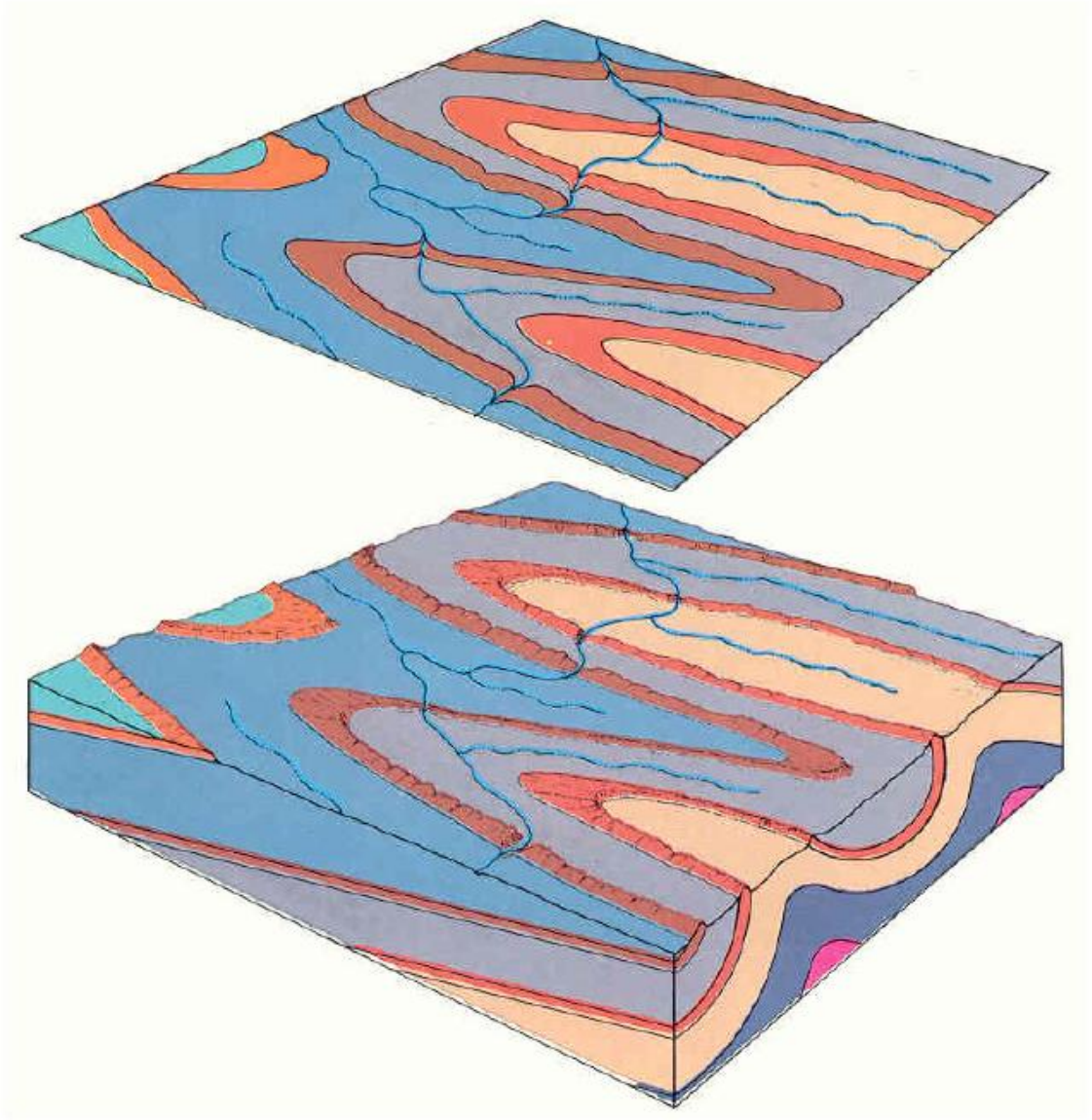
چین ها: برای تعیین یک چین با کمک عکس هوایی، مهمترین قسمت رسم اثر سطحی چین خوردگی است. اثر سطحی چین خوردگی از اتصال نقاط لولایی در لایه های مختلف (جایی که لایه ها بیشترین انحنا را می یابند) رسم می شود. تعیین نوع چین و سوی پلانژ محور چین در صورت وجود نیز با کمک بررسی عکس هوایی صورت می گیرد. در این راستا، استفاده از رابطه بین شیب لایه و شیب توپوگرافی کمک زیادی می کند.



شکل ۳-۲۵ نمایش قانون V در لایه‌های دارای طرح رخنمون متفاوت
الف) در لایه‌های افقی نوک V جهت بالا رود رانشان می‌دهد
ب) وقتی شیب لایه وشیب زمین برخلاف هم باشد نوکV جهت شیب لایه را نشان می‌دهد.
پ) لایه‌های قائم به صورت خطوط مستقیم در نقشه ظاهر می‌شود.
ت) وقتی شیب لایه و شیب زمین هم جهت وشیب لایه بیشتر از شیب زمین باشد نوک V جهت شیب لایه را نشان می‌دهد.
ث) وقتی شیب لایه و شیب زمین برابر باشد اساساً V تشکیل نمی‌شود.
ج) وقتی شیب لایه خیلی کم و شیب توپوگرافی بیشتر از شیب لایه باشد، استثناً عکس نوک V جهت شیب لایه را نشان می‌دهد.



دو تاقدیس و یک ناودیس پلانژ دار (در وسط) در جهت فلش ها



نمایی از تصویر قائم لایه های چین خورده و مدل سه بعدی چگونگی وضعیت آن در زمین

فصل ششم:

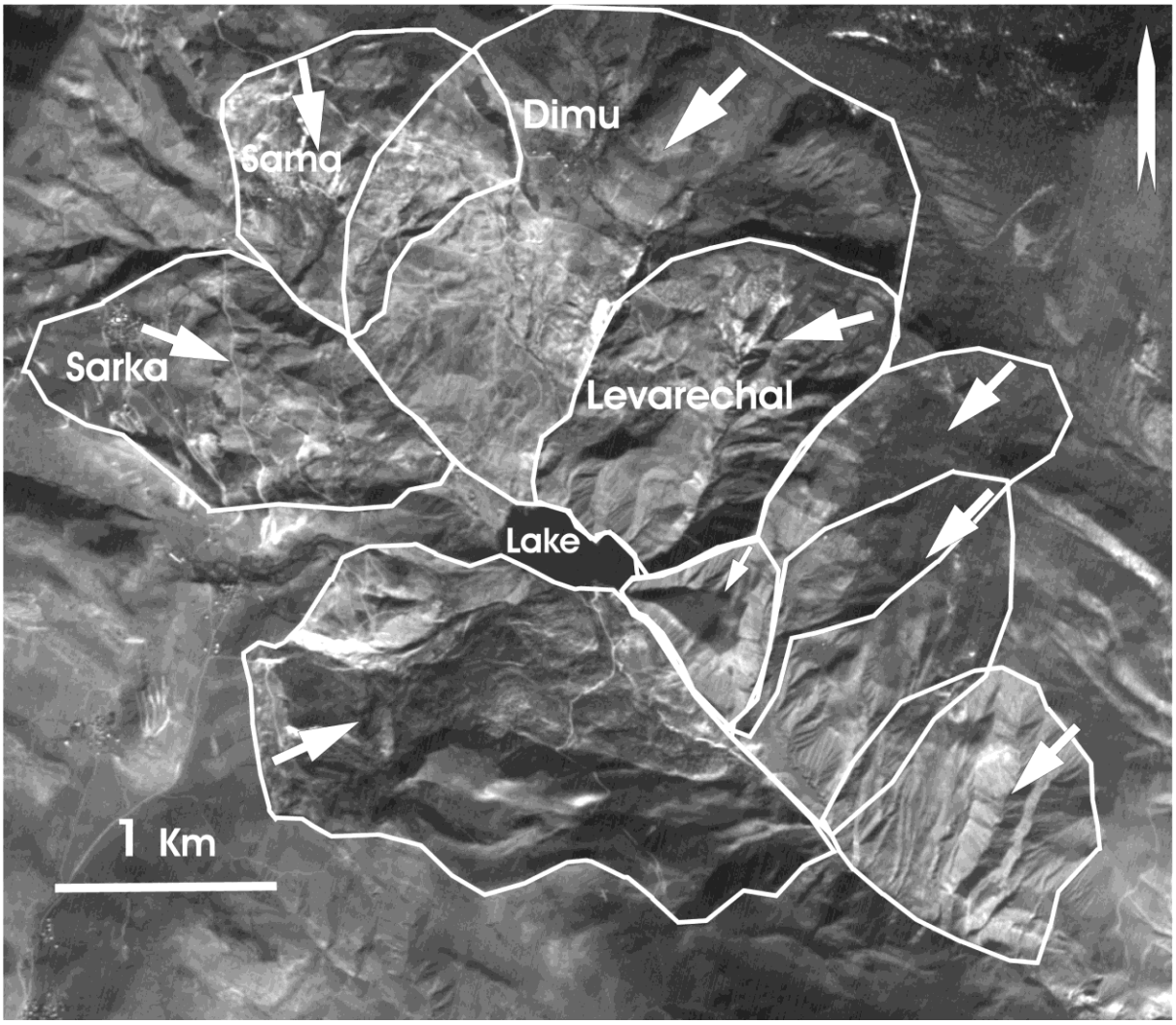
کاربرد عکس هوایی

در فصل اول در رابطه با کاربرد عکس های هوایی صحبت کردیم. در این فصل کاربرد این عکس های در مطالعات مهندسی و آبهای زیرزمینی شرح می دهیم.

٦-١- کاربرد عکس هوایی در زمین شناسی مهندسی

در بسیاری از مطالعات مهندسی، عکس هوایی برای شناسایی اولیه منطقه کاربرد دارد. هرچند داده های ماهواره ای با تفکیک مکانی بالا نیز استفاده وسیعی دارند. در کلیه مطالعاتی که نیازمند تعیین مسیر است مانند انتخاب مسیر جاده، راه آهن، خطوط لوله و غیره، شناسایی دقیق عوارض با کمک عکس های هوایی صورت می گیرد. کاربردهای اصلی عکس هوایی در مطالعات زمین شناسی مهندسی عبارتند از :

- تعیین محل مواد خاکی مناسب برای پی سازه های صنعتی؛ فرودگاه ها و جاده ها
- تعیین مناطق یخبندان دائم پرمافراست
- تفسیر و شناسایی زمینلغزش و تهیه نقشه خطر زمینلغزش
- مطالعه سیلاب و خطر سیل
- تحلیل ساختاری در ارتباط با ساخت سازه های مهندسی
- انتخاب مناطق نمونه برای مطالعات دقیق صحرایی و آزمایشهای صحرایی
- تعیین مسیر شریانهای حیاتی مانند خطوط لوله نفت و گاز؛ مسیر جاده ها؛ انتقال برق و آب؛ راه آهن و غیره



نمونه استفاده از عکس هوایی برای شناسایی و تفکیک زمینلغزش ها در اطراف دریاچه ولشت، جاده چالوس

٦-٢- کاربرد عکس هوایی در مطالعه آبهای زیرزمینی

هیدرولوژی آبهای زیرزمینی علم پیدایش، توزیع و جریان آب در زیر زمین است. آبهای زیرزمینی در آبیاری، صنعت، نواحی شهری و روستایی کاربرد دارد، ولی دسترسی به آن در فصول مختلف تغییر می کند. آب زیرزمینی بخشی از چرخه آبشناسی است. در عمل منشا تمام آبهای زیرزمینی قابل مصرف آبهای سطحی شامل نزولات جوی، رودخانه ها، دریاچه ها و مخازن سدها است.

٦-٢-١- مشاهدات هیدرولوژیکی

استفاده از عکس هوایی برای پیشگویی درباره مواردی است که نمی توان بطور واقعی آنها را روی عکس مشاهده کرد. ترکیب حقایق و اندازه گیری ها روی عکس شامل اشکال و عوارض زمین، خواص فیزیکی سنگ و خاک، گیاه و زمین شناسی به همگرایی شواهد منجر می شود. در کنار این استفاده از عکس هوایی از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری می کند. استفاده از عکس هوایی در سه جهت عمده برای آبهای زیرزمینی خلاصه می شود.

١- تعیین محل آب زیرزمینی

٢- تنظیم حرکت آب زیرزمینی

٣- آماده سازی و بهره برداری از آبهای زیرزمینی

٦-٢-٢- موقعیت آبهای زیرزمینی

- تشکیلات قابل نفوذ مانند ماسه سنگهای متخلخل، آبرفت و ...
- سنگهای منفصل (شن و ماسه): بهترین آبخوان ها در امتداد آبراهه ها، دره های متروک یا مدفون، دشتهای آبرفتی و دره های کوهستانی تشکیل می گردد. دره های مدفون قدیمی که مجدد پر شده اند، بازدهی آب بالایی دارند. میزان بازدهی به قطر لایه آبدار بستگی دارد.

- سنگهای سخت و متراکم مانند سنگ آهک، ماسه سنگ، کنگلومرا: انحلال کربنات کلسیم توسط آب باران سبب ایجاد آب سنگین می شود. سیمانی شدن سبب کاهش تخلخل و حجم مفید آبخوان می گردد. بهترین نوع سنگهای آبدار سنگی است که تا حدی سیمانی شده و در سطوح چینه بندی، درزه ها و حفره های آن آب ذخیره شود.
- سنگهای آذرین: سنگهای آتشفشانی می توانند سفره هایی با قابلیت نفوذ آب متفاوت پدید آورند. برش های گدازه، بخشهای متخلخل و ترکهای بوجود آمده بر اثر از دست دادن آب را شامل می شود. سنگهای آذرین درونی غیرهوازده، عملا غیرقابل نفوذ هستند.
- سنگهای دگرگونی آبخوانهای ضعیفی هستند مگر اینکه شکستگی و هوازدگی در آنها رخ داده باشد.

٦-٢-٣- انواع ساختارهای آبدار

ناودیس ها، گسلها، دگرشیبی ها، لایه های کج شده، سیل ها، دایک ها و ریف های کواترنری محیطهای مناسبی برای تشکیل آبخوان پدید می آورند. اشکال طبیعی مانند مخروط های آتشفشانی، تلماسه ها، پادگانه های آبرفتی، خاکریزهای طبیعی، جلگه ها، و مخروط افکنه ها اهمیت دارند.

الگوی زهکشی درشت بافت نشان دهنده نفوذپذیری بالاست. عکس هوایی در تعیین توپوگرافی مانند شیب، پهنا و عمق رودخانه، نوع زهکشی، سطح طغیانی دریاچه ها و باتلاق ها مورد استفاده قرار می گیرد.

٦-٢-٤- مراحل مطالعه عکس هوایی برای آبهای زیرزمینی

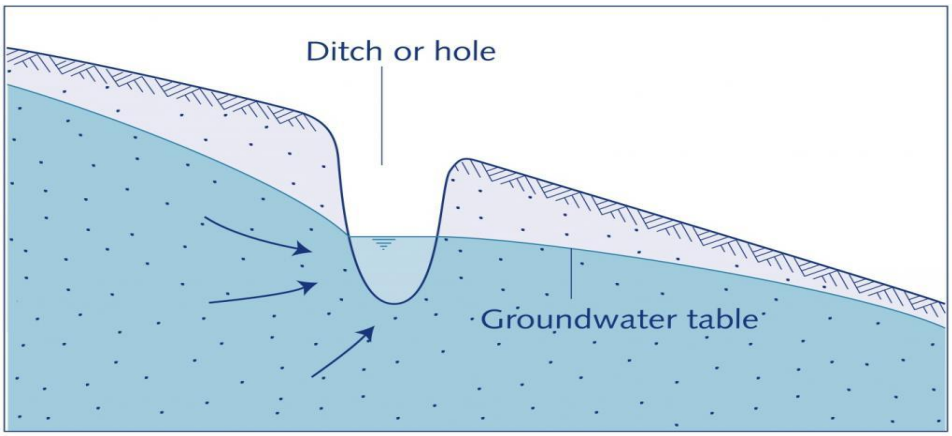
- ترسیم رودخانه ها و آبراهه ها
- تفسیر نوع مواد سطحی و خاک براساس فیزیوگرافی و رویش گیاهان
- رسم عوارض سطح زمین و رابطه آنها با شرایط وجود آبهای سطحی و تفسیر عوارض دیگر مانند باتلاق، رسوبات سدی، آبگیرها
- رسم مناطقی که سازندهای آبگیر را شامل می شود مانند رسوبات آبرفتی، ماسه سنگ و غیره
- مرور ادبیات موجود

- آماده سازی نقشه آبهای زیرزمینی که مکانهای مناسب برای کاوش را نشان می دهد.

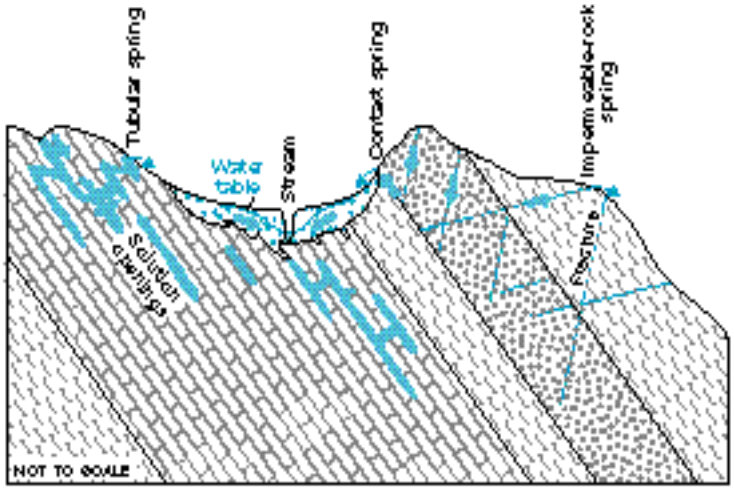
٦-٢-٥- شواهدی برای شناسایی پتانسیل آبهای زیرزمینی

٦-٢-٥-١- چشمه ها

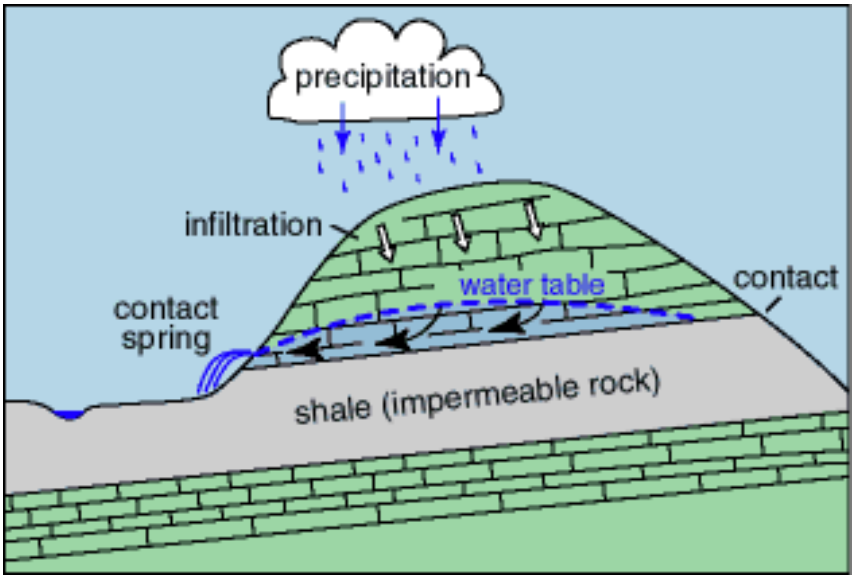
انواع مختلفی از چشمه ها در شناسایی پتانسیل آبهای زیرزمینی تعیین کننده هستند. چشمه های فرورفتگی؛ تماسی؛ جهنده؛ لوله ای؛ شکستگی؛ آتشفشانی؛ شکافی؛ تراوشی



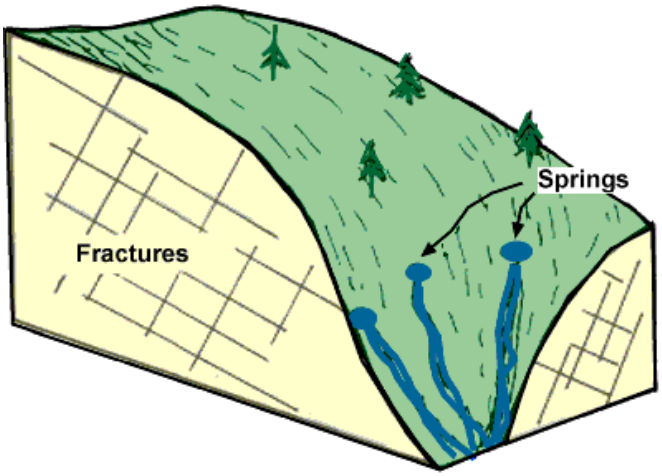
چشمه فرورفتگی یا *depression*



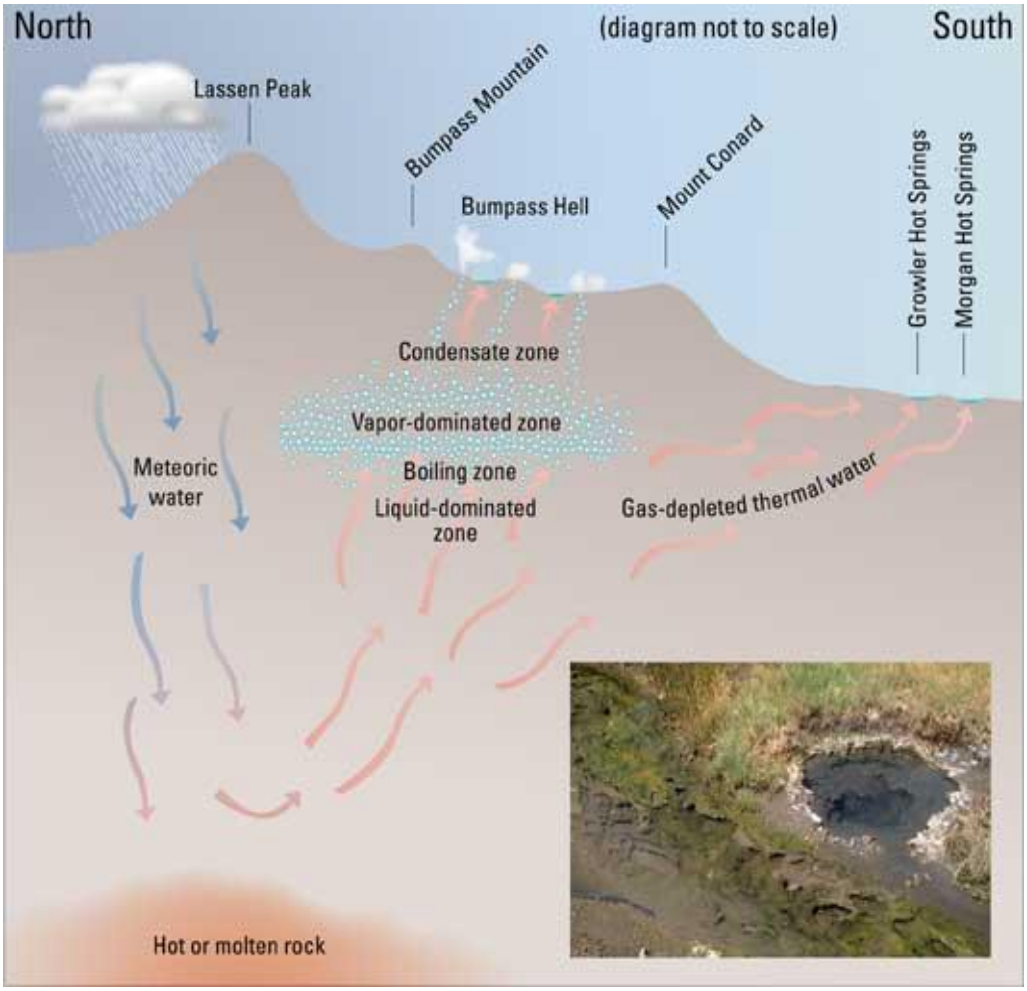
چشمه لوله ای



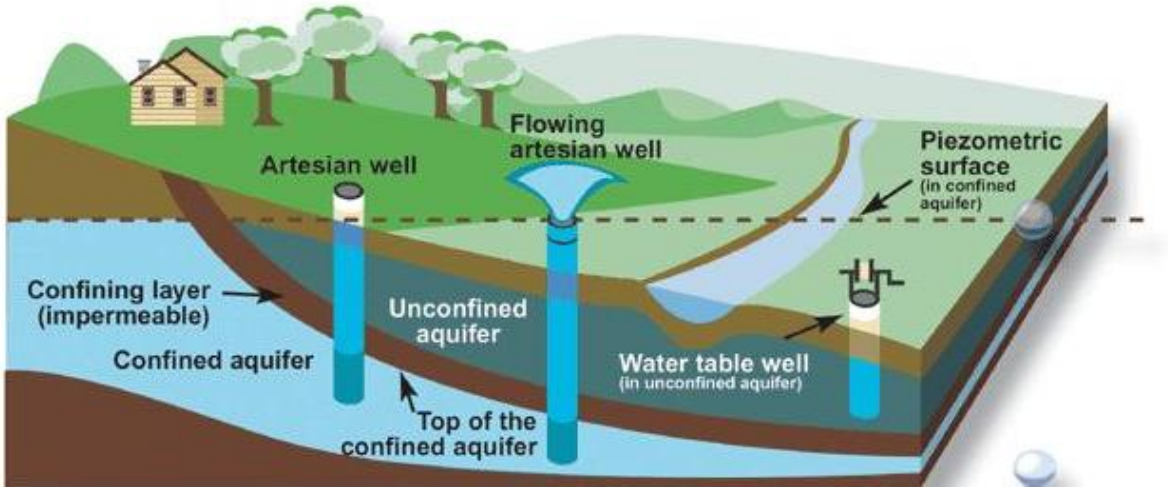
چشمه تماسی



چشمه شکستگی



چشمه آتشفشانی



آرتزین

٦-٢-٥-٢- گیاهان (رستنی ها) تعیین کننده وجود آب زیرزمینی

- نی ها و سعدها آب تا عمق چند متری
- علف نی (وجود آب در عمق ۲.۴ متری)
- ویلدری (عمق ۳.۶ متری)
- علف شوره زار (۳.۶ متری و آب معدنی)
- علف شوره زار مکزیکی (۳.۹ متری)
- پیکل وید (۶ متری)
- گیاه نشاسته (چند متری و معدنی)
- درخت خرما (چند متری و معدنی)
- بیدوجگن (۳.۶ متری)
- آلکالی سکشن (تا ۷.۵ متری)
- بیشه خرگوش (۴.۵ تا ۶.۵ متری)
- بیگ گریس وود (۹ تا ۱۲ متری)
- مسکویت (۳ تا ۱۵ متری)
- توت گاومیش (آب دائمی)
- چوب پنبه بیابانی
- درخت غوشه – درخت غال

Rabbitbrush علف خرگوش

پیکل وید

گیاه نشاسته

نی

درخت بید

٦-٣- کاربرد عکس هوایی در ارتباط با اکتشاف نفت و گاز

شناسایی ساختارهای محتمل برای مخزن نفت و گاز از مهمترین کاربردهای عکس هوایی در اکتشاف نفت و گاز در مناطق بکر است. ساختارهایی از جمله چین های مرتبط با گسل و چین های دبل پلانژ از جمله این ساختارها هستند.

منابع و مطالعه بیشتر

چهرازی، ع.ب. ۱۳۸۱. فتوژئولوژی، انتشارات پیام نور، ۱۳۵ صفحه.

وامقی، ا. ۱۳۹۰. کاربرد عکس های هوایی در زمین شناسی و تهیه نقشه، دانشگاه تهران، ۲۹۷ صفحه.

Freeman, T. 2002. Geoscience Libratory Manual, 3rd edition, John Willey, 280 p.

Dirik, K. 2005. Advanced Photogeology Lecture Notes. Geological Engineering Dept.

HU. 45 p.

Geoffrey) Duhm J. Photogrammetry: DTM Extraction & Editing. Portland State University.

Pandey, S.N. 1987. Principles and Application of Photogeology. New Age International. 366 p.

Marcolongo, B., & Mantovani, F. (1997). Photogeology: Remote Sensing Applications in Earth Science. Science Pub Incorporated.

Drury, S. A., & Drury, S. A. (2001). Image interpretation in geology (pp. 1-290). London: Blackwell science.