

فتوگرامتری تحلیلی

تألیف

دکتر جلال امینی

گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک

دانشکده فنی

دانشگاه تهران



انتشارات دانشگاه تهران

شماره ۲۷۴۸

شماره مسلسل ۵۲۲۸

امینی، جلال، ۱۳۴۸ -
فتوگرامتری تحلیلی / تألیف جلال امینی - تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
ش. ۲۷۴ ص: مصور، جدول، نمودار - (انتشارات دانشگاه تهران: شماره ۲۷۴۸)
ISBN 964-03-5228-4: ۲۱۰۰۰ ریال

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.
ص.ع. به انگلیسی:
Jalal Amini. Digital and Analytical Photogrammetry.
چاپ قبلی: سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۶.
کتابنامه: ص. ۲۶۹ - ۲۷۲.
۱. فتوگرامتری. ۲. فتوگرامتری هوایی. ۳. سنجش از دور. الف. دانشگاه تهران. ب.
عنوان.
۱۶ ف ۸ الف / ۶۹۳ TR ۵۲۶/۹۸۲
م ۸۴-۳۹۳۲۷
کتابخانه ملی ایران

شابک ۹۶۴-۰۳-۵۲۲۸-۴ ISBN 964-03-5228-4

عنوان: فتوگرامتری تحلیلی

تألیف: دکتر جلال امینی

ناشر: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تاریخ انتشار: ۱۳۸۵ (چاپ اول)

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلف است.

«کلیه حقوق برای دانشگاه تهران محفوظ است»

بها: ۲۱۰۰۰ ریال

پست الکترونیک: Press@ut.ac.ir - آدرس سایت: Press.ut.ac.ir

مقدمه نویسنده

بنا به تعریف، فتوگرامتری به علم جمع‌آوری اطلاعات مورد اطمینان از روی تصاویر گرفته شده به صورت آنالوگ یا رقومی از اشیا و محیط اطراف آنها در یک سیستم مبنای مشخص نظیر سیستم مختصات زمینی اطلاق می‌گردد^۱. بنا بر این تعریف، اطلاعات جمع‌آوری شده ممکن است به یکی از دو صورت کمی^۲ یا کیفی^۳ باشند. اطلاعات کمی آن دسته از اطلاعات هستند که مستقیماً با اندازه و شکل عوارض مرتبطند یا نهایتاً منتج به اطلاعاتی نظیر تعیین مساحت، حجم و غیره می‌شوند. اطلاعات کیفی آن نوع از اطلاعات هستند که به تشخیص و تفسیر عوارض مربوط می‌شوند. در فتوگرامتری، اغلب نوع کمی اطلاعات مورد نظر می‌باشد که با اندازه‌گیری روی تصاویر کسب شده می‌توان آنها را به دست آورد.

در حالت مطلوب (ایده‌آل)، تحت شرایطی که زمین مسطح و تأثیر عوامل جوی و خطاهای سیستماتیک دوربین عکسبرداری، حداقل باشد و عمل عکسبرداری به صورت کاملاً قائم انجام گیرد، اطلاعات استخراج شده از تصاویر تنها با اعمال مقیاس، به سطح شیء یا زمین منتقل می‌گردند، ولی از آنجا که در عمل، هیچ‌گاه حالت مطلوبی وجود ندارد و همواره زمین غیرمسطح است و عمل عکسبرداری به صورت غیرقائم صورت می‌گیرد و همچنین تأثیرات جوی اجتناب ناپذیرند، به‌سادگی نمی‌توان اطلاعات استخراج شده از روی تصاویر را به سطح شیء یا زمین منتقل کرد. لذا لازم است این تأثیرات از اطلاعات استخراج شده حذف شوند تا بتوان به حالت مطلوب نزدیک شد. اندازه‌گیری اطلاعات در فتوگرامتری به روش‌های مختلف ممکن است:

الف- روش آنالوگ: در این روش، با استفاده از دستگاه‌های آنالوگ، پس از تشکیل مدل سه‌بعدی و انجام توجیه مطلق، کلیه اطلاعات عکسی را می‌توان در سیستم مختصات سه‌بعدی مورد نظر استخراج کرد؛

۱- به طور کلی، فتوگرامتری (Photogrammetry) در علوم کاربردهای گوناگون دارد و می‌توان آن را به شاخه‌های مختلف تقسیم کرد: الف- فتوگرامتری هوایی (Aerial Photogrammetry) که تهیه نقشه از عکس‌های هوایی گرفته شده با دوربین‌های متریک را شامل می‌شود.

ب- فتوگرامتری فضایی (Space Photogrammetry) استخراج اطلاعات مختلف از تصاویر ماهواره‌هایی نظیر Landsat، SPOT و غیره برای کاربردهای متنوع از جمله تهیه نقشه را شامل می‌شود.

پ- فتوگرامتری برد کوتاه (Close-Range Photogrammetry) که کسب اطلاعات از تصاویر حاصل از

دوربین‌های غیرمتریک را شامل می‌شود و در صنعت، پزشکی، باستان‌شناسی و غیره کاربرد دارد؛

در کتاب حاضر، اگرچه مفهوم عام فتوگرامتری مد نظر بوده است و هر سه شاخه فوق را در بر می‌گیرد،

مطالب فقط به طور نظری که تقریباً در همه شاخه‌ها مشترک می‌باشد مورد بحث قرار گرفته است.

2- Quantitative

3- Qualitative

ب - روش تحلیلی : در این روش، با استفاده از دستگاه‌های تحلیلی به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری مختصات عکسی و یک کامپیوتر به صورت off-line یا on-line، اطلاعات عکسی اندازه‌گیری شده به کامپیوتر وارد می‌شوند، و با استفاده از مدل‌های ریاضی مناسب پس از حل توجیهات به صورت تحلیلی، مختصات سه‌بعدی هر نقطه عکسی استخراج شده، محاسبه می‌شود؛

ج- روش رقومی : در این روش، اگر تصویر به صورت آنالوگ باشد، پس از اسکن کردن توسط یک اسکنر تبدیل به تصویر رقومی می‌شود و سپس در کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که تصویر به صورت رقومی با دوربین‌های رقومی یا ماهواره‌هایی نظیر Landsat، Spot و غیره تهیه شده باشد، مستقیماً داخل کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امروزه کاربردهای فتوگرامتری در علوم مختلف، از دامنه وسیعی برخوردار است. مهندسان به نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس که با روش‌های فتوگرامتری تهیه می‌شوند برای تمام مراحل طراحی و ساخت اطمینان می‌کنند. تقریباً تمام مراحل ایجاد بزرگراه‌ها شامل مراحل طراحی، ساخت، تعیین مکان و نگهداری، تماماً یا قسمتی توسط فتوگرامتری انجام می‌گیرد.

نقشه‌های بزرگ مقیاس که از عکس‌های هوایی تهیه می‌شوند، به عنوان پایه‌ای برای طراحی بزرگراه‌ها بکار برده می‌شود. برای نگهداری بزرگراه‌ها و یا عمل تصحیح در قسمتی از آن با استفاده از عکسبرداری به صورت فریم یا به صورت پیوسته، عمل تفسیر می‌تواند انجام گیرد. مهندسان از فتوگرامتری برای مسائلی از قبیل اندازه‌گیری تغییر شکل سازه‌های عمرانی و حرکت وسایل نقلیه می‌توانند استفاده کنند.

فتوگرامتری در صنعت برای کارهایی از قبیل، موجودی توده‌های زغال‌سنگ، رسوبات مواد معدنی، موجودی محصولات کشاورزی و در آبشناسی برای آنالیز شیب‌ها، پوشش زمین، نواحی مقسم‌آب^۱ و تعیین عمق برف به منظور تعیین کردن سطح حوزه آبرسانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

باستان‌شناسان می‌توانند عکس‌های هوایی و زمینی را برای اندازه‌گیری و تفسیر قدمت آثار باستانی و مرمت آنها به کار برند.

طراحان شهری از تصاویر هوایی و فضایی برای مطالعات کاربری زمینی می‌توانند استفاده کنند. شناسایی نوع خاک و گیاه با تفسیر و آنالیز تصاویر می‌تواند انجام گیرد. روش‌های فتوگرامتری در تقسیم اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

استفاده از اصول فتوگرامتری برد کوتاه می‌تواند در حل مسائل پزشکی مورد استفاده قرار گیرد. این شاخه از فتوگرامتری برد کوتاه که بیواسترومتریک^۲ نامیده شده است در مسائلی از قبیل

اندازه‌گیری حرکات بدن، سطوح بدن، منحنی میزان، تغییر شکل بدن، حالت و حرکت دندان‌ها قابل استفاده می‌باشد.

همچنین محصولات فتوگرامتری به دو صورت تصویری و برداری می‌تواند در یک بانک اطلاعات قرار گیرد که این بانک اطلاعات می‌تواند در GIS¹ مورد استفاده قرار گیرد.

با ظهور کامپیوترهای با سرعت و حافظه بالا در دهه اخیر سعی بر این بوده است که همه مسائل موجود در فتوگرامتری به صورت نیمه‌اتوماتیک و یا کاملاً اتوماتیک حل شود. برای این منظور، لازم است مدل‌های ریاضی مناسب را که می‌توانند برای حل مسائل مختلف فتوگرامتری به کار روند بشناسیم.

این کتاب در هشت فصل، به بررسی این نوع مدل‌های ریاضی به منظور حل مسائل فتوگرامتری تحلیلی و رقومی می‌پردازد:

در فصل اول، سیستم‌های مختصاتی که در فتوگرامتری مورد استفاده قرار می‌گیرند، و نیز تبدیلات بین آنها برای انتقال اطلاعات از یک سیستم مختصات به سیستم مختصات دیگر مطرح می‌شود؛

در فصل دوم، حذف خطاهای سیستماتیک و خطاهای فیزیکی که حین عکسبرداری روی تصویر اثر می‌گذارند، تحت عنوان پالایش مختصات عکسی به بحث گذاشته می‌شود؛

در فصل سوم، مفاهیم ریاضی هندسه عکس‌ها، معادلات شرط هم‌خطی و شرط هم‌صفحه‌ای مورد بحث واقع شده است؛

در فصل چهارم، نحوه ارتباط بین عکس و زمین (شیء) با معادلات ترفیع و تقاطع فضایی مطرح گردیده است؛

در پنجمین فصل، درباره چند عکسی‌ها و مثلث‌بندی بحث می‌شود. در این مبحث، به صورت تحلیلی، نحوه تکثیر نقاط کنترل و تعیین مختصات زمینی نقاط گرهی به وسیله روش‌هایی چون سرشکنی نوار، سرشکنی با استفاده از مدل‌های مستقل و سرشکنی به روش دسته‌اشعه (باندل) بحث می‌گردد. در انتهای این فصل، استفاده از داده‌های کمکی و مثلث‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در صورتی که بخواهیم خطاهای سیستماتیک و فیزیکی را همزمان در حین حل مسائل فتوگرامتری حذف کنیم، این عمل با استفاده از روش سلف‌کالیبراسیون میسر است که در فصل ششم مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین در این فصل، در باره ارزیابی سرشکنی بلوک بحث می‌شود.

دستگاه‌های تحلیلی که از وسایل استخراج داده‌ها در فتوگرامتری تحلیلی می‌باشند، در فصل هفتم مورد بحث قرار می‌گیرد.

فصل هشتم به عنوان آخرین فصل از کتاب بوده که در آن هندسه تصاویر دیگر در فتوگرامتری مطرح می شود. در این فصل، مدل های ریاضی برای انواع مختلف عکس برداری نواری، پانورامیک، آرایه خطی و اشعه ایکس بیان شده است.

کتاب حاضر می تواند به عنوان منبعی برای مفاهیم تحلیلی و پایه ای فتوگرامتری و سنجش از دور مورد استفاده واقع شود. امید است که مطالعه آن برای اساتید، دانشجویان و فارغ التحصیلان محترم مفید باشد. با توجه به خلأ بسیار شدیدی که در منابع فارسی رشته مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک در ایران داریم، بر آن شدم که مجموعه حاضر را که نتیجه گردآوری مطالب چند سال تدریس است، بصورت کتابی جمع آوری نمایم و در اختیار دانش پژوهان این مملکت قرار دهم تا بتوانم سهمی در جامعه نقشه برداری کشور داشته باشم. در اینجا، وظیفه خود می دانم که از راهنمایی های مفید آقای دکتر علی عزیزی و آقای دکتر محمد سعادت سرشت در بهبود کیفی و علمی کتاب سپاسگزاری نمایم. از کلیه اعضای محترم گروه مهندسی نقشه برداری-ژئوماتیک دانشکده فنی دانشگاه تهران که هر یک به نحوی سهمی در تهیه کتاب داشته اند، قدردانی و تشکر می نمایم. همچنین از سرکار خانم نساری، حلاج، مسرور و خدامرادی جهت همکاری در تهیه کتاب تشکر می نمایم. موجب بسی امتنان خواهد بود که خوانندگان محترم هر گونه نظر و پیشنهادی در باره کتاب دارند و یا چنانچه اشتباهی ملاحظه نمایند به نگارنده اطلاع دهند تا چنانچه توفیق تجدید چاپ دست دهد تصحیح و منظور گردد.

دکتر جلال امینی

Email: jamini@ut.ac.ir

زمستان ۱۳۸۴

فهرست

۱	مقدمه نویسنده
۱	فصل اول - سیستم‌های مختصات و تبدیلات
۲	۱-۱- سیستم مختصات عکسی
۴	۲-۱- سیستم مختصات مدل
۵	۳-۱- سیستم‌های مختصات در فضای شیئی
۶	۱-۳-۱- سیستم مختصات جهانی زمین - مرکز
۸	۲-۳-۱- سیستم مختصات محلی
۱۰	۴-۱- تبدیلات بین سیستم‌های مختصات
۱۰	۱-۴-۱- تبدیلات سه‌بعدی
۱۰	۱-۱-۴-۱- تبدیل ساده سه‌بعدی
۲۱	۲-۱-۴-۱- تبدیل افاین سه‌بعدی
۲۲	۳-۱-۴-۱- تبدیل سه‌بعدی با استفاده از چندجمله‌ای‌ها
۲۳	۴-۱-۴-۱- تبدیل پروژکتیو سه‌بعدی
۲۴	۲-۴-۱- تبدیلات دوبعدی
۲۵	۱-۲-۴-۱- تبدیل ساده دوبعدی
۲۵	۲-۲-۴-۱- تبدیل افاین دوبعدی
۲۷	۳-۲-۴-۱- تبدیل دوبعدی با استفاده از چندجمله‌ای‌ها
۲۷	۴-۲-۴-۱- تبدیل پروژکتیو دوبعدی
۲۹	۵-۱- مسائل
۳۳	فصل دوم - پالایش مختصات عکسی
۳۶	۱-۲- تغییر بعد فیلم
۳۷	۲-۲- اعوجاج عدسی
۴۱	۳-۲- شکست نور در اتمسفر
۴۵	۴-۲- انحنای زمین
۴۷	۵-۲- حرکت تصویر
۴۷	۱-۵-۲- حرکت تصویر به علت حرکات خطی
۴۸	۲-۵-۲- حرکت تصویر به علت حرکات دورانی
۴۹	۶-۲- مسائل

۵۳	فصل سوم - مفاهیم ریاضی هندسه عکس ها
۵۴	۱-۳- معادلات شرط هم خطی
۵۸	۱-۳-۱- صورت خطی معادلات شرط هم خطی
۶۰	۳-۱-۲- توجیه نسبی با استفاده از معادلات شرط هم خطی
۶۹	۳-۲- معادلات شرط هم صفحه ای
۷۲	۳-۲-۱- صورت خطی معادلات شرط هم صفحه ای
۷۶	۳-۳- فرم دیگر معادلات شرط هم خطی و هم صفحه ای
۷۸	۳-۴- محاسبه پارالاکس
۸۰	۳-۵- معادلات پروژکتیو دوبعدی
۸۲	۳-۶- مسائل
۸۳	فصل چهارم - ارتباط عکس - شیء (زمین)
۸۳	۴-۱- توجیه داخلی
۸۴	۴-۲- توجیه نسبی
۸۶	۴-۳- توجیه مطلق
۹۴	۴-۴- توجیه مطلق در دو مرحله
۹۷	۴-۵- ترفیع فضایی
۱۰۲	۴-۶- تقاطع فضایی
۱۰۵	۴-۷- ترمیم تحلیلی
۱۰۸	۴-۸- مسائل
۱۱۳	فصل پنجم - مثلث بندی هوایی
۱۱۳	۵-۱- تهیه
۱۱۴	۵-۱-۱- مراحل اجرای تهیه
۱۱۴	۵-۱-۱-۱- بررسی نحوه پرواز، عکسبرداری انجام شده و تهیه راهنمای عکس
۱۱۷	۵-۱-۱-۲- انتخاب، نشانه گذاری و شماره گذاری نقاط کنترل عکسی و زمینی
۱۲۱	۵-۲- آماده نمودن کروکی نقاط کنترل مسطحاتی و ارتفاعی
۱۲۲	۵-۳- انواع نقاط گرهی
۱۲۳	۵-۴- روش های مارک کردن نقاط روی دیاپوزیتیو
۱۲۳	۵-۵- روش های انتقال نقاط روی عکس های مجاور
۱۲۴	۵-۶- طراحی نقاط کنترل زمینی
۱۲۴	۵-۶-۱- طراحی نقاط کنترل مسطحاتی
۱۲۶	۵-۶-۲- طراحی نقاط کنترل ارتفاعی

۱۳۰	۷-۵-روش‌های مثلث‌بندی هوایی
۱۳۱	۷-۵-۱- مثلث‌بندی مکانیکی
۱۳۱	۷-۵-۱-۱- مثلث‌بندی با استفاده از دستگاه‌های چند پروژکتوری
۱۳۳	۷-۵-۱-۲- مثلث‌بندی با استفاده از دستگاه‌های یونیورسال
۱۳۴	۷-۵-۱-۳- سرشکنی نوار در مثلث‌بندی به روش مکانیکی
۱۳۸	۷-۵-۲- مثلث‌بندی نیمه‌تحلیلی
۱۴۳	۷-۵-۳- مثلث‌بندی تحلیلی
۱۴۴	۷-۵-۱-۳- روش‌های مثلث‌بندی مدل‌های پیوسته
۱۴۴	۷-۵-۱-۱-۳- مثلث‌بندی مدل پیوسته
۱۵۸	۷-۵-۲-۱-۳- مثلث‌بندی سه عکسی
۱۶۰	۷-۵-۲-۳- مثلث‌بندی مدل‌های مستقل
۱۶۰	۷-۵-۱-۲-۳- سرشکنی بلوک به روش مدل‌های مستقل به طور یکجا
۱۶۲	۷-۵-۲-۲-۳- سرشکنی بلوک به روش مدل‌های مستقل در دو مرحله
۱۶۸	۷-۵-۳-۳- مثلث‌بندی دسته‌اشعه
۱۷۳	۷-۵-۱-۳-۳- معادلات نرمال کاهش‌یافته
۱۸۰	۵-۸- داده‌های ناوبری در مثلث‌بندی
۱۸۰	۵-۸-۱- استفاده از داده‌های GPS در سرشکنی بلوک
۱۸۲	۵-۹- سیستم‌های ناوبری اینرشیال (INS)
۱۸۲	۵-۱۰- مثلث‌بندی تصاویر ماهواره‌ای
۱۸۵	۵-۱۱- مسائل
۱۸۷	فصل ششم - سلف کالیبراسیون و قیدها
۱۸۸	۶-۱- سلف کالیبراسیون و صورت خطی معادلات
۱۹۷	۶-۲- قیدها
۱۹۷	۶-۱-۲- قید وزن
۱۹۷	۶-۲-۲- قید تابعی
۱۹۸	۶-۳- تشکیل معادلات نرمال با پارامترهای سلف کالیبراسیون و معادلات قید
۲۰۲	۶-۴- ارزیابی سرشکنی بلوک
۲۰۳	۶-۴-۱- ارزیابی کیفی
۲۰۴	۶-۴-۲- ارزیابی آماری
۲۰۴	۶-۴-۱-۲- دقت
۲۰۵	۶-۴-۲-۲- صحت

۲۰۶	 قابلیت اطمینان ۴-۲-۳
۲۰۹	 فصل هفتم - دستگاه‌های تحلیلی
۲۱۰	 ۷-۱- منوکامپاراتورها
۲۱۴	 ۷-۲- استرنوکامپاراتورها
۲۱۷	 ۷-۳- دستگاه‌های تبدیل تحلیلی
۲۱۹	 ۷-۴- مزایای دستگاه‌های تحلیلی
۲۲۰	 ۷-۵- توجیهات دستگاه‌های تحلیلی
۲۲۰	 ۷-۵-۱- کالیبره کردن یک دستگاه تحلیلی
۲۲۲	 ۷-۵-۲- توجیه داخلی
۲۲۳	 ۷-۵-۳- توجیه نسبی
۲۲۳	 ۷-۵-۴- توجیه مطلق
۲۲۴	 ۷-۶- انواع دستگاه‌های تبدیل تحلیلی
۲۲۴	 ۷-۶-۱- دستگاه‌های تبدیل تحلیلی I.C.P
۲۲۵	 ۷-۶-۲- دستگاه‌های تبدیل تحلیلی O.C.P
۲۲۷	 ۷-۷- مسائل
۲۲۹	 فصل هشتم - هندسه تصاویر مختلف در فتوگرامتری و سنجش از دور
۲۳۰	 ۸-۱- هندسه تصاویر ماهواره‌ای
۲۳۰	 ۸-۱-۱- المان‌های توصیف کننده مدار ماهواره و سیستم مختصات
۲۳۳	 ۸-۱-۲- معادلات تصاویر ماهواره‌ای
۲۳۴	 ۸-۲- هندسه عکسبرداری نواری
۲۳۶	 ۸-۲-۱- معادلات شرط هم‌خطی در عکسبرداری نواری
۲۳۹	 ۸-۲-۲- معادلات شرط هم‌صفحه ای در عکسبرداری نواری
۲۴۲	 ۸-۳- هندسه سنجنده با آرایه خطی
۲۴۵	 ۸-۴- هندسه عکسبرداری پانورامیک
۲۴۷	 ۸-۴-۱- معادلات شرط هم‌خطی در عکسبرداری پانورامیک
۲۴۹	 ۸-۴-۲- توجیه نسبی عکس‌های پانورامیک
۲۵۳	 ۸-۵- هندسه سنجنده‌های نوری و مکانیکی
۲۵۳	 ۸-۶- هندسه تصاویر برد کوتاه
۲۵۴	 ۸-۶-۱- معادلات شرط هم‌خطی در برد کوتاه
۲۵۵	 ۸-۶-۲- تبدیل خطی مستقیم
۲۵۶	 ۸-۶-۳- استخراج پارامترهای فیزیکی از معادلات DLT

۴-۶-۸	معادلات قید منفرد	۲۵۷
۵-۶-۸	مختصات هموزن	۲۵۸
۷-۸	فتوگرامتری اشعه ایکس	۲۶۱
۱-۷-۸	اعوجاجات در سیستم اشعه ایکس	۲۶۳
۲-۷-۸	توجیه مدل‌های تصاویر اشعه ایکس	۲۶۶
۸-۸	مسائل	۲۶۷
	مراجع	۲۶۹