به نام یزدان پاک

همه سوال های

دکترای تخصصی (Ph.D)

سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

۱۴۰۴–۱۴۰۵

گردآورندگان

گروه مولفین پردازش

فهرست مطالب

پیش گفتار ۷

آزمون دکترای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی ۱٤۰٤

ریاضی و آمار ۱۱
پاسخ‌نامه ریاضی و آمار ۱۳
درسنامه مروری ریاضی و آمار ۳۰
سنجش از دور ۳۷
پاسخ‌نامه سنجش از دور ۳۹
درسنامه مروری سنجش از دور ۵۳
سیستم اطلاعات جغرافیایی ۵٦
پاسخ‌نامه سیستم اطلاعات جغرافیایی ۵۸
درسنامه مروری سیستم اطلاعات جغرافیایی ۷۳
روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۷۵
پاسخ‌نامه روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۷۷
درسنامه مروری روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۸۸
۲٦۳ ..... ۹۱
پاسخ‌نامه تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۹۳
درسنامه مروری تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۱۰٦
سنجش از دور پیشرفته و موضوعی ۱۰۸
پاسخ‌نامه سنجش از دور پیشرفته و موضوعی ۱۱۱
درسنامه مروری سنجش از دور پیشرفته و موضوعی ۱۲۸

آزمون دکترای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی ۱٤۰۵

ریاضی و آمار ۱۳۲
پاسخ‌نامه ریاضی و آمار ۱۳٤
درسنامه مروری ریاضی و آمار ۱۵٤
سیستم اطلاعات جغرافیایی ۱۵٦
پاسخ‌نامه سیستم اطلاعات جغرافیایی ۱۵۸
درسنامه مروری سیستم اطلاعات جغرافیایی ۱۷۲
سنجش از دور ۱۷۵
پاسخ‌نامه سنجش از دور ۱۷۷
درسنامه مروری سنجش از دور ۱۹۱
روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۱۹۳
پاسخ‌نامه روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۱۹٤
درسنامه مروری روش تحقیق در سنجش از دور و GIS ۲۰٦
تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۸
پاسخ‌نامه تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۲۱۱
درسنامه مروری تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۲٤۵
واژه نامه و اصطلاحات تخصصی ۲٤۹
منابع ۲٦۳

جدول ۱: توزیع فراوانی موضوعی سؤالات آزمون دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵)

مبحث / سال	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	مجموع	درصد فراوانی
۱. ریاضی و آمار	**۲۰**	**۲۰**	**۱۵**	**۱۵**	**۱۵**	**۱۵**	**۱۰۰**	**۲۶٪/۲۳**
۱.۱. ریاضیات پایه، آنالیز ترکیبی و توابع	۴	۲	۳	۳	۳	۵	۲۰	۶۵٪/۴
۱.۲. حساب دیفرانسیل و انتگرال (تک و چند متغیره)	۶	۸	۴	۴	۴	۳	۲۹	۷۴٪/۶
۱.۳. آمار توصیفی و نظریه احتمالات	۵	۶	۴	۵	۴	۴	۲۸	۵۱٪/۶
۱.۴. آمار استنباطی، آزمون فرض و رگرسیون	۵	۴	۴	۳	۴	۳	۲۳	۳۵٪/۵
۲. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)	**۱۵**	**۱۵**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۷۰**	**۲۸٪/۱۶**
۲.۱. تحلیل‌های مکانی و پردازش لایه‌های برداری و رستری	۵	۵	۴	۳	۳	۳	۲۳	۳۵٪/۵
۲.۲. توپولوژی، نظریه گراف و تحلیل شبکه	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۱۶	۷۲٪/۳
۲.۳. زمین‌آمار، درونیابی و آمار فضایی	۳	۴	۲	۳	۳	۲	۱۷	۹۵٪/۳
۲.۴. پایگاه داده مکانی، کارتوگرافی و سیستم‌های تصویر	۴	۳	۲	۱	۱	۳	۱۴	۲۶٪/۳
۳. سنجش از دور (مبانی و فیزیک)	**۱۵**	**۱۵**	**۱۵**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۷۵**	**۴۴٪/۱۷**
۳.۱. فیزیک امواج، قوانین تابش، سنجش حرارتی و راداری	۶	۶	۶	۴	۳	۵	۳۰	۹۸٪/۶
۳.۲. تعامل امواج با اتمسفر (پخش و جذب) و سطوح	۴	۴	۴	۳	۳	۲	۲۰	۶۵٪/۴

مبحث / سال	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	مجموع	درصد فراوانی
۳.۳. رفتار و امضای طیفی پدیده ها و شاخص‌های طیفی	۵	۵	۵	۳	۴	۳	۲۵	۸۱٪/۵
۴. تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای	**۲۰**	**۲۰**	**۲۰**	**۲۵**	**۲۵**	**۲۵**	**۱۳۵**	**۴۰٪/۳۱**
۴.۱. پیش‌پردازش، تصحیحات هندسی، رادیومتریک و بارزسازی	۶	۶	۶	۷	۷	۷	۳۹	۰۷٪/۹
۴.۲. فیلترینگ مکانی، تبدیلات طیفی (PCA, MNF) و ادغام تصاویر	۵	۵	۵	۶	۷	۶	۳۴	۹۱٪/۷
۴.۳. الگوریتم‌های طبقه‌بندی، یادگیری ماشین و ارزیابی صحت	۹	۹	۹	۱۲	۱۱	۱۲	۶۲	۴۲٪/۱۴
۵. روش تحقیق در سنجش از دور و GIS	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۱۰**	**۶۰**	**۶۳٪/۱۱**
۵.۱. فلسفه علم، منطق استدلال، اخلاق پژوهش و نگارش علمی	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۲۴	۵۸٪/۵
۵.۲. روش‌های نمونه‌برداری، مدل‌سازی و تحلیل‌های آماری تحقیق	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۳۶	۳۷٪/۸
مجموع سؤالات سال	**۸۰**	**۸۰**	**۷۰**	**۷۰**	**۷۰**	**۷۰**	**۴۳۰**	**۱۰۰٪**
توضیح تکمیلی درباره سؤالات بین‌رشته‌ای: در دفترچه‌های آزمون دکتری (به‌ویژه از سال ۱۴۰۳ به بعد که سؤالات در دو دفترچه ۳۵ تایی ادغام شدند)، برخی پرسش‌ها ماهیت ترکیبی دارند؛ از جمله سؤالات ماتریس درهم‌ریختگی (Confusion Matrix)، رگرسیون، شاخص‌های همبستگی مکانی (موران و گیری) و تبدیل‌های فوریه و موجک که هم در بخش روش تحقیق و هم								

مبحث / سال	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	مجموع	درصد فراوانی
در بخش پردازش تصویر و GIS تکرار شده‌اند. این پرسش‌ها بر اساس جایگاه دقیق قرارگیری در دفترچه سازمان سنجش و محوریت اصلی طراح در جدول فوق دسته‌بندی و شمارش شده‌اند.								
گزارش تحلیلی و توصیه‌های راهبردی برای داوطلبان								
۱. تحلیل روند تغییرات ساختاری و محتوایی آزمون (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵)								

- **کاهش تعداد کل سؤالات و تغییر وزن دروس:** تعداد سؤالات از ۸۰ پرسش در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ۷۰ پرسش در سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۵ کاهش یافته است. این کاهش ۱۰ سؤالی عمدتاً از سهم بخش‌های «ریاضی و آمار» (کاهش از ۲۰ به ۱۵ سؤال) و «سیستم اطلاعات جغرافیایی» (کاهش از ۱۵ به ۱۰ سؤال) کسر شده است.

- **رشد چشمگیر مباحث پردازش تصویر و هوش مصنوعی:** در سه سال اخیر (۱۴۰۳ تا ۱۴۰۵)، تمرکز طراحان به شدت به سمت بخش «تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای» معطوف شده و سهم این بخش از ۲۵ درصد به بیش از ۳۵ درصد کل آزمون افزایش یافته است. در این میان، سؤالات مرتبط با یادگیری ماشین (SVM، جنگل تصادفی، شبکه‌های عصبی، SHAP و معیارهای ارزیابی نظیر Precision، Recall و AUC) رشد بسیار محسوسی داشته‌اند.

- **تغییر رویکرد از حفظیات به تحلیل نمودار و گراف:** در تمامی دروس به‌ویژه سنجش از دور و GIS، سؤالات مفهومی مبتنی بر تفسیر نمودارهای فضای ویژگی (Feature Space)، گراف‌های ماتریس تقاطع، توابع تبدیل هیستوگرام (LUT) و ماتریس‌های فیلترینگ جایگزین سؤالات تعریفی صرف شده‌اند.**۲. معرفی مباحث کلیدی و پرتکرار (اولویت‌های اول مطالعه)**

- **الگوریتم‌های طبقه‌بندی و ارزیابی صحت (۱۴/۴۲٪):** پر سؤال‌ترین مبحث کل آزمون که شامل مقایسه روش‌های پارامتریک (حداکثر احتمال، ماهالانوبیس) و ناپارامتریک (SVM، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، شیءگرا) و محاسبات ماتریس خطا (دقت کاربر، دقت تولیدکننده، کاپا و فلفل-نمکی) است.

- **پیش‌پردازش، فیلترینگ و تبدیلات تصویر (۱۶/۹۸٪ در مجموع):** شامل ترتیب مراحل تصحیح هندسی و نمونه‌برداری مجدد، تشخیص جهت فیلترهای لبه یاب، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA/MNF) و روش‌های ادغام تصاویر (IHS، برووی، گرام-اشمیت).

- **مبانی فیزیکی سنجش از دور و سنجنده‌های فعال (۱۷/۴۴٪):** تسلط بر قوانین تابش (وین و کرشهف)، فیزیک پخش و جذب اتمسفری، رفتار طیفی پوشش گیاهی و خاک، و مفاهیم راداری (SAR، زبری سطح، خطاهای جابه‌جایی ارتفاعی و ثابت دی‌الکتریک) کاملاً ضروری است.

- **حساب دیفرانسیل، آمار و احتمالات (۶۰٪/۱۸ در مجموع):** مشتق‌گیری، انتگرال، حد، شاخص‌های پراکندگی، احتمال شرطی، آزمون فرض و رگرسیون خطی پایه ثابت ۱۵ تا ۲۰ سؤال اول دفترچه هستند.**۳. توصیه‌های راهبردی برای برنامه‌ریزی مطالعه**

- **سرمایه‌گذاری هوشمندانه بر درس تفسیر و پردازش تصویر:** با توجه به اینکه بیش از یک‌سوم سؤالات کل آزمون مستقیماً به این حوزه اختصاص دارد، مطالعه عمیق الگوریتم‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین بالاترین بازدهی تراز را برای داوطلب به همراه خواهد داشت.

- **تسلط بر تحلیل بصری و محاسبات سریع بدون ماشین‌حساب:** به دلیل ممنوعیت استفاده از ماشین‌حساب، تمرین محاسبات ذهنی (مانند تبدیل واحدهای فرکانس و طول موج، محاسبه میانگین‌های بلوکی در تجمیع رستری و محاسبه سریع نسبت‌های ماتریس خطا) برای مدیریت زمان ۱۰۵ دقیقه‌ای آزمون حیاتی است.

- **مطالعه یکپارچه روش تحقیق با آمار و پردازش تصویر:** حدود ۴۰ درصد از سؤالات بخش روش تحقیق هم‌پوشانی مستقیم با مفاهیم آماری (نمره استاندارد Z، رگرسیون لجستیک، واریانس ترکیبی) و ارزیابی مدل‌های سنجش از دور (منحنی ROC، ماتریس درهم‌ریختگی و نمونه‌برداری مکانی) دارد؛ بنابراین مطالعه ترکیبی این سرفصل‌ها از دوباره کاری جلوگیری می‌کند.

مقدمه تحلیلی بر روند آزمون‌های دکترای تخصصی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵)

آزمون نیمه‌متمرکز دکترای تخصصی رشته سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (کد ۲۱۰۸) در بازه زمانی شش‌ساله ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵ دستخوش تحولات بنیادین در ساختار، وزن‌دهی دروس و رویکرد طراحی سؤالات شده است. بررسی دقیق ۴۳۰ پرسش تخصصی طرح‌شده در این شش دوره نشان می‌دهد که طراحان سؤال به تدریج از سنجش محفوظات کلاسیک فاصله گرفته و به سمت ارزیابی توان تحلیل الگوریتمی، مدل‌سازی فضایی و تفسیر داده‌های چندمنبعی حرکت کرده‌اند. شناخت این روندها به داوطلبان کمک می‌کند تا به جای مطالعه پراکنده، یک نقشه راه هوشمندانه و هدفمند را برای کسب بالاترین تراز تدوین نمایند. **۱. تحولات ساختاری و تغییر وزن مواد امتحانی** در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱، دفترچه آزمون شامل ۸۰ سؤال با زمان پاسخ‌گویی ۱۲۰ دقیقه بود که سؤالات تمامی دروس به صورت یکپارچه در یک دفترچه ارائه می‌شد. از سال ۱۴۰۲ به بعد، تعداد کل سؤالات به ۷۰ پرسش و زمان پاسخ‌گویی به ۱۰۵ دقیقه کاهش یافت. نکته کلیدی در سال‌های ۱۴۰۳ تا ۱۴۰۵، تفکیک دفترچه به دو بخش ۳۵ سؤالی است؛ به طوری که ۳۵ سؤال اول به «ریاضی و آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور» و ۳۵ سؤال دوم به «روش تحقیق در سنجش از دور و GIS، تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای» اختصاص یافته است. این تغییر ساختاری موجب کاهش سهم عددی ریاضیات و GIS پایه و در مقابل، افزایش چشمگیر ضریب نفوذ مباحث «تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای» (بیش از ۳۵ درصد کل سؤالات در سه سال اخیر) شده است. **۲. مباحث همواره پرتکرار (ستون‌های ثابت آزمون)** تحلیل آماری شش دوره نشان می‌دهد که برخی سرفصل‌ها فارغ از تغییرات ساختاری دفترچه، همواره به عنوان هسته ثابت آزمون حضور داشته‌اند:

- **الگوریتم‌های طبقه‌بندی و ارزیابی صحت (۱۴/۴۲٪ کل سؤالات):** این مبحث پرتکرارترین بخش کل آزمون است. مقایسه عملکرد طبقه‌بندهای پارامتریک (حداکثر احتمال، ماهالانوبیس) با الگوریتم‌های ناپارامتریک و یادگیری ماشین (SVM، جنگل تصادفی، شبکه‌های عصبی، درخت تصمیم و طبقه‌بندی شیءگرا) و همچنین محاسبات ماتریس درهم‌ریختگی (دقت کاربر، دقت تولیدکننده، ضریب کاپا، خطای حذف و اضافه) در تمامی سال‌ها تکرار شده‌اند.

- **پیش‌پردازش، فیلترینگ مکانی و تبدیلات طیفی (۱۶/۹۸٪ کل سؤالات):** ترتیب منطقی تصحیح هندسی و نمونه‌برداری مجدد، تشخیص جهت کرنل فیلترهای لبه‌یاب و حذف نویز (میانه، لی، ساویتسکی-گولای)، و تفسیر مؤلفه‌های اصلی (PCA و MNF) از ثابت‌ترین پرسش‌های دفترچه هستند.

- **فیزیک سنجش از دور و رفتار طیفی پدیده‌ها (۱۷/۴۴٪ کل سؤالات):** قوانین تابش حرارتی (قانون جابه‌جایی وین و قانون کرشهف)، فیزیک پخش و جذب اتمسفری (ریلی، مای، غیرانتخابی و پنجره‌های اتمسفری)، رفتار طیفی پوشش گیاهی و خاک در فضای ویژگی قرمز و مادون قرمز نزدیک و مبانی سنجنده‌های راداری SAR (زبری سطح، زاویه فرود و جابه‌جایی ارتفاعی) پایه‌های اصلی سؤالات سنجش از دور را تشکیل می‌دهند.

- **حساب دیفرانسیل، آمار و احتمال (۱۸/۶۰٪ کل سؤالات):** مشتق‌گیری، انتگرال و حد در بخش ریاضی و شاخص‌های پراکندگی، احتمال شرطی، آزمون فرض و رگرسیون خطی در بخش آمار، همواره بین ۱۵ تا ۲۰ پرسش ابتدایی آزمون را به خود اختصاص می‌دهند. **۳. چرخش رویکرد طراحان سؤال (از تئوری‌های سنتی به روش‌های نوین و تحلیلی)**

- **گذار از پردازش کلاسیک به یادگیری عمیق و هوش مصنوعی تفسیرپذیر:** در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ تمرکز بر روش‌های آماری کلاسیک بود؛ اما در سال‌های ۱۴۰۳ تا ۱۴۰۵، مفاهیم مدرن یادگیری ماشین و یادگیری عمیق مانند لایه‌های کانولوشنی و عملیات پولینگ حداکثری (Max Pooling) در شبکه‌های CNN، حافظه کوتاه‌بلندمدت (LSTM) برای سری‌های زمانی، خودرمزنگارها و شاخص تفسیرپذیری مدل‌های هوش مصنوعی (SHAP) به سؤالات آزمون راه یافته‌اند.

- **ادغام روش تحقیق با آمار فضایی و مدل‌سازی:** سؤالات بخش روش تحقیق از تعاریف خشک فلسفه علم فراتر رفته و با مباحث عملی گره خورده‌اند؛ به طوری که پرسش‌هایی نظیر رگرسیون لجستیک، واریانس ترکیبی، نمونه‌برداری طبقه ای مونت‌کارلو، منحنی ROC و شاخص AUC، خطای اتلاف اطلاعات (Hughes Phenomenon) و مشکل واحدهای منطقه ای قابل تغییر (MAUP) بخش عمده‌ای از این درس را تشکیل می‌دهند.

- **تقویت سؤالات نموداری، ماتریسی و بصری:** درصد بالایی از سؤالات سال‌های اخیر بر پایه تحلیل مستقیم تصاویر، ماتریس‌های تقاطع گراف، نمودارهای هیستوگرام و توابع تبدیل (LUT)، و مقایسه هم‌زمان شاخص‌های خودهمبستگی فضایی (Moran's I و Geary's C) طراحی شده‌اند که نیازمند درک عمیق مفهومی به جای حفظ فرمول‌ها هستند. **۴. نظریه‌پردازان، الگوریتم‌ها و مکاتب علمی پرتکرار در سؤالات** بررسی محتوای سؤالات نشان می‌دهد که طراحان آزمون همواره بر اندیشه‌ها، مدل‌ها و الگوریتم‌های چهره‌های شاخص علم سنجش از دور، GIS و آمار فضایی تأکید ویژه‌ای دارند:

- **مکتب آمار فضایی و زمین‌آمار (توبلر، موران، گیری، گتیس-اورد و ماترون):** قانون اول جغرافیای والدو توبلر به عنوان زیربنای تحلیل‌های مکانی و تضاد مقیاسی شاخص‌های خودهمبستگی فضایی پاتریک موران (Moran's I) و روی گیری (Geary's C) و شاخص نقاط داغ گتیس-اورد (Getis-Ord) به همراه تئوری متغیرهای ناحیه‌ای ژرژ ماترون (واریوگرافی و انواع کریجینگ) از پرتکرارترین محورهای فکری در بخش GIS هستند.

- **مکتب هندسه محاسباتی و مدل‌سازی توپولوژیک (اگنهوفر و کلمنتینی):** چارچوب‌های استاندارد کنسرسیوم مکانی باز (OGC) و مدل نُه‌تقاطعی بسط‌یافته ابعادی (-IM۹DE) مکس اگنهوفر و الیزا کلمنتینی برای تفکیک روابط شمول و همسایگی (Contains، Covers، Touches) و همچنین الگوریتم کلاسیک جنرالیزاسیون خطی داگلاس-پویکر (Douglas-Peucker) و الگوریتم مسیریابی دایکسترا (Dijkstra) جایگاه ویژه‌ای در سؤالات دارند.

- **فیزیک‌دانان تابش و طیف‌سنجی (وین، کرشهف، ریلی، مای و لامبرت):** قوانین کلاسیک ویلهلم وین (جابه‌جایی طول موج حداکثر)، گوستاو کرشهف (رابطه جذب و گسیلمندی)، لرد ریلی و گوستاو مای در فیزیک پخش اتمسفری و سیستم تصویر یوهان هاینریش لامبرت همواره در سؤالات پایه سنجش از دور مورد استناد قرار می‌گیرند.

- **پیشگامان پردازش تصویر، طبقه‌بندی و روش تحقیق (پوپر، پیرسون، هارتمن و بریمن):** در حوزه روش تحقیق، اصل ابطال‌پذیری کارل پوپر و تمایز استدلال‌های قیاسی و استقرایی در کنار ضریب همبستگی کارل پیرسون، فیلترهای کاهش نویز ساویتسکی-گولای و لی (Lee)، معیار تفکیک‌پذیری طیفی جفریس-ماتوسیتا، پدیده هیوز (Hughes) و الگوریتم جنگل تصادفی لئو بریمن بیشترین بسامد را در میان نام‌ها و روش‌های علمی داشته‌اند. **جمع‌بندی استراتژیک برای مطالعه** بر اساس روندهای استخراج‌شده، داوطلب موفق در آزمون دکترای سنجش از دور و GIS کسی است که علاوه بر تسلط بر محاسبات پایه ریاضی و آمار بدون ماشین‌حساب، مطالعه خود را بر درک شهودی رفتار طیفی و راداری پدیده‌ها، تحلیل ماتریسی و گرافیکی الگوریتم‌های GIS و تسلط عمیق بر روش‌های نوین طبقه‌بندی، پردازش تصویر و یادگیری ماشین متمرکز سازد.

پیشگفتار

به نام یزدان پاک

ورود به مقطع دکترای تخصصی در رشته‌های میان‌رشته‌ای و فناوری‌محور همچون «سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (کد ۲۱۰۸)»، نقطه‌عطفی تعیین‌کننده در مسیر علمی و پژوهشی دانشجویان و پژوهشگران علوم مکانی به شمار می‌رود. این آزمون نه‌تنها سنجش‌گر دانش نظری داوطلبان در دروس پایه و تخصصی است، بلکه توانایی تحلیل الگوریتمی، درک فیزیک پدیده‌ها، تسلط بر مدل‌سازی‌های فضایی و آمادگی برای ورود به عرصه پژوهش‌های نوین را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. تجربه سال‌های اخیر نشان داده است که مطالعه پراکنده منابع حجیم دانشگاهی، بدون در اختیار داشتن یک نقشه راه هدفمند و مبتنی بر تحلیل دقیق روندهای طراحی سؤال، داوطلب را با اتلاف زمان و سردرگمی در جلسه آزمون مواجه می‌سازد. کتاب حاضر با هدف پر کردن این خلأ آموزشی و ارائه یک مرجع جامع، ساختارمند و تحلیلی توسط گروه مؤلفین انتشارات پردازش تدوین شده است.

روش‌شناسی تدوین و ساختار علمی کتاب در تدوین این مجموعه ماندگار، رویکردی نوین و چندلایه به کار گرفته شده است تا کتاب فراتر از یک مجموعه سؤال و پاسخ ساده عمل کند و به مثابه یک استاد راهنمای تمام‌وقت، داوطلب را از مرحله آمادگی آزمون کتبی تا جلسه مصاحبه علمی همراهی نماید. هسته اصلی این کتاب بر پایه تحلیل آماری و موضوعی دقیق دفترچه‌های رسمی سازمان سنجش آموزش کشور در دوره شش‌ساله ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵ (مجموعاً ۴۳۰ پرسش تخصصی) و انطباق کامل با سرفصل‌های مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بنا نهاده شده است. بر همین اساس، محتوای کتاب در پنج محور اصلی شامل «ریاضی و آمار»، «مبانی و فیزیک سنجش از دور»، «سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)»، «روش تحقیق در سنجش از دور و GIS» و «تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای» دسته‌بندی و سازمان‌دهی شده است.

ویژگی‌های متمایز و محتوای بخش‌های مختلف اثر برای دستیابی به بیشترین بازدهی آموزشی، ساختار هر بخش از این مجموعه بر پایه یک چرخه یادگیری کامل طراحی شده است که اجزای آن عبارت‌اند از:

- **جداول توزیع فراوانی و تحلیل روندهای شش‌ساله:** در ابتدای کتاب، جداول آماری تفکیک‌شده‌ای از فراوانی موضوعی سؤالات سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵ به همراه گزارش تحلیلی تغییر وزن دروس و چرخش رویکرد طراحان به سمت مباحث نوین (همچون یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و چالش‌های مقیاس فضایی) ارائه شده است تا داوطلب با دیدی استراتژیک، اولویت‌های مطالعه خود را تنظیم کند.

- **طبقه‌بندی موضوعی سؤالات آزمون‌های ۱۴۰۴ و ۱۴۰۵:** کلیه سؤالات دو دوره اخیر آزمون دکترا به تفکیک هر درس و مبحث دسته‌بندی شده‌اند تا داوطلب پس از مطالعه هر حوزه، با سبک و سیاق جدیدترین پرسش‌های طراحی‌شده آشنا شود.

- **پاسخ‌نامه‌های تشریحی چندبعدی:** پاسخ‌نامه‌های این کتاب صرفاً به بیان گزینه صحیح بسنده نکرده‌اند؛ بلکه برای هر پرسش یک ساختار آموزشی جامع شامل «موضوع سؤال»، «تشریح گام‌به‌گام و استدلالی پاسخ صحیح»، «کالبدشکافی و نقد علمی سایر گزینه‌های انحرافی»، «کادرهای جمع‌بندی فرمول‌ها و جداول مقایسه‌ای» و «تکنیک‌های مدیریت زمان و تله‌های طراح (راه حل تستی)» تدوین شده است.

- **ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight):** یکی از برجسته‌ترین نوآوری‌های این مجموعه، افزودن بخش ویژه «ایده برای مصاحبه دکتری» در ذیل پاسخ‌نامه‌هاست. در این بخش، مفاهیم پایه هر سؤال به موضوعات روز پژوهشی و ایده‌های نوآورانه برای تدوین پروپوزال و رساله دکتری پیوند داده شده است تا داوطلبان برای مرحله مصاحبه علمی نیز آمادگی کامل کسب کنند.

- **درس‌نامه‌های مروری و کاربردی:** در پایان هر فصل، یک درس‌نامه مروری فشرده و هدفمند ارائه شده است که علاوه بر مرور سریع مفاهیم کلیدی و ارائه جداول طلایی فرمول‌ها، کاربرد مستقیم هر مفهوم ریاضی، آماری و فیزیکی را در محیط‌های پردازش تصویر و سامانه اطلاعات جغرافیایی تشریح می‌کند.

- **واژه‌نامه توصیفی و فهرست منابع مرجع:** در بخش پایانی کتاب، واژه‌نامه‌ای جامع از اصطلاحات تخصصی به همراه تعاریف دقیق علمی و فهرست منابع استاندارد فارسی و بین‌المللی گنجانده شده است تا مرجعی کامل برای رفع ابهامات مفهومی داوطلبان فراهم آید.

سخن پایانی با داوطلبان گرامی تدوین این اثر حاصل ساعت‌ها پژوهش، بررسی دقیق منابع مرجع بین‌المللی و تجربه آموزشی گروه مؤلفین بوده است. به داوطلبان گرامی توصیه می‌شود ابتدا با مطالعه دقیق مقدمه تحلیلی و جداول فراوانی ابتدای کتاب، وزن و اهمیت هر مبحث را بشناسند، سپس با تکیه بر درس‌نامه‌های مروری و تحلیل پاسخ‌نامه‌های تشریحی، مهارت خود را در حل سریع مسائل بدون ماشین‌حساب و تفسیر نمودارها و ماتریس‌های تخصصی تقویت نمایند. امید است این مجموعه چراغ راهی روشن برای پژوهشگران جوان کشور در مسیر دستیابی به مدارج عالی علمی و موفقیت در آزمون دکترای تخصصی باشد.

گروه مؤلفین پردازش

۱۶. مفهوم «امضای طیفی» (Spectral signature) چگونه به طبقه‌بندی پوشش زمین در سنجش از دور کمک می‌کند؟

۱) ارزیابی اثرات اتمسفری

۲) بهبود دقت مکانی تصاویر

۳) تعیین بهترین زمان روز برای برداشت تصویر

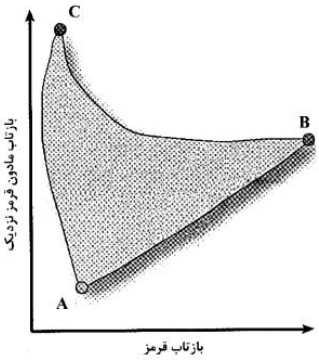
۴) بر اساس الگوهای طیفی منحصربه فرد آنها در طول موج‌های مختلف

۱۷. فرکانس یک موج با طول موج ۶ میکرومتر، چند گیگاهرتز است؟

۱) ۲۰۰۰۰ ۲) ۵۰۰۰۰

۳) ۵×۱۰^{۹} ۴) ۲×۱۰^{۹}

۱۸. در نمودار زیر، A, B و C به ترتیب معرف چه پدیده‌ای هستند؟



۱) خاک لخت مرطوب - خاک لخت خشک - پوشش گیاهی سبز متراکم

۲) خاک لخت خشک - خاک لخت مرطوب - پوشش گیاهی سبز متراکم

۳) خاک لخت خشک - پوشش گیاهی سبز متراکم - خاک لخت مرطوب

۴) پوشش گیاهی سبز متراکم - پوشش گیاهی متراکم - خاک لخت خشک

۱۹. شاخص سطح برگ (LAI) با شاخص‌های پوشش گیاهی زیر، چه رابطه‌ای دارد؟

۱) فقط با NDVI و PVI رابطه خطی

۲) فقط با NDVI و PVI رابطه غیرخطی

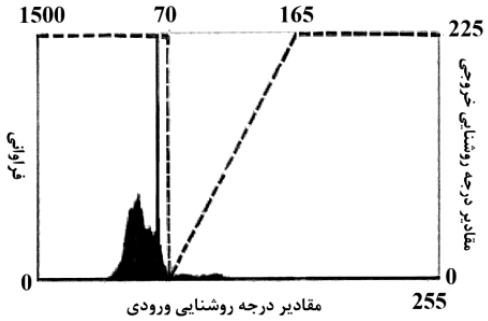
۳) با اکثر شاخص‌های پوشش گیاهی رابطه غیرخطی

۴) فقط با NDVI, PVI و TSAVI رابطه غیرخطی

۲۰. در ارتفاع پایین اتمسفر، کدام پخش غالب است؟

۱) مای ۲) انتخابی ۳) غیرانتخابی ۴) ریلی

۲۱. مطابق تابع تبدیل زیر (خط نقطه‌چین)، مقادیر مربوط به درجه روشنایی ۷۰، ۱۵۰، ۲۲۰ تصویر ورودی به ترتیب چگونه در تصویر خروجی دیده می‌شوند؟



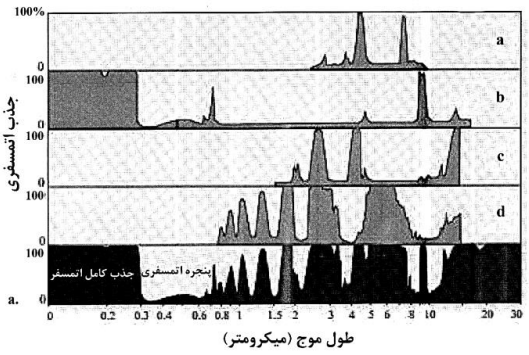
۱) سفید - سفید - سفید

۲) سفید - خاکستری - سفید

۳) سیاه ـ خاکستری ـ سیاه

۴) سیاه - سیاه — خاکستری

۲۲. کدام ردیف، محدوده طول موجی جذب اتمسفری توسط مولکول‌های آب را نشان می‌دهد؟



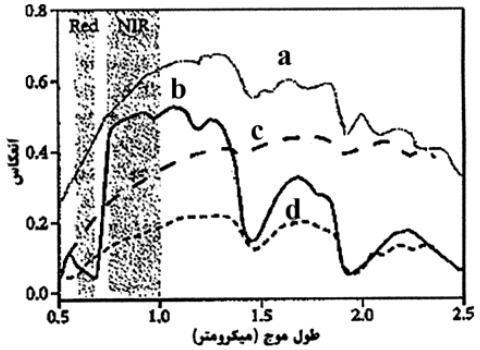
۱) a

۲) b

۳) c

۴) d

۲۳. شکل زیر، بازتاب طیفی چهار پدیده a, b, c و d را نشان می‌دهد. پدیده‌ها به ترتیب به کدام مورد اشاره دارند؟



۱) علف خشک - خاک خشک - خاک مرطوب - علف تازه
۲) علف خشک - خاک مرطوب - خاک خشک - علف تازه
۳) علف خشک - علف تازه - خاک خشک - خاک مرطوب
۴) علف تازه - علف خشک - خاک مرطوب - خاک خشک

۲۴. NDVI با استفاده از چه باندهایی از تصاویر ماهوارهای محاسبه می‌شود و بیانگر کدام ویژگی از پوشش گیاهی است؟

۱) باندهای قرمز و مادونِ قرمز - میزان سبزینگی گیاه
۲) باندهای قرمز و سبز - میزان رنگدانه‌های گیاه
۳) باندهای سبز و مادونِ قرمز - میزان سبزینگی گیاه
۴) باندهای قرمز و آبی - میزان آب گیاه

۲۵. طول موج تابشی حداکثر (λ_{max}) برای پدیده‌ای با دمای ۴۵۰۰ کلوین، در چه محدوده‌ای از طیف الکترومغناطیس قرار می‌گیرد؟

۱) مادونِ قرمز حرارتی
۲) مادون قرمز نزدیک
۳) ماکروویو
۴) قرمز

۱۶. گزینه ۴)

موضوع سوال: این سؤال به یکی از بنیادی‌ترین مفاهیم فیزیکی در سنجش از دور، یعنی رفتار طیفی پدیده‌ها (Spectral Behavior) و نقش آن در تفکیک و طبقه‌بندی عوارض سطح زمین می‌پردازد. گزینه چهارم به‌درستی به اصل منحصربه‌فرد بودن بازتابش الکترومغناطیسی هر پدیده در طول موج‌های گوناگون اشاره دارد.

پاسخ تشریحی: امضای طیفی (Spectral Signature) به منحنی یا الگوی خاص بازتابش، جذب و عبور انرژی الکترومغناطیسی توسط یک پدیده در طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی گفته می‌شود. همان‌طور که اثر انگشت انسان‌ها منحصربه‌فرد است، هر پوشش زمینی (مانند آب، خاک، گیاه، آسفالت و...) نیز در تعامل با تابش خورشید، الگوی بازتابشی ویژه‌ای از خود نشان می‌دهد. الگوریتم‌های طبقه‌بندی در سنجش از دور دقیقاً با تکیه بر همین تفاوت‌ها در الگوهای طیفی، پیکسل‌های تصویر را کلاستربندی کرده و به کلاس‌های مختلف پوشش زمین (Land Cover) تخصیص می‌دهند.

بررسی سایر گزینه‌ها: گزینه ۱ (ارزیابی اثرات اتمسفری) نادرست است؛ زیرا اثرات اتمسفری عواملی مزاحم هستند که باعث تغییر و اعوجاج امضای طیفی واقعی پدیده‌ها در طول مسیر رفت‌وبرگشت سیگنال می‌شوند و نیازمند تصحیح (Atmospheric Correction) هستند، نه اینکه امضای طیفی به ارزیابی آن‌ها کمک کند. گزینه ۲ (بهبود دقت مکانی) نیز اساساً ارتباطی به بعد طیفی ندارد؛ دقت مکانی وابسته به ویژگی‌های هندسی و اپتیکی سنجنده نظیر میدان دید لحظه‌ای (IFOV) و ارتفاع پرواز است. گزینه ۳ (تعیین بهترین زمان روز) بیشتر به مفاهیمی نظیر سایه، زاویه تابش خورشید و در مباحث پیشرفته‌تر به اینرسی حرارتی مرتبط است و کاربرد ذاتی امضای طیفی محسوب نمی‌شود.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

مفهوم سنجش از دوری	عامل تعیین‌کننده	کاربرد اصلی در پردازش تصویر
دقت/ویژگی طیفی	طول موج و رفتار پدیده (امضای طیفی)	طبقه‌بندی و شناسایی جنس پدیده‌ها (مثل تفکیک نوع گیاه)
دقت/ویژگی مکانی	IFOV و ارتفاع مداری سنجنده	استخراج عوارض هندسی، بهبود نمایش بصری و تشخیص لبه‌ها
ویژگی رادیومتریک	حساسیت سنسور به تغییرات اندک انرژی	تشخیص سایه‌روشن‌ها و بافت‌های ظریف

راه حل تستی: در صورت سؤال عبارت «طیفی» (Spectral) خودنمایی می‌کند. در بین گزینه‌ها، تنها گزینه ۴ حاوی کلمات کلیدی هم‌خانواده و مستقیماً مرتبط نظیر «الگوهای طیفی» و «طول موج» است. داوطلب مسلط با دیدن این تطابق واژگانی، نیازی به تحلیل عمیق گزینه‌های انحرافی نداشته و در کسری از ثانیه پاسخ صحیح را شکار می‌کند.

ایده برای مصاحبه دکتری: در جلسه مصاحبه، می‌توانید از مفهوم پایه‌ای امضای طیفی برای ورود هوشمندانه به بحث‌های پیشرفته‌تری نظیر «سنجش از دور ابرطیفی (Hyperspectral RS)» ایده بگیرید. اشاره به این موضوع که چگونه استخراج دقیق امضای طیفی پیوسته (Continuous) به تولید «کتابخانه‌های طیفی بومی» برای کشور کمک کرده و امکان تفکیک گونه‌های گیاهی بسیار مشابه یا شناسایی کانی‌های خاص معدنی را فراهم می‌آورد، تسلط شما را از سطح یک داوطلب عادی فراتر برده و به دیدگاه یک پژوهشگر دکتری نزدیک می‌کند.

۱۷. گزینه ۲)

موضوع سوال: این سؤال به یکی از پایه‌ای‌ترین قوانین فیزیک امواج الکترومغناطیسی، یعنی رابطه ریاضی میان طول موج (Wavelength)، فرکانس (Frequency) و سرعت نور (Speed of Light) می‌پردازد. هدف از این پرسش، ارزیابی توانایی

داوطلب در انجام محاسبات فیزیکی طیف الکترومغناطیس و تسلط بر تبدیل واحدهای اندازه‌گیری استاندارد در سیستم‌های سنجش از دور است.

پاسخ تشریحی: دلیل انتخاب گزینه دو، محاسبه دقیق فرکانس بر اساس فرمول بنیادی امواج الکترومغناطیسی است. در خلأ، تمام امواج الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می‌کنند. بر اساس رابطه فیزیکی فرکانس و طول موج، فرکانس یک موج با طول موج آن رابطه عکس دارد. برای حل این سؤال، ابتدا باید تمامی واحدهای داده شده را به سیستم استاندارد بین‌المللی (SI) تبدیل کنیم. طول موج داده شده ۶ میکرومتر است که معادل ۶×۱۰^{-۶} متر می‌شود. سرعت ثابت نور در خلأ نیز تقریباً ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. با جایگذاری این مقادیر در رابطه استاندارد، فرکانس بر حسب واحد هرتز (Hz) به دست می‌آید که برابر با ۵×۱۰^{۱۳} هرتز است. در گام نهایی، از آنجایی که صورت سؤال پاسخ را مستقیماً بر حسب واحد «گیگاهرتز» (GHz) خواسته است و می‌دانیم که هر گیگاهرتز معادل $۱۰^{۹}$ هرتز است، باید حاصل به دست آمده را بر $۱۰^{۹}$ تقسیم کنیم. نتیجه نهایی این عملیات برابر با ۵۰۰۰۰ گیگاهرتز خواهد بود که دقیقاً بر گزینه دوم منطبق است.

سرعت نور (c) = $۳ \times ۱۰^{۸}\ m/s$

طول موج (λ) = $۶\mu m = ۶ \times ۱۰^{-۶}\ m$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸}}{۶ \times ۱۰^{-۶}} = ۰.۵ \times ۱۰^{۱۴} = ۵ \times ۱۰^{۱۳}\ Hz$$

$$\text{Frequency (GHz)} = \frac{۵ \times ۱۰^{۱۳}}{۱۰^{۹}} = ۵ \times ۱۰^{۴} = ۵۰۰۰۰\ GHz$$

بررسی سایر گزینه ها: گزینه‌های دیگر صرفاً به دلیل خطاهای محاسباتی رایج داوطلبان در مرحله تبدیل واحدها به‌عنوان گزینه‌های انحرافی طراحی شده‌اند. گزینه ۱ (۲۰۰۰۰) معمولاً زمانی به دست می‌آید که داوطلب سرعت نور را به‌اشتباه عدد دیگری در نظر بگیرد یا در عملیات تقسیم کسرها (مانند جابه‌جایی مخرج و صورت) دچار خطای ریاضی شود. گزینه‌های ۳ و ۴ که دارای توان‌های بزرگ ریاضی (مانند $۱۰^{۹}$) هستند، تله‌های بسیار خطرناکی برای داوطلبانی محسوب می‌شوند که فراموش می‌کنند در مرحله آخر، فرکانس به دست آمده بر حسب هرتز را به گیگاهرتز (یعنی تقسیم بر $۱۰^{۹}$) تبدیل کنند و پاسخ را به‌صورت خام و مستقیماً از روی توان‌های علمی مبنا انتخاب می‌کنند.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: طول موج (Wavelength) به فاصله فیزیکی میان دو قله متوالی یک موج گفته می‌شود، در حالی که فرکانس (Frequency) بیانگر تعداد چرخه‌هایی است که موج در مدت زمان یک ثانیه از یک نقطه مشخص عبور می‌کند. در دانش سنجش از دور، طول موج ۶ میکرومتر دقیقاً در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی (Thermal Infrared) قرار می‌گیرد. در این محدوده خاص از طیف الکترومغناطیس، پدیده‌های سطح زمین بر اساس دمای جنبشی خود انرژی ساطع می‌کنند و سنجنده‌های حرارتی (نظیر باندهای حرارتی سنجنده TIRS در ماهواره لندست) به جای ثبت انعکاس نور خورشید، این گسیل‌های حرارتی طول‌موج‌بلند را اندازه‌گیری و ثبت می‌نمایند.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای: پیشوند فیزیکی	نماد اختصاری	ضریب تبدیل (متر / هرتز)	دامنه کاربرد رایج در سنجش از دور
نانو (Nano)	n	$۱۰^{-۹}$	طول موج در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک
میکرو (Micro)	μ	$۱۰^{-۶}$	طول موج در محدوده مادون قرمز میانی و حرارتی

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای: پیشوند فیزیکی	نماد اختصاری	ضریب تبدیل (متر / هرتز)	دامنه کاربرد رایج در سنجش از دور
مگا (Mega)	M	$۱۰^{۶}$	فرکانس امواج رادیویی باندهای پایین
گیگا (Giga)	G	$۱۰^{۹}$	فرکانس طیف امواج مایکروویو (سنجنده‌های راداری)
ترا (Tera)	T	$۱۰^{۱۲}$	فرکانس امواج الکترومغناطیسی بسیار کوتاه

راه حل تستی: مهم‌ترین تله طراحان در سؤالات محاسباتی، واحد خواسته شده در انتهای پرسش (در اینجا کلمه «گیگاهرتز») است. بسیاری از داوطلبان پس از انجام موفقیت‌آمیز محاسبه اولیه و رسیدن به فرکانس بر حسب هرتز، به دلیل استرس آزمون، مرحله تبدیل نهایی را فراموش می‌کنند. میان‌بر تستی در چنین سؤالاتی این است که همیشه پیش از شروع حل مسئله، زیر واحدهای داده شده (میکرومتر) و واحد نهایی خواسته شده (گیگاهرتز) در صورت سؤال خط بکشید تا مسیر تبدیل از مبدأ تا مقصد همواره در مقابل چشمانتان باشد.

نکات تکمیلی و کاربردی: درک عمیق از رابطه معکوس فرکانس و طول موج، به‌ویژه در طراحی و کاربری سنجنده‌های فعال راداری (SAR) بسیار حیاتی است. در حالی که سیستم‌های تصویربرداری اپتیکال عموماً بر اساس طول موج (میکرومتر و نانومتر) شناخته و طبقه‌بندی می‌شوند، سنجنده‌های راداری عمدتاً بر اساس فرکانس کاری در محدوده گیگاهرتز (مانند باندهای X، C و L) تعریف می‌گردند. توانایی محاسبه و تبدیل سریع این دو مؤلفه به یکدیگر، برای درک میزان نفوذپذیری امواج در پوشش گیاهی متراکم یا خاک مرطوب امری کاملاً ضروری در پروژه‌های پیشرفته است.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری تخصصی، اساتید هیئت‌داوران معمولاً فراتر از یک محاسبه ساده ریاضی، مفهوم فیزیکی پشت ارقام را جویا می‌شوند. در مواجهه با چنین مباحثی، به اساتید توضیح دهید که طول موج ۶ میکرومتر در لبه محدوده مادون قرمز حرارتی قرار دارد و اشاره کنید که چگونه دانستن دقیق فرکانس و طول موج برای استفاده از قوانین بنیادی فیزیک (نظیر قانون پلانک و جابه‌جایی وین) در محاسبه دمای درخشندگی (Brightness Temperature) سطح زمین و توسعه الگوریتم‌های پایش جزایر حرارتی شهری (UHI) اهمیتی استراتژیک و پژوهشی دارد. این زاویه دید، رویکرد تحلیلی شما را به شدت متمایز خواهد کرد.

۱۸. گزینه ۱)

موضوع سوال: این سؤال به‌طور هوشمندانه توانایی داوطلب را در تفسیر «فضای ویژگی دوبعدی» (D Feature Space۲) میان باندهای قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR) می‌سنجد. هدف، ارزیابی درک فیزیکی داوطلب از رفتار طیفی پدیده‌های پایه (خاک مرطوب، خاک خشک و پوشش گیاهی) بر اساس جایگاه و مختصات آن‌ها در این گراف پراکنش است.

پاسخ تشریحی: برای تحلیل دقیق این نمودار، باید مقادیر بازتاب را گام‌به‌گام از محورهای X (بازتاب قرمز) و Y (بازتاب مادون قرمز نزدیک) استخراج کنیم. **نقطه A:** در پایین‌ترین مختصات گراف قرار دارد، یعنی دارای کمترین میزان بازتاب در هر دو محور قرمز و مادون قرمز نزدیک است. در فیزیک امواج، حضور رطوبت در ذرات خاک باعث جذب شدیدتر انرژی الکترومغناطیسی و در نتیجه کاهش محسوس بازتاب می‌شود؛ بنابراین نقطه A نمایانگر تیره‌ترین پدیده خاکی نمودار، یعنی «خاک لخت مرطوب» است. **نقطه B:** بالاترین بازتاب را در طول محور خاک به خود اختصاص داده است (مقادیر بالای X و Y). خاک‌های خشک به دلیل فقدان رطوبت، انرژی کمتری را جذب کرده و به‌شدت روشن‌تر دیده می‌شوند؛ در نتیجه B نمایانگر «خاک لخت خشک» است. **نقطه C:** دارای رفتاری کاملاً متضاد و قطبی است؛ در محور X (قرمز) کمترین مقدار و در محور Y (مادون قرمز نزدیک) بالاترین مقدار ممکن را به خود اختصاص داده است. گیاهان سالم و متراکم به دلیل وجود رنگدانه‌های کلروفیل، نور قرمز را برای عملیات

فتوسنتز به‌شدت جذب می‌کنند (کاهش X) و به دلیل ساختار سلولی اسفنجی میان‌برگ (Mesophyll)، تابش مادون قرمز نزدیک را به‌شدت بازتاب می‌دهند (افزایش ناگهانی Y). این تضاد طیفی منحصربه‌فرد تنها در «پوشش گیاهی سبز متراکم» رخ می‌دهد.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۲ از نظر منطق فیزیکی مردود است، زیرا جایگاه خاک خشک و مرطوب را در نمودار وارونه فرض کرده است و یک خاک خشک هرگز نمی‌تواند در نقطه A (کمترین میزان بازتاب) قرار گیرد. گزینه‌های ۳ و ۴ نیز کاملاً انحرافی هستند؛ زیرا نقطه C (با آن جهش خیره‌کننده در محور NIR و جذب کامل در محور قرمز) را به‌عنوان خاک لخت (خشک یا مرطوب) معرفی کرده‌اند، در حالی که هیچ خاکی در طبیعت قادر به ایجاد چنین الگوی طیفی نامتقارنی نیست.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: گراف مثلثی‌شکل ارائه‌شده در صورت سؤال، در حقیقت بنیان فیزیکی بسیاری از شاخص‌های گیاهی و تبدیلات پیشرفته تصویر (نظیر تبدیل Tasseled Cap) را تشکیل می‌دهد. خط پیوسته‌ای که خاک مرطوب (A) را به خاک خشک (B) متصل می‌سازد، در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به عنوان «خط خاک» (Soil Line) شناخته می‌شود. پوشش گیاهی (C) همواره در قله این نمودار مثلثی شکل گرفته و فاصله‌ی عمودی هر پیکسل از «خط خاک» به سمت این قله، نشان‌دهنده میزان تراکم و سلامت پوشش گیاهی در آن پیکسل است.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

نوع پدیده در تصویر	رفتار در باند قرمز (Red (X-Axis	رفتار در باند مادون قرمز نزدیک (NIR Y-Axis)	مختصات در گراف پراکنش (Feature Space)
خاک لخت خشک	بازتاب بالا	بازتاب بالا	گوشه سمت راست پایین (متمایل به مرکز)
خاک لخت مرطوب	بازتاب پایین (جذب رطوبتی)	بازتاب پایین (جذب رطوبتی)	گوشه سمت چپ پایین (روی خط خاک)
گیاه سبز متراکم	بازتاب بسیار پایین (جذب کلروفیل)	بازتاب بسیار بالا (اثر مزوفیل)	گوشه سمت چپ بالا (قله مثلث گراف)
آب زلال و عمیق	جذب بسیار شدید	جذب مطلق (بازتاب صفر)	منتهی‌الیه مبدأ مختصات (تاریک‌ترین پیکسل‌ها)

راه حل تستی: کلید طلایی در حل تست‌های گرافِ پراکنش، شناسایی بی‌درنگ نقطه مربوط به «گیاه» است. همیشه به یاد داشته باشید که در تقابل باندهای قرمز و NIR، گیاه بالاترین پرش را در محور Y (مادون قرمز) دارد. با تشخیص سریع نقطه C به عنوان گیاه سبز، بلافاصله گزینه‌های ۳ و ۴ در همان ثانیه اول رد می‌شوند. سپس برای افتراق بین نقطه A و B، کافی است قانون رطوبت را مرور کنید: «رطوبت مساوی است با تاریکی و جذب بیشتر». بنابراین نقطه A که بازتاب کمتری دارد مرطوب، و نقطه B خشک است که مستقیماً شما را به گزینه ۱ هدایت می‌کند.

نکات تکمیلی و کاربردی: درک عمیق از مفهوم خط خاک (A به B) در کشاورزی دقیق (Precision Agriculture) و برآورد محصولات زراعی کاربرد فوق‌العاده‌ای دارد. شاخص‌های گیاهی ساده مانند NDVI در مناطقی با پوشش گیاهی تنک، تحت تأثیر انعکاس شدید پس‌زمینه خاکِ روشن قرار گرفته و دچار خطا می‌شوند. با درک این نمودار، محققان شاخص‌هایی نظیر SAVI (شاخص گیاهی تعدیل‌شده بر اساس خاک) را توسعه دادند که با وارد کردن شیب و عرض از مبدأ همین «خط خاک» در فرمول ریاضی خود، اثرات مخرب انعکاس خاک را در محاسبات حذف می‌کنند.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری، اگر موضوع پروپوزال یا بحث‌های علمی به پایش خشکسالی کشاورزی یا پردازش تصاویر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کشیده شد، می‌توانید با ارجاع به نمودار فضای ویژگی Red-NIR، بیان کنید که چگونه قصد دارید برای رساله خود از شاخص‌های گیاهی عمود بر خط خاک (Orthogonal Indices) مانند TSAVI یا PVI بهره ببرید. توضیح دهید که این شاخص‌ها با در نظر گرفتن نوسانات رطوبتی پس‌زمینه خاک (نقاط A تا B)، پایش به مراتب دقیق‌تری از تنش آبی گیاهان (نقطه C) نسبت به شاخص‌های مبتنی بر شیب (مانند NDVI) ارائه می‌دهند. این استدلال، تسلط شما بر فیزیکِ پشت الگوریتم‌ها را به بهترین شکل به اساتید اثبات خواهد کرد.

۱۹. گزینه ۳)

موضوع سوال: این پرسش به بررسی رفتار بیوفیزیکی کانوپی گیاهان در برابر بازتابش امواج الکترومغناطیسی پرداخته و ارتباط ریاضی میان پارامترهای ساختاری گیاه (مانند شاخص سطح برگ) و مدل‌های تجربی/طیفی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای (مانند شاخص‌های گیاهی) را هدف قرار داده است.

پاسخ تشریحی: دلیل انتخاب گزینه سه این است که در فیزیک سنجش از دور نوری، رابطه میان شاخص سطح برگ (LAI) و اکثر شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی (Vegetation Indices)، یک رابطه غیرخطی (Non-linear) و مجانبی (Asymptotic) است. با رشد گیاه و افزایش تراکم تاج‌پوشش، مقدار شاخص‌های طیفی (مانند NDVI) در ابتدا با شیب تندی افزایش می‌یابد. اما زمانی که شاخص سطح برگ (LAI) از یک آستانه مشخص (معمولاً حدود ۳ تا ۵ بسته به نوع پوشش) عبور می‌کند، تاج‌پوشش گیاه بسته شده و شاخص‌های طیفی دچار پدیده فیزیکی «اشباع‌شدگی» (Saturation) می‌شوند. در این حالت، با وجود اینکه کانوپی همچنان در حال متراکم‌تر شدن و افزایش LAI است، میزان بازتاب ثبت‌شده توسط سنجنده تغییر محسوسی نمی‌کند و شاخص طیفی ثابت می‌ماند. این رفتار مجانبی، ماهیتِ غیرخطیِ رابطه را برای اکثریت قریب‌به‌اتفاق شاخص‌های طیفی اثبات می‌کند.

مدل‌های تجربی رابطه میان شاخص‌های گیاهی (VI) و شاخص سطح برگ (LAI) را با یک تابع نمایی و غیرخطی توصیف می‌کنند:

$$VI = VI_{\infty} + (VI_{soil} - VI_{\infty})e^{-k \times LAI}$$

در این فرمول، k ضریب خاموشی کانوپی است. حضور عبارت نمایی ($e^{-k \times LAI}$) اثبات‌کننده رفتار غیرخطی و اشباع‌شونده در تاج‌پوشش‌های متراکم است.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۱ کاملاً از نظر فیزیکی مردود است، زیرا فرضِ رابطه خطی به این معناست که شاخص‌های گیاهی تا بی‌نهایت قابلیت تمایز تراکم گیاه را دارند، که با قانون اشباع‌شدگی نور در تاج‌پوشش در تضاد است. گزینه‌های ۲ و ۴ نیز نادرست هستند زیرا از قید انحصاری «فقط» استفاده کرده‌اند؛ محدود کردن این رفتار فیزیکی تنها به چند شاخص خاص (مانند PVI یا TSAVI) اشتباه است، چرا که پدیده اشباع نوری و رابطه غیرخطی، یک اصل کلی است که بر «اکثر» شاخص‌های مبتنی بر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک حاکم است.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

وضعیت تاج‌پوشش گیاه	میزان شاخص سطح برگ (LAI)	حساسیت شاخص‌های طیفی (مانند NDVI)	نوع رابطه ریاضی
کانوپی تُنک (مراحل اولیه رشد)	پایین (مثلاً کمتر از ۲)	بسیار حساس (افزایش سریع و خطی‌تر)	شبه‌خطی
کانوپی متراکم (جنگل‌ها و مزارع بالغ)	بالا (معمولاً بیشتر از ۳ تا ۵)	فاقد حساسیت (بروز پدیده اشباع‌شدگی نوری)	مجانبی / غیرخطی

راه حل تستی: در تست‌زنی آزمون دکتری، وجود کلماتی نظیر «فقط»، «همیشه» یا «هرگز» در میان گزینه‌ها، یک زنگ خطر بزرگ است. در سیستم‌های طبیعی و پیچیده سنجش از دور، به ندرت پدیده‌ای «فقط» به یک حالت یا یک فرمول خاص محدود

می‌شود. در این تست، طراح در گزینه‌های ۱، ۲ و ۴ از کلمه «فقط» استفاده کرده است. داوطلب باهوش با تکیه بر اصول تست‌زنی مفهومی، بلافاصله متوجه می‌شود که گزینه ۳ با استفاده از کلمه «اکثر» (که نشان‌دهنده یک قاعده غالب علمی بـا در نظـر گـرفتن استثنائات است)، منطقی‌ترین و معتبرترین گزینه به شمار می‌رود.

نکات تکمیلی و کاربردی: برای غلبه بر محدودیتِ رابطه غیرخطی و مشکل اشباع‌شـدگی شـاخص‌ها در جنگل‌هـای انبـوه نظیـر جنگل‌های هیرکانی یا آمازون، پژوهشگران به جای استفاده از شاخص‌های اپتیکال استاندارد، به سراغ داده‌هـای راداری (SAR) بـا طول موج بلند (مانند باند L و P) می‌روند که قابلیت نفوذ در تاج‌پوشش را دارنـد. همچنـین، اسـتفاده از شـاخص EVI (شـاخص گیاهی ارتقایافته) که با استفاده از باند آبی اثرات اتمسفر را تعدیل و محدوده اشباع را کمی به تأخیر می‌انـدازد، در بـرآورد LAI در کانوپی‌های متراکم رایج‌تر است.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه، اساتید معمولاً به دنبال راهکارهای شما بـرای حل محدودیت‌های کلاسیک سنجش از دور هستند. اگر رساله شما پیرامون برآورد پارامترهای جنگل یا بیوماس اسـت، بـه چـالش «اشباع‌شدگی اپتیکال شاخص‌های گیاهی در برابر شاخص سطح برگ» اشاره کنید. سپس پیشـنهاد دهیـد کـه ایـده اصـلی شـما، اسـتفاده از الگوریتم‌هـای هم‌افزایـی (Data Fusion) میـان داده‌هـای سـه‌بعدی لایـدار (LiDAR) و تصـاویر ابرطیفـی (Hyperspectral) است. توضیح دهید که لایدار محدودیت اشباع را ندارد و ساختار عمودی کانوپی را مدل می‌کند، در حالی کـه داده‌های طیفی بیوشیمی برگ را نشان می‌دهند. این ایده تلفیقی، وزن علمی شما را در جلسه مصاحبه به شدت بالا می‌برد.

۲۰. گزینه ۳)

موضوع سوال: این پرسش به یکی از چالش‌برانگیزترین مباحث فیزیـک سـنجش از دور، یعنـی اثـرات اتمسـفری و تعامـل امـواج الکترومغناطیسی با ذرات معلق در جو (Scattering) می‌پردازد. هدف، سنجش درک داوطلب از رابطه میان ارتفاع از سطح زمـین، اندازه ذرات جوی و نوع پخش غالب در آن لایه است.

پاسخ تشریحی: دلیل انتخاب گزینه سه این است که نوع پخش اتمسفری تابعی از «قطر ذرات معلـق» نسـبت بـه «طـول مـوجِ» انرژیِ تابشی است. در ارتفاعات پایین اتمسفر (نزدیک به سطح زمین و لایه تروپوسفر)، جو مملو از ذرات درشت ماننـد قطـرات آب، مه، کریستال‌های یخ و ذرات درشت گردوغبار است. قطر این ذرات (که بین ۵ تا ۱۰۰ میکرومتر متغیر است) بسیار بزرگ‌تر از طول موج‌های مرئی و مادون قرمز (۰.۴ تا ۳ میکرومتر) مورد استفاده در سنجش از دور است. در فیزیک اپتیک، زمانی که قطر ذره بسیار بزرگ‌تر از طول موج باشد، پدیده «پخش غیرانتخابی» (Non-selective Scattering) رخ می‌دهد. در ایـن حالـت، ذره تمـامی طول موج‌ها را به یک میزان و بدون هیچ‌گونه انتخاب‌گری در فضا پراکنده می‌کند. به همین دلیل است که پدیده‌های جوی نزدیـک به سطح زمین مانند ابرها و مه، به رنگ سفید دیده می‌شوند (ترکیب برابر تمامی طـول موج‌هـای مرئـی). بنـابراین، در پـایین‌ترین لایه‌های اتمسفر، پخش غیرانتخابی غالب‌ترین اثر را بر روی تصاویر ماهواره‌ای می‌گذارد.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۴ (پخش ریلی)، مختص ارتفاعات بالای اتمسفر (استراتوسفر و مزوسفر) است، جـایی کـه امـواج بـا مولکول‌های گاز (اکسیژن و نیتروژن) که بسیار کوچک‌تر از طول موج هستند برخورد می‌کننـد و باعـث آبـی دیـده شـدن آسـمان می‌شوند. گزینه ۱ (پخش مای)، در ارتفاعات میانی و پایین اتمسفر (تا حدود ۴.۵ کیلومتری) رخ می‌دهد و ناشـی از ذراتـی (ماننـد دود و گرده گیاهان) است که تقریباً هم‌اندازه با طول موج هستند؛ با این حال، در پایین‌ترین ارتفاعات که رطوبت و قطـرات درشـت آب تجمع دارند، پخش غیرانتخابی شدت و غلبه بیشتری نسبت به پخش مای پیدا می‌کند. گزینه ۲ (انتخابی)، یک دسته‌بندی کلی است که هر دو پخش ریلی و مای را در بر می‌گیرد و گزینه مستقلی در برابر آنها محسوب نمی‌شود.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: پخش اتمسفری (Atmospheric Scattering) به انحراف مسیر فوتون‌های نوری در اثر برخورد با ذرات جوی گفته می‌شود، بدون آنکه انرژی فوتون جذب ذره شود. این پدیده باعث ایجاد خطای «درخشندگی مسیر» (Path Radiance) در تصاویر ماهواره‌ای می‌شود که در آن، سنجنده علاوه بر بازتاب واقعی سطح زمین، انرژی پراکنده‌شده در جو را نیز ثبت می‌کند که نتیجه آن، کاهش تباین (Contrast) و محو شدن جزئیات تصویر است.

راه حل تستی: یک میان‌بر ذهنی و تستی بسیار قوی برای پاسخ به سؤالات پخش اتمسفری، قانون «ارتفاع-اندازه» است: هرچـه از فضا به سمت سطح زمین پایین می‌آییم، ذرات جوی به دلیل نیروی جاذبه زمـین بزرگ‌تـر و سـنگین‌تر می‌شـوند. بنـابراین: بـالا =

مولکول‌های ریز (ریلی) ← وسط = غبار هم‌اندازه موج (مای) ← پایین = قطرات درشت آب (غیرانتخابی). با این تصویرسازی ذهنی، با دیدن کلمه «ارتفاع پایین» در صورت سؤال، مستقیماً به سراغ «غیرانتخابی» می‌روید.

نکات تکمیلی و کاربردی: پخش غیرانتخابی بزرگ‌ترین محدودیت فیزیکی سنجنده‌های اپتیکال (مانند لندست و سنتینل-۲) در مناطق استوایی و مرطوب (به دلیل پوشش دائمی ابر و مه) محسوب می‌شود. برای عبور از این سد فیزیکی ضخیم در ارتفاعات پایین، متخصصان سنجش از دور از سیستم‌های راداری مایکروویو (مانند Sentinel-۱) استفاده می‌کنند. طول موج امواج مایکروویو (در حد سانتی‌متر) به‌قدری بزرگ است که حتی قطرات درشت آب در برابر آن‌ها حکم ذرات بسیار ریز را پیدا کرده و امواج بدون درگیر شدن با پخش غیرانتخابی، از مه و ابر عبور می‌کنند.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری، اگر اساتید در خصوص روش‌های پیش‌پردازش تصاویر (Pre-processing) از شما پرسش کردند، می‌توانید به روش‌های «تصحیح اتمسفری» (Atmospheric Correction) اشاره کنید. بیان کنید که برای حذف خطاهای ناشی از پخش ریلی و مای از الگوریتم‌های مبتنی بر مدل‌های انتقال تابش (مانند FLAASH یا S۶) استفاده می‌کنید، اما تأکید کنید که در برابر پخش غیرانتخابی (نظیر ابرهای ضخیم)، الگوریتم‌های تصحیح اتمسفری ناکارآمد هستند و باید به سراغ الگوریتم‌های «ماسک‌گذاری ابر» (مانند Fmask) یا استفاده از داده‌های چندسنجنده‌ای (مانند فیوژن اپتیک و رادار) رفت. این دقت علمی، شما را به‌عنوان یک پژوهشگر مسلط بر محدودیت‌های فیزیکی داده‌ها معرفی می‌کند.

۲۱. گزینه ۲)

موضوع سوال: این سؤال مهارت داوطلب را در تفسیر توابع انتقال رادیومتریک (Radiometric Transfer Functions) و جدول مراجعه (Look-Up Table - LUT) در پردازش و بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی می‌کند. در اینجا، ارتباط میان هیستوگرام تصویر ورودی و نحوه نگاشت مقادیر آن به تصویر خروجی از طریق یک گراف دوبعدی مورد پرسش قرار گرفته است.

پاسخ تشریحی: برای رسیدن به پاسخ صحیح، باید گراف ارائه‌شده را از محور افقی (مقادیر روشنایی ورودی) به سمت محور عمودی سمت راست (مقادیر روشنایی خروجی) نقشه‌برداری کنیم. خط نقطه‌چین در این گراف، همان تابع تبدیل (LUT) است که قانون این نگاشت را مشخص می‌کند. درجات روشنایی خروجی از پایین (مقدار ۰ معادل سیاه مطلق) به سمت بالا (مقدار ۲۵۵ معادل سفید مطلق) تعریف می‌شوند. اکنون مقادیر خواسته‌شده در صورت سؤال را گام‌به‌گام روی خط نقطه‌چین پیاده می‌کنیم:

- **برای ورودی ۷۰:** از عدد ۷۰ روی محور X به صورت عمودی بالا می‌رویم تا به خط نقطه‌چین برسیم. در این نقطه، خط نقطه‌چین در بالاترین حد خود (سقف گراف) قرار دارد. بالاترین مقدار خروجی معادل ۲۵۵ است؛ بنابراین پیکسل خروجی **«سفید»** خواهد بود.
- **برای ورودی ۱۵۰:** عدد ۱۵۰ در فاصله میان ۷۰ تا ۱۶۵ قرار دارد. در این بازه، تابع تبدیل (خط نقطه‌چین) یک شیب نزولی تند از سقف (سفید) به کف (سیاه) دارد. با قطع دادن عدد ۱۵۰ با این خط شیب‌دار، به مقداری در میانه محور Y می‌رسیم. مقادیر میانی روشنایی خروجی، سایه‌روشن‌های **«خاکستری»** را تولید می‌کنند.
- **برای ورودی ۲۲۰:** این عدد در بازه بزرگ‌تر از ۱۶۵ قرار می‌گیرد. با نگاه به گراف، مشاهده می‌کنیم که خط نقطه‌چین پس از نقطه ۱۶۵ (و در ادامه تا ۲۲۵) مجدداً در بالاترین سطح خود (سقف گراف) قرار گرفته است. بنابراین خروجی این پیکسل نیز مجدداً مقدار ماکزیمم، یعنی **«سفید»** خواهد بود. نتیجه نهایی این رهگیری، توالی «سفید - خاکستری - سفید» است که دقیقاً منطبق بر گزینه دوم می‌باشد.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه‌های ۳ و ۴ کاملاً با منطق گراف در تضاد هستند، زیرا فرض کرده‌اند که در نقاط ابتدایی (مانند ۷۰) تابع تبدیل در کف گراف (سیاه) قرار دارد، در حالی که گراف به‌وضوح در نقطه ۷۰ روی سقف (سفید) است. گزینه ۱ نیز اشتباه است، زیرا فرض کرده تمامی مقادیر در بالاترین سطح قرار دارند و از شیب نزولی تابع در بازه ۷۰ تا ۱۶۵ (که تولیدکننده رنگ خاکستری است) چشم‌پوشی کرده است.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: تابعی که در این سؤال رسم شده است، نوعی «کشش کنتراست قطعه‌ای» (Piecewise Linear Contrast Stretch) ترکیب‌شده با «برش چگالی» (Density Slicing) است. در این تکنیک پیشرفته بارزسازی، پردازشگر تصمیم گرفته است که مقادیر پس‌زمینه تصویر (پیکسل‌های تاریک‌تر از ۷۰ و روشن‌تر از ۱۶۵) را با نگاشت به

رنگ سفید خالص، کاملاً حذف و خنثی کند. در مقابل، تنها به بازه پیکسلی ۷۰ تا ۱۶۵ (که احتمالاً پدیده هدف در آن قرار دارد) یک کشش خطی معکوس اعمال کرده است تا جزئیات و بافت آن منطقه خاص با سایه‌روشن‌های خاکستری به حداکثر وضوح بصری برسد.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

شکل خط تابع تبدیل (LUT) در گراف	نوع بارزسازی تصویر	تأثیر بصری بر پیکسل‌های خروجی
خط راست با شیب مثبت (زاویه ۴۵ درجه)	بدون تغییر (Linear)	تصویر خروجی دقیقاً مشابه تصویر ورودی
خط راست با شیب منفی	معکوس‌سازی (Negative/Invert)	پیکسل‌های تاریک روشن می‌شوند و بالعکس
خط پلکانی (پله‌ای)	برش چگالی (Density Slicing)	گروه‌بندی پیکسل‌های پیوسته به چند رنگ مجزا
منحنی S شکل	کشش هیستوگرام (Histogram Equalization)	افزایش شدید کنتراست در مقادیر میانی (خاکستری‌ها)

راه حل تستی: در مواجهه با سؤالات گرافیکی توابع انتقال، نیازی به تحلیل کل گراف نیست. یک میان‌بر تستی عالی این است که فقط اولین مقدار ورودی (در اینجا عدد ۷۰) را روی گراف پیدا کنید. در عدد ۷۰، خط نقطه‌چین در بالای نمودار (سفید) است. با همین یک نگاه، گزینه‌های ۳ و ۴ که با کلمه «سیاه» شروع می‌شوند در کسری از ثانیه خط می‌خورند. سپس برای انتخاب بین گزینه ۱ و ۲، کافی است نقطه میانی (۱۵۰) را چک کنید که روی شیب افتاده است (خاکستری)، و مستقیماً گزینه ۲ را انتخاب نمایید.

نکات تکمیلی و کاربردی: در پروژه‌های پردازش تصویر پزشکی (نظیر تحلیل عکس‌های رادیولوژی) و همچنین در سنجش از دور محیطی (مانند جداسازی پهنه‌های آبی از پس‌زمینه خشکی)، از چنین توابع تبدیلِ غیرخطی و قطعه‌ای (Piecewise LUTs) استفاده فراوانی می‌شود. با این ابزار می‌توان سیگنال‌های مزاحم را به یک رنگ خنثی (مانند سفید یا سیاه مطلق) ماسک کرد تا الگوریتم‌های پردازشی بعدی یا چشمان مفسر انسانی، منحصراً روی ویژگی‌های هدف متمرکز شوند.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری، در پاسخ به سؤالاتی پیرامون استخراج عوارض خاص، می‌توانید به گراف‌های تابع انتقال (LUT) استناد کنید. پیشنهاد دهید که برای استخراج اتوماتیک و دقیقِ عوارضی با بازتاب خاص (مثلاً سقف شیروانی فلزی در تصاویر شهری)، یک تابع انتقال قطعه‌ای (Piecewise Transfer Function) به صورت دینامیک و مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک طراحی خواهید کرد که در آن، دقیقاً بازه روشنایی هدف دچار بالاترین کشش (کنتراست) شده و سایر بازه‌های روشنایی (Background) به صفر مطلق (ماسک) تبدیل شوند. این رویکرد عملیاتی، دیدگاه الگوریتم‌محور و کاربردی شما را برای اجرای رساله‌های صنعتی به هیئت داوران اثبات می‌کند.

۲۲. گزینه ۴)

موضوع سوال: این پرسش، قدرت تحلیل بصری داوطلب را در تفسیر نمودارهای کلاسیک «انتقال تابش و جذب اتمسفری» ارزیابی می‌کند. هدف این است که داوطلب بتواند از روی موقعیت پیک‌های جذبی (دره‌های نمودار) در طول موج‌های مختلف، نوع گاز جوی (به‌ویژه بخار آب) را شناسایی کند.

پاسخ تشریحی: در فیزیک امواج الکترومغناطیسی، مولکول‌های جوی بر اساس ساختار اتمی خود، انرژی را در طول موج‌های بسیار خاصی (به‌صورت ارتعاشی و چرخشی) جذب می‌کنند. با دقت در محور افقی نمودار (طول موج بر حسب میکرومتر)، رفتار هر

ردیف را بررسی می‌کنیم. ردیف **d** دارای بیشترین تعداد پیک‌های جذبی نامنظم در محدوده‌های مادون قرمز نزدیک و میانی (حدود ۰.۹، ۱.۱، ۱.۴، ۱.۹ و ۲.۷ میکرومتر) و همچنین یک نوار جذب بسیار پهن و قدرتمند در محدوده ۵ تا ۸ میکرومتر است. این الگوی متراکم و دندانه‌دار در نواحی ذکر شده، امضای طیفی کاملاً انحصاری مولکول‌های بخار آب (H_2O) در اتمسفر است. بنابراین، ردیف d مشخص‌کننده جذب توسط آب بوده و گزینه ۴ صحیح است.

بررسی سایر گزینه ها:

- **ردیف b (گزینه ۲):** در این ردیف، یک بلوک جذبی مطلق و کامل در طول موج‌های ماوراء بنفش (کمتر از ۰.۳ میکرومتر) و یک پیک باریک در محدوده ۹.۶ میکرومتر دیده می‌شود. این الگو مختص گاز ازن (O_3) است که سپر محافظ زمین در برابر اشعه فرابنفش خورشید محسوب می‌گردد.
- **ردیف c (گزینه ۳):** این ردیف دارای یک پیک جذبی بسیار تیز و شاخص در حوالی ۴.۳ میکرومتر و یک ناحیه جذب مطلق و پیوسته در طول موج‌های بلندتر از ۱۵ میکرومتر است. این رفتار، مشخصه بارز گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) است.
- **ردیف a (گزینه ۱):** نشان‌دهنده گازهای دیگری نظیر اکسیژن (O_2) یا نیتروژن در اتمسفر است که پیک‌های جذبی پراکنده و محدودتری در مقایسه با آب و دی‌اکسید کربن دارند.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: در پایین‌ترین بخش نمودار ارائه‌شده، عبارتی تحت عنوان «پنجره اتمسفری - جذب کامل اتمسفر» درج شده است. این بخش، برآیند (مجموع) تمامی گازهای لایه‌های بالایی (a, b, c, d) را نشان می‌دهد. نواحی سفید و باز در این نمودار کلی، همان «پنجره‌های اتمسفری» (Atmospheric Windows) هستند؛ یعنی طول موج‌هایی که گازهای جوی کمترین میزان جذب را دارند و انرژی الکترومغناطیسی می‌تواند از فضا به زمین رسیده و بازگردد. ماهواره‌های سنجش از دور (مانند لندست و سنتینل) باندهای تصویربرداری خود را دقیقاً در همین نواحیِ پنجره‌ای (نواحی فاقد پیک جذبی) تنظیم و طراحی می‌کنند.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

نوع گاز اتمسفری	فرمول شیمیایی	طول موج‌های اصلی جذب (میکرومتر)	شکل ظاهری در گراف‌های جذب اتمسفری
بخار آب	H_2O	۱.۴، ۱.۹، ۲.۷ و ۵ تا ۸	پیک‌های متعدد، دندانه‌دار و پهن در سراسر مادون قرمز (ردیف d)
ازن	O_3	کمتر از ۰.۳ (UV) و حدود ۹.۶	مسدودکننده کاملِ سمتِ چپ نمودار (ردیف b)
دی‌اکسید کربن	CO_2	۴.۳ و بیشتر از ۱۵	یک پیک سوزنی مجزا در میانه و مسدودکننده انتهای راست نمودار (ردیف c)

راه حل تستی: یک میان‌بر تستی فوق‌العاده برای گراف‌های اتمسفری، قانون «آبِ همه‌جا حاضر» است. بخار آب به دلیل نوسانات شدید رطوبتی، بیشترین عرضِ باندِ جذبی و بیشترین تعدادِ قله‌ها را در میان تمام گازهای جوی دارد. هر زمان در آزمون از شما خواستند بخار آب را در میان چند ردیف پیدا کنید، مستقیماً به سراغ شلوغ‌ترین و دندانه‌دارترین ردیف (در اینجا ردیف d) بروید.

نکات تکمیلی و کاربردی: اگرچه جذب اتمسفری معمولاً یک عامل مخرب (نویز) در تصویربرداری از سطح زمین محسوب می‌شود، اما سنجش از دور هواشناسی از همین پدیده به‌عنوان یک فرصت طلایی استفاده می‌کند. به‌عنوان مثال، سنجنده MODIS دارای باندهای خاصی (مانند باندهای ۱.۳۸ و ۶.۷ میکرومتر) است که دقیقاً روی پیک‌های جذبی شدید بخار آب تنظیم شده‌اند. در این طول موج‌ها، سنجنده هیچ تصویری از سطح زمین دریافت نمی‌کند، بلکه مستقیماً میزان تراکم، توزیع و حرکت بخار آب در لایه‌های مختلف جو را مدل‌سازی کرده و برای پیش‌بینی وضع هوا به کار می‌گیرد.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه، چنانچه بحث به سمت پیش‌پردازش داده‌های ابرطیفی (Hyperspectral) کشیده شد، می‌توانید با اشاره به باندهای جذبی بخار آب (۱.۴ و ۱.۹ میکرومتر)، بیان کنید که چگونه در رساله خود قصد دارید از مدل‌های انتقال تابش (Radiative Transfer Models) نظیر MODTRAN استفاده نمایید. توضیح دهید که این مدل‌ها با اندازه‌گیری دقیق عمقِ جذب در همین نواحی (مانند ردیف d)، میزان دقیق بخار آب ستونی اتمسفر (Column Water Vapor) را در لحظه تصویربرداری محاسبه کرده و بر اساس آن، بازتاب سطحی واقعی (Surface Reflectance) را استخراج می‌کنند. این بیان فنی، تسلط شما بر تلفیق فیزیک جو و پردازش تصویر را به رخ هیئت داوران خواهد کشید.

۲۳. گزینه ۳)

موضوع سوال: این سؤال به یکی از محوری‌ترین مباحث تفسیر فیزیکی در سنجش از دور یعنی تحلیل «امضاهای طیفی» (Spectral Signatures) پدیده‌های پایه (گیاه سالم، گیاه خشک، خاک خشک و خاک مرطوب) می‌پردازد. هدف، سنجش توانایی داوطلب در تطبیق رفتار جذبی و انعکاسی نمودارها با ویژگی‌های بیوفیزیکی و شیمیایی پدیده‌ها در طول‌موج‌های مرئی (Visible)، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز میانی (SWIR) است.

پاسخ تشریحی: برای تحلیل این گراف، باید رفتار هر منحنی را در نواحی کلیدی طیف الکترومغناطیس مورد واکاوی قرار دهیم:

- **منحنی b (علف تازه):** این منحنی دارای یک دره جذبی عمیق در باند قرمز (حدود ۰.۶۵ میکرومتر) ناشی از جذب نور توسط کلروفیل است. پس از آن، یک صعود ناگهانی و پرشیتاب در محدوده ۰.۷ میکرومتر (معروف به لبه سرخ یا Red Edge) دارد و در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) به دلیل ساختار اسفنجی سلول‌های برگ، بازتاب بسیار بالایی ثبت می‌کند. در طول‌موج‌های ۱.۴ و ۱.۹ میکرومتر نیز افت‌های شدیدی دارد که مشخصه جذب توسط آبِ موجود در بافت گیاه است. این رفتار منحصراً متعلق به پوشش گیاهی زنده و شاداب (علف تازه) است.
- **منحنی a (علف خشک):** زمانی که گیاه خشک می‌شود، کلروفیل و آب بافت خود را از دست می‌دهد. با از بین رفتن کلروفیل، دره جذبی باند قرمز ناپدید شده و بازتاب در بخش مرئی افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل فقدان آب، دره‌های جذبی ۱.۴ و ۱.۹ میکرومتر بسیار کم‌عمق شده و بازتاب در محدوده مادون قرمز میانی (SWIR) به شدت بالا می‌رود. منحنی a دقیقاً این ویژگی‌ها را نشان داده و نمایانگر علف خشک (Senescent Vegetation) است.
- **منحنی c (خاک خشک):** خاک‌ها برخلاف گیاهان، فاقد دره جذبی کلروفیل در باند قرمز و پرش ناگهانی لبه سرخ هستند. رفتار طیفی خاک معمولاً به‌صورت یک منحنی ملایم و صعودی از ناحیه مرئی تا مادون قرمز میانی است. منحنی c با این شیب یکنواخت و بازتاب نسبتاً بالا (به دلیل خشکی)، نشان‌دهنده خاک خشک است.
- **منحنی d (خاک مرطوب):** رطوبت، یک جاذب قدرتمند انرژی الکترومغناطیسی در سراسر طیف (به‌ویژه در مادون قرمز) است. حضور آب در منافذ خاک باعث می‌شود که منحنی رفتار طیفی خاک (یعنی همان ساختار منحنی c) حفظ شود، اما کل نمودار به سمت پایین (بازتاب کمتر) کشیده شود. منحنی d دقیقاً هم‌شکل با منحنی c اما با مقادیر بازتاب بسیار پایین‌تر است که نشان‌دهنده خاک مرطوب می‌باشد. بنابراین ترتیب صحیح a=علف خشک، b=علف تازه، c=خاک خشک و d=خاک مرطوب است که با گزینه ۳ کاملاً انطباق دارد.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۴ منحنی a را که فاقد هرگونه جذب کلروفیلی است، به اشتباه «علف تازه» معرفی کرده است که از نظر بیوفیزیکی محال است. گزینه‌های ۱ و ۲ در تشخیص جایگاه علف تازه (b) و همچنین تفکیک خاک مرطوب و خشک دچار خطای فاحش شده‌اند؛ به گونه‌ای که در گزینه ۱، منحنی c که بازتاب بالاتری دارد را خاک مرطوب فرض کرده است، در حالی که رطوبت همواره باعث کاهش بازتاب (تاریک‌تر شدن) می‌شود.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: دره جذبی آب (Water Absorption Bands) در طول‌موج‌های ۱.۴ و ۱.۹ میکرومتر، یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های فیزیکی در شناسایی پدیده‌هاست. ماهواره‌هایی نظیر Sentinel-۲ و Landsat با قرار دادن باندهای SWIR خود در حاشیه این دره‌های جذبی، امکان تفکیک دقیق گیاه شاداب از گیاه تحت تنش آبی (یا علف خشک) را برای متخصصان فراهم می‌کنند. پدیده لبه سرخ (Red Edge) نیز که مرز بین جذب کلروفیل (قرمز) و بازتاب ساختار سلولی (NIR) است، شاخصی بسیار حساس برای تعیین سلامت و سن گیاه به شمار می‌رود.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

پدیده	رفتار در باند قرمز (Red)	رفتار در لبه سرخ (Red Edge)	رفتار در باندهای جذب آب (SWIR)	شکل کلی منحنی در نمودار
علف تازه	جذب شدید (دره)	پرش صعودی و ناگهانی	افت شدید (جذب بالا)	دارای نوسانات شدید و پرش‌های تیز
علف خشک	بازتاب بالا	فاقد پرش (افزایش ملایم)	بازتاب بسیار بالا	در بالاترین سطح نمودار
خاک خشک	افزایش ملایم	فاقد پرش	بازتاب متوسط رو به بالا	صعودی، یکنواخت و ملایم
خاک مرطوب	بازتاب پایین	فاقد پرش	افت نسبی، بازتاب پایین	مشابه خاک خشک اما در کف نمودار

راه حل تستی: در تست‌های مربوط به گراف‌های طیفی، نیازی به تحلیل تک‌تک منحنی‌ها نیست. یک میان‌بر تستی استثنایی و بی‌نظیر این است که همواره به دنبال شناسایی «گیاه سالم» باشید، زیرا منحنی آن (به دلیل لبه سرخ و دره کلروفیل) متمایزترین شکل را در میان تمام پدیده‌های طبیعی دارد. در این گراف، منحنی **b** بدون شک همان گیاه سالم (علف تازه) است. حالا به سراغ گزینه‌ها بروید و ببینید در کدام گزینه، دومین کلمه (مربوط به جایگاه b) «علف تازه» است. با یک نگاه به گزینه‌ها متوجه می‌شوید که **فقط در گزینه ۳** جایگاه دوم به «علف تازه» اختصاص یافته است. با همین یک تشخیص طلایی، پاسخ صحیح در کمتر از ۱۰ ثانیه و بدون نیاز به تحلیل a، c و d به دست می‌آید!

نکات تکمیلی و کاربردی: تفکیک امضای طیفی علف خشک (Senescent/Dry Grass) از خاک لخت، یکی از چالش‌های بزرگ در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مانند ایران) است؛ زیرا هر دو پدیده بازتاب بالایی در باندهای مرئی و NIR دارند. در این پروژه‌ها، از شاخص‌هایی نظیر NDI۴۵ (شاخص تفاضلی نرمال‌شده باندهای ۴ و ۵) یا شاخص‌های مبتنی بر SWIR برای برآورد میزان «پسماند گیاهی» (Crop Residue) و ارزیابی خطر آتش‌سوزی مراتع استفاده می‌شود.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری، اگر موضوع ارزیابی پوشش گیاهی مناطق خشک به میان آمد، می‌توانید با ارجاع به این طیف‌های آزمایشگاهی، پیشنهاد دهید که برای رساله خود از تکنیک «اختلاط‌شکنی طیفی» (Spectral Mixture Analysis - SMA) بهره خواهید برد. توضیح دهید که قصد دارید با استفاده از طیف‌های خالص (Endmembers) استخراج‌شده از تصویر برای «خاک، علف تازه و علف خشک»، سهم دقیق هر پیکسل را از این سه مؤلفه محاسبه کنید. این دیدگاه پیشرفته نشان می‌دهد که شما از سطحِ محاسبه شاخص‌های ساده (مانند NDVI) فراتر رفته و به تحلیل‌های زیرپیکسلی (Sub-pixel Analysis) تسلط کامل دارید.

۲۴. گزینه ۱)

موضوع سوال: این پرسش، شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین شاخص طیفی در علم سنجش از دور، یعنی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI) را هدف قرار داده است .هدف ارزیابی تسلط داوطلب بر فرمول ریاضی این شاخص، باندهای درگیر در آن و تفسیر بیوفیزیکی خروجی آن (معنای فیزیکی اعداد به‌دست‌آمده) است .

پاسخ تشریحی: شاخص NDVI بر اساس تضاد رفتاری شدید گیاهان در دو ناحیه از طیف الکترومغناطیس، یعنی باند «قرمز (Red)» و باند «مادون قرمز نزدیک (NIR)» بنا شده است. گیاه سالم و شاداب، تابش باند قرمز را برای انجام فرآیند فتوسنتز به‌شدت جذب می‌کند (توسط رنگدانه‌های کلروفیل) و در مقابل، تابش باند مادون قرمز نزدیک را به دلیل ساختار اسفنجی و متراکم

سلول‌های میان‌برگ (Mesophyll) به‌شدت بازتاب می‌دهد. فرمول شاخص NDVI دقیقاً همین تضاد و اختلاف (تفاضل) را اندازه‌گیری و نرمال‌سازی می‌کند. خروجی این فرمول، عددی است که مستقیماً وضعیت سلامت، تراکم و به‌طور کلی «میزان سبزینگی (Greenness) «تاج‌پوشش گیاهی را کمّی‌سازی می‌کند. بر این اساس، ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز برای سنجش سبزینگی، کاملاً بر گزینه نخست منطبق است .

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$$

در این رابطه، ρ_{NIR} میزان بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و ρ_{Red} میزان بازتاب در باند قرمز است.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۲ (باندهای قرمز و سبز) نادرست است؛ اگرچه گیاهان نور سبز را بازتاب می‌دهند (دلیل سبز دیده شدن آن‌ها با چشم انسان)، اما بالاترین بازتاب گیاه در محدوده نامرئی مادون قرمز نزدیک (NIR) رخ می‌دهد که در این شاخص حیاتی است. گزینه ۳ (سبز و مادون قرمز) نیز اشتباه است، زیرا برای ایجاد حداکثر تضاد در صورتِ کسر شاخص، باید از باندی استفاده کرد که گیاه در آن «حداکثر جذب» را دارد (یعنی قرمز، نه سبز). گزینه ۴ (باندهای قرمز و آبی برای میزان آب گیاه) از دو جهت مردود است؛ نخست آنکه NDVI هیچ ارتباط مستقیمی با سنجش میزان آب گیاه ندارد و دوم آنکه برای برآورد محتوای آب تاج‌پوشش، از باندهای مادون قرمز میانی (SWIR) نظیر آنچه در شاخص NDWI به کار می‌رود، استفاده می‌شود.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: مقادیر محاسبه‌شده در شاخص NDVI همواره بین بازه ۱- تا ۱+ قرار دارند. مقادیر منفی معمولاً نشان‌دهنده پهنه‌های آبی (دریاچه‌ها و رودخانه‌ها) یا برف و یخ هستند. مقادیر نزدیک به صفر (مانند ۰.۱ تا ۰.۲) نمایانگر خاک لخت، سنگ و مناطق شهری بوده و مقادیر مثبت و بالا (از ۰.۳ تا نزدیک به ۱) بیانگر پوشش گیاهی است؛ به‌طوری‌که هرچه این عدد به ۱+ نزدیک‌تر باشد، تاج‌پوشش گیاهی متراکم‌تر، سالم‌تر و سبزتر است.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

نام شاخص	مخفف انگلیسی	باندهای اصلی مورد استفاده	ویژگی بیوفیزیکی مورد ارزیابی
شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده	NDVI	قرمز + مادون قرمز نزدیک(NIR)	میزان سبزینگی، سلامت و بیوماس گیاه
شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده	NDWI	مادون قرمز نزدیک + (NIR) مادون قرمز میانی(SWIR)	میزان رطوبت و محتوای آب بافت گیاه
شاخص گیاهی ارتقایافته	EVI	آبی + قرمز + مادون قرمز نزدیک(NIR)	سبزینگی کانوپی‌های متراکم (با حذف اثر اتمسفر)
شاخص گیاهی تعدیل‌شده با خاک	SAVI	قرمز + مادون قرمز نزدیک(NIR)	سبزینگی در مناطق تنک (با حذف اثر خاک پس‌زمینه)

راه حل تستی: نام شاخص NDVI با باندهای «قرمز» و «مادون قرمز» گره خورده است و این اولین چیزی است که هر داوطلب سنجش از دور می‌آموزد. با جستجوی سریع این دو باند در گزینه‌ها، تنها به گزینه ۱ می‌رسیم .هیچ شاخص گیاهی پایه‌ای وجود ندارد که از باند مادون قرمز بی‌نیاز باشد؛ بنابراین گزینه‌های ۲ و ۴ در همان ثانیه نخست خط می‌خورند .

نکات تکمیلی و کاربردی: اگرچه NDVI پرکاربردترین شاخص در کشاورزی، جنگل‌داری و پایش خشکسالی است، اما دارای دو محدودیت فیزیکی بزرگ است: نخست «اثر خاک پس‌زمینه» در پوشش‌های گیاهی تُنک (مراحل اولیه رشد محصول) و دوم «پدیده اشباع‌شدگی» در تاج‌پوشش‌های بسیار متراکم (جنگل‌های انبوه). برای رفع این چالش‌ها در پروژه‌های پیشرفته، از خانواده

شاخص‌های بهینه‌شده نظیر EVI (استفاده از باند آبی برای تصحیح آئروسل‌ها) و SAVI اعمال ضریب تصحیح خاک (L) به‌عنوان جایگزین‌های قدرتمند NDVI استفاده می‌شود.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در مصاحبه دکتری، به جای توضیح ساده شاخصNDVI ، سطح بحث را ارتقا دهید. پیشنهاد کنید که قصد دارید در رساله خود از «تحلیل سری‌های زمانی (Time-Series Analysis) « تصاویر هم‌افزاشده) مانند تلفیق داده‌های لندست و سنتینل با استفاده از الگوریتم (STARFM برای استخراج منحنی‌های فنولوژی (پدیدارشناسی) مبتنی بر NDVI استفاده کنید. بیان کنید که با مدل‌سازی زمان شروع سبز شدن (Start of Season)، زمان اوج رشد و زمان خزان گیاهان از روی این منحنی‌های زمانی، قصد دارید تأثیرات تغییرات اقلیمی بر الگوهای کشت یا زوال جنگل‌ها را در مقیاس وسیع ارزیابی کنید. این رویکرد، شما را از یک پردازشگر ساده تصویر به یک تحلیل‌گر فرآیندهای بوم‌شناختی متمایز می‌سازد.

۲۵. گزینه ۴)

موضوع سوال: این سؤال به‌طور مستقیم یکی از مهم‌ترین قوانین فیزیک تابش در سنجش از دور حرارتی، یعنی «قانون جابه‌جایی وین» (Wien's Displacement Law) را مورد پرسش قرار داده است. هدف ارزیابی توانایی داوطلب در محاسبه پیک تابش الکترومغناطیسی یک جسم بر اساس دمای جنبشی آن و همچنین تسلط بر موقعیت‌یابی طول موج به‌دست‌آمده در نوارهای استاندارد طیف الکترومغناطیس است.

پاسخ تشریحی: بر اساس قانون جابه‌جایی وین، طول موجی که در آن یک جسم سیاه (Blackbody) بیشترین میزان انرژی تابشی خود را گسیل می‌کند، با دمای مطلق آن جسم (بر حسب کلوین) رابطه عکس دارد. ثابت وین در فیزیک تقریباً برابر با ۲۸۹۸ (میکرومتر در کلوین) است. برای یافتن طول موج حداکثر، کافی است این ثابت را بر دمای جسم تقسیم کنیم. با قرار دادن عدد ۴۵۰۰ کلوین در مخرج کسر، به طول موجی در حدود ۰.۶۴۴ میکرومتر می‌رسیم. در گام دوم، باید این طول موج را در طیف الکترومغناطیس جانمایی کنیم. می‌دانیم که طیف مرئی (Visible) در بازه ۰.۴ تا ۰.۷ میکرومتر قرار دارد و به‌طور خاص، محدوده ۰.۶ تا ۰.۷ میکرومتر به باند «قرمز» اختصاص دارد. از آنجایی که عدد به‌دست‌آمده (۰.۶۴۴) دقیقاً در میانه این بازه قرار می‌گیرد، پیک تابش این پدیده در محدوده نور قرمز خواهد بود.

$$\lambda_{max} = \frac{A}{T}$$

که در آن A ثابت وین ($۲۸۹۸\ \mu m \cdot K$) و T دمای مطلق جسم (کلوین) است.

$$\lambda_{max} = \frac{۲۸۹۸}{۴۵۰۰} \approx ۰.۶۴۴\ \mu m$$

طول موج $۰.۶۴۴\ \mu m$ منطبق بر بخش قرمز در طیف مرئی (Red Band: $۰.۶ - ۰.۷\ \mu m$) است.

بررسی سایر گزینه ها: گزینه ۱ (مادون قرمز حرارتی) مختص اجسامی با دمای بسیار پایین‌تر (حدود ۳۰۰ کلوین، مانند سطح زمین) است که پیک تابش آن‌ها در محدوده ۹ تا ۱۰ میکرومتر قرار می‌گیرد. گزینه ۲ (مادون قرمز نزدیک) با بازه ۰.۷ تا ۱.۳ میکرومتر، متعلق به اجسامی با دمای حدود ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کلوین (مانند شعله‌های آتشِ در حال سوختن یا لامپ‌های رشته‌ای) است. گزینه ۳ (ماکروویو) دارای طول موج‌های بسیار بلند (در حد میلی‌متر تا سانتی‌متر) است که طبق قانون وین، متعلق به اجسامی با دماهای فوق‌العاده سرد (نزدیک به صفر مطلق کیهانی) می‌باشد و هیچ ارتباطی با دمای بالای ۴۵۰۰ کلوین ندارد.

شرح مفاهیم، الگوریتم‌ها و سنجنده‌ها: قانون جابه‌جایی وین بیانگر این مفهوم بنیادین است که هرچه جسمی داغ‌تر شود، پیک تابش انرژی آن به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر (انرژی بیشتر) جابه‌جا (Displace) می‌شود. خورشید با دمای سطحی حدود ۶۰۰۰ کلوین، پیک تابش خود را در طول موج ۰.۴۸ میکرومتر (نور مرئی - سبز/آبی) گسیل می‌کند که تکامل سیستم بینایی انسان و گیاهان نیز دقیقاً بر اساس همین پیک تابشی خورشید شکل گرفته است. در مقابل، زمین با دمای متوسط ۳۰۰ کلوین، تابش خود را در باند حرارتی (Thermal IR) ساطع می‌کند و به همین دلیل برای دیدن تابش زمین در شب، نیازمند سنجنده‌های حرارتی (مانند TIRS در ماهواره لندست) هستیم.

کادرهای جمع‌بندی و جداول مقایسه‌ای:

منبع تابش (پدیده)	دمای تقریبی (کلوین)	طول موج حداکثر (λmax)	محدوده طیف الکترومغناطیس
خورشید	K ۶۰۰۰	۰.۴۸ میکرومتر	مرئی (Visible)
پدیده مجهول سؤال	K ۴۵۰۰	۰.۶۴ میکرومتر	مرئی - باند قرمز (Red)
آتش‌سوزی فعال جنگل	K ۱۰۰۰	۲.۹ میکرومتر	مادون قرمز میانی (SWIR)
سطح کره زمین	K ۳۰۰	۹.۶ میکرومتر	مادون قرمز حرارتی (TIR)

راه حل تستی: در جلسه آزمون، تقسیم دقیق عدد ۲۸۹۸ بر ۴۵۰۰ وقت‌گیر و مستعد خطای محاسباتی است. یک میان‌بر تستی فوق‌العاده این است که برای محاسبات ذهنی سریع، عدد ۲۸۹۸ (ثابت وین) را **۳۰۰۰** فرض کنید. حالا کافی است ۳۰۰۰ را بر ۴۵۰۰ تقسیم کنید:

$$۳۰۰۰ \div ٤٥٠٠ = ۳۰ \div ٤٥ = \frac{۲}{۳} \approx ۰.٦٦$$

عدد ۰.۶۶ میکرومتر بلافاصله در ذهن شما تداعی‌گر باند مرئی قرمز (۰.۶ تا ۰.۷) خواهد بود و به این ترتیب، بدون نیاز به کاغذ و قلم، گزینه صحیح را در کمتر از ۱۵ ثانیه صید می‌کنید.

نکات تکمیلی و کاربردی: درک قانون وین کلید طراحی سنجنده‌های پایش حریق (Fire Detection) در ماهواره‌هاست. هنگام وقوع آتش‌سوزی در جنگل، دمای منطقه به‌طور ناگهانی از ۳۰۰ کلوین به حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کلوین افزایش می‌یابد. طبق قانون وین، پیک تابش این پیکسل‌ها از باند حرارتی بلند (TIR) خارج شده و وارد باندهای مادون قرمز میانی (SWIR - حدود ۲ تا ۳ میکرومتر) می‌شود. به همین دلیل، سنجنده‌هایی مانند MODIS یا VIIRS از باندهای طیفی SWIR در کنار باندهای حرارتی برای تشخیص زودهنگام و دقیق آنومالی‌های حرارتی (نظیر آتشفشان‌ها و آتش‌سوزی‌ها) استفاده می‌کنند.

ایده برای مصاحبه دکتری (Ph.D. Interview Insight): در جلسه مصاحبه دکتری، اگر اساتید در خصوص سنجش از دور حرارتی پرسشی مطرح کردند، می‌توانید با استناد به رابطه ترکیبی قانون وین (Wien) و معادله پلانک (Planck)، یک ایده پژوهشی جذاب ارائه دهید. پیشنهاد کنید که قصد دارید برای پایش دقیق دمای زباله‌سوزهای صنعتی یا آتشفشان‌های فعال (High-Temperature Anomalies)، از داده‌های ماهواره‌ای چندباندی استفاده کنید که طول موج آن‌ها بر اساس جابه‌جایی وین، در محدوده SWIR تنظیم شده‌اند (نظیر باندهای ۱۱B و ۱۲B ماهواره سنتینل-۲). توضیح دهید که استفاده از باندهای رایج حرارتی (TIR) برای دماهای بسیار بالا منجر به «پدیده اشباع سنسور» (Sensor Saturation) می‌شود، و این قانون وین است که راهگشای انتخاب باندهای طول‌موج‌کوتاه‌تر برای اندازه‌گیری دماهای کوره خواهد بود.

درسنامه مروری سنجش از دور

بخش اول: کالبدشکافی فیزیک امواج و قوانین تابش حرارتی

برای درک سنجش از دور، باید رفتار فوتون‌ها و قوانین حاکم بر تابش اجسام (Radiometry) را به دقت شناخت.

- **رابطه فرکانس و طول موج:** تمامی امواج الکترومغناطیسی (از پرتو گاما تا امواج رادیویی) در خلأ با سرعت نور ($c \approx ۳ \times ۱۰^{۸}$ m/s) حرکت می‌کنند. معادله بنیادین $c = \lambda \times f$ نشان می‌دهد که فرکانس (تعداد نوسانات در ثانیه) با طول موج (فاصله دو قله موج) رابطه کاملاً معکوس دارد. در سنجش از دور نوری معمولاً با «میکرومتر» (طول موج) کار می‌کنیم، اما در سنجش از دور راداری (مایکروویو) ادبیات علمی به سمت «گیگاهرتز» (فرکانس) تغییر می‌کند. توانایی تبدیل این دو (مثلاً تبدیل ۶ میکرومتر به ۵۰,۰۰۰ گیگاهرتز) برای درک قدرت نفوذ امواج در موانع فیزیکی (مانند تاج‌پوشش جنگل یا خاک) الزامی است.
- **قانون جابه‌جایی وین (Wien's Law):** این قانون ($\lambda_{max} = \frac{۲۸۹۸}{T}$) قلب تپنده سنجش از دور حرارتی است. بر اساس این قانون، رفتار تابشی اجسام مستقیماً به دمای جنبشی آن‌ها (بر حسب کلوین) وابسته است.
  - **خورشید:** با دمای ۶۰۰۰ کلوین، پیک تابش خود را در طول موج ۰.۴۸ میکرومتر (نور مرئی - آبی/سبز) ساطع می‌کند. به همین دلیل سنجنده‌های اپتیکال (بصری) برای ثبت بازتاب نور خورشید تنظیم شده‌اند.
  - **اجسام ملتهب (مانند حریق جنگل یا گدازه):** با دمایی حدود ۱۰۰۰ تا ۴۵۰۰ کلوین، پیک تابش آن‌ها در محدوده قرمز تا مادون قرمز میانی (SWIR) قرار می‌گیرد (حدود ۰.۶ تا ۳ میکرومتر).
  - **زمین:** با دمای متوسط ۳۰۰ کلوین، پیک تابشی معادل ۹.۶ میکرومتر دارد. بنابراین برای ثبت انرژی ساطع‌شده از خودِ زمین (و نه انعکاس خورشید)، باید از سنجنده‌هایی در محدوده «مادون قرمز حرارتی» (TIR) استفاده کرد.

بخش دوم: مکانیک تعامل امواج با اتمسفر (پخش و جذب)

اتمسفر زمین یک محیط خلأ نیست؛ بلکه یک فیلتر فعال است که از طریق دو مکانیسم «پخش» و «جذب»، سیگنال‌ها را دستخوش تغییر می‌کند.

- **فیزیک پخش اتمسفری (Scattering):**
  - **پخش ریلی (Rayleigh):** زمانی رخ می‌دهد که قطر ذرات جوی (مانند مولکول‌های گاز اکسیژن و نیتروژن در استراتوسفر) بسیار کوچک‌تر از طول موج تابش باشد. شدت این پخش با معکوس توان چهارم طول موج ($۱/\lambda^{۴}$) متناسب است؛ یعنی طول موج‌های کوتاه‌تر (آبی و بنفش) بسیار بیشتر از طول موج‌های بلندتر (قرمز) پخش می‌شوند (علت آبی بودن آسمان).
  - **پخش مای (Mie):** ناشی از ذراتی (مانند غبار، دود و ذرات آئروسل در تروپوسفر) است که هم‌اندازه با طول موج هستند. این پخش عامل ایجاد پدیده «مه‌دود» (Haze) در تصاویر ماهواره‌ای است که کنتراست تصویر را به شدت کاهش می‌دهد.
  - **پخش غیرانتخابی (Non-selective):** زمانی که ذرات (مانند قطرات آب و کریستال‌های یخ در ابر و مه در ارتفاعات پایین) بسیار بزرگ‌تر از طول موج‌های اپتیکال باشند، تمام طول موج‌ها را به یک میزان پخش می‌کنند. این پدیده باعث سفیدی ابرها شده و عبور امواج نوری و مادون قرمز را کاملاً مسدود می‌کند. تنها راه غلبه بر این سد، استفاده از امواج بلندِ راداری است.
- **فیزیک جذب اتمسفری و پنجره‌ها:** گازهای جوی بر اساس ترازهای انرژی مولکولی خود، فوتون‌ها را در طول موج‌های خاصی می‌بلعند.
  - **ازن ($O_۳$):** جاذب مطلق اشعه ماوراء بنفش (UV).
  - **دی‌اکسید کربن ($CO_۲$):** جاذب قدرتمند در محدوده‌های ۴.۳ و ۱۵ میکرومتر.
  - **بخار آب ($H_۲O$):** متغیرترین و مزاحم‌ترین گاز جوی که دره‌های جذبی بسیار پهن و دندانه‌داری در سراسر طول موج‌های مادون قرمز (به‌ویژه ۱.۴، ۱.۹، ۲.۷ و ۵ تا ۸ میکرومتر) ایجاد می‌کند. سنجنده‌ها برای تصویربرداری از سطح

زمین، باندهای خود را در فواصل بین این دره‌های جذبی تنظیم می‌کنند که به آن‌ها **«پنجره‌های اتمسفری»** می‌گویند.

بخش سوم: آناتومی امضای طیفی (رفتار بیوفیزیکی پدیده‌ها)

هر پدیده سطحی، بر اساس ساختار شیمیایی و فیزیکی خود، الگوی بازتابی منحصربه‌فردی (امضای طیفی) دارد.

- **گیاه زنده و شاداب (Vegetation)**:
  - **ناحیه مرئی (Visible)**: رنگدانه‌های کلروفیل نور آبی و قرمز را برای فتوسنتز به‌شدت جذب می‌کنند (ایجاد دره جذبی) و نور سبز را بازتاب می‌دهند.
  - **لبه سرخ (Red Edge)**: مرز بین جذب شدید قرمز و بازتاب شدید مادون قرمز است. شیب و موقعیت این لبه، شاخصی بی‌نظیر برای تعیین سلامت و سن گیاه است.
  - **مادون قرمز نزدیک (NIR)**: ساختار اسفنجی سلول‌های میان‌برگ (Mesophyll)، تابش NIR را به‌شدت بازتاب می‌دهد تا گیاه از گرم شدن بیش از حد در امان بماند.
  - **مادون قرمز میانی (SWIR)**: رطوبت موجود در بافت گیاه، انرژی را در طول موج‌های ۱.۴ و ۱.۹ میکرومتر جذب می‌کند. هرچه گیاه خشک‌تر شود (مانند علف خشک)، این جذب کاهش یافته و بازتاب در SWIR به‌شدت بالا می‌رود.
- **خاک (Soil)**: رفتار طیفی خاک یکنواخت‌تر از گیاه است و تابعی از رطوبت، مواد آلی، و کانی‌ها (مانند اکسید آهن) است. رطوبت در خاک به عنوان یک جاذب قدرتمند عمل کرده و بازتاب کلی خاک را در تمامی باندهای طیفی به سمت پایین (تاریکی) می‌کشد.
- **فضای ویژگی دوبعدی (Feature Space)**: اگر بازتاب باند قرمز را در برابر باند مادون قرمز نزدیک (NIR) در یک گراف دوبعدی رسم کنیم، پیکسل‌های خاک (از مرطوب تا خشک) روی یک خط مستقیم به نام **«خط خاک» (Soil Line)** قرار می‌گیرند. پیکسل‌های گیاهی به دلیل داشتن جذب در قرمز و بازتاب شدید در NIR، از این خط فاصله گرفته و در قله گراف (به شکل یک مثلث) تجمع می‌کنند.

بخش چهارم: مدل‌سازی بیوفیزیکی با شاخص‌های طیفی

شاخص‌های طیفی، ترکیبات ریاضی باندهای ماهواره‌ای هستند که برای استخراج ویژگی‌های پنهان یا بارزسازی یک پدیده خاص طراحی شده‌اند.

- **شاخص گیاهی NDVI**: قلب تپنده مطالعات کشاورزی و جنگل‌داری است که بر اساس تفاضل نرمال‌شده باندهای قرمز (حداکثر جذب) و مادون قرمز نزدیک (حداکثر بازتاب) عمل می‌کند. مقادیر آن بین ۱- (آب و برف) تا ۱+ (پوشش گیاهی بسیار متراکم) متغیر است.
- **رابطه شاخص سطح برگ (LAI) و پدیده اشباع (Saturation)**: شاخص سطح برگ نشان‌دهنده تراکم کانوپی (تاج‌پوشش) است. در مراحل اولیه رشد گیاه، با افزایش LAI، شاخص‌هایی نظیر NDVI با شیبی تند (خطی) افزایش می‌یابند. اما قانون فیزیکی مهم این است که وقتی تراکم گیاه از حد مشخصی (مثلاً LAI > ۳) فراتر می‌رود، کانوپی بسته می‌شود. در این حالت، فوتون‌ها در میان لایه‌های متعدد برگ‌ها گیر افتاده و دچار پخش چندگانه (Multiple Scattering) می‌شوند. در نتیجه، سنجنده تغییر محسوسی در بازتاب ثبت نمی‌کند و شاخص طیفی به حالت اشباع درآمده و ثابت می‌ماند. به همین دلیل، رابطه LAI با اکثر شاخص‌های طیفی، یک رابطه **غیرخطی و مجانبی (Asymptotic)** است.

بخش پنجم: منطق ریاضی در بارزسازی و توابع انتقال (LUT)

تصاویر ماهواره‌ای خام، اغلب دارای کنتراست پایینی هستند. برای تفسیر چشمی یا جداسازی عوارض، از توابع انتقال رادیومتریک (Look-Up Tables) استفاده می‌شود.

- **توابع انتقال خطی و غیرخطی**: این توابع مقادیر درجات روشنایی (Digital Numbers - DN) پیکسل‌های ورودی (مثلاً روی محور X) را به مقادیر جدیدی در خروجی (روی محور Y) نگاشت می‌کنند. اگر این تابع یک خط راست با زاویه ۴۵ درجه باشد، تصویر تغییری نمی‌کند.