

An aerial photograph of a river with white water rapids. In the bottom left corner, a concrete dam is visible, with water flowing over it. The river continues towards the top right, where the rapids are more pronounced. The surrounding landscape is a mix of brown and green, suggesting a natural, possibly forested area. The text 'مدرسه پاییزی' and 'سنگش از دور' is overlaid in the center of the image.

مدرسه پاییزی سنگش از دور

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران



دانشگاه شهرکرد

شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری

کاربرد فن آوری سنجش از دور در اندازه‌گیری و پایش پوشش برف

دکتر رفعت زارع بیدکی

دانشیار دانشگاه شهرکرد

نقش و اهمیت برف

اهمیت برف در هیدرولوژی و منابع آب
حمل و نقل در جاده های برفی
مخاطرات طبیعی مرتبط با برف
کشاورزی در مناطق برفی
تقش برف در بیلان انرژی زمین



تشکیل برف در ابر
بارش برف
توزیع برف روی زمین
ویژگی های نوری برف روی زمین

دمای سطح برف و میزان ذوب یا تبخیر آن.
برف می‌تواند تازه، متراکم، یخ‌زده یا در حال ذوب باشد.

۷. سن و نوع برف

برف تازه معمولاً سفید و بازتابنده‌تر است؛ برف قدیمی تیره‌تر و متراکم‌تر.

نوع برف بر رفتار حرارتی و هیدرولوژیکی آن تأثیر دارد.

۸. آلودگی سطحی

وجود دوده، گرد و غبار یا آلاینده‌ها روی سطح برف باعث کاهش بازتاب و افزایش نرخ ذوب می‌شود.

شامل تاریخ اولین بارش برف، اوج پوشش، و زمان ذوب کامل.

۴. عمق برف Snow Depth

ضخامت لایه برف روی زمین، که با ابزارهای

زمینی یا داده‌های راداری قابل اندازه‌گیری است.

تأثیر مستقیم بر حجم رواناب حاصل از ذوب.

۵. آب معادل برف Snow Water Equivalent - SWE

مقدار آبی که در صورت ذوب کامل برف آزاد می‌شود.

شاخصی حیاتی برای مدیریت منابع آب و پیش‌بینی سیلاب.

۶. دما و حالت فیزیکی

۱. وسعت پوشش برف Snow Extent

سطحی از زمین که در یک زمان مشخص با برف پوشیده شده است. معمولاً با واحد کیلومتر مربع یا درصد از کل منطقه بیان می‌شود.

۲. توزیع مکانی Spatial Distribution

نحوه پراکندگی برف در مناطق مختلف، تحت تأثیر توپوگرافی، جهت شیب، ارتفاع و کاربری اراضی.

در زاگرس، جهت‌های شمالی و ارتفاعات بالاتر معمولاً پوشش بیشتری دارند.

۳. تغییرات زمانی Temporal Variability

تغییرات پوشش برف در طول روزها، فصل‌ها یا سال‌ها.

ویژگی‌های کلیدی پوشش برف

در اندازه‌گیری برف روی زمین، روش‌های مختلفی وجود دارد که بسته به هدف مطالعه، دقت مورد نیاز، و شرایط محیطی انتخاب می‌شوند

۱. روش‌های مستقیم (زمینی)
۲. روش‌های ژئوفیزیکی
۳. روش‌های غیرمستقیم و مدل‌سازی

روش‌های اندازه‌گیری و پایش برف روی زمین

ابزار	روشهای مستقیم
خط کش برف (Snow Stake)	ساده ترین روش برای اندازه گیری عمق برف روی سطح صاف.
برف سنج (Snow Gauge)	برای اندازه گیری بارش برف و تبدیل آن به آب معادل.
استوانه برف (Snow Tube/ Snow Sampler)	لوله مدرج برای برداشت نمونه برف و تعیین عمق و چگالی.
بالشتک برف (Snow Pillow)	حسگرهای فشار برای اندازه گیری آب معادل برف (SWE) به صورت پیوسته.
پلات های برف سنجی	ایستگاه های استاندارد برای پایش بلندمدت برف در مناطق کوهستانی.

روش	روشهای ژئوفیزیکی
گرانی سنجی (Gravimetry)	برآورد تغییرات جرم برف در مقیاس بزرگ.
رادار نفوذی به زمین (GPR)	تعیین ساختار لایه های و عمق برف، به ویژه در یخچال ها.
حسگرهای اولتراسونیک	اندازه گیری عمق برف با ارسال و دریافت امواج صوتی.

روش	روشهای غیرمستقیم و مدلسازی
مدل درجه -روز (Degree-Day Model)	برآورد ذوب برف بر اساس دمای هوا.
مدل های بیلان انرژی و جرم (Energy Balance Models)	شبیه سازی دقیق تر ذوب و انباشت برف با استفاده از داده های هواشناسی.





- 1. Fiber Optic cable with stand
- 4. Display device
- 7. Snow depth rod and measuring scale

- 2. White Reference panel
- 5. Snow fork with probe

- 3. Spectral radiometer instrument unit
- 6. Snow shovel and cutting plate

- ▶ اندازه‌گیری‌های زمینی اغلب مقطعی هستند. دشوار است که داده‌های بلندمدت و سری‌های زمانی تولید شود
- ▶ نیاز به اندازه‌گیری‌های مکرر و گسترده برای پایش ۱. دسترسی دشوار به مناطق کوهستانی
- ▶ بسیاری از مناطق برف‌گیر در ارتفاعات قرار دارند
- ۴. هزینه‌بر و زمان‌بر بودن عملیات میدانی
- ▶ نیاز به نیروی انسانی، حمل تجهیزات، و اقامت در شرایط سخت
- ▶ نیاز به تجهیزات تخصصی و تیم‌های میدانی برای دسترسی
- ۷. تأثیر پوشش گیاهی و ناهمواری زمین
- ▶ درختان، سنگ‌ها و شیب زمین باعث خطا در تخمین پوشش برف می‌شوند
- ▶ نیاز به تصحیح‌های محلی برای افزایش دقت
- ۸. محدودیت در مقیاس مکانی
- ▶ داده‌های زمینی فقط نقطه‌ای هستند
- ۵. خطای انسانی و ابزار در اندازه‌گیری
- ▶ خطا در خواندن عمق برف یا چگالی آن
- ▶ تأثیر شرایط محیطی بر دقت ابزارهای اندازه‌گیری
- ۳. تغییرات مکانی و زمانی شدید پوشش برف
- ▶ برف به شدت تحت تأثیر دما، باد، تابش خورشید و بارش است
- ۶. عدم امکان پایش پیوسته و بلندمدت
- ۲. پراکندگی و کمبود ایستگاه‌های زمینی
- ▶ ایستگاه‌های هواشناسی اغلب در مناطق شهری یا دشت‌ها هستند
- ▶ داده‌های زمینی در مناطق کوهستانی نادر و غیرمستمرند

چالش‌های اندازه‌گیری زمینی برف

استفاده از سنجش از دور در پایش برف





به دست آوردن اطلاعات از سطح زمین با استفاده از ماهواره و سنجنده هایی که از زمین فاصله دارند طیف الکترومغناطیس را ثبت می کنند و اندازه گیری و تفسیر و تحلیل ویژگی های سطح زمین با استفاده از الگوریتم های متنوع.

سنجش از دور

۷. امکان تحلیل فضایی و نقشه‌سازی

تولید نقشه‌های پوشش برف، تغییرات زمانی، و همپوشانی با سایر لایه‌ها

برای استفاده در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی
تصمیم‌گیری مدیریتی

۸. اعتبارسنجی و مقایسه‌پذیری

امکان مقایسه با داده‌های زمینی برای صحت‌سنجی

استانداردسازی داده‌ها برای مطالعات بین‌الملل

۴. امکان پایش در شرایط سخت.

پایش مناطق با دسترسی دشوار، شرایط جوی نامساعد یا
خطرات طبیعی

مناسب برای مناطق کوهستانی، جنگلی یا برف‌گیر

۵. تنوع سنجنده‌ها و داده‌ها

داده‌های اپتیکی برای پوشش برف

داده‌های راداری برای عمق برف و ساختار سطح

داده‌های حرارتی برای پایش ذوب برف

۶. قابلیت تلفیق با مدل‌های هیدرولوژیکی

استفاده در مدل‌سازی رواناب، پیش‌بینی سیلاب و
مدیریت منابع آب

بهبود دقت مدل‌ها با داده‌های واقعی و به‌روز

۱. پوشش وسیع مکانی

امکان پایش مناطق گسترده، از کوهستان‌های دورافتاده
تا حوضه‌های آبریز بزرگ

مناسب برای کشورهایی با تنوع اقلیمی و توپوگرافی بالا
مانند ایران

۲. داده‌های پیوسته و منظم زمانی

دسترسی به داده‌های روزانه، هفتگی یا ماهانه

امکان تحلیل سری‌های زمانی و بررسی روندهای
بلندمدت

۳. کاهش هزینه و زمان

حذف نیاز به اعزام تیم‌های میدانی

، MODIS استفاده از داده‌های رایگان مانند
Sentinel، Landsat

مزایای سنجش از دور در پایش برف

کاربرد در مطالعات تغییرات اقلیمی و اثرات آلاینده‌ها.

۷. ارتفاع خط برف (Snowline Elevation)

با تلفیق نقشه پوشش برف و مدل ارتفاعی (DEM).

تحلیل تغییرات ارتفاعی برف در طول فصل‌ها.

رواناب.

۴. دما و ذوب سطحی برف

با استفاده از باندهای حرارتی (مانند TIRS در Landsat 8).

پایش روند ذوب در فصل‌های گرم‌تر.

۵. نوع و سن برف (Fresh vs. Old Snow)

بر اساس تفاوت بازتاب طیفی در باندهای مرئی و مادون قرمز.

برف تازه بازتاب بیشتری دارد؛ برف قدیمی تیره‌تر و متراکم‌تر است.

۶. آلودگی یا ناخالصی در برف

تشخیص وجود ذرات گرد و غبار یا دوده با تغییرات طیفی. برآورد میزان آب ذخیره‌شده در برف، مهم برای مدل‌های

۱. سطح پوشش برف (Snow Cover Area)

با استفاده از شاخص‌هایی مانند NDSI و طبقه‌بندی طیفی.

تعیین گستره مکانی برف در تصاویر ماهواره‌ای.

۲. عمق برف (Snow Depth)

به صورت غیرمستقیم با استفاده از داده‌های راداری (مانند Sentinel-1 و تکنیک InSAR).

نیاز به مدل‌سازی و اعتبارسنجی با داده‌های زمینی.

۳. آب معادل برف - (Snow Water Equivalent - SWE)

با استفاده از داده‌های میکروویو فعال و غیرفعال (مانند AMSR-E یا SMAP).

ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری برف با سنجش از دور

وضوح زمانی: فاصله زمانی بین دو تصویر از یک منطقه

وضوح طیفی: تعداد و نوع باندهای طیفی ثبت شده

وضوح رادیومتریک: دقت ثبت شدت انرژی (مثلاً ۸ بیت، ۱۶ بیت)

۵. پردازش تصویر

شامل تصحیح هندسی و رادیومتریک، حذف ابر، طبقه‌بندی، استخراج ویژگی‌ها و تولید نقشه‌های موضوعی

استفاده از نرم‌افزارهایی مانند SNAP، ArcGIS، QGIS، ENVI

۶. تفسیر و تحلیل داده‌ها

تحلیل بصری یا دیجیتال برای استخراج اطلاعات از تصاویر

استفاده از شاخص‌های طیفی مانند NDVI، NDSI، و الگوریتم‌های یادگیری ماشین

۱. تابش و طیف الکترومغناطیسی

سنجش از دور بر پایه دریافت انرژی بازتابی یا گسیلی از سطح زمین در طول موج‌های مختلف (مرئی، مادون قرمز، راداری) انجام می‌شود.

هر ماده، بسته به ویژگی‌های فیزیکی‌اش، الگوی خاصی از بازتاب یا جذب دارد که در تصاویر قابل شناسایی است.

۲. تعامل انرژی با سطح زمین و جو

انرژی تابشی هنگام عبور از جو دچار جذب، پراکندگی و شکست می‌شود.

سطح زمین نیز بسته به جنس، رطوبت، دما و پوشش، انرژی را به‌طور متفاوتی بازتاب می‌دهد.

۳. سنجنده‌ها و پلتفرم‌ها

سنجنده‌ها می‌توانند فعال (مثل رادار که خود انرژی ارسال می‌کند) یا غیرفعال (مثل MODIS که انرژی خورشید را ثبت می‌کند) باشند.

این سنجنده‌ها روی ماهواره‌ها، هواپیماها، پهپادها یا سکوهاى زمینی نصب می‌شوند.

۴. وضوح (رزولوشن)

وضوح مکانی: اندازه کوچک‌ترین واحد قابل تشخیص در تصویر (مثلاً ۱۰ متر در Sentinel-2)

اصول سنجش از دور

انواع سنجش از دور



الف) سنجش از دور غیرفعال Passive Remote Sensing

از انرژی طبیعی (مانند نور خورشید) استفاده می‌کند. سنجنده فقط انرژی بازتابی یا گسیلی را ثبت می‌کند.

مثال‌ها: Sentinel-2، Landsat، MODIS

کاربرد: پایش پوشش برف، پوشش گیاهی، دمای سطح

ب) سنجش از دور فعال Active Remote Sensing

سنجنده خود انرژی ارسال می‌کند و بازتاب آن را ثبت می‌کند. مستقل از نور خورشید و مناسب برای شب یا شرایط ابری

مثال‌ها: LiDAR، Sentinel-1، RADARSAT

کاربرد: اندازه‌گیری عمق برف، توپوگرافی، ساختار سطح

۱. بر اساس منبع انرژی



مناسب برای پایش ساختار سطح، رطوبت خاک، عمق (الف) **سنجش اپتیکی**
برف

ثبت انرژی در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و
حرارتی

(ج) **سنجش حرارتی (Thermal Infrared)**

ثبت انرژی گسیلی از سطح زمین

مناسب برای پایش دمای سطح، ذوب برف، آتش سوزی مناسب برای پایش پوشش برف، دما، پوشش گیاهی

(ب) **سنجش راداری Microwave/SAR**

استفاده از امواج مایکروویو

نفوذ در ابر و شب

(د) **سنجش لیزری LiDAR**

ارسال پالس‌های لیزر و اندازه‌گیری زمان بازگشت

مناسب برای تولید مدل ارتفاعی دقیق،

۲. بر اساس نوع سنجنده

۳. بر اساس پلتفرم

نوع پلتفرم

ماهواره‌ای

هوایی

پهپادی

زمینی

ویژگی‌ها

پوشش وسیع، داده‌های بلندمدت

رزولوشن بالا، انعطاف پذیر

دقت بالا، مناسب برای مطالعات محلی

داده‌های نقطه‌ای، برای اعتبارسنجی

مثال‌ها

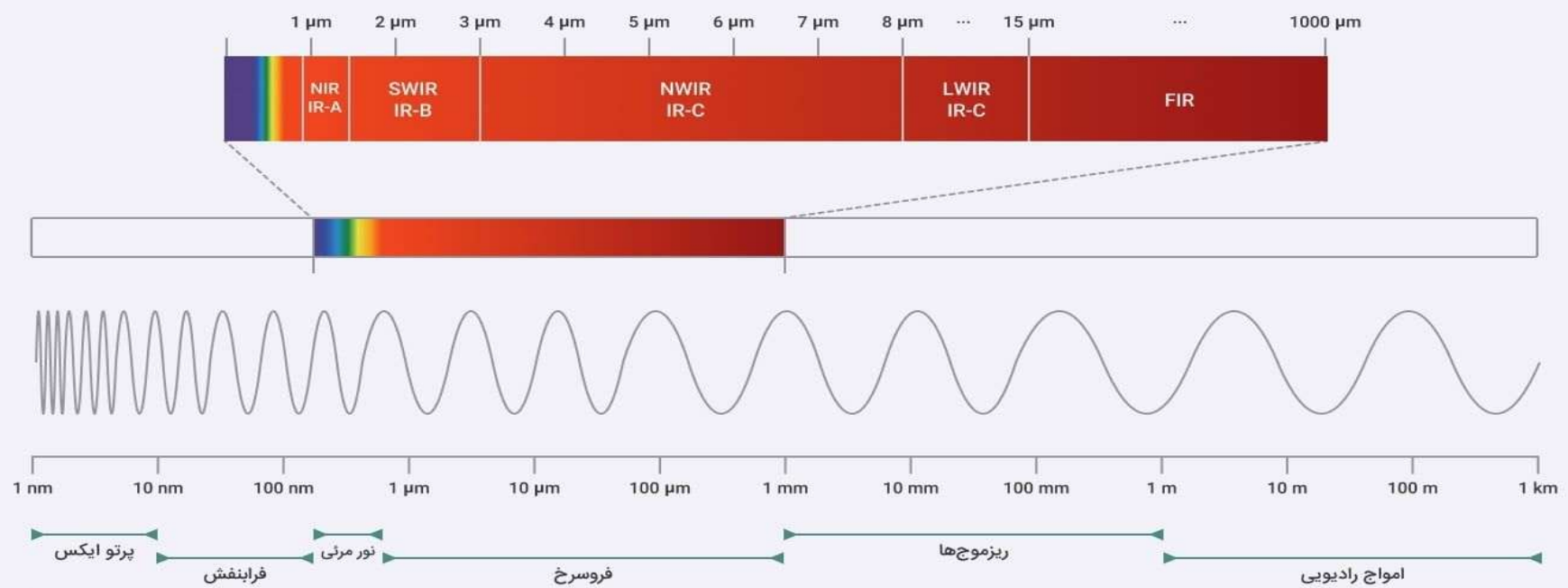
MODIS، Landsat، Sentinel

هواپیماهای مجهز به سنجنده

پهپادهای مجهز به دوربین یا LiDAR

ایستگاه‌های هواشناسی، اسکنرهای زمین

زیرمجموعه‌های طیف فروسرخ در طیف موج الکترومغناطیسی



Created By Jereeb

۵. تفاوت با ابر و یخ

برف، یخ و ابر ممکن است در تصاویر اپتیکی مشابه دیده شوند

اما در باندهای SWIR و حرارتی، تفاوت‌های طیفی قابل تشخیص هستند بازتاب می‌دهد. این ویژگی باعث می‌شود که برف در تصاویر اپتیکی بسیار استفاده از شاخص‌های ترکیبی مانند PCSWIRI یا الگوریتم‌های روشن دیده شود

یادگیری ماشین برای تفکیک این پدیده‌ها توصیه شده است

۶. رفتار جذب در باندهای مادون قرمز حرارتی (TIR)

برف در باندهای حرارتی جذب بالایی دارد و دمای سطحی آن قابل اندازه‌گیری است. این ویژگی در مدل‌های بیلان انرژی برای تحلیل ذوب برف کاربرد دارد.

۷. پاسخ طیفی در باندهای مایکروویو

در سنجنده‌های فعال و غیرفعال مایکروویو، برف خشک و مرطوب رفتار متفاوتی دارد. این ویژگی برای تخمین SWE و عمق برف در شرایط ابری یا شبهانه مفید است.

۱. بازتاب بالا در باندهای مرئی، به‌ویژه سبز (Green: $\sim 0.55 \mu\text{m}$)

برف تازه و خشک نور مرئی را به‌ویژه در باند سبز، آبی و قرمز به شدت بازتاب می‌دهد. این ویژگی باعث می‌شود که برف در تصاویر اپتیکی بسیار استفاده از شاخص‌های ترکیبی مانند PCSWIRI یا الگوریتم‌های روشن دیده شود

۲. جذب بالا در باند مادون قرمز کوتاه (SWIR: $\sim 1.6 \mu\text{m}$)

برف خشک انرژی SWIR را به شدت جذب می‌کند، در حالی که برف مرطوب بازتاب بیشتری دارد. این تفاوت در بازتاب، پایه محاسبه شاخص NDSI است

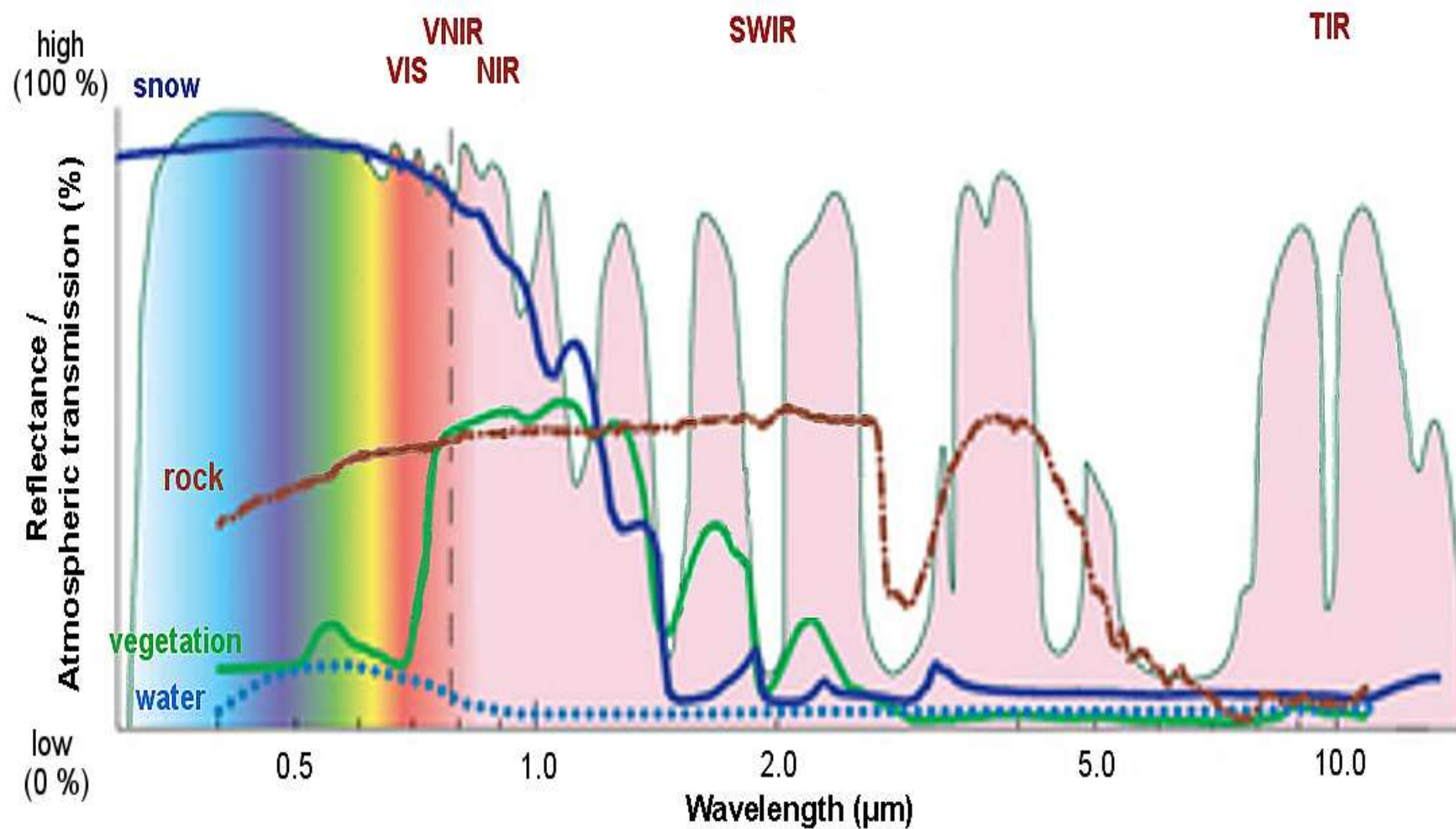
۳. آلبدوی بالا (Reflectance)

ضریب بازتاب برف تازه بین ۰.۸ تا ۰.۹۵ است. با گذشت زمان و آلودگی سطحی، این مقدار کاهش می‌یابد

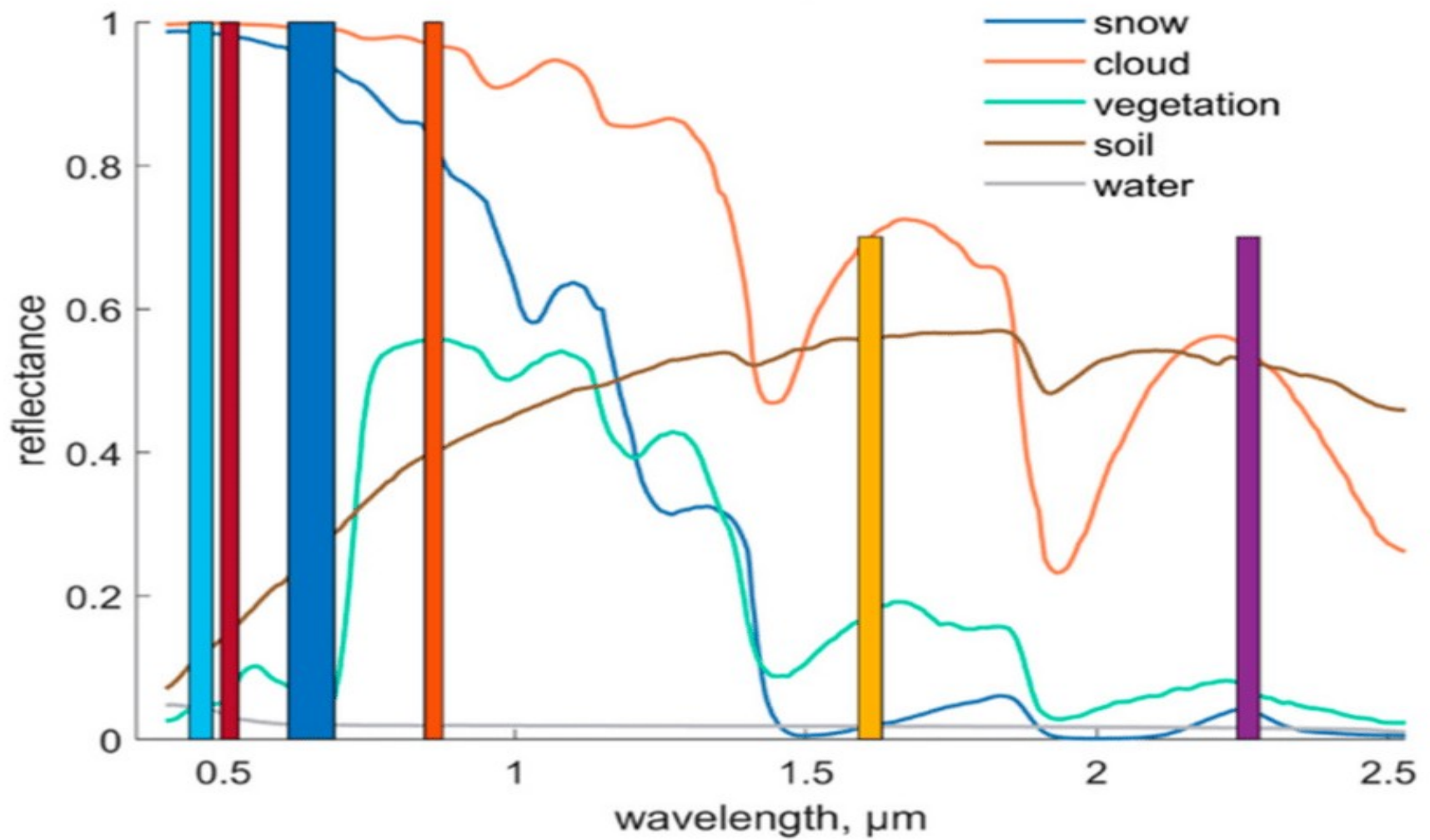
۴. تغییر طیفی با سن و نوع برف

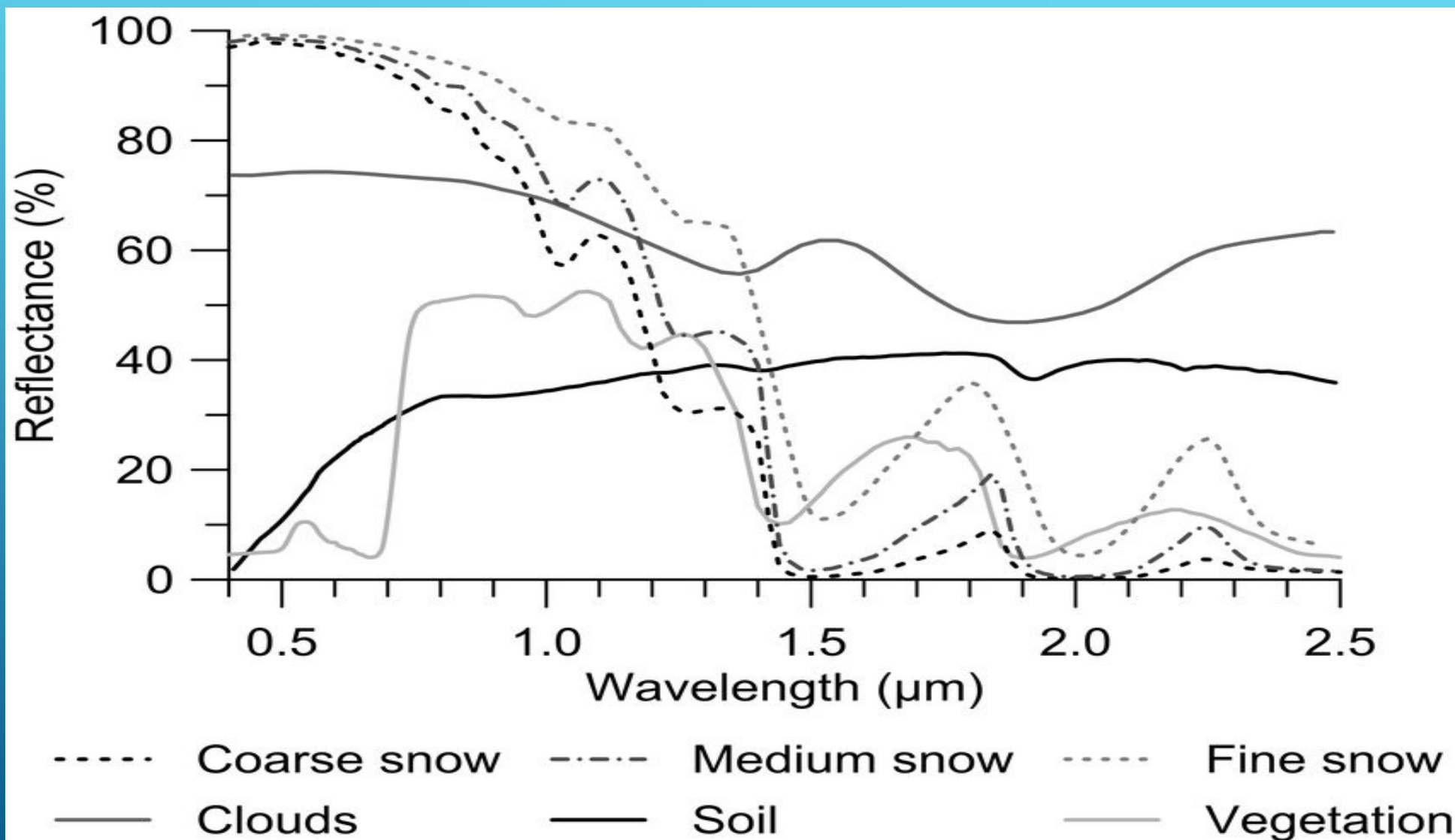
برف در حال ذوب، بازتاب بیشتری در SWIR دارد و دمای سطح آن افزایش می‌یابد. برف فشرده‌شده یا قدیمی، ویژگی‌های طیفی متفاوتی نسبت به برف تازه دارد

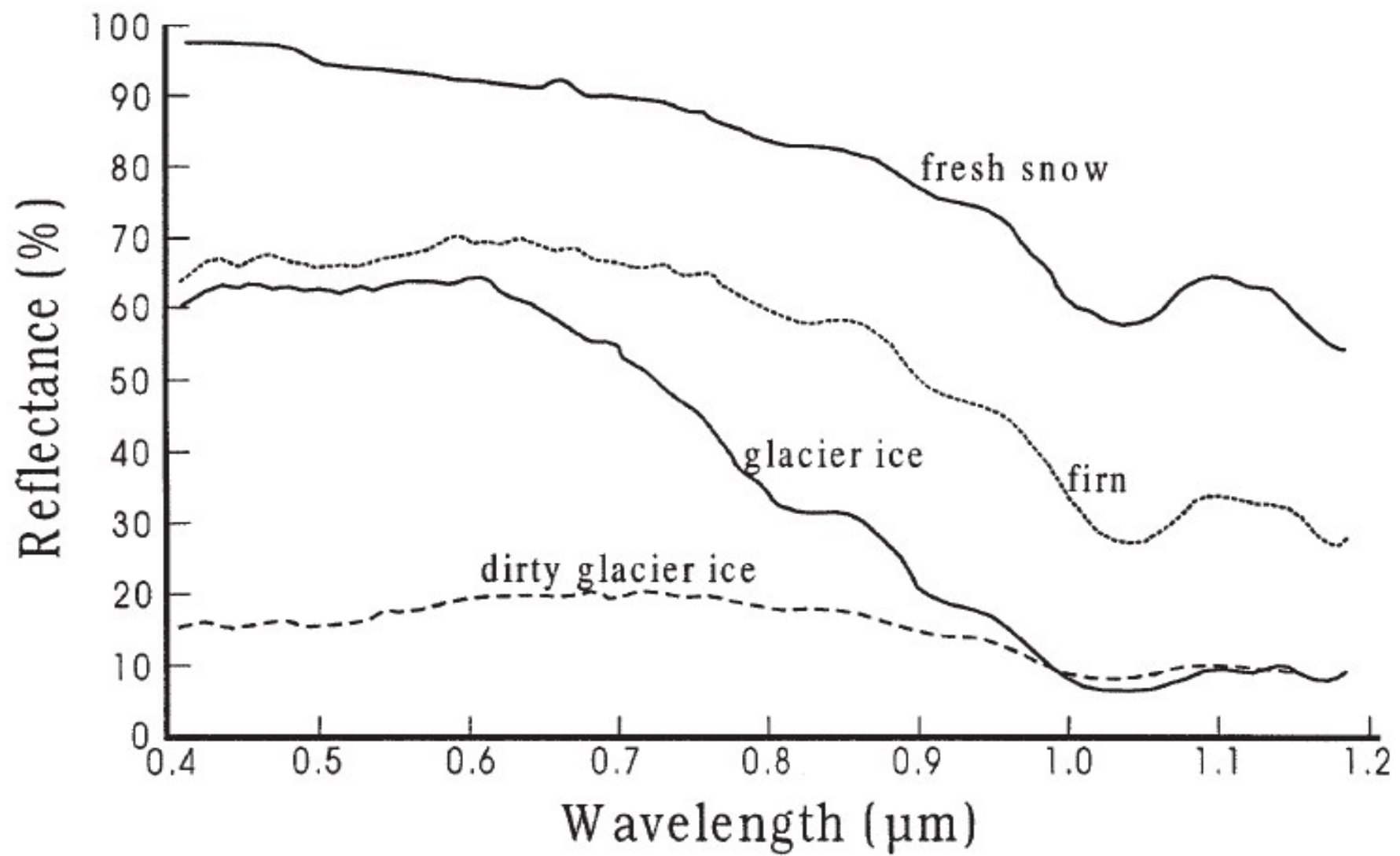
ویژگی‌های طیفی برف

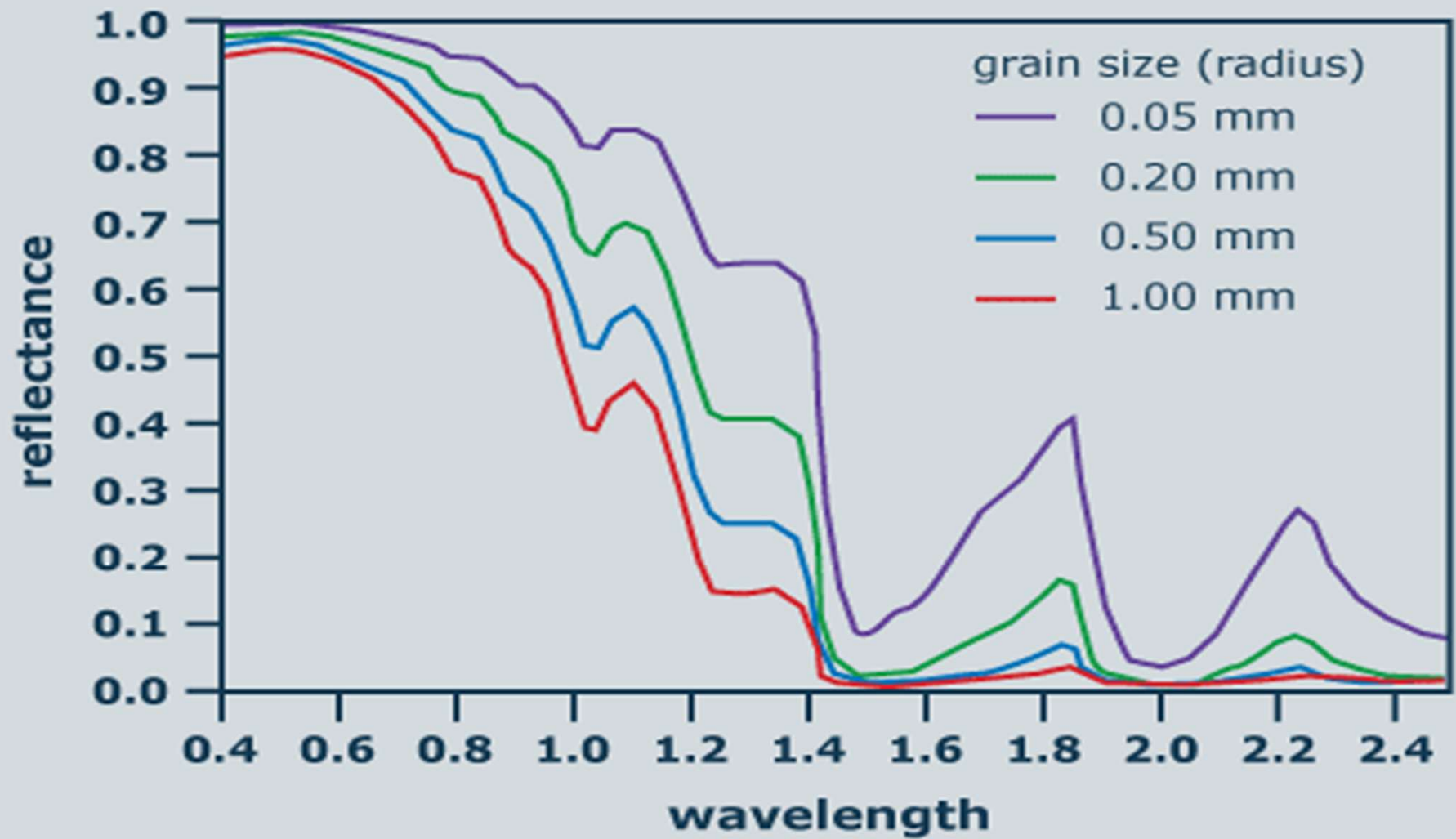


Himawari-8 AHI bands 1~6









سنجنده های مورد استفاده در پایش برف

کاربرد اصلی	رزولوشن مکانی	نوع داده	
پایش روزانه پوشش برف در مقیاس وسیع	۲۵۰-۱۰۰۰ متر	اپتیکی	MODIS (Aqua/Terra)
استخراج دقیق پوشش برف با روش های شیء گرا	۳۰ متر	اپتیکی	OLI (Landsat 8)
پایش دمای سطح و ذوب برف	۱۰۰ متر	حرارتی	TIRS (Landsat 8)
پایش دقیق پوشش برف در مناطق کوهستانی	۱۰-۲۰ متر	اپتیکی	Sentinel-2
تحلیل ساختار سطح و عمق برف در شرایط ابری	۱۰ متر	راداری (SAR)	Sentinel-1
پایش دمای سطح و تولید مدل ارتفاعی	۱۵-۹۰ متر	حرارتی و اپتیکی	ASTER
پایش برف در شب یا شرایط ابری	۱۰-۳۰ متر	راداری	RADARSAT
تولید مدل ارتفاعی دقیق و تحلیل ساختار برف	سانتی متری	لیزری	LiDAR

BANDS	Landsat 5 TM		Landsat 8 OLI		Sentinel-2 MSI	
	Wavelength (μm)	Spatial Resolution (m)	Wavelength (μm)	Spatial Resolution (m)	Wavelength (μm)	Spatial Resolution (m)
Blue (B_B)	0.45–0.52	30	0.45–0.51	30	0.46–0.52	10
Green (B_G)	0.52–0.60	30	0.53–0.59	30	0.55–0.58	10
Red (B_R)	0.63–0.69	30	0.64–0.67	30	0.64–0.67	10
NIR (B_{NIR})	0.76–0.90	30	0.85–0.88	30	0.78–0.90	10
SWIR-1 (B_{SWIR-1})	1.55–1.75	30	1.57–1.65	30	1.57–1.65	20
SWIR-2 (B_{SWIR-2})	2.08–2.35	30	2.11–2.29	30	2.10–2.28	20

ویژگی برخی از سنجنده های مورد استفاده

نام شاخص	فرمول	ویژگی طیفی	کاربرد اصلی
NDSI (Normalized Difference Snow Index)	$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$	بازتاب بالا در سبز، جذب بالا در SWIR	شناسایی پوشش برف تازه و خشک
NDSII (Improved NDSI)	$NDSII = \frac{(Red - SWIR)}{(Red + SWIR)}$	حساس به دمای سطح ت ترکیب NDSI با باندهای حرارتی	تشخیص برف در شرایط ابری یا مرطوب
S3 (Snow Spectral Similarity Index)	$S3 = \frac{NIR(Red - SWIR)}{(NIR + Red)(Red + SWIR)}$	تحلیل چندباندی با الگوریتمهای یادگیری ماشین مبتنی بر شباهت طیفی چندباندی	تفکیک برف از ابر و یخ
SWI (Snow Water Index)	$SWI = \frac{Green(NIR - SWIR)}{(Green + SWIR)(NIR + SWIR)}$	حساس به محتوای آب در برف ترکیب باندهای NIR و SWIR	تخمین رطوبت و ذوب برف
NBSIMS (Normalized Band Snow Index for Mixed Surfaces)	$NBSIMS = k(Green + Red + NIR) - \left(\frac{Blue + SWIR2 + Green}{Green} + SWIR1 \right)$	مناسب برای سطوح مختلط (برف + خاک + گیاه) ترکیب باندهای مختلف با وزندهی	افزایش دقت در مناطق ناهموار
PCSWIRI (Principal Component Snow Index using SWIR and IR)	$PCSWIRI = \frac{PC1 - SWIR}{PC1 + SWIR} * PC1$	کاهش نویز و افزایش دقت طبقه‌بندی تحلیل مؤلفه‌های اصلی	استخراج پوشش برف در مناطق با سایه و توپوگرافی پیچیده

بازتاب بالا در طیف سبز و جذب بالا در مادون قرمز کوتاه

بالاتر از ۰/۴ برف به حساب می آید.

$$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

NDSI (NORMALIZED DIFFERENCE
SNOW INDEX)

تفاوت بین برف و یخ بر اساس بازتاب آنها در طیف سبز و مادون قرمز
تشخیص برف از ابر و آب

$$NDSII = \frac{(Red - SWIR)}{(Red + SWIR)}$$

NDSII (IMPROVED NDSI)

تفکیک برف از ابر و یخ
در مناطق جنگلی که برف زیر پوشش گیاهی است

$$S3 = \frac{NIR(Red - SWIR)}{(NIR + Red)(Red + SWIR)}$$

S3 (SNOW SPECTRAL SIMILARITY INDEX)

تفکیک آب از برف
مقادیر بیشتر از 0.21 برف

$$SWI = \frac{Green(NIR - SWIR)}{(Green + SWIR)(NIR + SWIR)}$$

SWI (SNOW WATER INDEX)

از شش باند طیفی استفاده می کند

افزایش دقت در مناطق ناهموار

$$NBSIMS = k(Green + Red + NIR) - \left(\frac{Blue + SWIR2 + Green}{Green} + SWIR1 \right)$$

NBSIMS (NORMALIZED BAND SNOW INDEX
FOR MIXED SURFACES)

استخراج پوشش برف در مناطق با سایه و توپوگرافی پیچیده
تحلیل مولفه های اصلی

$$PCSWIRI = \frac{PC1 - SWIR}{PC1 + SWIR} * PC1$$

PCSWIRI (PRINCIPAL COMPONENT SNOW
INDEX USING SWIR AND IR)

پردازش تصاویر ماهواره ای

پردازش تصاویر ماهواره ای به مجموعه ای از مراحل اطلاق می شود که طی آن داده های خام دریافتی از سنجنده های فضایی، پس از پیش پردازش، به اطلاعات قابل تفسیر درباره ویژگی های سطح زمین تبدیل می شوند. این پردازش شامل تصحیح های هندسی و رادیومتریک، طبقه بندی، استخراج شاخص های طیفی، و تولید نقشه های موضوعی است.

ابزارهای رایج	توضیح	مرحله
ENVI, SNAP, ArcGIS	تصحیح هندسی، رادیومتریک، حذف ابر	پیش پردازش
فیلترها، ترکیب باندها	افزایش وضوح طیفی یا مکانی	بازسازی
روش های پیکسلی و شیء گرا	شناسایی و تفکیک پدیده ها	طبقه بندی
تحلیل پوشش گیاهی، برف، رطوبت	NDVI, NDSI محاسبه شاخص هایی مانند	استخراج شاخص ها
GIS, QGIS, ArcMap	تبدیل داده ها به نقشه های موضوعی	تولید نقشه
Kappa coefficient ماتریس خطا،	صحت سنجی با داده های زمینی	ارزیابی دقت

مراحل پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

- کاربرد: جلوگیری از خطا در طبقه بندی پوشش برف یا گیاه ۳. **تصحیح اتمسفری (Atmospheric Correction)** ۱. **تصحیح هندسی (Geometric Correction)**
- هدف: حذف اثرات جو مانند جذب، پراکندگی و رطوبت
روش ها: مدل های فیزیکی (مانند S₆، MODTRAN)
- هدف: کاهش حجم داده و تمرکز بر منطقه هدف
ابزار GIS: یا نرم افزارهای سنجش از دور مانند ENVI، QGIS، SNAP
۵. **برش منطقه مورد مطالعه (Subsetting/Clipping)**
- هدف: حذف اعوجاج های مکانی ناشی از حرکت ماهواره، انحنای زمین، یا زاویه دید
روش ها: تطبیق تصویر با نقشه های مرجع یا مدل های رقومی ارتفاع (DEM)
۶. **تبدیل داده ها به واحدهای فیزیکی (Reflectance Conversion)**
- هدف: شناسایی و حذف پیکسل های ابری یا سایه دار
ابزارها: الگوریتم Fmask برای Landsat و Sentinel
۲. **تصحیح رادیومتریک (Radiometric Correction)**
- هدف: اصلاح خطاهای ناشی از سنجنده یا شرایط نوری
شامل: حذف نوارهای روشن/تاریک، تنظیم مقیاس خاکستری، تصحیح خطی یا لگاریتمی
۴. **حذف ابر و سایه (Cloud & Shadow Masking)**
- هدف: افزایش دقت در محاسبه شاخص های طیفی مانند NDVI یا NDSI
۷. **تبدیل DN (Digital Number) به بازتاب طیفی (Top of Atmosphere Reflectance)**
- پرچم های کیفیت (QA flags) در MODIS

تأثیر ابرناکی بر پایش پوشش برف

تأثیر ابرناکی بر پایش پوشش برف از طریق سنجش از دور یکی از چالش‌های مهم در مطالعات هیدرولوژیکی و اقلیمی است، به‌ویژه زمانی که از داده‌های اپتیک‌مانند MODIS، Landsat یا Sentinel-2 استفاده می‌شود.

- ثبت داده در چند روز یا هفته متوالی می‌شود
- این گسستگی مانع تحلیل سری‌های زمانی و پایش روندهای ذوب یا تجمع برف می‌شود
- نیاز به روش‌های اصلاح و تلفیق
- برای رفع اثر ابر، روش‌هایی مانند:
 - Gap-filling با داده‌های روزهای قبل و بعد
 - تلفیق با داده‌های راداری (Sentinel-1) که مستقل از شرایط نوری هستند
 - استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تفکیک برف از ابر
- کاهش دقت طبقه‌بندی پوشش برف
- ابرها ممکن است در تصاویر اپتیک‌مانند مشابه برف دیده شوند
- این شباهت طیفی باعث خطا در طبقه‌بندی پیکسلی و افزایش اشتباهات نوع اول و دوم می‌شود
- گسستگی زمانی و مکانی داده‌ها
- در مناطق کوهستانی یا زمستانی، پوشش ابری مداوم باعث عدم

رفع اثر ابرناکی در پایش پوشش برف

۱. استفاده از داده‌های روزهای قبل و بعد برای تخمین پوشش برف در (Active Sensors) سنجنده‌هایی مانند Sentinel-1 و RADARSAT از امواج میکروویو استفاده می‌کنند که از ابر عبور می‌کنند مناسب برای پایش شبانه یا در شرایط ابری
۲. تلفیق داده‌های چندمنبعی (Multi-Sensor Fusion) ترکیب داده‌های اپتیکی MODIS ، Sentinel-2 با داده‌های راداری یا زمینی افزایش دقت طبقه‌بندی و پوشش زمانی مثال: استفاده از MODIS برای روزهای صاف و Sentinel-1 برای روزهای ابری
۳. الگوریتم‌های تشخیص و حذف ابر (Cloud Masking) استفاده از الگوریتم‌هایی مانند Fmask یا MODIS QA flags برای شناسایی پیکسل‌های ابری حذف یا اصلاح پیکسل‌های ابری قبل از طبقه‌بندی
۴. پر کردن شکاف‌های زمانی با مدل‌سازی (Gap-Filling)
۵. استفاده از شاخص‌های ترکیبی مقاوم به ابر توسعه شاخص‌هایی مانند NDSII یا PCSWIR که از باندهای حرارتی و SWIR استفاده می‌کنند کاهش اشتباه در تفکیک برف از ابر
۶. تصحیح توپوگرافی و سایه‌ها در مناطق کوهستانی، سایه‌ها ممکن است با ابر اشتباه گرفته شوند استفاده از مدل ارتفاعی (DEM) برای تصحیح توپوگرافی و افزایش دقت طبقه‌بندی

۱. اعمال آستانه روی NDSI برای جداسازی نواحی برفی از سایر سطوح.

استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی مانند Thresholding، SVM یا Random Forest برای افزایش دقت.

۵. اعتبارسنجی نتایج

مقایسه نقشه‌های تولیدشده با داده‌های زمینی یا تصاویر با وضوح بالاتر.

محاسبه شاخص‌هایی مانند Overall Accuracy و Kappa Coefficient.

۶. تولید نقشه نهایی

نمایش نقشه پوشش برف در قالب‌های GIS مانند GeoTIFF یا shapefile.

ترکیب با داده‌های دیگر (مانند DEM یا نقشه کاربری اراضی) برای تحلیل‌های هیدرولوژیکی.

۱. انتخاب سنجنده مناسب

معمولاً از سنجنده‌هایی مانند MODIS، Landsat یا Sentinel-2 استفاده می‌شود.

MODIS به دلیل پوشش وسیع و بازه زمانی کوتاه بین تصاویر، برای پایش روزانه مناسب است.

۲. پیش‌پردازش تصاویر

تصحیح هندسی و رادیومتریک تصاویر برای حذف نویز و خطاهای سنجنده.

برش منطقه مورد نظر (Clip) و حذف نواحی ابری با استفاده از ماسک ابر.

۳. محاسبه شاخص‌های طیفی

مهم‌ترین شاخص برای تشخیص برف، NDSI (Normalized Difference Snow Index) است.

۴. طبقه‌بندی پوشش برف

مراحل تهیه نقشه پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای

۴. پوشش ابری و شرایط جوی

زاگرس در فصل زمستان اغلب ابری است؛ بنابراین باید از تصاویر با ماسک ابر یا تکنیک‌های ترکیبی استفاده کرد.

تصاویر راداری مانند Sentinel-1 (SAR) می‌توانند مکمل خوبی در شرایط ابری باشند. اگر هدف پایش منطقه‌ای یا روزانه باشد، MODIS با وضوح ۲۵۰-۵۰۰ متر نیز قابل قبول است.

۵. دسترسی و هزینه

تصاویر رایگان مانند MODIS، Sentinel و Landsat برای مطالعات علمی و مدیریتی مناسب‌اند.

تصاویر تجاری با وضوح بسیار بالا (مثل WorldView) فقط در صورت نیاز به جزئیات دقیق و بودجه کافی توصیه می‌شوند.

۶. سازگاری با مدل‌های هیدرولوژیکی

تصاویر باید با مدل‌های بارش-رواناب و تحلیل‌های WSI یا Q-ratio قابل تلفیق باشند. وجود باندهای سبز (Green) و مادون قرمز کوتاه‌موج (SWIR) برای محاسبه شاخص NDSI ضروری است.

وجود داده‌های چندساله برای تحلیل روندهای بلندمدت نیز مهم است.

۱. وضوح مکانی (Spatial Resolution)

برای مناطق کوهستانی با توپوگرافی پیچیده مانند زاگرس، وضوح بالا (مثل Sentinel-2 با ۱۰-۲۰ متر) کمک می‌کند جزئیات برف را بهتر تشخیص دهیم.

اگر هدف پایش منطقه‌ای یا روزانه باشد، MODIS با وضوح ۲۵۰-۵۰۰ متر نیز قابل قبول است.

۲. وضوح زمانی (Temporal Resolution)

زاگرس دارای تغییرات سریع در پوشش برف است، به‌ویژه در فصل‌های گذار (پاییز و بهار).

سنجنده‌هایی با بازه زمانی کوتاه بین تصاویر (مثل MODIS با روزانه یا Sentinel-2 با ۵ روز) برای پایش دینامیک برف مناسب‌اند.

۳. وضوح طیفی (Spectral Resolution)

وجود باندهای سبز (Green) و مادون قرمز کوتاه‌موج (SWIR) برای محاسبه شاخص NDSI ضروری است.

Sentinel-2 و Landsat هر دو این باندها را دارند و برای تشخیص برف از ابر یا یخ مناسب‌اند.

معیارهای انتخاب تصاویر ماهواره‌ای برای پوشش برف در زاگرس

منابع دانلود تصاویر ماهواره ای

سنجنده

MODIS

Landsat (5, 7, 8, 9)

Sentinel-2

Sentinel-1 (SAR)

Google Earth Engine (GEE)

منبع دانلود

NASA Earthdata یا LAADS
DAAC

USGS Earth Explorer

Copernicus Open Access Hub یا
ESA Sentinel Hub

Sentinel-2 همان منابع

Google Earth Engine

ویژگی ها

داده های روزانه، مناسب برای پایش برف در
مقیاس وسیع

وضوح مکانی ۳۰ متر، مناسب برای تحلیل های
دقیق منطقه ای

وضوح ۱۰-۲۰ متر، مناسب برای پایش برف
در مناطق کوهستانی

مناسب برای شرایط ابری و شبانه، داده های
راداری

پلتفرم پردازش ابری، دسترسی به آرشیو کامل
MODIS ، Landsat ،
Sentinel و ابزارهای تحلیلی قدرتمند

- برای **Earth Explorer** و **Copernicus Hub** باید حساب کاربری رایگان بسازید.
- در **Google Earth Engine** نیاز به درخواست دسترسی دارید، اما پس از تأیید، می‌توانید با کدنویسی در محیط JavaScript یا Python داده‌ها را پردازش و تحلیل کنید.
- اگر به دنبال داده‌های تاریخی یا سری‌های زمانی بلندمدت هستی، MODIS و Landsat گزینه‌های مناسبی هستند.
- برای تحلیل دقیق پوشش برف در زاگرس با توپوگرافی پیچیده، Sentinel-2 بهترین انتخاب است.

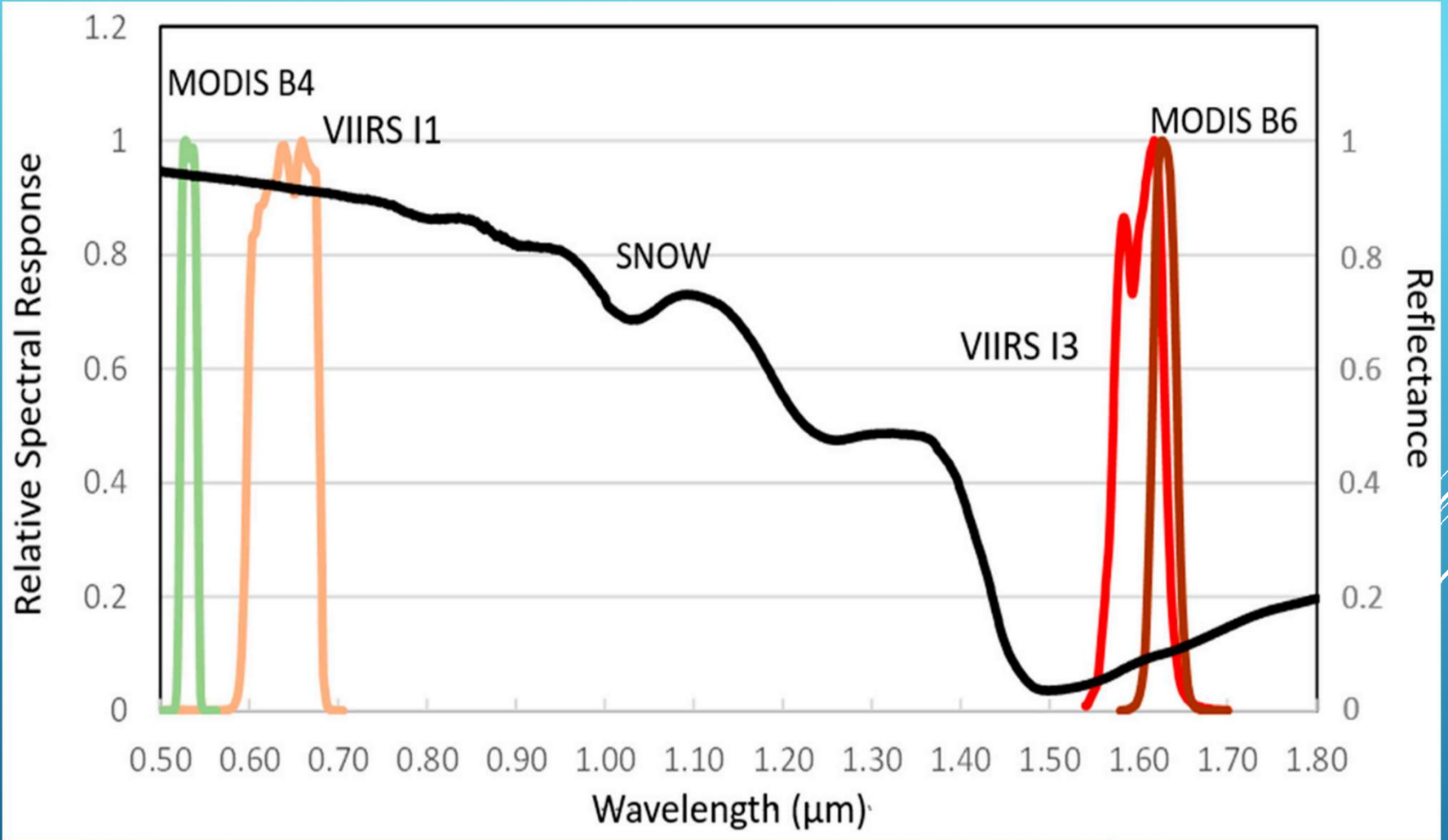
نکات کاربردی

برای تهیه نقشه سطح پوشیده از برف در زاگرس و رصد تغییرات آن در فصل ذوب (معمولاً از اسفند تا اردیبهشت)، بهترین انتخاب ترکیبی از تصاویر MODIS و Sentinel-2 خواهد بود.

چرا MODIS؟

کاربرد MODIS: برای تحلیل روند زمانی، استخراج نمودارهای کاهش سطح برف، و پایش روزانه یا هفتگی در مقیاس حوضه‌ای.

ویژگی	مزیت برای فصل ذوب
وضوح زمانی بالا (تصاویر روزانه)	امکان پایش پیوسته و دقیق روند ذوب برف
پوشش وسیع (سوآت ۲۳۳۰ کیلومتر)	مناسب برای کل زاگرس در یک تصویر
شاخص NDSI از پیش محاسبه شده (MOD10A1)	صرفه جویی در زمان پردازش و تحلیل سریع



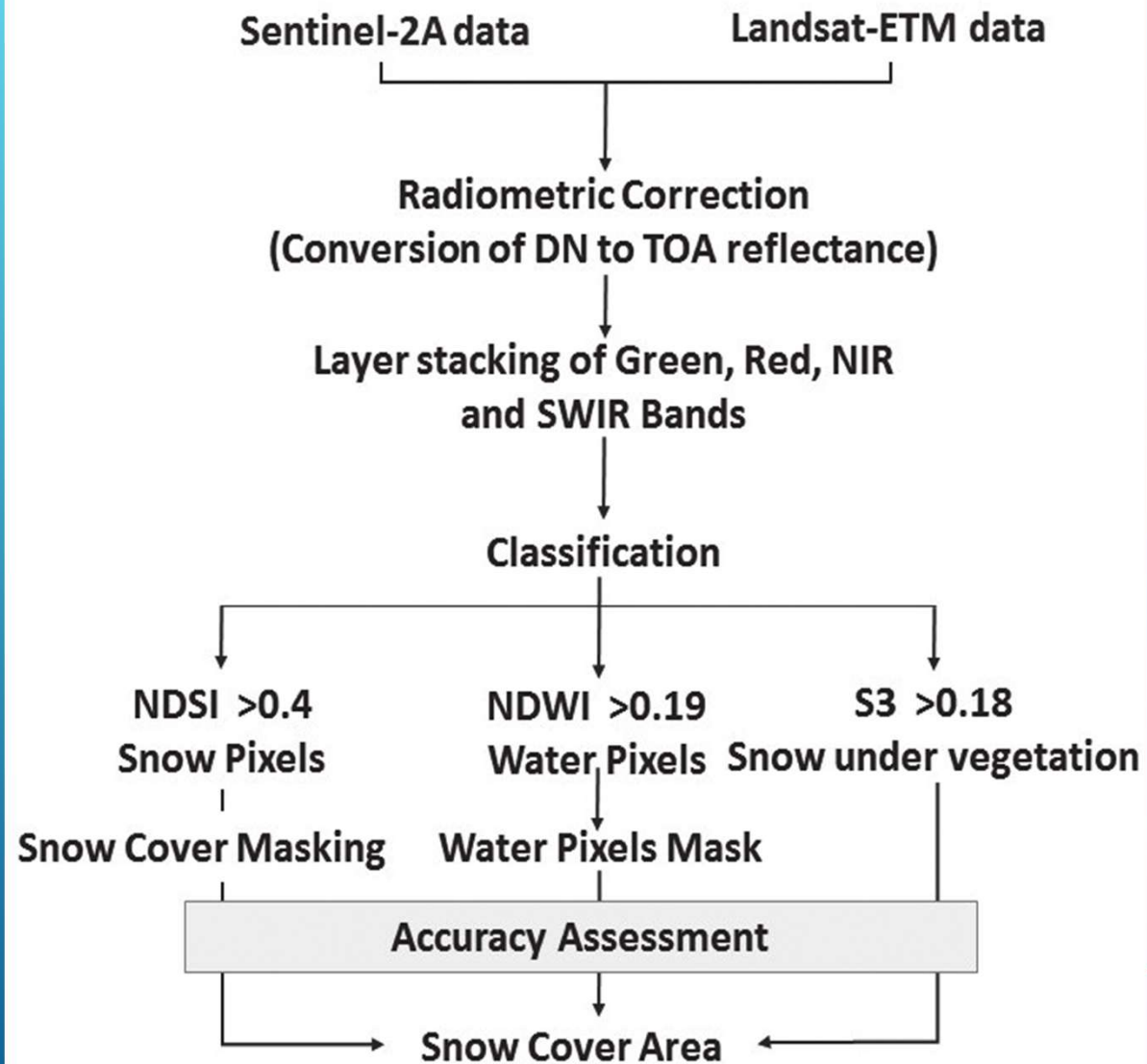
چرا Sentinel-2؟

کاربرد Sentinel-2: برای تهیه نقشه‌های دقیق از توزیع مکانی برف، تعیین خط ذوب (snowline)، و تحلیل‌های توپوگرافیک در ارتباط با DEM.

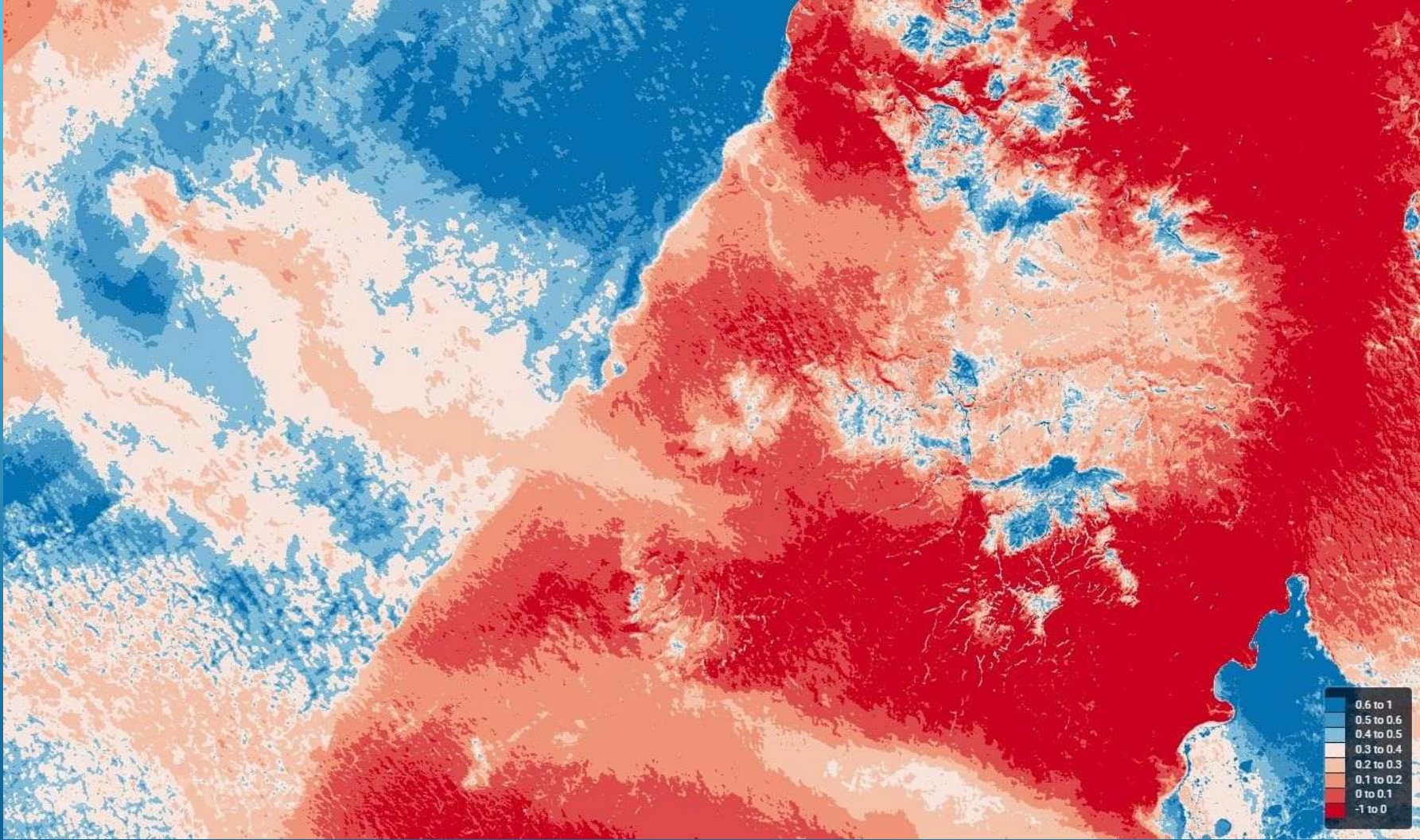
ویژگی	مزیت برای فصل ذوب
وضوح مکانی بالا (۱۰-۲۰ متر)	تشخیص دقیق مرزهای برف در مناطق کوهستانی و شیب‌دار
باندهای مناسب برای NDSI (Green و SWIR)	دقت بالا در جداسازی برف از ابر و سایه
بازه زمانی نسبتاً مناسب (۵ روز)	امکان تهیه سری زمانی با جزئیات مکانی بالا

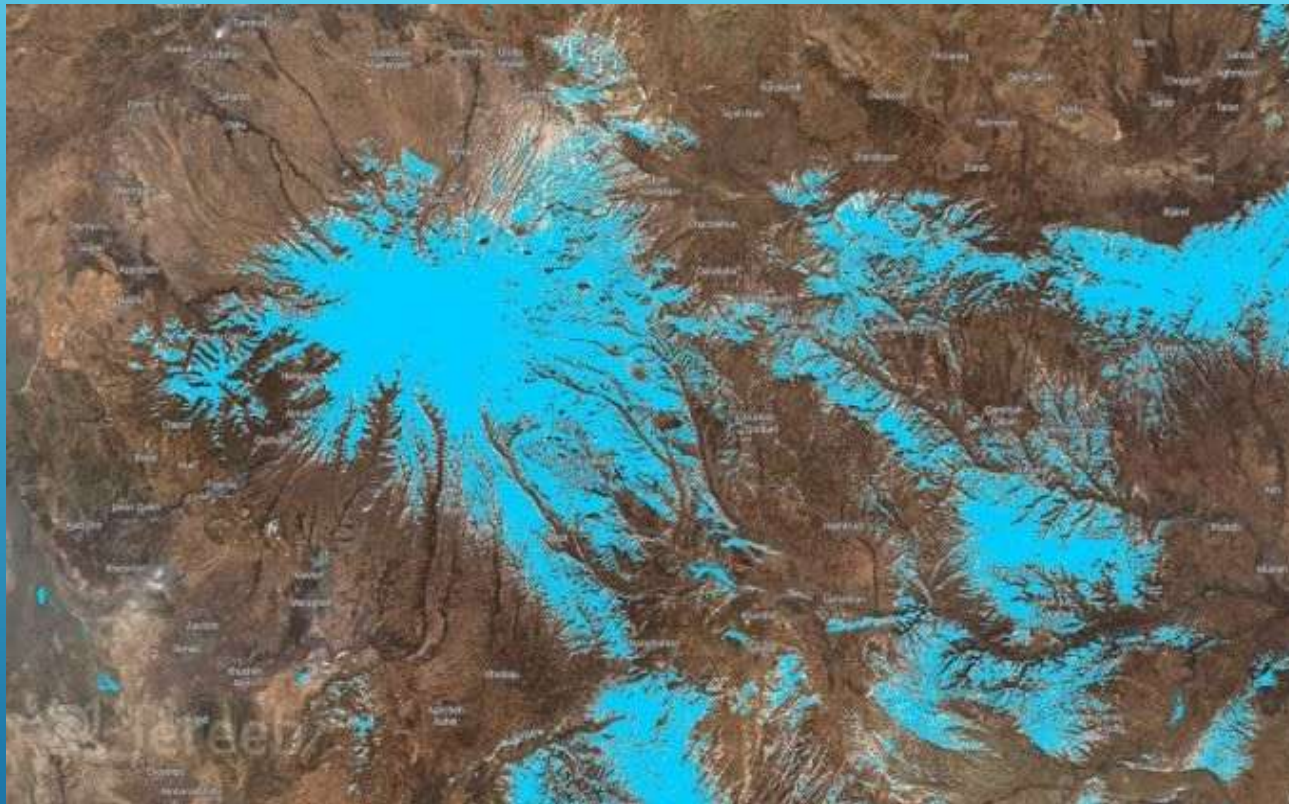
راهبرد ترکیبی پیشنهادی

- استفاده از **MODIS** برای پایش پیوسته و تحلیل روند کلی.
- استفاده از **Sentinel-2** در روزهای بدون ابر برای بررسی دقیق تر و اعتبارسنجی.
- تلفیق با **DEM** برای تحلیل ارتفاعی ذوب برف و استخراج خط ذوب.

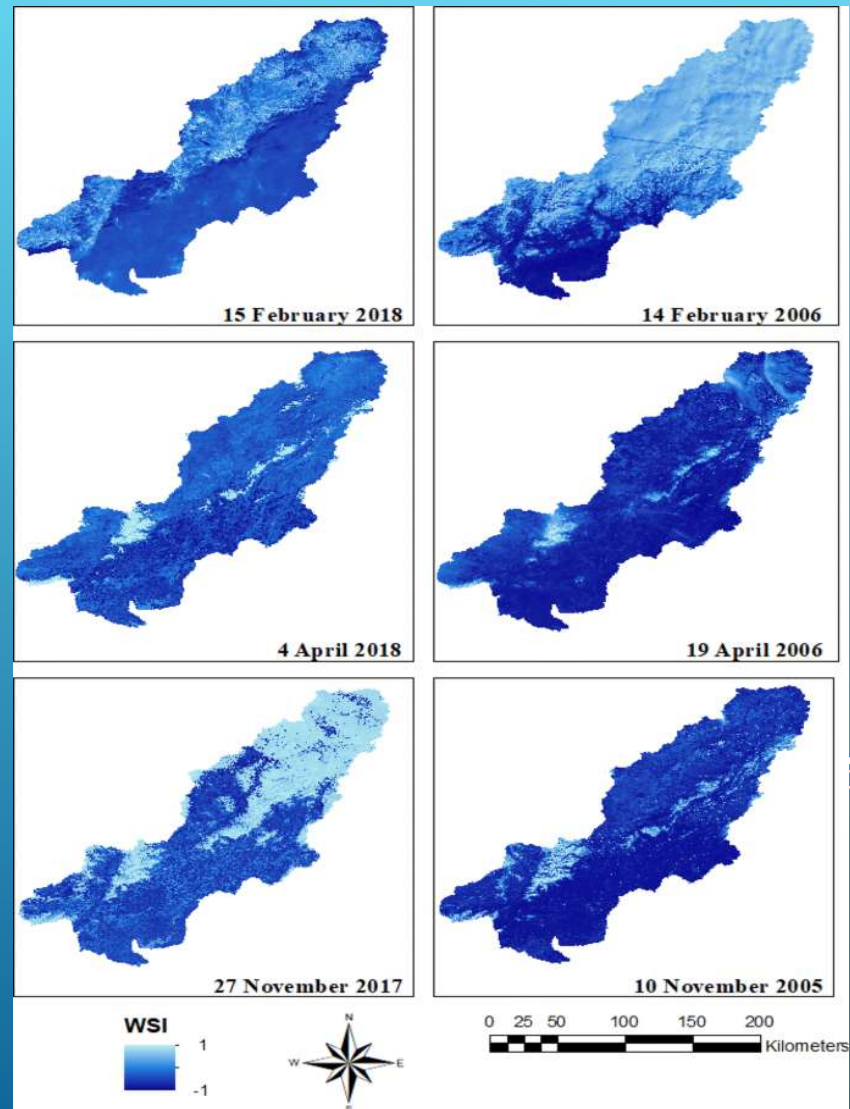


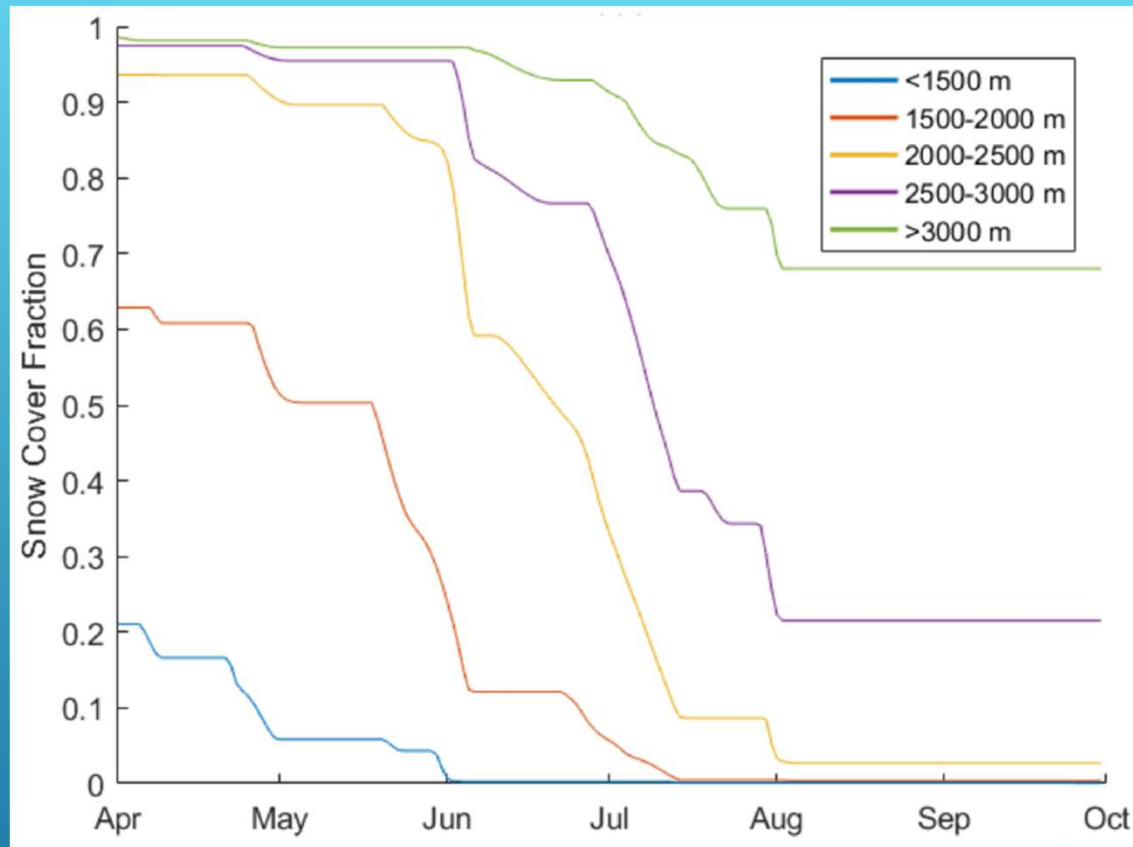
NDSI





SNOW COVERED AREA, LANDSAT





SNOW COVER DEPLETION CURVE

برای محاسبه عمق برف با سنجش از دور، معمولاً از تکنیک‌های تداخل سنجی راداری (DInSAR) و داده‌های مایکروویو فعال مانند Sentinel-1 یا TerraSAR-X استفاده می‌شود که تغییرات ارتفاع سطح زمین ناشی از تجمع برف را اندازه‌گیری می‌کنند.

پایش عمق برف یا ارتفاع برف باریده بر روی سطح زمین

۱. تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR)

مبنای روش: مقایسه فاز دو تصویر راداری از یک منطقه در زمان‌های مختلف.

کاربرد: اگر تصویر اول مربوط به زمانی بدون برف و تصویر دوم پس از بارش برف باشد، اختلاف فاز نشان‌دهنده تغییر ارتفاع سطح زمین ناشی از تجمع برف است.

سنسورها: TerraSAR-X، Sentinel-1، RADARSAT.

مزایا: مناسب برای مناطق کوهستانی و پوشیده از ابر.

۲. تصاویر مایکروویو فعال

مبنای روش: اندرکنش امواج مایکروویو با توده برف، که با تغییرات در شدت بازتاب و نفوذ امواج می‌توان عمق برف را تخمین زد.

سنسورها: Sentinel-1، RADARSAT-2.

نیاز به مدل‌سازی: برای تبدیل سیگنال‌های بازتابی به عمق فیزیکی برف، از مدل‌های فیزیکی و داده‌های کمکی مانند دما و نوع برف استفاده می‌شود.

۳. ترکیب داده‌های اپتیکی و راداری

مثال: استفاده از MODIS برای تعیین سطح پوشش برف و Sentinel-1 برای محاسبه عمق.

مزیت: افزایش دقت و پوشش زمانی-مکانی.

روش‌های سنجش از دور برای برآورد عمق برف

۵. اعتبارسنجی با داده‌های زمینی:

مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی یا برف‌سنج‌ها

۱. پیش‌پردازش تصاویر راداری:

تصحیح هندسی و رادیومتریک

ثبت دقیق تصاویر (co-registration)

۲. تولید اینترفروگرام: (Interferogram)

محاسبه اختلاف فاز بین دو تصویر

۳. حذف اثرات توپوگرافی و جو:

استفاده از مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM)

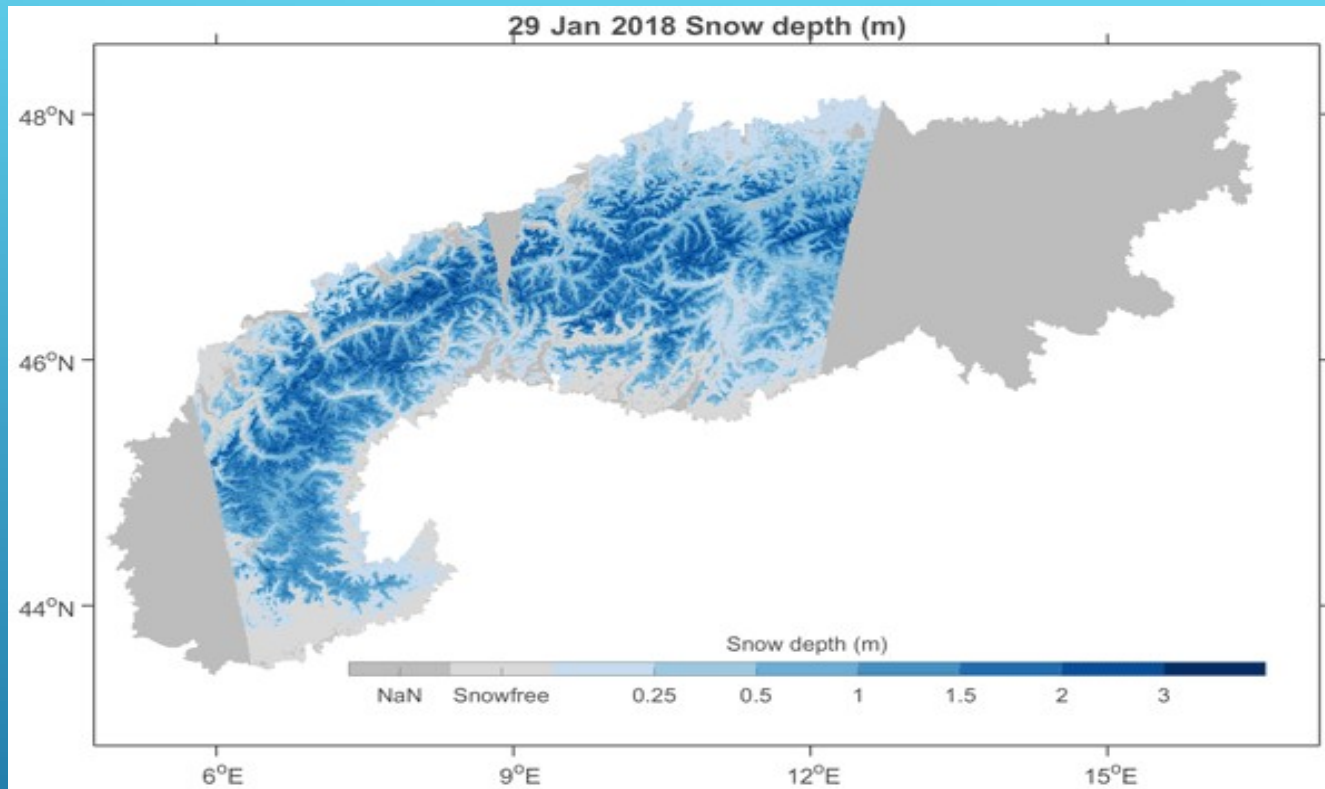
تصحیح اثرات اتمسفری

۴. استخراج تغییر ارتفاع سطح زمین:

تبدیل اختلاف فاز به تغییر ارتفاع

تفکیک تغییرات ناشی از برف از سایر عوامل

مراحل عملیاتی در یک پروژه نمونه



SNOW DEPTH, SENTINEL-1

آب معادل برف (SWE) را می‌توان با استفاده از داده‌های سنجش از دور مایکروویو فعال و غیرفعال، تصاویر اپتیک، و مدل‌سازی فیزیکی به دست آورد. این فرآیند شامل تخمین ضخامت و چگالی برف است که به کمک الگوریتم‌ها و داده‌های کمکی انجام می‌شود.

Snow Water Equivalent (SWE) مقدار آبی است که در صورت ذوب کامل برف آزاد می‌شود.

آب معادل برف = عمق برف $\times$ چگالی برف

برآورد آب معادل برف

کاربرد: بررسی ساختار داخلی برف و تغییرات ارتفاع سطح زمین

روش مکمل: استفاده از DInSAR برای تخمین عمق برف و سپس محاسبه SWE با فرض چگالی

۳. تصاویر اپتیکی + مدل سازی

سنسورها: MODIS، Landsat، Sentinel-2

کاربرد: استخراج سطح پوشش برف و زمان ذوب

مدل ها: استفاده از مدل های انرژی-توده (Energy-Mass Balance) برای تخمین SWE بر اساس دما، تابش، و نوع برف

۱. داده های مایکروویو غیرفعال

سنسورها: AMSR-E، AMSR2، SSM/I

مبنای روش: امواج مایکروویو با برف تعامل دارند و شدت بازتاب آنها با ضخامت و رطوبت برف تغییر می کند.

مزایا: قابلیت نفوذ در ابر و شب، پوشش وسیع

محدودیت: توان تفکیک مکانی پایین (10–25 km)، حساسیت به پوشش گیاهی

۲. داده های مایکروویو فعال (رادار)

سنسورها: Sentinel-1، RADARSAT

روش های سنجش از دور برای محاسبه SWE

۱. استخراج سطح پوشش برف:

با استفاده از شاخص‌هایی مانند NDSI یا الگوریتم‌های طبقه‌بندی

۲. تخمین عمق برف:

از داده‌های راداری یا مدل‌های تجربی

۳. تعیین چگالی برف:

با استفاده از داده‌های زمینی یا مدل‌های تجربی وابسته به دما و زمان

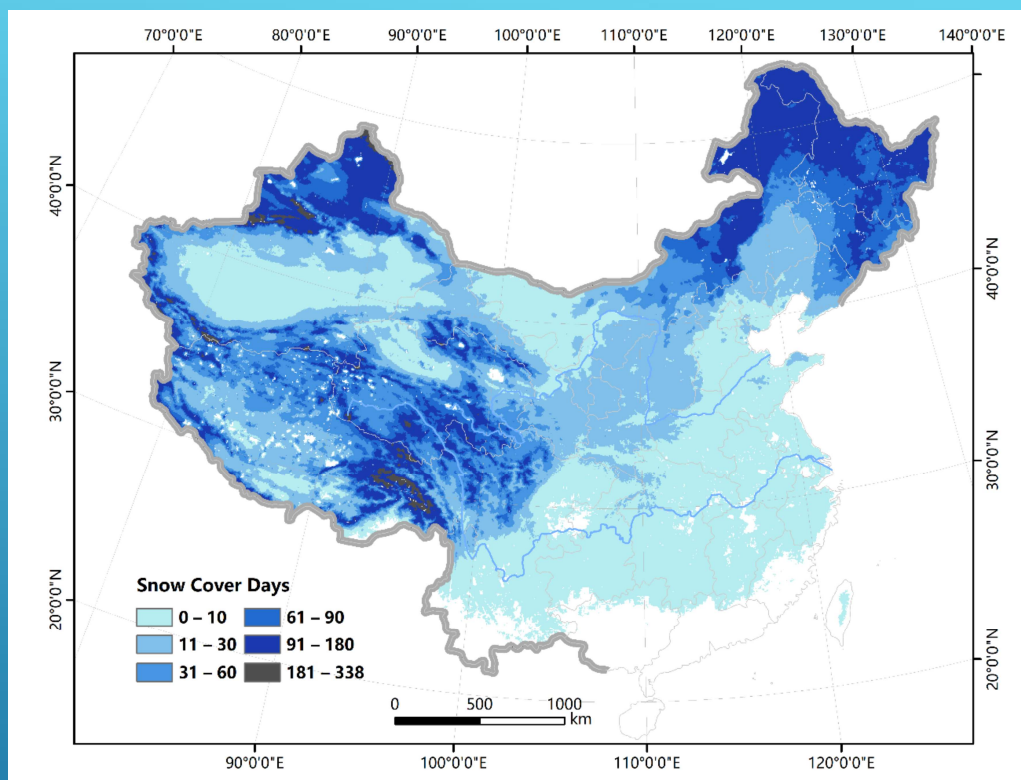
۴. محاسبه: SWE

ضرب عمق در چگالی برای هر پیکسل

۵. اعتبارسنجی:

مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی یا سنسورهای زمینی

مراحل عملیاتی



ماندگاری برف روی زمین

- ▶ *Fundamentals of Remote Sensing*, George Joseph (2005)
- ▶ *Remote Sensing of Snow and Ice*, Dozier & Painter (2004)

منابع