



مبانی دورسنجی

زمین شناختی و زیست محیطی

رابرت کی. وینسنت

ترجمه مجید هاشمی تنگستانی

مرکز نشر دانشگاهی



Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing
Robert K. Vincent
Prentice Hall, 1997

مبانی دورسنجی زمین‌شناسی و زیست‌محیطی
تألیف رابرت کی. وینست
ترجمه دکتر مجید هاشمی تنگستانی
ویراسته دکتر سروش مدبری
طراح جلد: بهرام کاووسی‌راد
نسخه پرداز: منیره خق‌نژاد، زهره رهیده
حروفچین و صفحه‌آرا: الهه عموحسن
ناظر چاپ: خشایار نصیری‌منش
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۸۸
تعداد ۱۵۰۰
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: وسعه
۱۱۰۰۰ تومان
حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: وینست، رابرت کی.، ۱۹۴۱- م. Vincent, Robert K.
عنوان و نام پدیدآور: مبانی دورسنجی زمین‌شناسی و زیست‌محیطی / رابرت کی. وینست؛ ترجمه
مجید هاشمی تنگستانی.
مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری: شش، ۲۷۲ ص: مصور، نقشه، جدول، نمودار.
فروست: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۲۵. علوم زمین و محیط‌زیست: ۲۶.
شابک: 978-964-01-1325-7
وضعیت فهرست‌نویسی: فیا
یادداشت: عنوان اصلی:
Fundamentals of geological and environmental remote sensing c1997.
یادداشت: کتابنامه.
یادداشت: واژه‌نامه.
موضوع: زمین‌شناسی — سنجش از راه دور
موضوع: محیط زیست — پایش — سنجش از دور
شماره افزوده: هاشمی تنگستانی، مجید، مترجم
رده‌بندی کنگره: ۱۴۸۸/۹۰۹/۲/۲ QEr۲
رده‌بندی دیویی: ۵۵۰/۲۸
شماره کتابشناسی ملی: ۱۶۸۱۸۲۲

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

پیشگفتار	هفت
۱ مقدمه و دید کلی	۱
از چشم انسان تا روبشگر چندطیفی	۱
مرور مطالب	۸
۲ برهم کنش تابش الکترومغناطیس با مواد طبیعی سطح زمین	۱۱
تابش الکترومغناطیس و جستجو برای اطلاعات ترکیب شیمیایی	۱۱
اثر ضریب شکست و جذب تكدانه‌ها بر خواص بازتابایی یک ساحل شنی	۱۵
اثر اندازه دانه بر ویژگیهای بازتابایی یک ساحل	۲۴
تفکیک اثرات ترکیب و اندازه دانه و استنتاج از سواحل به خاکها و سنگها	۲۸
مرور مطالب	۳۳
۳ طیف مواد زمینی	۳۶
پوشش گیاهی، آب و برف	۳۶
کانیها و سنگها	۴۴
مرور مطالب	۹۰

۴	تابش طیفی سطح زمین و اندازه‌گیری آن توسط سنجنده‌های چندطیفی الکترو-آپتیکال	۹۶
۹۶	تابش بازتابیده و گسیلیده قابل دسترسی برای آشکارسازی سنجنده‌های دورسنجی الکتروآپتیکال چندطیفی	۱۰۲
۱۱۶	تابش طیفی اندازه‌گیری شده	۱۱۹
	مرور مطالب	
۵	روشهای پردازش تصویر چندطیفی	۱۲۱
	مقدمه	۱۲۱
۱۲۳	حذف تابندگی مسیر جوی و جابه‌جایی الکترونیکی اضافی	۱۳۴
۱۳۴	نمایش الکترونیکی و درک انسان از رنگ	۱۳۷
۱۳۷	نسبت‌گیری طیفی و زمانی	۱۵۹
۱۵۹	تبدیل مؤلفه‌های اصلی و طبقه‌بندی چندطیفی	۱۷۶
	مرور مطالب	
۶	روشهای پردازش مکانی تصویر	۱۸۲
	مقدمه	۱۸۲
۱۸۴	نقشه‌برداری خودکار سیمای خطی	۱۸۹
۱۸۹	تصویربرداری زمین‌فیزیکی	۱۹۹
۱۹۹	فتوگرامتری رقمی	۲۰۷
۲۰۷	تلفیق داده‌های دورسنجی و سامانه اطلاعات جغرافیایی	۲۱۸
	مرور مطالب	
۷	کاربردهای دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	۲۲۱
	مقدمه	۲۲۱
۲۲۲	کاربرد دورسنجی در اکتشاف فلزها	۲۴۴
۲۴۴	کاربرد دورسنجی در اکتشاف الماس و کانیهای خاکی کمیاب	۲۵۰
۲۵۰	کاربرد دورسنجی در اکتشاف کانیهای صنعتی	

۲۵۶

مرور مطالب

۲۶۴

۸ کاربردهای دورسنجی در اکتشاف نفت و آب زیرزمینی

۲۶۴

مقدمه

۲۶۵

کاربرد دورسنجی در اکتشاف نفت

۲۹۹

کاربرد دورسنجی در اکتشاف آب زیرزمینی

۳۱۱

مرور مطالب

۳۱۹

۹ کاربردهای دورسنجی در مطالعات زیست محیطی و مهندسی

۳۱۹

زمین شناختی

۳۲۰

کاربردهای دورسنجی در گورستانهای زباله های جامد و معادن روباز

۳۳۶

کاربردهای دورسنجی برای جنگلها و ماندابها

۳۴۲

کاربردهای دورسنجی در فرسایش زمینهای کشاورزی و ساحلی

۳۵۰

کاربردهای دورسنجی برای خطوط لوله و بزرگراهها

۳۵۵

مرور مطالب

۳۶۲

۱۰ کاربردهای دورسنجی در پایش جهانی

۳۶۲

مقدمه

۳۶۴

پایش جهانی خطرهای زمین شناختی

۳۹۲

پایش نقش انسان در تغییرات جهانی

۳۹۹

پایش نقش عوامل طبیعی بر تغییرات جهانی

۴۱۱

مرور مطالب

۴۲۱

سخن پایانی

۴۲۳

پیوست الف معادلات انتگرال

۴۲۳

(فصل ۴)

صفحه	عنوان
۴۲۶	(فصل ۵)
۴۲۷	پیوست ب سامانه‌های سنجندهٔ چندطیفی
۴۳۰	پیوست ج کدهای روشنایی و نسبت کانیها، پوشش گیاهی و برف در لندست TM و MSS
۴۵۰	واژه‌نامه
۴۶۶	شرح عکسهای رنگی

پیشگفتار

شناخت پیشینه نویسنده یک کتاب می‌تواند به فهم بهتر آن کتاب منجر شود. آقای وینسنت، نویسنده کتاب، پیشینه علمی جالبی داشته است. وی دوره کارشناسی ریاضی را در دانشگاه فنی لوئیزیانا، کارشناسی فیزیک را در دانشگاه فنی لوئیزیانا و کارشناسی ارشد فیزیک را در دانشگاه مریلند و دکترای زمین‌شناسی را در دانشگاه میشیگان گذرانده است. وی یکی از پژوهشگران اصلی آزمایشهای منابع زمینی لندست-۱ و اسکای‌لب در اوایل دهه ۱۹۷۰، به عنوان زمین‌فیزیکدان پژوهشی در آزمایشگاههای ویلوران دانشگاه میشیگان بود که در سال ۱۹۷۳ به موسسه پژوهشهای زیست‌محیطی میشیگان (ERIM) تغییر نام داد. بین سالهای ۱۹۹۳-۱۹۷۴ به عنوان متخصص سنجش از دور صنعتی، شرکت ژئواسپکترا (سنجش از دور زمین‌شناختی) و شرکت بایوایمیج (پردازش تصاویر پزشکی) را در آن آریور میشیگان تأسیس کرد. در آگوست ۱۹۹۳ کار تدریس را با رتبه دانشیاری در گروه زمین‌شناسی دانشگاه ایالتی بولینگ گرین در اوهایو آغاز کرد.

سنجش از دور کاربرد زیادی در بسیاری از رشته‌های علمی دارد اما کاربردهای زمین‌شناختی و زیست‌محیطی آن بسیار پراهمیت‌تر است. امروزه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای ارزان در دسترس بوده و می‌توان با آنها از جنبه‌های چندطیفی داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و هوایی بهره‌برداری کامل نمود. جنبه‌های غیر چندطیفی سنجش از دور که به پوست پرتقال می‌ماند، موجودیت سنجش از دور در سالهای اولیه این فناوری را توجیه می‌کند اما اکنون زمان چشیدن خود پرتقال، یعنی کاربردهای چندطیفی است. مبانی علمی ارائه‌شده در این کتاب، می‌تواند برای آشنایی با نقشهای متفاوت از دور چندطیفی، بسیار سودمند واقع شود.

این کتاب در اصل برای دانشجویان دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد و فارغ‌التحصیلان رشته‌های زمین‌شناسی و علوم زیست‌محیطی و همچنین برای زمین‌شناسان و دانشمندان

زیست محیطی صنعت (که به ویژه پیوست ج می تواند برای آنها سودمند باشد) نوشته شده است. شش فصل اول و دو فصل آخر کتاب، می توانند به تنهایی به عنوان کتاب درسی سنجش از دور زیست محیطی در گروه های جغرافیا، علوم زمین و سایر گروه های مرتبط با محیط زیست به کار گرفته شوند. هر چند دروس ریاضی، سنگ شناسی و کانی شناسی به عنوان پیش نیازهای درس سنجش از دور زمین شناختی توصیه می شود، اما معادلات ریاضی به گونه ای ساده شده اند که تمام انتگرالها در پیوست الف گنجانده شده و بیشتر اطلاعات سنگ شناختی و کانی شناختی مورد نیاز درس نیز در کتاب نگاشته شده است. برای سنجش از دور زیست محیطی، تنها درس ریاضی به عنوان پیش نیاز توصیه می شود، آن هم تنها برای مواردی که دانشجو علاقه مند به درک معادلات آسانتر پیوست الف باشد. شش فصل اول این کتاب به زمینه های فیزیکی، شیمیایی و پردازش تصویر مورد نیاز سنجش از دور، با تأکید بر ملاحظات زمین شناختی می پردازد. با وجود این، این فصلها می توانند برای متخصصان سنجش از دور در بسیاری رشته های علمی دیگر، از جمله متخصصان سنجش از دور نظامی سودمند باشند، که باید سرزمینهای طبیعی را به منظور افزایش تباین بین اشیای ساخته دست بشر و زمینه های پیرامون آنها، بشناسند.

فصلهای ۵ و ۶، به ترتیب به روشهای پردازش تصویر چندطیفی و تصویر مکانی می پردازند. بخش فتوگرامتری رقمی فصل ششم در نوع خود یکی از اولین نوشتارها بوده و می تواند برای فتوگرامتریست ها و همچنین کاربران پایگاههای داده سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) مفید باشد. فصلهای باقیمانده، به کاربردهای سنجش از دور در موضوعهای مختلف می پردازد. فصل ۷ به کاربرد سنجش از دور زمین شناختی در اکتشاف فلزهای قیمتی (شامل ذخایر افشان طلا)، فلزهای پایه، عناصر خاکی کمیاب و کانیهای صنعتی اختصاص یافته است. فصل ۸ درباره اکتشاف نفت و آب زیرزمینی است. این دو فصل شامل چندین مطالعه موردی است که برخی از آنها در ارتباط با تجربیات ۲۰ ساله نویسنده در بخش صنعت بوده و دانشجویان زمین شناسی و مشاوران صنعتی به طور خاص، می توانند از آن بهره ببرند. بخشهای سنجش از دور زمین گياه شناختی فصلهای ۷ و ۸ می تواند برای متخصصان سنجش از دور کشاورزی و جنگلداری جالب باشد.

فصل ۹ به مطالعات زمین شناسی مهندسی و زیست محیطی پرداخته و می تواند برای بسیاری از شاغلین سنجش از دور، از بهره برداران مراکز دفن زباله های جامد گرفته تا طراحان مسیرهای حمل و نقل و خطوط لوله، سودمند باشد. کاربردهای مختلف سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب مطالعات موردی بررسی شده است. فصل ۱۰ با موضوع پایش جهانی، تفکر برانگیزترین فصل کتاب است، زیرا موضوع آن نوبه سرعت در حال تغییر است. فصل ۱۰ می تواند برای زمین فیزیکدانان و اقیانوس شناسان جالب باشد. ما در زمانی هیجان انگیز از نظر دو زمینه مطالعاتی و همچنین سنجش از دور زندگی می کنیم که به عقیده نویسنده، یک فناوری حیاتی و توانا در پایش زیست محیطی است.

مقدمه و دید کلی

از چشم انسان تا روبشگر چندطیفی

زمین‌شناسی و مطالعات زیست‌محیطی، عمده‌تأ علومی مشاهداتی هستند. در گذشته چشم یک متخصص صحرایی، مهمترین سنجنده در دسترس برای تشخیص عوارض سطح زمین بوده است. هنگامی که متخصصی اطراف خود را با چشم مشاهده می‌کند، رنگهای مرئی و نیز اطلاعات مکانی (مانند اندازه، بافت، شکل سه‌بعدی و موقعیت محیطی) را در یک لحظه با تلفیق چشم-مغز، درک می‌کند. این اطلاعات، به شکل هم‌ثبت‌شده در دسترس بخشهای منطقی مغز قرار می‌گیرد، به گونه‌ای که انواع مختلف رنگها و اطلاعات مکانی، برای هر بخش از چشم‌انداز، به طور هم‌زمان یکدیگر را خواهند پوشاند.

به هر حال، هر اندازه، سامانه مشاهداتی چشم-مغز یک متخصص صحرایی خوب باشد، باز هم اطلاعات در دسترس بسیار زیادتری نسبت به آنچه چشم غیرمسلح می‌تواند مشاهده و پردازش کند یا به طور دقیق به خاطر آورد، درباره سطح زمین وجود دارد. نخست، به این دلیل که مشاهدات هر گونه سنجنده زمینی به مناطقی کوچک محدود است. دوم، درک عمق توسط انسان،

نسبی است و نه مطلق؛ که این امر منجر به اشتباه در درک آرایش مکانی عوارض سطحی زمین می‌شود. سوم، افزون بر نور مرئی خورشید، شکل‌های فراوان دیگری از امواج الکترومغناطیسی (که تابش الکترومغناطیس نیز نامیده می‌شوند) وجود دارد که دارای اطلاعات مفیدی دربارهٔ اجسام سطحی هستند. امواج الکترومغناطیسی، در واقع بسته‌های بدون جرمی از انرژی به نام فوتون هستند. برخی از این فوتونها نور مرئی هستند، بدین معنی که با طول موجهایی در گسترهٔ ۴۰۰ تا ۷۰۰ میکرومتر (یک میکرومتر برابر است با یک میلیونیم متر)، با چشم انسان دیده می‌شوند، با وجود این، بیشتر آنها نامرئی هستند. چهارم، حافظهٔ انسان به اندازهٔ کافی دارای خطاست، به گونه‌ای که هرگاه متخصص صحرایی سیمای سطحی را به نقشه درمی‌آورد، این بازنماییهای هنرمندانه، نتایج مشاهدات صحرایی را به طرز نادرستی با منطقهٔ نقشه‌برداری شده درون‌یابی می‌کنند، به گونه‌ای که اغلب بسیار زیباتر از واقعیت هستند.

دورسنجی که فناوری تعیین ویژگیهای اجسام دور از روی امواج الکترومغناطیسی گسلی یا بازتابی آنهاست، تواناییهای درک حسی و ذهنیات مشاهده‌گر صحرایی را دست‌کم در یک گامی در تمامی چهار مورد یادشده افزایش می‌دهد. نخستین ابزار دورسنجی برای ثبت تصویر از روی امواج الکترومغناطیسی، عکس سیاه و سفید بود که تصویرهایی از باند طیفی طول موجهای فرابنفش و بخش آبی طیف مرئی را ثبت می‌کردند (ریوس و دیگران^۱، ۱۹۷۵). لوئیس داگر^۲ (سلاما و دیگران^۳، ۱۹۸۰)، نتایج اولین عکسبرداری واقعی را در سال ۱۸۳۷ به صورت تصویرهای مثبت بر روی یک صفحهٔ فلزی تولید کرد. در سال ۱۸۵۸ برای نخستین بار، یک عکاس بالن‌سوار فرانسوی به نام تورناشون^۴ (سلاما و دیگران، ۱۹۸۰)، عکسبرداری هوایی را در یک بالن هوای داغ انجام داد. این کار بزرگ در اوایل سدهٔ بیستم، به صورت عکسبرداری هوایی با هواپیما، نخستین بار توسط ویلبر رایت^۵ در ۲۴ آوریل ۱۹۰۹، بر فراز چنتوچلی^۶ ایتالیا دنبال شد (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). عکس هوایی قادر بود بیشتر آنچه که چشمان متخصص صحرایی می‌توانست ببیند را، هرچند در مقیاسهای کوچکتر و با میدان دید لحظه‌ای بزرگتر از محدودهٔ دید چشمان مشاهده‌گر در طی یک عملیات صحرایی، ببیند.

تا پیش از سال ۱۹۰۴، هانری فورکید^۷ (جنگلبان بریتانیایی در آفریقای جنوبی) با استفاده از یک جفت عکس، یک نقشهٔ توپوگرافی تهیه کرده بود (سلاما و دیگران، ۱۹۸۰). این اندازه‌گیریهای ارتفاع را به گونه‌ای کنی می‌کرد که درک عمق توسط چشم غیرمسلح انسان، قادر به انجام آن

1. Reeves et al 2. Louis Daguerre 3. Slama et al 4. Tournachon
5. Wilbur Wright 6. Centocelli 7. Henry Fourcade

نبرد. ارتوفوتوگرافها در دهه ۱۹۵۰ گسترش یافتند (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). بر خلاف عکسهای هوایی معمولی، ارتوفوتوگرافها به طور مستقیم بر روی نقشه منطبق می‌شدند، زیرا وایچسهای ناشی از اختلاف ارتفاع سطح ناهموار زمین، در صحنه عکسبرداری شده، در آنها برطرف شده بود. فتوگرامتری رقمی در دهه گذشته گسترش یافت (وینسنت و دیگران^۱، ۱۹۸۷؛ اکرم^۲، ۱۹۹۴؛ جنسن^۳، ۱۹۹۵). این پیشرفت منجر به استخراج خودکار داده‌های ارتفاعی، از جفت تصویرهای رقمی شده، با استفاده از رایانه‌ها شد و نخستین ارتوفوتوگرافهای رقمی را تولید کرد. ارتوفوتوگرافهای رقمی، فناوریهای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دورسنجی را، از راه همپوشانی رقمی دقیق نقشه‌های رقمی شده با تصویرهای دورسنجی از انحراف، تلفیق می‌کند.

جنبه چندطیفی (به معنی بیش از یک باند طیفی یا ناحیه طول موج) دورسنجی، با ظهور فیلم عکاسی رنگی آغاز شد. کُداک، در سال ۱۹۳۵، این نوع فیلم را به صورت کداکروم (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵)، فیلمی که سه باند طیفی مرئی (آبی، سبز و سرخ) را می‌پوشاند، به بازار عرضه کرد. اما استفاده از فیلم رنگی، در عکسبرداری هوایی، با مشکلاتی مواجه شد. از مهمترین آنها، کاهش جزئیات به دلیل غبار جوّی است که باعث کش بسیار بیشتر نور در ناحیه طول موج آبی مرئی (حدود ۰/۴۳ تا ۰/۴۹ میکرومتر) نسبت به طول موجهای بلندتر می‌شود. در اواخر دهه ۱۹۳۰، نیروی هوایی ارتش ایالات متحده به سازگار کردن فیلم فروسرخ با اهداف نظامی مشغول بود. این فیلم به طول موجهای بین حد بایینی سرخ مرئی (۰/۶ میکرومتر) و ۰/۹ میکرومتر، برای نفوذ در غبار، حساس بود؛ شیوه‌ای که تا پیش از سال ۱۹۴۱ به خوبی جا افتاده بود (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). کُداک، در طی جنگ جهانی دوم، فیلم رنگی فروسرخ (CIR) را با هدف آشکارسازی اختلاف بین پوشش گیاهی طبیعی (که در عکس CIR به صورت سرخ نشان داده می‌شد) و مناطق استتار شده، که در ناحیه طول موج مرئی شبیه پوشش گیاهی به نظر می‌رسید، اختراع کرد (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). پس از جنگ، دوربینهای چندطیفی با فیلم عکاسی فیلتر شده به باندهای طیفی باریک متنوع در ناحیه ۰/۴ تا ۱/۰ میکرومتر، گسترش یافتند، و در دهه ۱۹۶۰، با اولین عکس چندطیفی ماهواره‌ای زمین، که توسط آپولو ۹ گرفته شد، به اوج رسیدند (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). اگر چه فیلم فروسرخ امکان ثبت تصویر در طول موجهای نامرئی از دید انسان را فراهم می‌ساخت، اما چه در گذشته و چه در حال، به بخش کوچکی از طیف فروسرخ، بین ۰/۶۷ میکرومتر و ۱/۰ میکرومتر محدود بوده است.

گردآوری داده‌های تصویری در طول موجهای بلندتر از ۱/۰ میکرومتر، به فناوری دورسنجی

متفاوت از فیلم عکاسی نیاز دارد. در اواخر دهه ۱۹۵۰ و دهه ۱۹۶۰، یک دستگاه رویش چندطیفی برای ثبت تصاویرهای سطح زمین در نواحی طول موجهای بسیار متفاوت، حتی بلندتر از ۱۷۰ میکرومتر، با حمایت مالی ارتش ایالات متحده آمریکا، در آزمایشگاههای ویلوران^۱ دانشگاه میشیگان در آن آربور^۲، توسط دکتر گوین سویتز^۳، ماروین (مایک) هالتر^۴، و یک گروه پشتیبانی از مهندسان و دانشمندان ساخته شد. بیش از یک دوجین باند طیفی مختلف، به طور همزمان، توسط یک روبشگر چندطیفی هوابرد بر روی نوارهای آنالوگ ثبت می‌شد و در آزمایشگاه از پردازشگرهای داده‌های چندطیفی آنالوگ، که به طور سفارشی ساخته شده بودند، برای تکرار صحنه تصویر داده‌ها در ترکیبهای گوناگون باندهای طیفی، استفاده می‌شد. روبشگر چندطیفی در واقع دنیا را از دریچه جدیدی، که شامل تابش مرئی و نیز نامرئی (طول موجهای فرابنفش و فروسرخ) الکترومغناطیسی بود، نگاه می‌کرد. ناسا^۵، در سال ۱۹۷۲، نخستین ماهواره فناوری منابع زمینی (ERTS ۱) را، با روبشگر چندطیفی رقعی (MSS) سوار بر آن، به فضا پرتاب کرد. ERTS ۱ که بعدها لندست-۱ نامیده شد، رشته زمین‌شناسی را به میزان قابل توجهی غنی کرد، زیرا به زمین‌شناس از راه (داده‌هایی که در یک دوره بسیار کوتاه از منابع وسیع گردآوری شده بودند)، یک دید کلی می‌داد. سطح زمین در چهار ناحیه متفاوت طول موج نوری (دو طول موج در ناحیه مرئی و دو طول موج در ناحیه فروسرخ بازتابی) از فضا مشاهده می‌شد. تصویر هر باند طیفی به عناصر تصویر (به نام پیکسل) که تقریباً با مربعی به ضلع ۸۰ متر بر روی زمین برابر بودند، تجزیه می‌شد. با پیدایش لندست-۱، مرحله جدی کاربردی دوران دورسنجی آغاز شد. در حالی که تا پیش از سال ۱۹۷۲، داده‌های روبشگر چندطیفی فقط در اختیار تعداد کمی از پژوهشگران در شمار ناچیزی از مؤسسه‌ها قرار داشت و تنها برای بخشهای کوچکی از کره زمین، با استفاده از هواپیما، گردآوری شده بود؛ اما سیاست «آسمانهای باز» ناسا، در ارتباط با داده‌های لندست، امکان دسترسی به داده‌های ماهواره منابع زمینی را تقریباً در هر نقطه‌ای از زمین (به استثنای بخشهایی از نواحی قطبی که به طور فیزیکی در دسترس نبودند) و برای هر پژوهشگری در دنیا، که حکومتشان اجازه استفاده از آن را می‌داد، فراهم ساخت. در سراسر تاریخ علم، هیچ اتفاقی با پیدایش لندست-۱، برای به اشتراک گذاشتن صلح‌آمیز داده‌های علمی، برابر نبوده است. در دسترس قرار گرفتن داده‌های ماهواره‌ای، از هر نقطه‌ای بر روی کره زمین و برای همگان، اندیشه‌ای انقلابی در دوران «جنگ سرد» بود. با وجود این، اندیشه ویژه سیاست آسمانهای باز لندست، آغاز دورانی به نسبت دشوار برای نخستین شرکت‌کنندگان در امر تجاری کردن دورسنجی بود. یادآوری یکی از تجربه‌های دهه ۱۹۷۰، که در پی خواهد آمد، گواه این موضوع است.

1. Willow Run 2. Ann Arbor 3. Gwynn Suits 4. Marvin Holter 5. NASA
6. Landsat

من تلاش می‌کردم، با کمک مترجمی محلی، افسر نظامی یک کشور در حال توسعه که روبه‌روی من پشت میزی نشسته بود را برای خرید نتایج مطالعات اکتشاف نفت و آبهای زیرزمینی (با استفاده از داده‌های لندست) قانع کنم، که به طور غیرمنتظره‌ای اظهار کرد، آماده است هر نوع داده ماهواره‌ای مربوط به کشورش را، که تاکنون در اختیار من بوده است، خریداری کند. من توضیح دادم که داده‌ها باید، پس از آغاز مطالعات، سفارش داده شوند و ماهواره، هر ۱۸ روز یک بار، در یکی از گذرهای خود بر روی کشور او، آنها را گردآوری کند. او ناگهان جستی زد و با حالتی خصمانه چیزی را فریاد زد. مترجم به جای ترجمه سخنان خشمگین او نگاهی به من کرد، سپس برگشت و بدون مشورت با من پاسخی به او داد. سکوت معنی‌داری حاکم شد و در پی آن، افسر نظامی و مترجم، خنده انفجارآمیزی را به راه انداختند، در حالی که من تلاش می‌کردم حیرت و آشفتگی خود را با لبخندی پنهان کنم. بعداً که از مجتمع اداری بیرون آمدم، از مترجم پرسیدم که در آن لحظه تنش را چه اتفاقی افتاد؟ او چنان به شدت شروع به خندیدن کرد که رانندگی برایش دشوار شد. سپس گفت: «وقتی من صحبت شما را درباره‌ی گذر هر ۱۸ روز یک بار ماهواره از روی این کشور ترجمه کردم، او فریاد زد: چه کسی به ماهواره چنین اجازه‌ای می‌دهد؟ من لحظه‌ای فکر کردم و گفتم: هیچ‌کس، ماهواره به اجازه‌ی شما نیاز ندارد. اگر از آن خوشتان نمی‌آید به سوش شلیک کرده و آن را سرنگون کنید، سپس او خندید». بنابراین جای شگفتی نیست اگر کارورزان باتجربه‌ی دورسنجی، به نسبت، کمیاب باشند.

ماهواره‌های بعدی سری لندست، همچنان به روبشگر چندطیفی MSS با چهار باند طیفی مشابه با لندست-۱، مجهز بودند. بنابراین، داده‌های این باندها از سال ۱۹۷۲، به طور پیوسته گردآوری شده و شامل مجموعه داده‌های بایگانی‌شده‌ای است که برای تمام رشته‌های علمی و به‌ویژه پایشهای زیست‌محیطی بسیار مهم‌اند. در دهه ۱۹۸۰، روبشگر چندطیفی نقشه‌بردار موضوعی یا (TM) با هفت باند طیفی، به سری لندست اضافه شد. همه باندهای TM بجز باند فروسرخ گرمایی با پیکسل‌های ۱۲۰ متری، دارای اندازه پیکسل ۳۰ متری هستند.

عکسهای رنگی ۲، ۱ و ۳ نشان‌دهنده مثالی از چگونگی تغییرات بُعدنمایی یک مشاهده‌گر از موقعیتهای مناسب زمین (نگاه به شرق)، از دید یک هواپیمای بلندپرواز، و از روی یک ماهواره لندست است. این عکسها مربوط به منطقه‌ای از گوشه جنوب غربی حوضه ویندریور^۱ وایومینگ^۲ است، جایی که یک رودخانه، با سازند فراساخته چاگواتر^۳ به سن تریاس، تلاقی می‌کند. عکس زمینی، مساحت تقریبی ۲ × ۲ کیلومتر را می‌پوشاند، عکس هوایی اصلی، تقریباً ۲۳/۲۳ × ۹/۲۳

کیلومتر، و تصویر اصلی لندست، تقریباً 185×185 کیلومتر، یا مساحتی حدود 400 برابر عکس هوایی و حدود 8500 برابر عکس زمینی را پوشش می‌دهد. این مقیاس نشان می‌دهد که بیش از 400 عکس هوایی با مقیاس $1:400000$ ، می‌تواند مساحت یک صحنه لندست را پوشش دهد. عکسهای هوایی در زمانهای مختلف روز و احتمالاً در روزهای مختلف تهیه می‌شدند و بنابراین اختلاف در روشنایی، فرایند موزاییک کردن را دشوار کرده و هزینه آن را افزایش می‌داد. در مقابل، یک صحنه کامل لندست در 20 ثانیه گردآوری شده و هیچ‌گونه مرز مصنوعی در تصویر وجود ندارد تا مفسر را سردرگم کند. این فقط مقایسه‌ای است تا نقش مهم لندست را در پوشش هم‌دید توسط دورسنجی زمین‌شناختی و زیست‌محیطی نشان دهد.

حدود طول موج باندهای طیفی لندست MSS و TM در پیوست ب نشان داده شده است. همچنین در این پیوست، باندهای طیفی و اندازه پیکسل‌های چندین ماهواره منابع زمینی دیگر که در دهه 1990 پرتاب شده‌اند، آورده شده است. افزایش شدید دسترسی به داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای در دهه گذشته هزاره دوم، تقریباً مسلم می‌سازد که سنجش از دور یکی از مهم‌ترین فناوریهای سده بیست‌ویکم خواهد بود.

هنگامی که یک مشاهده‌گر، واژه دورسنجی را با صفت چندطیفی توصیف می‌کند، مثل این است که بپرسد، ترکیب شیء مشاهده‌شده چیست؟ تغییر بازتاب یا گسیل یک شیء با تغییر طول موج، در محدوده‌های مرئی یا فرابنفش، توسط عناصر جزئی موجود در آن، و در طول موجهای فروسرخ بازتابی و گرمایی، توسط ترکیب کلی آن جسم کنترل می‌شود. در زمین‌شناسی، ترکیب شیمیایی و/یا کانیایی جسم مشاهده‌شده، ویژگی مهم‌تری حتی نسبت به اندازه و شکل آن است، اگر چه این گونه ویژگیهای مکانی نیز مفید هستند. سنگها از کانی تشکیل شده‌اند و هیچ دو کانی، ترکیب شیمیایی و ساختار بلورین مشابه ندارند، واقعیتی که نشان می‌دهد هیچ دو کانی، در همه طول موجها، بازتابندگی طیفی مشابه نخواهد داشت. بنابراین، دورسنجی زمین‌شناختی، در واقع چندطیفی است. آنچه دورسنجی در زمین‌شناسی ارائه می‌کند عبارت است از جداسازی بهتر ترکیب سنگها و خاکهای رخنمون‌یافته، دسترسی آسان‌تر به منطقه مطالعاتی و دید هم‌دید بهتر نسبت به آنچه یک زمین‌شناس ممکن است در صحرا ببیند. در هر حال، هنوز برای تفسیر و تأیید نتایج دورسنجی، به‌ویژه پس از مشاهده سطح توسط دورسنجی و آنچه در عمق وجود دارد به زمین‌شناس صحرایی نیاز است.

زمین‌شناسی تنها رشته‌ای نیست که از دورسنجی چندطیفی بهره می‌گیرد. دورسنجی گیاه‌شناختی نیز برای شناسایی تنش پوشش گیاهی و زیست‌توده کلی، از باندهای طیفی بهره

می‌برد و نسبت به زمین‌شناسی، به باند طیفی کمتری نیاز دارد. مطالعات اخیر (مارتین^۱ و آبر^۲، ۱۹۹۳؛ کوران^۳ و کوپیک^۴، ۱۹۹۵)، نشان داده است که دورسنجی برای شیمی تاج پوشش (فصل ۳) در صورتی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد که داده‌هایی از باندهای طیفی باریک بیشتر (داده‌های بیش‌طیفی) در دسترس باشد. به‌رغم این واقعیت که هم آبهای شیرین و هم آبهای شور در بیشتر محدوده فروسرخ طیف الکترومغناطیس تیره هستند، کاربردهای اقیانوس‌شناسی چندطیفی بسیاری از جمله ژرفاسنجی و تعیین میزان تولید زیست‌شناختی وجود دارد. اندازه‌گیرهای پهن‌بند فروسرخ گرمایی برای نقشه‌برداری دمای سطح دریا (SST) بسیار سودمند است. سنجش از دور جوئی شاید بیشترین نیاز را به روشهای دورسنجی چندطیفی داشته باشد، زیرا بسیاری باندهای جذبی گازی که از نظر طیفی باریک هستند، در محدوده طول موجهای فرابنفش، مرئی و فروسرخ قرار می‌گیرند.

از قلم افتادن ناحیه طول موجهای بلندتر از فروسرخ گرمایی، یعنی نواحی میکروموج و رادیویی در این فصل، به دلیل این واقعیت است که حساسیت تابش طول موجهای بلند نسبت به ترکیب شیمیایی، به اندازه حساسیت آنها نسبت به شکل فیزیکی و اندازه شیء نیست. این امر به معنی عدم اهمیت این طول موجها در دورسنجی زمین‌شناختی و زیست‌محیطی نیست. اگرچه میکروموجها همراه با امواج فروسرخ می‌توانند به شکل انفعالی و به صورت گرمای خارج‌شده از اجسام، مشاهده شوند، این امواج می‌توانند به طور مصنوعی به طرف شیء تابیده‌شده و بخش بازتابیده آنها به منظور به‌دست‌آوردن تصویر شیء، آشکارسازی شود. این نوع سنجش فعال میکروموج را رادار می‌نامند. رادار در جنگ جهانی دوم، در ابتدا برای شناسایی هواپیماهای در حال پرواز در روز یا شب و هر نوع شرایط جوئی توسعه یافت، زیرا پرتوهای رادار را می‌توان حتی از درون ایرها یا تاریکی نیز فرستاد. رادار پهلونگر (SLAR) برای تصویربرداری از زمین، در هر شرایط جوئی یا در هر زمانی از شبانه‌روز ساخته شد (ریوس و دیگران، ۱۹۷۵). در دهه ۱۹۶۰، رادار با گشودگی مصنوعی (SAR) در آزمایشگاه ویلو ران دانشگاه میشیگان ساخته شد. این نوع رادار می‌توانست وابستگی تصویرهای راداری به مسافت را از بین برده و تصویرهایی تولید کند که از نظر هندسی شباهت بیشتری به عکسهای هوایی داشته باشند. بر روی زمین، رادار می‌تواند برای کاربردهای متفاوتی مانند نقشه‌برداری از محدوده سیلاب در حالی که آسمان هنوز ابری است، نقشه‌برداری ساختارهای زمین‌شناختی و استخراج مدل رقمی ارتفاع در مناطق همیشه ابری که جفت تصویرهای مرئی با توان تفکیک بالاتر وجود ندارد، و برای تعیین تغییرات جزئی ارتفاع ناشی از زمین‌لرزه (پلترز^۵ و روزن^۶، ۱۹۹۵)،

اهمیت داشته باشد. اهمیت رادار بر روی اقیانوس، برای نقشه‌برداری چرخش و جریان اقیانوس، در حال افزایش است. گاهی از رادار، به جای تصویربرداری، به عنوان فرازیاب ساده استفاده می‌شود و همچنین برای نقشه‌برداری یخ دریایی و لکه‌های نفتی شناور بر روی اقیانوس به کار می‌رود. دو ماهواره جدید SAR، یعنی ERS-۱ و RADARSAT، در پیوست ب فهرست شده‌اند.

مرور مطالب

همان‌گونه که در پیشگفتار گفته شد، این کتاب به گونه‌ای سازماندهی شده است که در ابتدا، مطالب پایه و در پایان، کاربردها بحث می‌شوند. برهم‌کنش تابش الکترومغناطیسی با مواد طبیعی روی سطح زمین، اولین عنوان است که با ویژگیهای طیفی مواد زمینی مهم و چگونگی ارتباط این ویژگیها با ترکیب شیمیایی مواد دنبال می‌شود. تابندگی طیفی قابل دسترس از سطح زمین و اندازه‌گیری آن توسط انواع مختلف سنجنده‌های الکترواپتیکال چندطیفی تجاری موجود، عنوان بعدی است. دو عنوان بعدی، به چگونگی پردازش داده‌های دورسنجی برای ارائه اطلاعات سودمند می‌پردازد. چندین روش پردازش تصویرهای چندطیفی که می‌توانند اطلاعات ترکیبی مهم زمین‌شناختی را فراهم کنند، بحث می‌شود. در پیوست ج، رمزینده‌های نسبت (در پیوست توضیح داده شده) سنجنده‌های نقشه‌بردار موضوعی (TM) و MSS لندست درج شده است که برای طیف بازتابندگی آزمایشگاهی بیش از صد کانی در محدوده 0.4 تا 2.5 میکرومتر محاسبه شده بودند. این رمزینده‌ها در سامانه پیشگام داده‌های زمینی آزمایشگاه پیشران جت (JPL) ذخیره شده‌اند (گروو و دیگران، ۱۹۹۲). چند طیف گیاهی نیز برای اندازه‌گیریهای بهتر اضافه شده است. این رمزینده‌های نسبت TM می‌توانند در تعیین بهترین ترکیبهای تصویر نسبت طیفی، با هدف بارزسازی یک کانی مشخص، و تعیین اینکه کانی مورد نظر در تصویر نسبت رنگی حاصل به چه رنگی دیده خواهد شد، به کار روند. سپس، سه روش مهم پردازش مکانی توضیح داده شده است: (۱) فتوگرامتری رقمی، که داده‌های ارتفاعی را به دست می‌دهد، و ارتوفوتوهای رقمی که برای تولید پایگاه داده‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) اهمیت دارند، (۲) تصویربرداری زمین‌فیزیکی که اطلاعاتی درباره ساختارهای زمین‌شناختی زیرزمینی به دست می‌دهد. این ساختارها ناهمگنیهای ناچیزی در توپوگرافی، مغناطیس‌پذیری و چگالی نشان می‌دهند، (۳) استخراج خودکار سیماهای خطی که می‌توانند در نقشه‌برداری بصری از گسلهای پوسته زمین به کار روند.

بقیه موضوعهای کتاب، همگی به کاربردها اختصاص داده شده‌اند. دورسنجی، پایگاههای داده را برای GIS فراهم می‌کند. این داده‌ها در یک ابزار مدیریت قوی برای طیف وسیعی از کاربردها تلفیق می‌شوند. در هر حال، این ابزار در اکتشاف و استخراج منابع به‌صرفه‌تر از دیگر زمینه‌هاست، به‌ویژه اکنون که هزینه‌های حمل به بازار، یکی از بخشهای مهم قیمت کالا است. بر اساس ارزیابیهای نگارنده، صرفه‌جوییهای ایجادشده در اکتشاف مواد معدنی، نفت و آبهای زیرزمینی، به‌تنهایی هزینه‌های دورسنجی برای جامعه را بیش از حد توجیه می‌کند. داده‌های چندطیفی به‌قدری اطلاعات معدنی جدید در محدوده نامرئی به دست می‌دهند که در حقیقت امکان دارد سنجش از دور قیمت برخی کالاهای معدنی مانند طلا را که این فناوری برای آنها بسیار توانمند است، از راه فراهم کردن اطلاعات بیشتر تعدیل کند. منفعت بزرگ اکتشاف دورسنجی نفت این است که پهنه سطحی و هزینه گردآوری و پردازش داده‌های لرزه‌ای را، که ۱۰۰ برابر گران‌تر از دورسنجی در هر واحد سطح است، کاهش می‌دهد.

در آخرین بخش کتاب، استفاده دورسنجی در کاربردهای مهندسی زمین‌شناختی و زیست‌محیطی، همراه با کاربردهای GIS در برخی مطالعات موردی، بحث شده است. مثالی از نوع جدید کاربرد دورسنجی-GIS، در بخش انتخاب مسیر خط لوله نشان داده شده است که در این رابطه، فلدمن و دیگران^۱ (۱۹۹۴) از یک الگوریتم رواناب سطحی برای تعیین کم‌هزینه‌ترین مسیر خط لوله استفاده کرده‌اند. کاربرد دورسنجی چندطیفی در تصویربرداری از متان و دیگر گازها، در بخش پایش محل دفن زباله‌های جامد ارائه شده است.

استفاده‌های دورسنجی چندطیفی در پژوهشهای زمین ساخت صفحه‌ای و پایش زیست‌محیطی جهانی در این کتاب با هم مطرح شده‌اند، زیرا هر دو گستره‌ای جهانی دارند و حتی ممکن است برخی روابط علت و معلولی نیز داشته باشند. پایش زیست‌محیطی زمین، به گونه‌ای گسترش یافته که موضوع خطرهای زمین‌شناختی و انتشار گازها در جو زمین توسط انسان را نیز شامل می‌شود. دورسنجی، از نظر گردآوری اطلاعات و پردازش تصویر، یک فناوری تکامل یافته است. در هر حال، در مقایسه با کاربردهای نقشه‌برداری دفاعی، اکتشاف مواد معدنی و نفت که پیش از این سرمایه‌گذاری بیشتری بر روی آنها شده است، این فناوری در کاربردهای زیست‌محیطی و زمین‌شناسی مهندسی، تا رسیدن به بلوغ فاصله زیادی دارد. پژوهش بیشتری در عرصه‌های زیست‌محیطی و مهندسی باید انجام شود تا توانمندی کامل دورسنجی در این کاربردهای مهم شناخته شود.

منابع مورد استفاده

- ACKERMAN, F. 1994. Digital Elevation Models-Techniques and Application, Quality Standards, Development. In *Proceedings of the Symposium on Mapping and Geographic Information Systems, Athens, Georgia*, vol. 30, no. 4, 421-432. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- CURRAN, P. J., and J. A. KUPIEC. 1995. Imaging Spectrometry: A New Tool for Ecology. In *Advances in Environmental Remote Sensing*, ed. F. M. Danson and S. E. Plummer, 71-88. New York: John Wiley & Sons.
- FELDMAN, S. C., R. E. PELLETIER, W. E. WALSER, J. C. SMOOT, and D. AHL. 1994. Integration of Remotely Sensed Data and Geographic Information System Analysis for Routing of the Caspian Pipeline. In *Proceedings of the Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, vol. 2, 206-213. Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan.
- GROVE, C. I., S. J. HOOK, and E. D. PAYLOR II. 1992. *Laboratory Reflectance Spectra of 160 Minerals, 0.4 to 2.5 Micrometers*. JPL Publication 92-2. Pasadena, Calif.: Jet Propulsion Laboratory.
- JENSEN, J. R. 1995. Issues Involving the Creation of Digital Elevation Models and Terrain Corrected Orthoimagery Using Soft-Copy Photogrammetry. *Geocarto International* 10, no. 1: 5-21.
- MARTIN, M. E., and J. D. ABER. 1993. Measurements of Canopy Chemistry with 1992 AVIRIS Data at Blackhawk Island and Harvard Forest. In *Proceedings of the Fourth Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, vol. 1, AVIRIS Workshop, ed. R. O. Green, 113-116. Pasadena, Calif.: Jet Propulsion Laboratory.
- PELTZER, G., and P. ROSEN. 1995. Surface Displacement of the 17 May 1993 Eureka Valley, California, Earthquake Observed by SAR Interferometry. *Science* 268, no. 5215: 1333-1336.
- REEVES, R. G., A. ANSON, and D. LANDEN, eds. 1975. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Va.: American Society of Photogrammetry.
- SLAMA, C. C., C. THERUER, and S.W. HENRIKSEN, eds. 1980. *Manual of Photogrammetry*. 4th ed. Falls Church, Va.: American Society of Photogrammetry.
- VINCENT, R. K., M. A. TRUE, and D. V. ROBERTS. 1987. Automatic Extraction of High-Resolution Elevation Data Sets from Digitized Aerial Photos and Their Importance for Energy Mapping. In *National Computer Graphics Association's Mapping and Geographic Information Systems 1987 Proceedings*, 203-210. San Diego, Calif.: NCGA.