



منفی ۱ - ایک

نشریه علمی - دانشجویی منفی یک^۵

دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و
اطلاعات مکانی - دانشگاه تهران

مرداد ۱۴۰۴ | شماره ششم

چشمانی برفراز آسمان

معرفی جامع برنامه کوپرنیک و
ماموریت‌های سنتینل و مروری بر دیگر
برنامه‌های فضایی پیشرو که آینده
ژئوماتیک را شکل می‌دهند.

انقلاب هوش مصنوعی در ناوبری ماهواره‌ای

برنامه‌های فضایی آینده ژئوماتیک

آشنایی با ITRF، دقیق‌ترین چارچوب مرجع زمینی

آشنایی با فناوری لایدار

نقشه تابستان دانشجویان

آشنایی با ما

سر دبیر:
شاهرخ حیدری

مدیر مسئول:
ایران زارع

مدیر گرافیک:
نیما کرمی

هیئت تحریریه:

شاهرخ حیدری دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران

فاطمه اسماعیلی دانشجوی دکتری ژئودزی، دانشگاه اصفهان

علیرضا عطوفی دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران

زهرا شهسواری فارغ التحصیل کارشناسی ارشد فتوگرامتری

ثنا دشتی دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

ویراستاران:

مائده خداپرست دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

علی آریایی نژاد دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشگاه تهران

نیما کرمی دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

طراحی جلد و صفحه آرایی:

نیما کرمی دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

نشانی:

تهران، خیابان کارگر شمالی، بالاتر از جلال آل احمد، دانشکدگان فنی،
ساختمان مرکزی، طبقه منفی یک، دفتر انجمن دانشکده مهندسی
نقشهبرداری و اطلاعات مکانی

فهرست

۲۸ یادداشت؛
ساختن جهان
در سه بُعد

آشنایی با فناوری لایدار

۳۴ بسیار سفر باید؛
نقشه‌ی تابستان
من

راهنمای دانشجویان برای
کارآموزی، مهارت‌آموزی و
تفریح تابستانی

۵۸ میان ستاره‌ای؛
چشمانی برفراز
آسمان

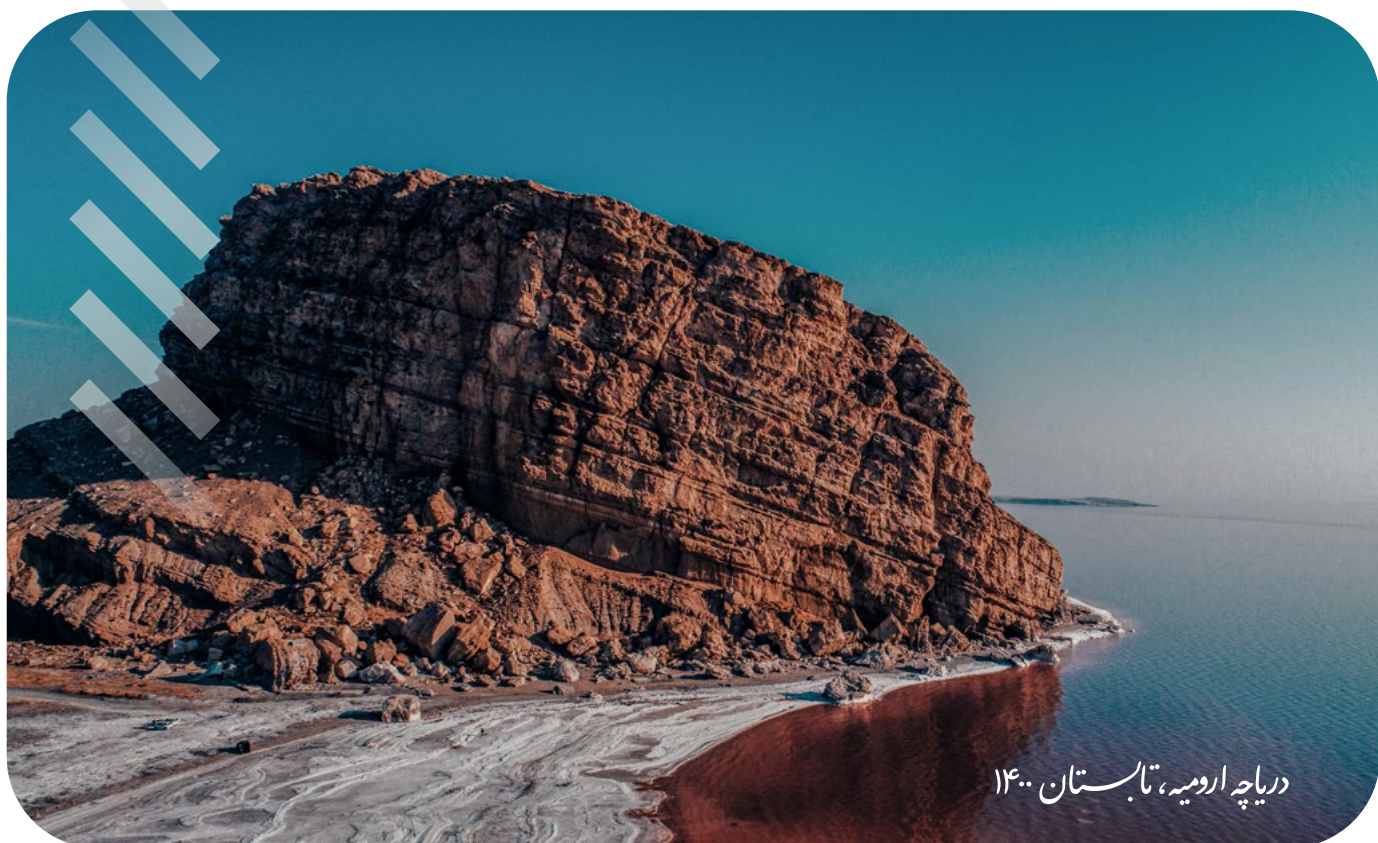
برنامه‌های فضایی پیشرو
که آینده ژئوماتیک را شکل
می‌دهند

۲۲ لبه فردا؛
در جست‌وجوی
ستارگان

انقلاب هوش مصنوعی در
ناوبری ماهواره‌ای

۵۲ سرمقاله؛
من نیست،
همه تویی!

۵۴ نمای نزدیک؛
چارچوب نامرئی
این سیاره متحرک



دریاچه ارومیه، تابستان ۱۴۰۰

من نیست، همه تویی!

هنوز مدت زیادی از قلم‌فرسایی‌های این حقیر در شماره پیشین، پیرو اهمیت تلاش و دست‌نکشیدن از آن نگذشته بود که شاید آخرین آجرهای مانده بر سقف آرزوهای اغلب ما جوانان این کشور نیز بر سرمان آوار شدند. وقتی با دلی سرد و پایی لرزان مهمان خیابان‌های خاموش شهر و آسمان روشن‌اش بودم، تنها به یک چیز می‌اندیشیدم: اثر انگشت ما، دقیقاً پای کدام ورقه‌های کتاب قطور و از تنش سوزان این خاک نقش بسته است؟

کوه دماوند

هیچ در ضمیرم نمی‌گنجید مگر فکر به اینکه کدام قدم گذاشته‌شده یا نشده، کدام کلام منعقدشده یا نشده، کدام اندیشه پرورده‌شده یا نشده و حتی در کوچک‌ترین مقیاس مورد انتظار، کدام نگاه دنبال‌شده یا نشده، من و ما را به این نقطه از زیست پرآشوب‌مان کشانده است. بدون شک بصورتی کاملاً ناخودآگاه یا شاید نیز در انکاری آگاهانه سعی در این داشتم که تقصیر را بر گردن کنش‌ها و واکنش‌های خود بیاندازم. با خود به ستیز برخیزم، خود را ملامت کنم و حتی با بیان متواضعانه اشتباهات خود در محافل گوناگون، بر حملات بی‌مهابای تقصیرکاران دیگر گردن بنهم تا فقط احساس کنم که خود در این مهلکه نقشی داشته‌ام. مگر می‌شود تمامیت خودم را از آن‌چه از سر می‌گذرانم تبرئه کنم و هنوز احساس بودن داشته باشم؟ مگر نه اینکه انداختن تقصیر بر گردن دیگری‌ها، همان نفی موجودیت خودم می‌باشد؟

آری، در ابتدایی‌ترین مرحله از مواجه شدن با وحشتی که آرام از زندگی‌مان گرفته بود و امید را از فردای‌مان، در بلوا و مصیبت راستین تفکیک و تجزیه - به بیان حقیقی - که عده‌ای خاک را مقصر می‌دانستند، عده‌ای مهمان خاک و عده‌ای صاحب‌اش را، من خود را مقصر دانستم تا شاید بتوانم خودم را بر ریسمان لرزان بودن نگاه دارم و نیست نشوم که بار احساس گناه ناکرده، به مراتب از فراغ بال ناشی از نیستی سبک‌تر است.

آن روزها برای من علاوه بر اندوه، ماتم، تشویش و ناامیدی که طبیعتاً هر هم‌وطن میهن‌پرست، خانواده‌دوست و رویاپرداز با آن‌ها مواجه می‌شد، جرقه مسئولیت‌پذیری اجتماعی را نیز در پی داشت. به گمان من ایستادن و اجتناب از فرار به سوی تبرئه خویشتن، وظیفه هر کدام از ما دانشجویان - که ابتدا ایرانی و جوان هستیم و سپس طالبان علم - می‌باشد. چرا که من تصور می‌کنم که هر کدام ما نه چرخ‌دنده‌ای از هیبت میهن، نه ستونی از کاخ همیشه استوار آن، بلکه ما خود وطن هستیم.

کاش هرکدام ما سلامت، فردا و غرور خود را در وجود خانه عزیزمان گم کنیم و با آن در آمیزیم. بی‌شک از قبال این یکی شدن، احساس مسئولیتی راستین برخواهد خواست که اتفاقاً برخلاف تمام تظاهر و سوءاستفاده‌ای که در تمام طول تاریخ از نام وطن شده است، این یکی چاره‌گشا خواهد افتاد. چرا که وقتی خاک را جزئی از خود دانستیم و خود را جزئی از خاک، محال است نظاره‌گر کوچک‌ترین زخمه‌ای بر تن خسته آن باشیم. حال آن زخمه چه از خود باشد، چه از دوست و چه از دشمن که آن‌گاه اصل فقط یکی است: ایران!

چو ایران نباشد تن من مباد
در این بوم و برزنده یک تن مباد
«فردوسی»

شاهرخ حیدری

سردبیر نشریه علمی-دانشجویی «منفی یک»

چارچوب نامرئی این سیاره متحرک

آشنایی با ITRF،
دقیق‌ترین چارچوب مرجع زمینی

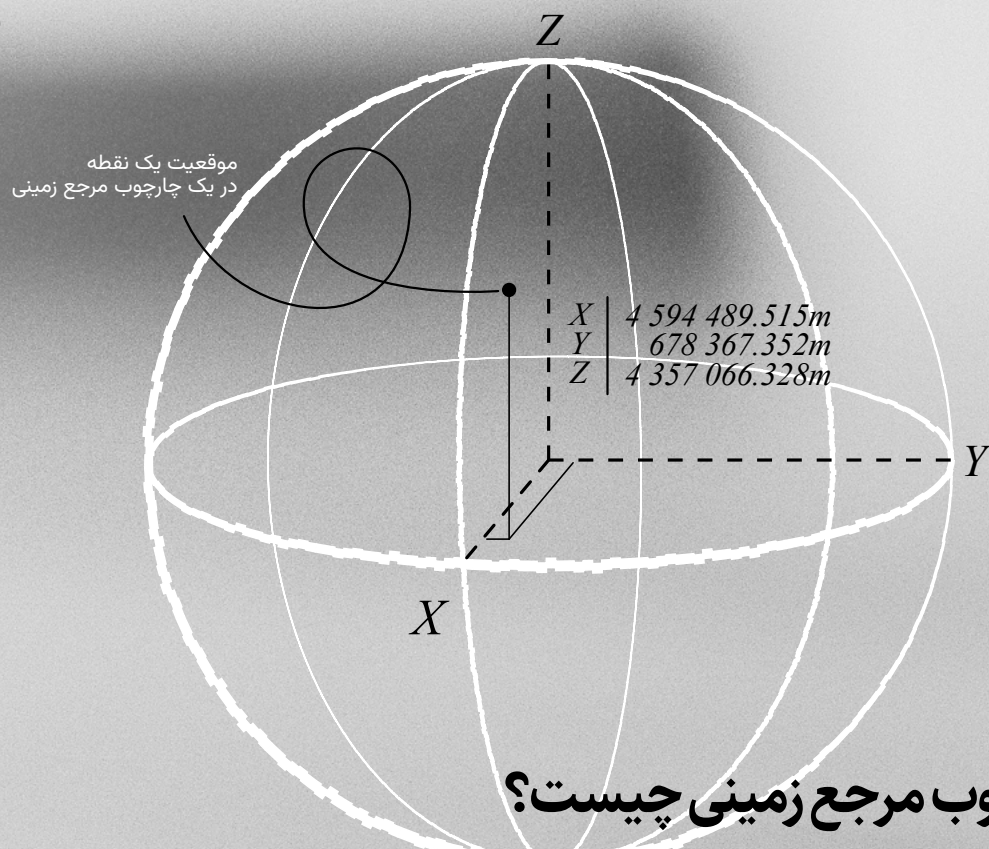
فاطمه اسماعیلی

دانشجوی دکتری ژئودزی، دانشگاه اصفهان



تعیین موقعیت دقیق بر روی سطح زمینی که همواره در حال تغییر شکل است.

«پوسته زمین همواره در واکنش به نیروهای ناشی از پدیده‌های مختلف در حال تغییر شکل است. تغییرات اقلیمی، ذوب یخ‌ها، حرکات تکتونیکی و زلزله‌ها از مهم‌ترین علت‌های تغییر شکل پوسته زمین به شمار می‌روند. علاوه بر این، سیاره زمین به عنوان یک جسم در فضا، تحت تأثیر نیروهای خارجی ناشی از اجرام سماوی دیگر و نیروهای داخلی ناشی از تغییرات جرم درون زمین نیز تغییر شکل می‌دهد. یکی از مهم‌ترین پرسش‌هایی که علم ژئودزی به آن پاسخ می‌دهد این است که چگونه موقعیت دقیق یک جسم را روی سطح زمینی که همواره در حال تغییر شکل است، تعیین کرد و این موقعیت را با موقعیت‌های تعیین‌شده در سال‌های گذشته مقایسه نمود. چارچوب مرجع زمینی یکی از محصولات علم ژئودزی است که امکان تعیین موقعیت دقیق را بر روی سطح زمین ممکن می‌کند.»



چارچوب مرجع زمینی، یک شبکه‌بندی منظم سه‌بعدی است که بر اساس سه محور قراردادی X، Y و Z تعریف می‌شود. مبدأ این محورها منطبق با مرکز زمین است و کل شبکه همراه با سیاره زمین حرکت می‌کند. محوره‌های X و Y در صفحه استوا قرار دارند و محور Z به سمت قطب شمال نشانه‌روی می‌کند. چنین چارچوبی به ما اجازه می‌دهد که موقعیت هر نقطه یا جسمی را بر روی سطح زمین یا در فضایی نزدیک به زمین با سه مقدار X، Y و Z مشخص کنیم.

چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی

ITRF International Terrestrial Reference Frame

نیاز روزافزون جوامع مدرن به سرویس‌های دقیق تعیین موقعیت و اهمیت اقتصادی روابط و همکاری‌های بین‌المللی، نقش یک چارچوب مرجع جهانی را برجسته می‌کند. اهمیت وجود چنین چارچوبی نخستین بار توسط سازمان ملل متحد در قطعنامه مجمع عمومی این سازمان با عنوان "چارچوب مرجع ژئودزی برای توسعه پایدار" به رسمیت شناخته شد. پس از آن، چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) به عنوان یکی از دستاوردهای علم ژئودزی، توسط انجمن بین‌المللی ژئودزی (IAG) در دسترس عموم قرار گرفت. ITRF همچنین توسط سازمان‌های علمی بین‌المللی دیگری مانند اتحادیه بین‌المللی ژئودزی و ژئوفیزیک (IUGG)، به عنوان مرجع استاندارد برای مطالعات علوم زمین و در کاربردهای موقعیتیابی به رسمیت شناخته می‌شود.

ITRF چگونه ساخته می‌شود؟

ITRF حاصل یک تلاش مشترک بین‌المللی با سرمایه‌گذاری سازمان‌های نقشه‌برداری ملی کشورها و سازمان‌های فضایی، دانشگاه‌ها و گروه‌های تحقیقاتی است. در تولید محصول نهایی ITRF، چهار تکنیک موقعیت‌یابی جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

GNSS Global Navigation Satellite System

سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS) به هر سیستم ماهواره‌ای اطلاق می‌شود که خدمات موقعیت‌یابی جهانی، ناوبری و زمان‌بندی را ارائه می‌دهد. برخی از این سیستم‌ها عبارت‌اند از: Galileo (تحت مالکیت اتحادیه اروپا)، GPS (تحت مالکیت ایالات متحده آمریکا)، GLONASS (تحت مالکیت کشور روسیه) و BeiDou (تحت مالکیت کشور چین). در هر یک از این سیستم‌ها، داده‌های مسافت‌یابی و زمان‌بندی از طریق ارسال سیگنال از ماهواره‌ها به گیرنده‌های زمینی منتقل می‌شود. کاربران می‌توانند از این داده‌ها برای تعیین موقعیت مکانی استفاده کنند.

DORIS Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite

در این سیستم، دکل‌های رادیویی زمینی سیگنال‌هایی ارسال می‌کنند که توسط ماهواره‌ها دریافت می‌شود. این ساختار دقیقاً برعکس سیستم GPS است که در آن، سیگنال توسط ایستگاه‌های زمینی دریافت می‌شود. اندازه‌گیری تغییر فرکانس سیگنال‌ها در اثر حرکت ماهواره (اثر داپلر) می‌تواند برای تعیین موقعیت زمینی به‌کار گرفته شود.

VLBI Very Long Baseline Interferometry

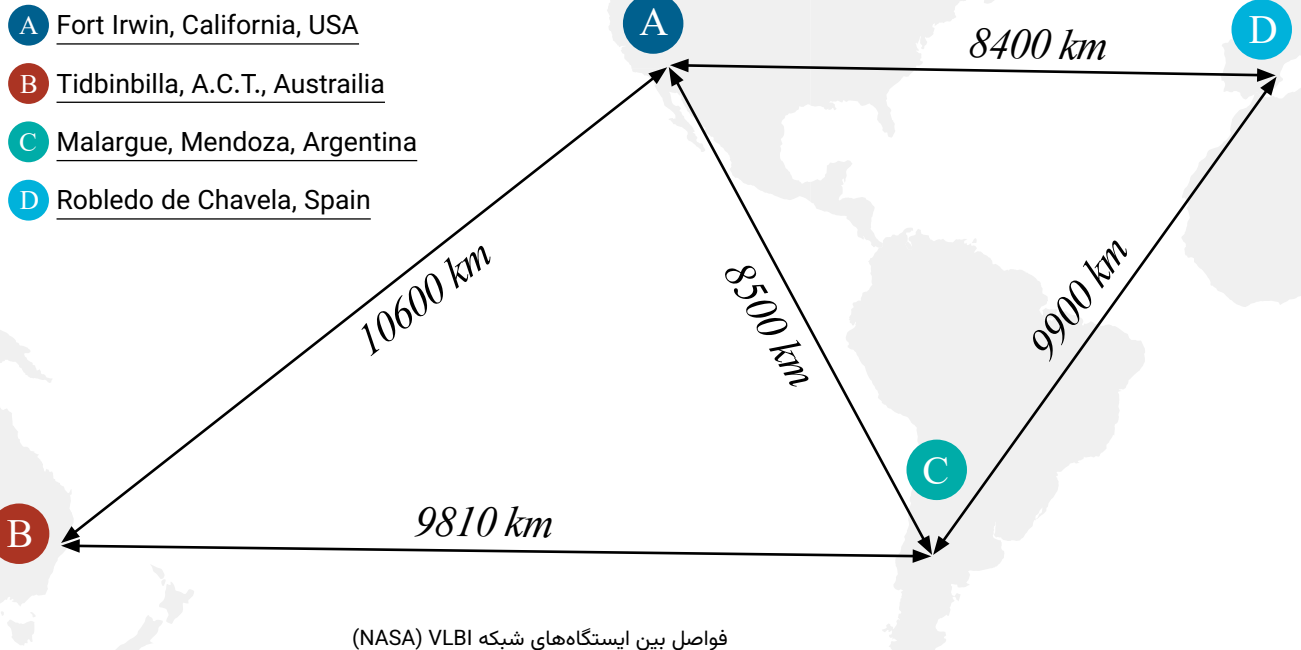
VLBI یک تکنیک ژئودزی فضایی مبتنی بر نجوم رادیویی است. در این روش، سیگنال‌های رادیویی ساطع‌شده توسط منابع فراکهکشانی (اخترش‌ها؛ منابع رادیویی شبه‌ستاره‌ای) توسط یک جفت آنتن جهت‌دار (تلسکوپ‌های رادیویی) که بر سطح زمین نصب شده‌اند، دریافت می‌شوند. با محاسبه تأخیر زمانی در دریافت امواج، فاصله بین دو آنتن با دقتی در حد چند میلی‌متر تعیین می‌شود.

SLR Satellite Laser Ranging

این سیستم شامل یک ایستگاه رصد زمینی است که پالس‌های کوتاه نور لیزر را ارسال می‌کند. این پالس‌ها به ماهواره‌های مجهز به سطوح انعکاس‌دهنده برخورد می‌کنند و پالس بازگشتی مجدداً توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. در نهایت، تعیین موقعیت در این سیستم با محاسبهٔ زمان رفت و برگشت پالس انجام می‌شود.



ایستگاه رصد زمینی SLR
Wettzell, Bavaria در



ITRF چگونه به فهم تغییر شکل پوسته زمین کمک می‌کند؟

داده‌های جمع‌آوری شده توسط هر یک از تکنیک‌های موقعیت‌یابی به مراکز تحلیل داده ارسال می‌شوند. جمع‌آوری و پردازش این اطلاعات با دقت میلی‌متر و در طی سالیان متمادی انجام می‌شود. در نهایت، محصول نهایی ITRF مختصات‌های وابسته به زمان هستند. چهارچوب مرجع زمینی بین‌المللی با محاسبه مختصات وابسته به زمان برای حدود ۱۸۰۰ ایستگاه مشاهداتی در سراسر کره زمین محقق می‌شود.

ژئودزی همراه شماست!

وجود یک چهارچوب مرجع زمینی بلند مدت، پایدار و دقیق مانند ITRF پیشرفت برنامه‌های نظارتی و کاربردی مبتنی بر داده‌های مکانی را ممکن ساخته است. ITRF نقش مهمی در شناسایی جابه‌جایی‌های ناشی از بلایای طبیعی، مانند زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی یا زلزله سال ۲۰۱۱ ژاپن ایفا کرد. همچنین، نظارت بر تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی مرتبط با آن در سال‌های اخیر با استفاده از ITRF میسر شده است. موقعیت‌یابی دقیق در هر کاربردی، از مسیریابی وسایل نقلیه تا تعیین موقعیت تصاویر ماهواره‌ای، وابسته به وجود یک چهارچوب مرجع زمینی است. پس دفعه بعدی که از گوشی تلفن همراهتان برای موقعیت‌یابی یا مسیریابی استفاده می‌کنید، به یاد داشته باشید که موقعیت شما، نقطه‌ای روی یک چهارچوب مرجع زمینی بین‌المللی است؛ و ژئودزی همراه شماست!

منبع: صفحه YouTube انجمن بین‌المللی ژئودزی IAG

چشمانی بر فراز آسمان

برنامه‌های فضایی پیشرو که آینده ژئوماتیک را شکل می‌دهند

”عصر حاضر،
روزگار پادشاهی
داده‌ها می‌باشد.“

شاهرخ حیدری

دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران



بی‌گمان بر هیچکس پوشیده نیست که عصر حاضر، فصلی از کتاب علم است که با زیست ما همزمان شده و روزگار پادشاهی داده‌ها می‌باشد. این جریان، چنان سریع و پرشتاب شکل گرفت که ما در مدتی کوتاه شاهد تولد، انقلاب و مرکزیت یافتن داده‌ها در بسیاری از پیشرفت‌های علمی بوده‌ایم. واضح است که رشته‌ی نقشه‌برداری و به‌طور کلی حوزه ژئوماتیک نیز از این قائله مستثناء نیست و لزوم دسترسی به داده‌های به‌روز، متنوع و دقیق در تمام تحقیقات و پژوهش‌های این حوزه، مشهود است.

در دنیای ژئوماتیک، ماهواره‌ها شاه‌کلید استخراج داده‌ها و بهترین بستر برای جمع‌آوری داده‌های مختلف در زمینه‌های گوناگونی همچون ژئودزی، سنجش از دور، هیدروگرافی و... هستند. با این حال، شناخته‌شده‌ترین کاربردهای ماهواره‌ای تا به امروز احتمالاً در حوزه تعیین موقعیت و سیستم‌های ناوبری می‌باشند که در صدر آن‌ها، سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی یا GPS قرار دارند. این سیستم، که بعدها با پروژه‌های مشابه کشورهای روسیه، چین، هند و اتحادیه اروپا ادغام شد، تحولی چشمگیر در جزئی‌ترین مسائل زندگی روزمره انسان‌ها ایجاد نمود؛ تا آنجایی که حتی عموم مردم را نیز نسبت به کلیات آن به یک شناخت کافی رساند. اما دنیای ماهواره‌هایی که شبانه‌روز گرد جهان ما می‌چرخند و بسیار بیناتر از هزار چشم، ما را رصد، ثبت و مخابره می‌کنند، بسیار گسترده‌تر از چیزی است که حتی ما نقشه‌برداران تصور می‌کنیم.

متعلق به سازمان فضایی اروپا (ESA) بود. بعد از مطالعه کلیات این پروژه و اهداف آن، متوجه شدم که سازمان فضایی اروپا قصد دارد دقیق‌ترین اطلاعات ممکن را در زمینه‌های مختلف بصورت کاملاً رایگان در اختیار پژوهشگران قرار دهد. این موضوع، در کنار ضرورت آگاهی هرچه بیشتر دانشجویان این حوزه نسبت به تکنولوژی‌های ماهواره‌ای، مزید بر علت شد تا طی مطلبی مختصر، به بررسی این برنامه شگفت‌انگیز و مأموریت‌های فضایی مشابه که در آینده عملیاتی خواهند شد، بپردازم. همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، تکنولوژی ماهواره‌ای امروزه سنگ‌بنای داده‌های مکانی است و بی‌شک کسب شناخت و علم نسبت به این حوزه، نقشی اساسی در پیشرفت علمی دانشجویان و پژوهشگران این رشته ایفا خواهد کرد.

البته هدف این مطلب، ورود به جزئیات هر پروژه و بررسی ریزبینانه مأموریت‌های فضایی مختلف نیست. چرا که هرکدام از این مأموریت‌ها در زیرشاخه‌ای خاص کاربرد دارند و اشراف به تمام جزئیات آن‌ها ضرورتی ندارد. با این حال، آگاهی از پیشرفت‌های این حوزه باعث خواهد شد تا دانشجویانی که علاقه‌مند به پژوهش در زمینه‌های نوین هستند از فرصت‌های پیش رو مطلع شوند و با شناخت چالش‌ها و محدودیت‌های هر برنامه، سعی در پیشبرد این فناوری‌ها داشته باشند. از این رو، در بخش بعدی به بررسی دقیق‌تر برنامه کوپرنیک و مأموریت‌های شش‌گانه ماهواره‌ای Sentinel پرداخته خواهد شد تا دریابیم چگونه این برنامه در حال تغییر چهره پایش زمین در سطح جهانی است. در پایان، بصورت مختصر و به برنامه‌های دیگری که در دیگر نقاط جهان در جریان هستند، اشاره خواهد شد.

برنامه کوپرنیک:

برنامه کوپرنیک، بزرگ‌ترین و جامع‌ترین برنامه پایش زمین در جهان، در سال ۲۰۰۳ و با همکاری سازمان فضایی اروپا (ESA)، کمیسیون اروپا، سازمان اروپایی بهره‌برداری از ماهواره‌های هواشناسی^۱، آژانس محیط زیست اروپا^۲ و چندین دانشگاه و انستیتو از جمله دانشگاه کمبریج^۳ آغاز شد. این پروژه در ابتدا با عنوان سامانه پایش جهانی محیط‌زیست و امنیت یا به اختصار GMES نامگذاری شده بود و هدف کلی آن گردآوری، تحلیل و بکارگیری داده‌های مختلف ماهواره‌ای به منظور پایش همه‌جانبه وضعیت زمین بود. سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۱۲ و به افتخار نیکلاس کوپرنیک^۴، نام این برنامه را به کوپرنیک یا Copernicus تغییر داد.

شایان ذکر است که برنامه کوپرنیک، برنامه‌ای بسیار گسترده و چندوجهی است و در زمینه‌های مختلفی فعالیت می‌کند؛ اما در این مقاله تمرکز اصلی بر روی مأموریت‌های شش‌گانه Sentinel می‌باشد که تحت این برنامه طراحی شده‌اند.

می‌توان اهداف کاربردی برنامه کوپرنیک را به سه دسته مشخص تقسیم‌بندی نمود:

- پایش همه جانبه و مستمر وضعیت محیط زیست
- افزایش امنیت و پایداری جوامع مختلف طبیعی و انسانی در برابر خطرات مختلف
- کمک به توسعه زیرساخت‌ها و برنامه‌های اقلیمی، محیطی، کشاورزی و شهری

سازمان فضایی اروپا در خلال این برنامه، علاوه بر سه هدف اصلی، یک اصل مهم دیگر را نیز دنبال می‌کند و آن، قراردادن اطلاعات و داده‌های بدست‌آمده از برنامه کوپرنیک در اختیار عموم مردم بصورت کاملاً رایگان می‌باشد. این موضوع تأثیر بسزایی در موفقیت و نفوذ مثال‌زدنی این برنامه در سطح جهانی شده است؛ چرا که به محققان و همچنین مؤسسات مختلف، فرصت انجام پژوهش‌های متنوع را داده و باعث شتاب‌گیری مسیر پیشرفت ژئوماتیک در عرصه‌های گوناگون شده است. از این رو، این برنامه از این لحاظ بسیار ارزشمند و قابل احترام است.

هسته اصلی برنامه کوپرنیک شامل مأموریت‌های Sentinel-1 تا Sentinel-6 می‌شود که از سال ۲۰۱۴ با پرتاب اولین ماهواره آغاز گردید و پس از توسعه چندین ماهواره و انجام مأموریت‌های متعدد تا اکنون، برای چندین سال آتی نیز برنامه‌ریزی شده است. هر کدام از مأموریت‌های شش‌گانه کوپرنیک دارای هدفی منحصربه‌فرد بوده که در ادامه به بررسی هرکدام از آن‌ها پرداخته می‌شود.

Sentinel-1:

رادار همیشه بیدار



عکس: ESA

Sentinel-1

اولین مأموریت از برنامه کوپرنیک یک سامانه راداری است که در قالب دو ماهواره با نام‌های Sentinel-1A و Sentinel-1B به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ توسعه پیدا کرد. این دو ماهواره با هدف پایش مداوم کره زمین، در مداری خورشیدآهنگ و در ارتفاع حدوداً ۷۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارند.

این ماهواره مجهز به یک سنجنده رادار با دریچه مصنوعی^۱ می‌باشد که در باند C فعالیت می‌کند. ساختار سنجنده مورد استفاده در Sentinel-1 به این ماهواره اجازه می‌دهد که تصاویر راداری با دقت بالا را در شرایط جوی

مختلف و همچنین در طول شب و روز تهیه کند. قابلیت SAR در این ماهواره

یکی از امتیازهای مهم پروژه کوپرنیک نسبت به دیگر مأموریت‌های پایش زمین محسوب می‌شود. عملکرد مستقل سنجنده به‌کاررفته در این ماهواره، در کنار تفکیک مکانی ۵ تا ۲۰ متری (بسته به نوع تصویربرداری) و تفکیک زمانی ۶ روزه (در صورت فعالیت همزمان دو ماهواره) و همچنین حالت‌های تصویربرداری مختلف شامل IW^۲، EW^۳، SM^۴ و WV^۵ باعث شده است که داده‌های استخراج‌شده از این ماهواره به منبعی حیاتی برای پژوهش‌های متعدد در زمینه‌های مختلف پایش زمین تبدیل شود. امروزه از داده‌های این ماهواره در زمینه‌های مختلفی مانند پایش تغییرات سطح زمین، نظارت بر بحران‌ها و بلایای طبیعی، پایش یخ‌های قطبی، رصد کشتی‌ها در آب‌های آزاد و فعالیت‌های کشاورزی (در ترکیب با دیگر ماهواره‌ها) استفاده می‌شود. البته ماهواره Sentinel-1B در سال ۲۰۲۲ دچار نقص شد و داده‌های آن غیرقابل استفاده شدند، اما ماهواره Sentinel-1C در سال ۲۰۲۴ جایگزین این ماهواره شده است. همچنین ماهواره Sentinel-1D نیز برای پرتاب در سال ۲۰۲۵ برنامه‌ریزی شده است.

نمایش جنگل‌زدایی و کشاورزی در ایالت ماتو گروسو برزیل، ثبت شده توسط Sentinel-1.

عکس: ESA



Sentinel-2:

چشم بینای کوپرنیک



عکس: ESA

Sentinel-2

پس از مأموریت Sentinel-1 که برای پایش زمین از منظر یک سنجنده‌ی راداری طراحی شده بود، سازمان فضایی اروپا دو ماهواره‌ی Sentinel-2A و Sentinel-2B را به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ به فضا پرتاب کرد. این دو ماهواره با فاصله زمانی ۱۸۰ درجه‌ای، در مداری خورشیدآهنگ و با ارتفاع متوسط ۷۸۶ کیلومتری زمین قرار گرفته‌اند که به آن‌ها اجازه می‌دهد از یک منطقه خاص در فاصله زمانی ۵ روزه تصویربرداری کنند. هر چند هر دو ماهواره A و B همچنان فعال هستند، اما در اواخر سال ۲۰۲۴ ماهواره سوم این سری به نام Sentinel-C نیز به آن‌ها پیوست و ماهواره چهارمی نیز برای پرتاب به فضا در سال ۲۰۲۸ برنامه‌ریزی شده است.

ماهواره Sentinel-2 به یک سنجنده‌ی اپتیکی چندطیفی^{۱۱} مجهز است که دارای ۱۳ باند طیفی در پهنای مرئی و باندهای NIR^{۱۲} و SWIR^{۱۳} می‌باشد. گستردگی و تنوع باندهای این ماهواره، امکان انجام تحلیل‌های مختلف سطحی و محاسبه شاخص‌های کاربردی و گوناگون را فراهم می‌آورد. این ماهواره در ۴ باند مرئی و NIR، تفکیک مکانی ۱۰ متری، در ۶ باند تفکیک مکانی ۲۰ متری و در ۳ باند نیز تفکیک مکانی ۶۰ متری ارائه می‌دهد. تفکیک زمانی آن نیز همان‌طور که اشاره شد، در صورت استفاده از دو ماهواره، ۵ روز خواهد بود که این بازه در مناطق استوایی کمتر نیز می‌شود. تصاویر اخذشده توسط ماهواره‌های Sentinel-2 کاربردهای فراوانی دارند که در ادامه بصورت مختصر به آن‌ها اشاره می‌شود:

- پایش پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی و همچنین پایش سلامت محصولات کشاورزی
- مطالعه و پایش جنگل‌ها، منابع طبیعی و تغییرات کاربری اراضی
- پایش آب‌های سطحی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها
- تشخیص نواحی آسیب‌دیده در اثر بلایای طبیعی مانند زلزله، سیلاب و آتش‌سوزی
- پایش توسعه شهری و رشد شهرنشینی

داده‌های استخراج‌شده توسط این ماهواره به دلیل دقت مناسب، بازه زمانی کوتاه و رایگان بودن، نقش بسزایی در تحقیقات مختلف ایفا کرده و به منبعی عالی در این حوزه تبدیل شده‌اند.

تسریع واکنش اضطراری به بحران آتشفشان تونگا، توسط Sentinel-2 Copernicus.

عکس: ESA

South Pacific Ocean

Ohonua

'Eua

Affected shoreline



رديابی آتش‌سوزی‌های فاجعه‌بار ناشی از موج گرما در کانادا، توسط Sentinel-3

عکس: ESA

Sentinel-3

دیده‌بان جهانی اقیانوس‌ها و سطح زمین



عکس: ESA

Sentinel-3

Sentinel-3 سومین مأموریت از برنامه بزرگ کوپرنیک است که با تمرکز بر روی پایش اقیانوس‌ها، سطح زمین و همچنین اتمسفر طراحی و عملیاتی شده است. هدف اصلی این ماهواره، تأمین داده‌های اپتیکی، راداری و حرارتی به منظور پایش هرچه بهتر شرایط اقلیمی، انجام تحلیل‌های زیست‌محیطی و دریایی می‌باشد. اولین ماهواره از این مأموریت با نام Sentinel-3A در سال ۲۰۱۶ به فضا پرتاب شد و دومین ماهواره نیز در ادامه آن و در سال ۲۰۱۸ در مداري خورشیدآهنگ و هم‌مدار با ماهواره‌ی اول قرار گرفت. البته این دو

ماهواره با فاصله‌ی زمانی مناسبی از یکدیگر قرار گرفته‌اند تا بهترین عملکرد را از نظر

تفکیک زمانی ارائه دهند. دو ماهواره Sentinel-3C و Sentinel-3D نیز در حال ساخت بوده و برای پرتاب به فضا در سال‌های آینده برنامه‌ریزی شده‌اند؛ به‌طوری‌که با فعالیت هم‌زمان چهار ماهواره Sentinel-3 در مدار زمین، امکان مطالعات اقلیمی و زیست‌محیطی بطور چشم‌گیری افزایش خواهد یافت.

این مأموریت به‌منظور جمع‌آوری داده‌های جامع و چندمنظوره از چندین سنجنده استفاده می‌کند:

- ^{۱۴}OLCI: برای پایش ویژگی‌های مختلف اقیانوس‌ها و آب‌های آزاد مثل رنگ و شفافیت، کلروفیل، جلبک‌ها و پوشش گیاهی بستر اقیانوس‌ها
- ^{۱۵}SLSTR: به منظور اندازه‌گیری دمای سطح زمین و همچنین سطح آب‌های آزاد
- ^{۱۶}SRAL: برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح آب دریاها، مطالعه موج‌ها، یخ‌ها و تحلیل توپوگرافی سطحی
- ^{۱۷}MWR: تخمین میزان بخار آب جوّی و اصلاح داده‌های اندازه‌گیری ارتفاعی
- ^{۱۸}GNSS، ^{۱۹}DORIS و Laser Retroreflector: برای تعیین موقعیت دقیق ماهواره و کالیبراسیون سیستم‌های ناوبری

این ماهواره به دلیل استفاده از سنجنده‌های مختلف، دارای تفکیک‌های مکانی متفاوتی نیز می‌باشد. بطور مثال، تفکیک مکانی داده‌های بدست‌آمده از سنجنده OLCI حدود ۳۰۰ متر بوده و از طرفی، داده‌های ارتفاع‌سنجی سنجنده‌ی SLSTR با تفکیک مکانی در حد چند سانتی‌متر برداشت می‌شوند.

هر سه مأموریتی که تا به اینجا به آن‌ها پرداخته شد، عملیاتی شده و داده‌های آن‌ها نیز بصورت رایگان در دسترس پژوهشگران قرار دارد. با این حال، برنامه کوپرنیک به مأموریت‌های Sentinel-1:3 خلاصه نشده و سازمان فضایی اروپا برنامه‌ریزی هیجان‌انگیزی برای ادامه این برنامه با مأموریت‌های فضایی بیشتر انجام داده است که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

Sentinel-4:

رصدگر کیفیت هوا در لایه‌های بالای جو

اولین مأموریت از برنامه کوپرنیک که فاقد ماهواره مستقل است، Sentinel-4 نام دارد. این مأموریت بطور خاص به منظور پایش ترکیب شیمیایی جو زمین و کیفیت هوای قاره اروپا، در پشتیبانی از برنامه پایش جو کوپرنیک^{۲۰} طراحی شده است. هدف اصلی این مأموریت برخلاف مأموریت‌های پیشین کوپرنیک که بصورت کلی به پایش سطح زمین و اقیانوس‌ها می‌پرداختند، به نظارت گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های جو و ذرات معلق در لایه‌های بالای جو اختصاص دارد.

همانطور که گفته شد، مأموریت Sentinel-4 دارای ماهواره مستقل نبوده و این مأموریت در قالب یک ابزار به ماهواره هواشناسی متعلق به EUMETSAT اضافه می‌شود. اولین ابزار Sentinel-4 با نام UVN^{۲۱} بر روی ماهواره‌ی MTG-S1^{۲۲} نصب شده و پرتاب آن برای تابستان سال ۲۰۲۵ میلادی برنامه‌ریزی شده است.

سنجنده UVN Spectrometer به کاررفته در این مأموریت، در سه بازه طیفی مختلف شامل بازه فرابنفش (UV)، مرئی (VIS) و نزدیک فروسرخ (NIR) فعالیت می‌کند. مدار طراحی‌شده برای این ابزار، یک مدار زمین‌ایستای می‌باشد که در کنار وضوح طیفی بالا، وضوح زمانی یک ساعته را نیز برای منطقه مورد مطالعه فراهم می‌آورد. وضوح مکانی این سنجنده ۸×۸ کیلومتر می‌باشد که برای پایش لایه‌های جو بسیار ایده‌آل می‌باشد. همچنین محدوده جغرافیایی تحت پوشش آن، شامل کل اروپا و بخش‌هایی از شمال آفریقا و خاورمیانه می‌شود.

مأموریت Sentinel-4 کاربردهای گسترده‌ای در زمینه پایش آلودگی هوا و مدل‌سازی‌های اقلیمی خواهد داشت که می‌توان به صورت خلاصه به برخی از آنها اشاره نمود:

- پایش سطح گازهای آلاینده مانند O_2 ، CO ، SO_2 و NO_2 و فرمالدهید
- پشتیبانی از سیاست‌های محیط‌زیستی و نظارت بر اجرای قوانین کیفیت هوا در اروپا
- ارائه داده‌های ضروری برای مدل‌سازی‌های اقلیمی و شیمیایی جو
- ادغام با داده‌های زمینی و سایر مأموریت‌ها برای مدل‌های هم‌جای (Data Assimilation)

مأموریت Sentinel-4 به‌عنوان مکمل مأموریت Sentinel-5 در زمینه پایش لایه‌های جو شناخته می‌شود. با توجه به پوشش منطقه‌ای Sentinel-4 و پوشش جهانی Sentinel-5، این امکان برای سازمان فضایی اروپا فراهم می‌گردد تا کیفیت هوای زمین را در سطوح و مقیاس‌های مختلف پایش نماید. در ادامه به بررسی مأموریت Sentinel-5 نیز پرداخته خواهد شد.



عکس: ESA

Sentinel-4 on MTG-S

Sentinel-5

پایش جهانی کیفیت هوا در مدار پایین زمین

عکس: ESA



Sentinel-5

مأموریت Sentinel-5 با ساختار و هدفی مشابه

با Sentinel-4 طراحی شده است؛ اما همچنان دارای چند تفاوت معنی‌دار می‌باشد. این مأموریت برخلاف Sentinel-4 در لایه‌های پایین‌تر جو زمین فعالیت می‌کند. از طرفی، به جای

مداری زمین‌ایستا، در یک مدار خورشیدآهنگ و با فاصله‌ی حدود ۸۲۰ کیلومتری از سطح زمین طراحی شده است. این ساختار مداری به مأموریت Sentinel-5 اجازه می‌دهد وضعیت جو زمین را در مقیاسی جهانی پایش نماید؛ به این ترتیب، تفاوت بعدی آن با Sentinel-4 محدوده تحت پوشش توسط Sentinel-5 می‌باشد.

مأموریت Sentinel-5 نیز مشابه مأموریت Sentinel-4 فاقد ماهواره مستقل بوده و اولین سنجنده‌ی آن با نام UVNS^{۲۳} بر روی ماهواره‌ی MetOp-SG^{۲۴} اضافه خواهد شد که پرتاب این ماهواره نیز برای سال ۲۰۲۵ میلادی برنامه‌ریزی شده است. شایان ذکر است که مأموریت Sentinel-5 Precursor یا به اختصار Sentinel-5P بعنوان یک مأموریت گذار تا زمان عملیاتی‌شدن Sentinel-5 به فضا پرتاب شده و امروزه داده‌های این ماهواره در دسترس پژوهشگران قرار دارد.

سنجنده اصلی این Sentinel-5 در محدوده‌های طیفی مرئی، فرابنفش، نزدیک فروسرخ (NIR) و فروسرخ کوتاه‌موج (SWIR) فعالیت می‌کند که این تنوع طیفی، امکان شناسایی انواع گازهای آلاینده مانند متان و کربن مونوکسید را فراهم می‌کند. این محدوده طیفی در کنار وضوح مکانی ۷ کیلومترمربعی و وضوح زمانی یک‌روزه، Sentinel-5 را قادر می‌سازد تا داده‌هایی دقیق و با کیفیت در مقیاس جهانی ارائه کند.

Sentinel-5 در تعامل با Sentinel-5P و Sentinel-4، می‌تواند یکی از قوی‌ترین سامانه‌های رصد وضعیت و کیفیت هوا را در سطح جهانی ایجاد کند و در زمینه پیش‌بینی‌های اقلیمی، تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی و مدیریت بحران، به بازویی تأثیرگذار تبدیل شود.

ابزارهای MetOp-SG-A

عکس: ESA

IASI-NG

Infrared Atmospheric Sounding
Interferometer New Generation

RO

Radio Occultation

METImage

Multispectral Visible
Infrared Imager

Sentinel-5

Ultraviolet Visible
Near Infrared
Shortwave Infrared Sounder

MWS

MicroWave Sounder

3MI

Multiviewing
Multichannel
Multipolarisation
Imager



عکس: ESA ©

Sentinel-6

Sentinel-6:

دیده‌بان دقیق تراز سطح دریا در خدمت اقلیم‌شناسی جهانی

مأموریت Sentinel-6 که به‌طور رسمی با نام Sentinel-6 Michael Freilich شناخته می‌شود، آخرین عضوی از مأموریت‌های شش‌گانه Sentinel می‌باشد که با هدف پایش دقیق سطح دریا طراحی شده است. این مأموریت در حقیقت بعنوان ادامه‌دهنده مأموریت‌های موفق TOPEX/Poseidon و Jason-1/2/3 که از سال ۱۹۹۰ به پایش سطح دریا

پرداخته‌اند، تلقی می‌شود. این مأموریت حاصل همکاری چندجانبه بین‌المللی میان آژانس فضایی اروپا، سازمان هواشناسی ماهواره‌ای اروپا، سازمان فضایی آمریکا و سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا می‌باشد.

مأموریت Sentinel-6 شامل دو ماهواره‌ی دو قلو می‌باشد که نخستین ماهواره در سال ۲۰۲۰ میلادی به فضا پرتاب شد و ماهواره‌ی دوم نیز برای پرتاب در سال ۲۰۲۵ برنامه‌ریزی شده است. این دو ماهواره در مدارهایی مشابه قرار خواهند گرفت و داده‌هایی با کیفیتی یکسان تولید خواهند نمود.

این ماهواره در یک مدار خورشیدآهنگ و در ارتفاع تقریبی ۱۳۳۶ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفته است که دارای وضوح زمانی ۱۰ روزه بوده و عمر مفید پیش‌بینی‌شده برای هر یک از ماهواره‌ها حدود ۵ سال تخمین زده شده است.

Sentinel-6 دارای چندین سنجنده‌ی مختلف می‌باشد که به اختصار به هرکدام پرداخته خواهد شد:

- Poseidon-4 Radar Altimeter: برای اندازه‌گیری دقیق ارتفاع سطح دریا، ارتفاع موج‌ها و سرعت باد در سطح دریا
- AMR-C^{۲۵}: به منظور اصلاح اثر بخار آب جوّی در داده‌های ارتفاع‌سنجی
- GNSS-RO^{۲۶}: برای بدست‌آوردن اطلاعات پروفایل جوّ زمین
- DORIS و LRA: برای تعیین موقعیت بسیار دقیق ماهواره جهت اطمینان از دقت اندازه‌گیری‌ها

مأموریت Sentinel-6 با جمع‌آوری داده‌های با کیفیت و دقیق، امکانات گسترده‌ای را فراهم آورده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد:

- پایش بلندمدت تغییرات تراز سطح دریا برای ارزیابی اثرات گرمایش زمین و ذوب یخ‌های قطبی
- مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌هایی مانند النینو و لانینا
- پشتیبانی از مدل‌های هواشناسی دریایی و پیش‌بینی طوفان‌ها
- پایش الگوهای جریان‌های اقیانوسی و تبادلات انرژی میان اقیانوس و جوّ زمین
- افزایش دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی جهانی در بازه‌های میان‌مدت و بلندمدت

داده‌های ماهواره Sentinel-6 با توجه به اهمیت روزافزون پایش سطح آب‌های آزاد و پدیده گرمایش جهانی، از اهمیتی فوق‌العاده برخوردار بوده و در زمینه مدیریت این بحران بسیار تأثیرگذار می‌باشند.

کوپرنیک: تنها یک عضو بزرگ از پازل تکنولوژی ماهواره‌ای

علی‌رغم جایگاه ویژه‌ی برنامه کوپرنیک به‌عنوان یکی از جامع‌ترین و پیشرفته‌ترین برنامه‌های پایش زمین در سطح جهانی، این پروژه تنها بازیگر صحنه فناوری فضایی نیست. توسعه فناوری‌های سنجش از دور و ماهواره‌ای در چند دهه اخیر، به‌ویژه در پاسخ به چالش‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، بلایای طبیعی و نیاز به مدیریت پایدار منابع، موجب شده است تا کشورهای متعددی برنامه‌های فضایی مستقلی را برای تأمین داده‌های راهبردی راه‌اندازی کنند.

ایالات متحده به‌عنوان یکی از پیشگامان این عرصه، با مأموریت‌هایی همچون Landsat، چین با برنامه Gaofen و هند نیز با مجموعه‌ای از پروژه‌های مستقل، زمینه را برای دسترسی باز، تبادل اطلاعات علمی و ایجاد استانداردهای جهانی در پایش زمین فراهم کرده‌اند. در ادامه، مروری کوتاه بر مهم‌ترین برنامه‌های فضایی ایالات متحده، چین و هند خواهیم داشت که به نوعی مکمل یا رقیب برنامه کوپرنیک محسوب می‌شوند.

Landsat Next:

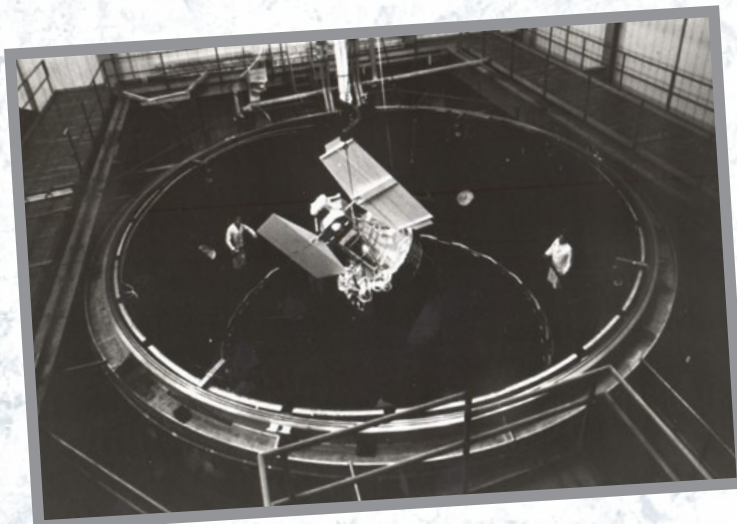
گام بعدی ایالات متحده در پایش جهانی زمین

برنامه‌ی Landsat Next نسل آینده از مأموریت‌های مشهور Landsat می‌باشد که با همکاری سازمان فضایی آمریکا (NASA) و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) برای ادامه و ارتقاء پایش پیوسته سطح زمین طراحی شده است. این پروژه برای عملیاتی‌شدن در اوایل دهه ۲۰۳۰ میلادی برنامه‌ریزی شده و قرار است جایگزین ماهواره‌ی Landsat 9 شود. این پروژه طبق طراحی‌های صورت‌گرفته، انقلابی عظیم در دقت، کیفیت و گستره داده‌های تصویری انجام خواهد داد.

برخلاف نسل‌های پیشین Landsat که معمولاً از یک ماهواره عملیاتی بهره می‌بردند، در پروژه آینده از سه ماهواره هم‌زمان استفاده خواهد شد. این ساختار جدید، امکان تصویربرداری با وضوح زمانی ۲ تا ۳ روزه از هر نقطه‌ی زمین را فراهم می‌آورد. این مسئله نسبت به وضوح زمانی ۱۶ روزه نسل‌های قبلی، یک جهش چشم‌گیر تلقی می‌شود.

پیشرفت برنامه Landsat Next نسبت به برنامه پیشین، به وضوح زمانی استخراج داده‌ها محدود نمی‌شود. این پروژه برخلاف آخرین ماهواره‌های Landsat یعنی ماهواره‌های Landsat 8 و Landsat 9 که دارای ۱۱ باند طیفی بودند، تصاویر را در ۲۵ باند طیفی ثبت می‌کند. همچنین وضوح مکانی تصاویر این ماهواره در باندهای اصلی به ۱۰ متر خواهد رسید که توانایی تفکیک جزئیات آن را شدیداً بهبود خواهند بخشید.

بدون شک پروژه Landsat Next به‌عنوان یکی از مهم‌ترین برنامه‌های فضایی در حوزه‌ی سنجش از دور، با هدف فراهم‌سازی داده‌های باکیفیت و رایگان، نقش کلیدی در پژوهش‌های مختلف و مهم ایفا خواهد نمود.



نظاره پرتاب موفق اولین ماهواره Landsat توسط مدیران وقت ناسا (چپ) و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (راست) در تاریخ ۲۳ ژوئیه ۱۹۷۲. این لحظه تاریخی، سرآغازی بر بیش از نیم‌قرن پایش مستمر و درک علمی از سیاره زمین بود.

عکس: NASA ©

NASA Earth System Observatory

نگاه جامع به سیاره در حال تغییر

برنامه ESO که یک مجموعه از مأموریت‌های فضایی می‌باشد که با هدف پاسخ‌گویی به مهم‌ترین پرسش‌های علمی درباره‌ی تغییرات اقلیمی، بلایای طبیعی، منابع آب، هواشناسی و تعاملات زمین-اتمسفر به‌کار گرفته خواهد شد. این برنامه برای عملیاتی‌شدن در اواخر دهه ۲۰۲۰ تا اوایل دهه ۲۰۳۰ میلادی برنامه‌ریزی شده و قرار است به یکی از بزرگ‌ترین و چندجانبه‌ترین مأموریت‌های فضایی بشر تبدیل گردد.

همانطور که بیان شد، برنامه ESO یک برنامه چند وجهی است که شامل پنج ماهواره جداگانه با مأموریت‌های متفاوت می‌باشد:

- Mass Change (MC) - برای بررسی تغییرات در توده یخ‌ها، خشکی‌ها و اقیانوس‌ها (جانشین مأموریت GRACE-Follow On).
- Surface Biology and Geology (SBG) - برای پایش پوشش گیاهی، کشاورزی، کیفیت آب و آتشفشان‌ها با استفاده از داده‌های طیفی.
- Atmospheric Observing System (AOS) - برای بررسی پویایی‌های اتمسفر، بخار آب، ذرات معلق و بارش.
- Aerosols (ACCP) - برای بررسی نقش ذرات معلق در تغییرات اقلیمی، بازتابش نور و تشکیل ابر.
- Surface Deformation and Change (SDC) - برای سنجش دقیق تغییرات پوسته زمین، زلزله‌ها، رانش زمین و فعالیت‌های آتشفشانی.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این برنامه، قابلیت ادغام با مأموریت‌های مشابه دیگر کشورها می‌باشد که امکان دستیابی به پوشش جهانی را برای محققان فراهم می‌آورد. از طرفی تنوع داده‌های قابل دستیابی از طریق ماهواره‌های مذکور، علاوه بر کاربردهای اقلیمی، نقش بسزایی در امنیت غذایی و مدیریت بحران نیز ایفا خواهند نمود.

تصویر نمادین «طلوع زمین» (Earthrise) که در تاریخ ۲۴ دسامبر ۱۹۶۸ توسط فضانوردان مأموریت آپولو ۸ ثبت شد. این منظره شگفت‌انگیز، هنگامی که فضاییما پس از چهارمین گردش به دور ماه از سمت پنهان آن خارج می‌شد، در برابر دیدگان خدمه قرار گرفت و برای اولین بار، خانه ما را این‌گونه تنها و معلق در تاریکی فضا به تصویر کشید.

عکس: NASA ©

Geofen:

چشم‌تیزبین چین بر روی زمین

Geofen که در زبان چینی به معنای «وضوح بالا» است، نام سری ماهواره‌های کشور چین است که تحت برنامه بزرگ CHEOS^{۳۷} توسعه پیدا کرده‌اند. این برنامه از سال ۲۰۱۳ با پرتاب اولین ماهواره شروع به کار نموده و توسط سازمان ملی فضایی چین یا CNSA^{۳۸} مدیریت می‌شود. هدف اصلی این برنامه، ایجاد یک شبکه ملی با دقت بالا، پوشش گسترده و پایش مداوم است؛ به گونه‌ای که نیازهای راهبردی را برای برنامه‌ریزی شهری، کشاورزی، منابع آب، پاسخ به بلایای طبیعی، محیط زیست و امنیت ملی و دفاعی تأمین کند. یکی از مهم‌ترین اهداف Geofen، کاهش وابستگی چین به داده‌های سنجش از دور خارجی و دستیابی به خودکفایی داده‌ای در مقیاس جهانی می‌باشد.

تا به حال بیش از ۱۰ ماهواره Geofen از نسل یک این مأموریت عملیاتی شده‌اند که هر یک وظایف جداگانه‌ای را برعهده دارند. نکته حائز اهمیت در این برنامه، تلاش چین برای دستیابی به وضوح بالا در داده‌های هرکدام از ماهواره‌های Geofen می‌باشد.

دولت چین برنامه بلندمدت و بسیار جاه‌طلبانه‌ای را برای توسعه مأموریت‌های Geofen ترسیم کرده است. بصورتی که قصد دارد در نسل دوم این ماهواره‌ها به پوشش گسترده‌تر در کنار وضوح مکانی زیر یک متر دست پیدا کند. این برنامه شگفت‌انگیز، مأموریت Geofen را به یکی از ارکان اصلی در پروژه کلان اقتصادی-ژئوپلیتیکی BRI^{۳۹} تبدیل کرده است.

NISAR:

نگاه دوگانه NASA و ISRO^۳ به زمین

برنامه NISAR یا به طور کامل NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar، مأموریتی نوین و مهم در زمینه رادار با دریچه مصنوعی یا SAR می‌باشد که حاصل همکاری مشترک سازمان ملی فضایی آمریکا و سازمان تحقیقات فضایی هند است. اهداف اصلی پروژه NISAR در ادامه به اختصار توضیح داده شده‌اند:

- پایش حرکات پوسته زمین شامل گسل‌ها، زمین‌لغزش‌ها و تغییرات تکتونیکی
- بررسی تحولات یخ‌های قطبی در گرمایش جهانی
- نظارت بر رشد جنگل‌ها، پوشش گیاهی و کاربری زمین
- تحلیل فرونشست زمین، تغییرات خاک و منابع آب

کلیدی‌ترین مسئله در این مأموریت، استفاده از یک رادار دوفرکانسه برای اولین بار در جهان است. این مأموریت به‌عنوان اولین ماهواره جهان، از دو باند فرکانسی L و S بصورت هم‌زمان برای تصویربرداری راداری استفاده می‌کند:

- باند L (توسعه یافته توسط NASA): نفوذ بالا در پوشش گیاهی، مناسب برای مطالعه جابجایی زمین و یخ‌ها
- باند S (توسعه یافته توسط ISRO): حساس به سطح زمین، مفید برای کاربردهای کشاورزی و جنگلداری

این ماهواره برای پرتاب در سال ۲۰۲۵ برنامه‌ریزی شده و قرار است از مرکز فضایی Satish Dhawan هند به فضا پرتاب شود. مدار طراحی شده برای آن یک مدار خورشیدآهنگ در ارتفاع حدود ۷۵۰ کیلومتری از سطح زمین می‌باشد و تصاویر راداری آن با وضوح متغیر بین ۳ تا ۱۰ متری بسته به حالت تصویربرداری استخراج خواهند شد. بدون شک فناوری نوآورانه این ماهواره در کنار داده‌های آزاد و در دسترس آن، این ماهواره را به منبعی ارزشمند تبدیل خواهد نمود.

NISAR (NASA-ISRO Synthetic Aperture Aadar)

عکس: NASA ©

ما کجای جهان ایستاده‌ایم؟

قطعاً برنامه‌های ماهواره‌ای جاری در جهان به این فهرست کوتاه ختم نمی‌شوند، اما با همین بررسی مختصر می‌توان به اهمیت بسیار بالای دسترسی به داده‌های دقیق و آزاد در دنیای فردا پی‌برد. امروزه تمام کشورهای پیشرفته جهان، چه به تنهایی و چه با همکاری یکدیگر، در تلاش‌اند تا زیرساخت‌های فضایی خود را توسعه دهند و با پیشرفت پرشتاب جهان امروزی همگام شوند و حتی از آن پیشی بگیرند.

بی‌شک پیوستن به زمره چنین کشورهایی باید به یکی از اهداف اصلی هر کشوری در جهان که خواستار توسعه و پیشرفت پایدار است، تبدیل شود. با در نظر گرفتن سرعت حرکت علم و فناوری در جهان و میزان شگفت‌انگیز سرمایه‌گذاری دیگر کشورها در زمینه‌های مختلف، بخصوص فناوری‌های ماهواره‌ای، لحظه‌ای غفلت در پیوستن به این مسیر می‌تواند سال‌ها عقب‌ماندگی را در پی داشته باشد.

پی‌نوشت

منابع

1. European Commission
2. European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT)
3. European Environment Agency (EEA)
4. University of Cambridge
5. Nicolaus Copernicus
اخترشناس، ریاضی‌دان و اقتصاددان آلمانی-لهستانی در قرن پانزدهم که نظریه خورشید مرکزی منظومه شمسی را گسترش داد.
6. Synthetic Aperture Radar (SAR)
7. Interferometric Wide Swath
8. Extra Wide Swath
9. Strip Map
10. Wave Mode
11. Multi-Spectral
12. Near Infrared
13. Short-wavelength infrared
14. Ocean and Land Color Instrument
15. Sea and Land Surface Temperature Radiometer
16. SAR Radar Altimeter
17. Microwave Radiometer
18. Global Navigation Satellites Systems
19. Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite
20. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)
21. Ultraviolet Visible Near-infrared spectrometer
22. Meteosat Third Generation – Sounding
23. Ultraviolet Visible Near-infrared Shortwave infrared spectrometer
24. MetOp Second Generation
25. Advanced Microwave Radiometer – Climate
26. GNSS Radio Occultation
27. China High-resolution Earth Observation System
28. China National Space Administration
29. Belt and Road Initiative
30. Indian Space Research Organisation

- Copernicus.eu – Official Website of the Copernicus Programme
<https://www.copernicus.eu>
- European Space Agency (ESA) – Sentinel Missions
<https://sentinels.copernicus.eu>
- European Commission – Copernicus Programme
https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/space/copernicus_en
- Aschbacher, J., & Milagro-Pérez, M. P. (2012). "The European Earth monitoring (GMES) programme: Status and perspectives." Remote Sensing of Environment, 120, 3–8.
DOI: 10.1016/j.rse.2011.06.030
- Torres, R. et al. (2012). "GMES Sentinel-1 mission." Remote Sensing of Environment, 120, 9–24.
DOI: 10.1016/j.rse.2011.05.028
- Drusch, M. et al. (2012). "Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services." Remote Sensing of Environment, 120, 25–36.
DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026
- ESA Earth Observation Handbook
<https://www.eohandbook.com/>



خلیج فارس در شب

عکس: NASA ©

در جستجوی ستارگان

انقلاب هوش مصنوعی در ناوبری ماهواره‌ای

علیرضا عطوفی

دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران



این فناوری پیش‌تاز، چون شمشیری تیز، دو غول سرسخت ناوبری یعنی تأخیرات یونوسفیری و انعکاس‌های چندمسیره را به زانو درآورده است.

جهان فناوری، همچون آسمانی پرستاره، با شتابی خیره‌کننده در حال درخشیدن است و در این میان، سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای (GNSS) با قدرت هوش مصنوعی، گویی بال‌هایی از نور یافته‌اند. این فناوری پیش‌تاز، چون شمشیری تیز، دو غول سرسخت ناوبری یعنی-تأخیرات یونوسفیری و انعکاس‌های چندمسیره-را به زانو درآورده است. هوش مصنوعی، مانند ساحری دانا، داده‌های خام و پراکنده ماهواره‌ای را در کوره الگوریتم‌های پیشرفته‌اش ذوب می‌کند و نقشه‌هایی بی‌نقص از مکان و موقعیت می‌آفریند. این داستان، حماسه‌ای است از نبرد علم و فناوری؛ جایی که سیگنال‌های آشوبناک GNSS به مسیری هموار و دقیق تبدیل می‌شوند و جهانی هوشمندتر پیش روی ما گشوده می‌شود.

بیایید به این سفر شگفت‌انگیز قدم بگذاریم: از رام‌کردن طوفان‌های یونوسفیری با شبکه‌های عصبی عمیق، تا غلبه بر چالش‌های پیچیده‌ی انعکاس سیگنال در میان ساختمان‌های شلوغ شهری با کمک یادگیری ماشین. با تکیه بر مطالعات علمی معتبر، ما قدرت هوش مصنوعی را در کاهش خطاهای ناوبری کاوش می‌کنیم و نشان می‌دهیم چگونه این فناوری، آینده‌ی جهان را با دقتی بی‌سابقه بازتعریف می‌کند. آماده‌اید؟ قله‌های دقت در انتظار ماست!

آنتن‌های شبکه Etrack:
پل ارتباطی زمین با مأموریت‌های فضایی.

عکس: ESA ©

رام کردن طوفان‌های یونوسفری: هوش مصنوعی در اوج

یونوسفر، این لایه‌ی مرموز و پرتلاطم
جو زمین، سیگنال‌های GNSS را چون
قایقی در دریای طوفانی به بازی می‌گیرد.

نبرد با آشوب یونوسفر

یونوسفر، این لایه‌ی مرموز و پرتلاطم جو زمین، سیگنال‌های GNSS را چون قایقی در دریای طوفانی به بازی می‌گیرد. نوسانات ناشی از طوفان‌های خورشیدی و تغییرات جوی، تأخیراتی در سیگنال‌ها ایجاد می‌کنند که گویی دیواری نامرئی، دقت ناوبری را به چالش می‌کشد. اما هوش مصنوعی، با چشمانی تیزبین و الگوریتم‌هایی چابک، این آشوب را به نظم خیره‌کننده تبدیل کرده است.

شبکه‌های عصبی عمیق (Deep Neural Networks) و مدل‌های بازگشتی مانند LSTM (Long Short-Term Memory)، مانند ستاره‌شناسانی ماهر، داده‌های عظیم جمع‌آوری‌شده از گیرنده‌های GNSS در سراسر جهان را رصد می‌کنند. این گیرنده‌ها، همانند نگهبانانی همیشه‌بیدار، ویژگی‌هایی مانند نسبت سیگنال به نویز (C/N_0)، زاویه‌ی ارتفاع ماهواره و تضاد فاز را با دقتی بی‌نظیر ثبت می‌کنند. در مطالعه‌ای درخشان در سال ۲۰۲۱، پژوهشگران دانشگاه ایالتی اورگن با بهره‌گیری از مدل‌های LSTM موفق شدند تغییرات کل الکترون‌های یونوسفری (TEC) را پیش‌بینی کنند. آن‌ها با تحلیل داده‌های GNSS از ۱۰ ایستگاه در آلاسکا، موفق شدند اختلالات یونوسفری مرتبط با زلزله‌ای به بزرگی ۸/۲ ریشتر در ۲۹ جولای ۲۰۲۱ را شناسایی کنند. این مدل، با پردازش سری‌های زمانی dTEC (تغییرات TEC پس از حذف نویز)، آتومالی‌های یونوسفری را با دقتی حیرت‌انگیز تشخیص داد و خطاهای ناوبری را به حداقل رساند. گویی هوش مصنوعی، کلیدی طلایی برای رمزگشایی از اسرار آسمان یافته است.

Exploring Earth's Ionosphere:
Limb view with approach
عکس: NASA ©

دستاوردهای جهانی در جبران تأخیرات

جهان علم، در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های خیره‌کننده‌ای در این حوزه بوده است. در سال ۲۰۲۳، مقاله‌ای در IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems از شبکه‌های عصبی عمیق برای پیش‌بینی تأخیرات یونوسفری بهره‌گرفت. این مدل، با تحلیل داده‌های چندفرکانسی (L1 و L2) توانست خطاهای ناشی از یونوسفر را تا ۳۵ درصد کاهش دهد. این شبکه‌ها، همانند مغزهایی خستگی‌ناپذیر، الگوهای پنهان در نوسانات یونوسفری را

رمزگشایی می‌کنند و حتی در میان طوفان‌های خورشیدی، مسیر ناوبری را با اطمینان به مقصد هدایت می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر، پژوهشگران از الگوریتم GBDT (Gradient Boosting Decision Trees) برای مدل‌سازی سری‌های زمانی GNSS استفاده کردند. این مدل، با تحلیل داده‌های مکانی و زمانی، تأخیرات یونوسفری را با دقت تا ۹۰ درصد پیش‌بینی کرد. این فناوری، مانند فانوسی در تاریکی، مسیر را برای کاربردهایی همچون هواشناسی فضایی، پایش بلایای طبیعی روشن کرده است.

تصور کنید: سیستمی که حتی در میان طوفان‌های جوی، با دقتی بی‌نظیر، مسیر شما را مشخص می‌کند - این همانا جادوی هوش مصنوعی است!

پتانسیل‌های بومی در ایران

در ایران، کشوری با تنوع اقلیمی و چالش‌های جوی گوناگون، این فناوری می‌تواند تحول عظیمی به ارمغان بیاورد. برای مثال، در مناطق زلزله‌خیز مانند تهران، مدل‌های LSTM می‌توانند اختلالات یونوسفری ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی را پیش‌بینی کنند؛ درست مشابه آنچه در آلاسکا انجام شد. دانشگاه‌های معتبر ایران، با توسعه این مدل‌ها، می‌توانند سامانه‌های هشدار زودهنگام زلزله را تقویت کنند و جان هزاران نفر را نجات دهند. این فناوری، گویی دستی از دل آسمان، ایران را به سوی آینده‌ای ایمن‌تر و هوشمندتر هدایت می‌کند.

فتح دیوارهای شهری: هوش مصنوعی در برابر چندمسیره

مدل سازی پیشرفته با یادگیری ملشین

در سال ۲۰۲۳، مطالعه‌ای منتشر شده در GPS Solutions رویکردی مبتنی بر یادگیری ماشین برای مدل سازی چندمسیره ارائه داد. در این پژوهش، محققان با استفاده از الگوریتم XGB (Extreme Gradient Boosting)، خطاهای ناشی از بازتاب‌های چندمسیره را بر اساس زاویه‌ی ارتفاع و آزمون تحلیل کردند. این مدل، با پردازش داده‌های GPS به مدت ۳۰ روز و با فرکانس ۱ هرتز، توانست الگوهای پیچیده چندمسیره را با دقتی چشمگیر پیش‌بینی کند و دقت موقعیت‌یابی را در جهت‌های شرقی، شمالی و عمودی به ترتیب ۲۰٪، ۱۷٪ و ۱۶٪ بهبود بخشد. این فناوری، مانند کلیدی جادویی، قفل پیچیدگی هزارتوهای شهری را گشوده است.

در پژوهشی دیگر، محققان از ترکیب شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) و Layer-wise Relevance Propagation (LRP) برای تشخیص آنومالی‌های چندمسیره استفاده کردند. این مدل، با تحلیل متغیرهایی مانند نسبت سیگنال به نویز و باقیمانده‌های شبه فاصله، توانست انعکاس‌های مزاحم را با دقت بالا شناسایی کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که امتیازهای LRP در شرایط وجود سیگنال‌های غیرعادی بین ۷۳٪ تا ۳۲٪ افزایش می‌یابد؛ عددی که این روش را به ابزاری قدرتمند برای پایش کیفیت سیگنال GNSS تبدیل کرده است. گویی هوش مصنوعی، با دقتی بی‌مانند، سیگنال‌های گم شده را از میان دیوارهای شهری نجات می‌دهد.

چالش انعکاس‌های شهری

در کلان‌شهرهای پرمیاهو، جایی که آسمان خراش‌ها و سازه‌های شیشه‌ای، سیگنال‌های GNSS را به دام می‌اندازند، پدیده‌ی چندمسیره (Multipath) مانند شبی سرسخت، دقت ناوبری را به چالش می‌کشد. این سیگنال‌ها در میان دیوارهای فلزی و شیشه‌ای بارها منعکس می‌شوند و مسیری پیچ‌درپیچ را طی می‌کنند، گویی در هزارتویی پرپیچ‌وخم سرگردان‌اند. اما این بار، هوش مصنوعی همانند قهرمانی بی‌باک، به این میدان نبرد قدم گذاشته است تا این هزارتو را مهار کند.

در سال ۲۰۲۳، مطالعه‌ای منتشر شده در IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems نشان داد که چگونه شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) می‌توانند اثرات چندمسیره را کاهش دهند. در این پژوهش، با تحلیل داده‌های دریافت شده از گیرنده‌های GNSS و ویژگی‌هایی مانند نسبت سیگنال به نویز و زاویه ارتفاع ماهواره، سیگنال‌های مستقیم (LOS) از انعکاس‌های مزاحم (NLOS) با دقتی چشمگیر، ۹۳٪ درصد، تفکیک شدند. در این میان، شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) مانند نقاشانی چیره‌دست، توانستند الگوهای انعکاسی را شناسایی و حذف کنند؛ نتیجه‌ی این فرآیند، بهبود دقت موقعیت‌یابی در محیط‌های شهری تا ۴۵ درصد بود. این دستاورد، همچون گشودن دریچه‌ای به سوی شهرهای هوشمند است.



کاربردهای عملی در شهرهای هوشمند

این فناوری‌ها، آینده شهرهای هوشمند را بازتعریف کرده‌اند. برای مثال، در سال ۲۰۲۴ مطالعاتی با بهره‌گیری از یادگیری عمیق تقویت‌شده (Deep Reinforcement Learning) روشی برای بهبود دقت GNSS در محیط‌های شهری ارائه داد. این مدل، با استفاده از روش پاداش تطبیقی (ARAM)، خطاهای چندمسیره و NLOS را در محیط‌های غیرایستا کاهش داد. تصور کنید: خودروهای خودران که در خیابان‌های شلوغ با اطمینان حرکت می‌کنند، یا پهپادهایی که محموله‌های پزشکی را در پیچیده‌ترین شهرها تحویل می‌دهند؛ این‌ها رویاهایی هستند که با هوش مصنوعی به واقعیت تبدیل شده‌اند.

در ایران، این فناوری می‌تواند در کلان‌شهرها تحولی چشمگیر ایجاد کند.

برای مثال، در پروژه‌های شهر هوشمند، الگوریتم‌های CNN و XGB می‌توانند دقت ناوبری پهپادهای تحویل کالا را در مناطق پرتراکم بهبود بخشند و ترافیک شهری را روان‌تر کنند. چنین کاربردهایی، مانند نسیمی خنک در گرمای شهر، زندگی را آسان‌تر می‌کنند.

هم‌افزایی هوش مصنوعی و GNSS: جهانی از امکانات

پیشرفت‌های جهانی

در مطالعه‌ای دیگر، پژوهشگران از ترکیب شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) و روش تجزیه مدهای متغییر (Variational Mode Decomposition - VMD)، موفق به تشخیص و اصلاح سیگنال‌های NLOS شدند. این روش، با تحلیل داده‌های GNSS، اثرات بازتاب‌های چندمسیره را کاهش داد و دقت موقعیت‌یابی را در محیط‌های شهری بهبود بخشید. این پیشرفت‌ها، مانند ستارگانی در آسمان فناوری، مسیر را برای آینده‌ای روشن‌تر هموار کرده‌اند.

هوش مصنوعی، با ادغام داده‌های GNSS و حسگرهای مکمل مانند INS (Inertial Navigation Systems)، ناوبری را به سطح جدیدی رسانده است. در سال ۲۰۲۳، مطالعاتی از Li و همکارانش نشان داد که مدل LightGBM می‌تواند تغییرات موقعیت خودرو در زمان قطعی سیگنال GNSS را با دقت پیش‌بینی کند. این مدل، با تحلیل داده‌های INS، خطاها را در مقایسه با روش‌های مبتنی بر Random Forest به‌طور چشمگیری کاهش داد و نشان داد که یادگیری ماشین، کلیدی برای ناوبری بی‌وقفه است.

پتانسیل‌های ایران

هرچند منابع مستند درباره‌ی پروژه‌های ایرانی در این حوزه محدود است، اما ایران با ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، می‌تواند از این فناوری‌ها بهره‌برد. برای مثال، در مناطق زلزله‌خیز مانند تبریز، می‌توان از مدل‌های LSTM برای پیش‌بینی اختلالات یونسفری و ارتقای سیستم‌های هشدار زلزله بهره‌برد؛ در شهرهای پرتراکم مانند اصفهان، الگوریتم‌های XGB می‌توانند دقت ناوبری شهری را بهبود بخشند. این فناوری‌ها، گویی پلی به سوی آینده، ایران را به جهانی هوشمندتر پیوند می‌دهند.

چشم‌انداز آینده: جهانی درخشان‌تر

هوش مصنوعی، فراتر از کاهش خطاها، دریچه‌ای به سوی آینده‌ای می‌گشاید که در آن ناوبری نه تنها دقیق‌تر، بلکه هوشمندتر و چابک‌تر خواهد بود. فناوری‌های نوظهور مانند شبکه‌های ترنسفورمر و یادگیری تقویت‌شده، نویدبخش سامانه‌هایی هستند که می‌توانند خود را با هر چالشی تطبیق دهند. از مدیریت ترافیک در کلان‌شهرها گرفته تا اکتشافات فضایی، این هم‌افزایی، جهانی از امکانات را پیش روی بشر قرار داده است.

فراخوان به اقدام: آینده را ما می‌سازیم!

اکنون زمان آن فرارسیده است که ما - دانشجویان، پژوهشگران و رویاپردازان - به این موج تحول بپیوندیم. هوش مصنوعی و GNSS، ابزارهایی هستند که ما را به قله‌های دقت می‌رسانند. بیایید از کلاس‌های درس تا آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، این فناوری‌ها را در آغوش بگیریم و آینده‌ای بسازیم که در آن هر سیگنال، هر داده و هر لحظه، ما را به مقصد نزدیک‌تر کند.

آسمان در انتظار ماست؛ بیایید ستارگان را فتح کنیم!

یادداشت

ساختن جهان در سه بعد

آشنایی با فناوری لایدار



زهرا شهسواری

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد فتوگرامتری

LIDAR

لایدار چیست؟

فناوری LiDAR (Light Detection And Ranging) یک فناوری سنجش از دور است که توسعه آن از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و امروزه به دلیل پیشرفت‌های فناورانه، در بسیاری از حوزه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری با ارسال پالس‌های لیزری به سمت اهداف و اندازه‌گیری زمان بازگشت آن‌ها، فاصله اجسام تا حسگر را محاسبه می‌کند و بر اساس این داده‌ها قادر است مدل‌های سه‌بعدی دقیقی از محیط اطراف بسازد. LiDAR یا بهره‌گیری از قابلیت اندازه‌گیری فاصله، امکان سنجش اشیای مختلف در فضا را فراهم کرده و تصویری دقیق از موقعیت و شکل آن‌ها ارائه می‌دهد. یک سیستم LiDAR معمولاً از چهار بخش اصلی تشکیل می‌شود:

۱. فرستنده لیزر برای تولید پالس‌های نوری.
 ۲. اسکنر و اپتیک برای هدایت پرتو لیزر.
 ۳. گیرنده برای دریافت سیگنال بازتاب‌شده.
 ۴. واحد ثبت موقعیت مکانی (مانند GPS و IMU) برای تعیین مکان دقیق اندازه‌گیری‌ها.
- ترکیب این اجزا امکان تهیه ابرنقاط سه‌بعدی (Point Cloud) را فراهم می‌سازد که در بسیاری از تحلیل‌های مکانی و نقشه‌برداری‌های دقیق کاربرد دارند.

این فناوری برای اندازه‌گیری سریع موقعیت اشیای فیزیکی، با استفاده از پرتو لیزر فاصله بین اشیاء و اسکنر را محاسبه می‌کند. در محیط‌های شهری، این اسکنر می‌تواند ویژگی‌های مختلف محیط را با دقت بالا ثبت کند. به کمک موقعیت‌یاب دقیق، موقعیت اجزای محیط در فضا نیز تعیین می‌شود. یکی از مزایای کلیدی LiDAR، سرعت بالای جمع‌آوری داده است؛ به‌طوری‌که می‌تواند در هر ثانیه ده‌ها هزار تا بیش از یک میلیون نقطه را ثبت کند. این در حالی است که انجام چنین کاری با روش‌های سنتی نقشه‌برداری ممکن است سال‌ها زمان ببرد.

داده‌های LiDAR را می‌توان از طریق سامانه‌های هوایی، زمینی یا سکوها ثابت جمع‌آوری کرد. این داده‌ها کاربردهای گسترده‌ای در نقشه‌برداری زیرساخت (Infrastructure Mapping) «به معنای تهیه و ثبت دقیق موقعیت، ابعاد و وضعیت اجزای فیزیکی زیرساختی مانند خیابان‌ها، پل‌ها، لوله‌کشی‌ها، خطوط برق، مخازن، تونل‌ها و سازه‌های مهندسی» مدل‌سازی زمین، مدیریت بحران و برنامه‌ریزی شهری دارند. استفاده از این فناوری در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و به ابزاری مؤثر برای مهندسی و طراحی شهری تبدیل شده است.

نحوه عملکرد LiDAR

سامانه‌های LiDAR برای تولید ابرنقطه‌ای از محیط اطراف خود، به دو نوع داده نیاز دارند:

۱. موقعیت و جهت پرتو لیزر در لحظه تابش.
۲. فاصله تا هدف.

موقعیت پرتو با استفاده از حسگرهای موقعیت‌یاب مانند IMU و GNSS^۲ و همچنین مکانیسم اپتومکانیکی اسکنر تعیین می‌شود. از آن‌جا که اندازه‌گیری‌ها اغلب بر اساس زاویه انجام می‌شوند، تراکم نقاط در اهداف نزدیک‌تر نسبت به اهداف دورتر بیشتر خواهد بود.

روش‌های اندازه‌گیری فاصله در LiDAR

روش‌های اندازه‌گیری فاصله در فناوری LiDAR به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

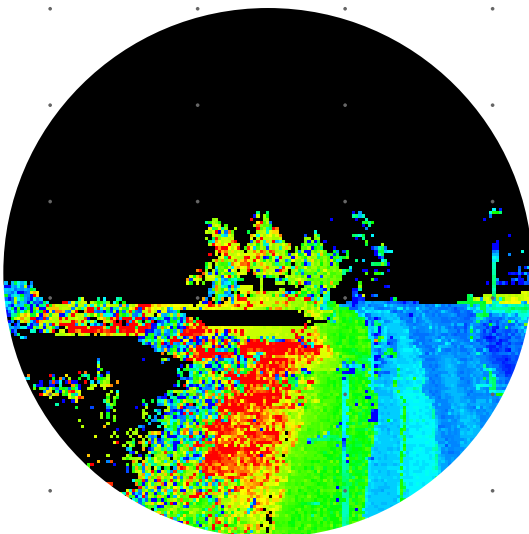
Time-of-Flight (TOF)

در این روش، پرتو لیزری به‌صورت پالسی ارسال شده و مدت زمان بازگشت آن اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از سرعت نور، فاصله جسم از حسگر محاسبه می‌گردد. این روش برای مسافت‌های زیاد مناسب است و با افزایش توان لیزر، برد اندازه‌گیری آن نیز افزایش می‌یابد.

Phase-based (Phase-Shift)

در این روش، از یک پرتو لیزر پیوسته استفاده می‌شود که شدت آن طبق یک الگوی مشخص تغییر می‌کند. وقتی این پرتو به جسم برخورد کرده و باز می‌گردد، دستگاه اختلاف فاز بین الگوی پرتو ارسال شده و پرتو بازگشتی را محاسبه می‌کند. با این اختلاف، فاصله جسم تعیین می‌شود. این روش بسیار سریع است، اما برد محدود دارد و معمولاً فقط برای اندازه‌گیری اجسام در فاصله حدود ۸۰ تا ۱۲۰ متر کاربرد دارد.

در هر دو روش، با ترکیب جهت تابش پرتو لیزر و فاصله اندازه‌گیری‌شده، مختصات سه‌بعدی نقاط نسبت به اسکنر محاسبه می‌شود.



ابر نقطه لایدار



اسکنر لیدار با برد بلند Optech IIRIS. این اسکنر در یک معدن سنگ نصب شده است تا پتانسیل خطرات ریزش سنگ را تجزیه و تحلیل کند.

انواع لایدار (LiDAR)

به طور کلی، دو نوع اصلی لایدار وجود دارد: **هوابرد (Airborne)** و **زمینی (Terrestrial)**.

لایدار زمینی (Terrestrial LiDAR)

LiDAR زمینی داده‌ها را با دقت بالا جمع‌آوری می‌کند و امکان شناسایی دقیق اجسام را فراهم می‌سازد. این نوع لایدار برای نقشه‌برداری بزرگراه‌ها، خطوط راه‌آهن، مدیریت تأسیسات، ساخت مدل‌های سه‌بعدی از فضاها و موارد مشابه کاربرد دارد. لایدار زمینی نیز به دو نوع تقسیم می‌شود:

لایدار زمینی موبایل (Mobile)

روی وسایلی مانند خودرو، قطار یا قایق نصب می‌شود و داده‌ها هنگام حرکت پلتفرم جمع‌آوری می‌شوند. در این حالت میتوان چندین حسگر را روی یک وسیله نصب کرد. این نوع لایدار برای تحلیل زیرساخت‌های جاده‌ای، شناسایی تابلوها، تیرهای چراغ برق و دیگر عوارض محیطی استفاده می‌شود.

لایدار زمینی ایستا (Static)

معمولاً روی سه‌پایه نصب می‌شود و می‌تواند هم در داخل ساختمان و هم در فضای باز داده جمع‌آوری کند. این نوع لایدار در مهندسی، باستان‌شناسی، معدن و نقشه‌برداری کاربرد فراوانی دارد.

LiDAR هوابرد (Airborne LiDAR)

لایدار هوابرد طوری طراحی شده است که به سمت پایین اسکن کند و معمولاً زاویه‌ای حدود ۱۸۰ درجه را پوشش می‌دهد. این نوع لایدار معمولاً بر روی هواپیما یا بالگرد نصب می‌شود. پرتو لیزر از لایدار نصب‌شده بر روی هواپیما به سمت زمین تابیده می‌شود و پس از بازتاب، به حسگر بازمی‌گردد. لایدارهای هوابرد خود به دو نوع تقسیم می‌شوند:

لایدار توپوگرافی

برای بررسی سطح زمین به کار می‌رود و کاربردهایی در حوضه‌هایی مانند جنگل‌داری، برنامه‌ریزی شهری، بوم‌شناسی منظر و موارد مشابه دارد.

لایدار Bathymetric

برای نفوذ در آب و اندازه‌گیری همزمان تراز زمین و عمق آب استفاده می‌شود. این نوع لایدار معمولاً در نزدیکی مناطق ساحلی، رودخانه‌ها و حاشیه آب‌ها کاربرد دارد.

داده‌های لایدار جمع‌آوری‌شده در اسلو، نروژ، با استفاده از Leica HDS۶۰۰۰ فوریه ۲۰۰۹: هر عارضه نه تنها یک مقدار بازتاب دارد، بلکه یک موقعیت سه‌بعدی با دقت میلی‌متری نسبت به اسکنر نیز دارد.



پیشرفت‌های فناوری موجب شده است که امروزه LiDAR به یکی از حسگرهای پرکاربرد در حوضه‌های مختلف تبدیل شود. در حال حاضر، این فناوری در زمینه‌هایی همچون خودکارسازی، کشاورزی، باستان‌شناسی و همچنین اندازه‌گیری اجزای مختلف جَو مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه، برخی کاربردهای مهم لایدار را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

کشاورزی

فناوری لایدار در کشاورزی برای اموری مانند پخش بذر و کود توسط ربات‌ها، اسکن محصولات به منظور شناسایی علف‌های هرز و تشخیص آفات یا حشرات به کار می‌رود. همچنین می‌توان با استفاده از این فناوری محل دقیق پاشش کود یا سم را مشخص کرد و به بهینه‌سازی مصرف منابع کمک نمود.

باستان‌شناسی

لایدار می‌تواند ساختارهای پنهان زیر پوشش گیاهی یا خاک را کشف کرده و مدل‌های سه‌بعدی با وضوح بالا از محوطه‌های تاریخی ایجاد کند. این روش امکان کشف آثاری را فراهم می‌کند که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیستند.

خودروهای خودران

(Autonomous Vehicles)
لایدار نقش کلیدی در تشخیص موانع و اجسام اطراف خودرو دارد و به ماشین اجازه می‌دهد مسیر حرکت خود را ایمن و دقیق طی کند.

مطالعات جوی

در حوزه هواشناسی، از لایدار برای بررسی ابرها، بادهای، ذرات معلق، رطوبت، گازهای گلخانه‌ای و آتش‌سوزی‌های گسترده استفاده می‌شود. این داده‌ها اطلاعات ارزشمندی برای پیش‌بینی آب و هوا و پایش تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند.

پلیس و امور قضایی

پلیس از فناوری لایدار برای اندازه‌گیری سرعت خودروها (لیزرگان‌ها) استفاده می‌کند. همچنین در بازرسی صحنه جرم، بررسی جزئیات چیدمان اجسام و لکه‌های خون کاربرد دارد.

نظامی

در حوزه نظامی، از لایدار برای شناسایی اهدافی مانند تانک‌ها، شناسایی مین‌های دریایی سامانه (ALMDS) و تشخیص تهدیدات زیستی در فضاها و شلوغ مانند ورزشگاه‌ها و ایستگاه‌های مترو استفاده می‌شود.

رباتیک

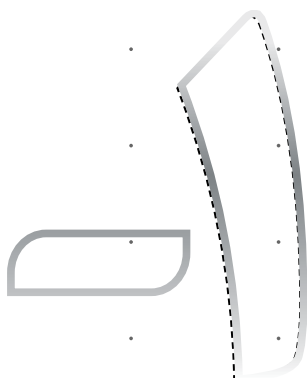
در حوزه رباتیک، لایدار برای نقشه‌برداری از محیط، شناسایی اشیاء و کمک به فرود دقیق ربات‌ها یا وسایل نقلیه پرنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جنگل‌داری

در مدیریت جنگل، لایدار برای محاسبه ارتفاع درختان، قطر تاج و حجم پوشش، پوشش گیاهی و سایر ویژگی‌های زیستی کاربرد دارد و به برآورد دقیق منابع جنگلی کمک می‌کند.

معدن

لایدار در معادن برای محاسبه حجم سنگ‌های استخراج‌شده از طریق اسکن‌های دوره‌ای و مقایسه تغییرات سطح استفاده می‌شود. همچنین این فناوری برای تشخیص موانع و هدایت وسایل نقلیه معدنی خودران، مانند سامانه AHS شرکت Komatsu، به کار گرفته می‌شود.



لایدار در نقشه‌برداری

در نقشه‌برداری، لایدار هوابرد به‌طور گسترده برای تهیه مدل‌های ارتفاعی دیجیتال زمین (DEM/DTM) در حوزه سنجش از دور به‌کار می‌رود. در این زمینه می‌توان به مجموعه داده‌های لایدار (LiDAR Datasets) اشاره کرد؛ این مجموعه داده‌های لایدار شامل نقاط سه‌بعدی دقیقی از سطح زمین، پوشش گیاهی یا سازه‌ها هستند که معمولاً به‌صورت ابر نقاط ذخیره می‌شوند.

هر نقطه در این داده‌ها، مختصات X ، Y و Z دارد و اغلب به همراه ویژگی‌هایی مانند شدت بازتاب (intensity)، زمان پرواز و طبقه‌بندی نوع عارضه (مثل زمین، پوشش گیاهی، ساختمان و غیره) به آن اضافه می‌شود. برداشت این داده‌ها معمولاً با استفاده از لایدار هوابرد (مثلاً نصب‌شده روی پهپاد، هواپیمای بالگرد) یا لایدار زمینی (ایستا یا موبایل) انجام می‌شود.

پس از برداشت، این داده‌ها می‌توانند برای تولید مدل‌های ارتفاعی زمین (DEM)، مدل سطحی (DSM)، استخراج ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند ارتفاع درختان، حجم‌سنجی، مدل‌سازی سه‌بعدی شهری و بسیاری کاربردهای دیگر در حوزه‌هایی مانند جنگل‌داری، مهندسی عمران، مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری به‌کار روند.

به عنوان مثال، مجموعه داده‌های LiDAR هوایی Dayton Annotated (DALES) شامل بیش از نیم میلیارد نقطه است که حدود ۱۰ کیلومتر مربع از سطح زمین را پوشش می‌دهد. این داده‌ها دارای برچسب برای هر نقطه هستند و هشت دسته عارضه مانند زمین، پوشش گیاهی، خطوط برق، تیر برق، ساختمان، نرده، خودرو و کامیون را شامل می‌شود.

مقایسه کاربرد فناوری LiDAR در کشورهای غربی و ایران

فناوری LiDAR طی دو دهه اخیر به یکی از ابزارهای پیشرفته و پرکاربرد در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی و محیط‌زیست تبدیل شده است. کشورهای غربی با بهره‌گیری از ظرفیت‌های گسترده تحقیقاتی، زیرساخت‌های فناورانه پیشرفته و سرمایه‌گذاری مستمر، توانسته‌اند این فناوری را در طیف وسیعی از حوزه‌ها همچون خودروهای خودران، کشاورزی دقیق، مدیریت منابع طبیعی، مطالعات زیست‌محیطی، نقشه‌برداری شهری، باستان‌شناسی، هواشناسی و حتی امنیت و امور نظامی به‌کار گیرند. استفاده از لایدار در این کشورها به مرحله‌ای رسیده است که بخشی جدایی‌ناپذیر از سامانه‌های تصمیم‌گیری و پایش هوشمند به شمار می‌آید.



در مقابل، استفاده از لیدار در ایران هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد و بیشتر محدود به پروژه‌های تحقیقاتی دانشگاهی، پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی یا برخی فعالیت‌های محدود در زمینه نقشه‌برداری و مدلسازی سه‌بعدی است. با وجود آنکه برخی سازمان‌های دولتی مانند سازمان نقشه‌برداری کشور، پژوهشگاه میراث فرهنگی و شهرداری‌ها به تدریج در حال بهره‌گیری از این فناوری هستند، اما کاربرد آن در زمینه‌هایی همچون کشاورزی هوشمند، وسایل نقلیه خودران، پایش جنگل و محیط‌زیست یا تشخیص مخاطرات طبیعی همچنان بسیار محدود و پراکنده است.

بنابراین، می‌توان گفت که فناوری LiDAR در ایران، با وجود ظرفیت‌های بالقوه، هنوز آن‌چنان که باید مورد توجه و بهره‌برداری قرار نگرفته است و در این زمینه فاصله محسوسی با کشورهای پیشرفته وجود دارد. این امر می‌تواند ناشی از عواملی همچون محدودیت‌های مالی، کمبود تجهیزات، تحریم‌های بین‌المللی و نبود سیاست‌گذاری کلان در حوزه فناوری‌های نوین باشد.

پی‌نوشت

1. Inertial Measurement Unit
به معنی «واحد اندازه‌گیری اینرسی» است؛ دستگاهی است که حرکت و موقعیت یک جسم را اندازه‌گیری می‌کند. این واحد معمولاً شامل شتاب‌سنج، ژيروسکوپ و گاهی مغناطیس‌سنج است.
2. Global Navigation Satellite System
به معنی «سامانه موقعیت‌یاب جهانی ماهواره‌ای» است. GNSS به مجموعه‌ای از ماهواره‌ها، ایستگاه‌های زمینی و گیرنده‌ها گفته می‌شود که با کمک یکدیگر، موقعیت مکانی دقیق، سرعت و زمان را در هر نقطه از کره زمین تعیین می‌کنند.

منابع

- Mehendale, N., & Neoge, S. (2020). Review on lidar technology. Available at SSRN 3604309.
- Harrap, R., & Lato, M. (2010). An overview of LIDAR: collection to application. NGI publication, 2, 1-9.
- Varney, N., V.K. Asari, and Q. Graehling. DALES: A large-scale aerial LiDAR data set for semantic segmentation. in Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops. 2020.

جاش لوگان، جغرافی‌دان سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، پیش از طوفان «Super Soaker» در ۱۱ دسامبر ۲۰۱۴، اسکنر لیدار را در نزدیکی کاپیتولا نصب می‌کند

عکس: ©USGS





بسیار سفر باید

نقشه‌ی تابستان من

راهنمای دانشجویان برای تابستان پیش رو

ثنا دشتی

دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران



«بسیار سفر باید» بخشی است که با همراهی و مشارکت دانشجویان در نشریه منفی یک شکل گرفته و بازتابی از روایت‌های واقعی دانشجویان رشته مهندسی نقشه‌برداری است. در این شماره، همزمان با آغاز فصل جدید و نزدیک شدن به روزهای پایانی ترم، تلاش کرده‌ایم با گفت‌وگو با دانشجویان، تصویری دقیق‌تر از مسیرهای طی شده در تابستان‌های گذشته ترسیم کنیم و فرصت‌ها و محدودیت‌های این بازه ارزشمند را با یکدیگر به اشتراک بگذاریم.

سه بخش پیش رو، چکیده‌ای است از دغدغه‌های درسی، تجربه کار و کارآموزی، توصیه‌های مهارت‌آموزی و اهمیت تفریح و استراحت. پاسخ‌ها هرچند متناسب با شخصیت و شرایط شخصی افراد بیان شده‌اند، اما خطوط مشترکی نیز در آن‌ها دیده می‌شود. امید است مطالعه این متن، انگیزه‌ای برای بهره‌برداری هرچه بیشتر و بهتر از تابستان پیش‌رو باشد.



کار، کار می‌کنه!

(کار، کارآموزی و تجربه‌گرایی)

بخش عمده‌ای از دانشجویان، سابقه‌ای بین چهار سال تا چند ماه در تجربه‌ی کار و کارآموزی داشتند. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به اشتغال در پروژه‌های راه‌سازی یا کارآموزی در آزمایشگاه هیدروگرافی اشاره کرد. تجربه‌ی کارآموزی پیش از شروع کار جدی، دیدی تازه به این افراد بخشیده بود و اغلب نیز توصیه می‌کردند کارآموزی را از سال‌های نخست تحصیل آغاز کنند.



۱۴۰۰ کارشناسی

حتماً حتماً برن کارآموزی، حتی اولین تابستون.



۱۴۰۲ کارشناسی ارشد

در کل دو دوره کارآموزی رفتم؛ یکی از طرف دانشگاه و یکی داوطلبانه که کمک خوبی به آشنایی بیشتر با رشته‌ی نقشه‌برداری و مخصوصاً راه‌سازی به من کرد.



۱۳۹۸ کارشناسی

از نظر مهارتی، دو تابستان کارآموز یا مشغول به کار بودم که تجربیات جدیدی در راستای رشته‌ام به من داد.



۱۴۰۲ کارشناسی ارشد

ارائه‌ی پروژه‌ی نهایی دروس ترم زوج تا میانه‌ی تابستان طول می‌کشد و عملاً امکان برنامه‌ریزی مفصل برای تعطیلات را کاهش می‌دهد.

در کنار جنبه‌های مثبت کارآموزی، برخی دانشجویان به هم‌پوشانی زمان شروع دوره‌های کارآموزی با پروژه‌های درسی اشاره کرده بودند:



۱۴۰۲ کارشناسی ارشد

تابستان بهتر است همراه با اردوهای کارورزی از طرف دانشگاه باشد، تا دانشجویان بتوانند آموخته‌های نظری خود را با فعالیت عملی تلفیق کنند و در قالب یک کارگاه ادغام کنند تا به یک نتیجه‌ی علمی مطلوب دست پیدا کنند.

و همچنین پیشنهاداتی برای بهتر شدن فضای کارآموزی مطرح شد.



کارشناسی ۱۴۰۱

گرفتن مدرک خارج از رشته، برای مثال طراحی، برنامه‌نویسی یا کارهای کامپیوتری و... را توصیه می‌کنم.

مهارت‌های نجات‌دهنده!

(مهارت‌آموزی و یادگیری‌های مکمل)

محبوب‌ترین مهارت‌هایی که دانشجویان به یکدیگر توصیه کردند، یادگیری زبان خارجی دوم و کدنویسی (به‌ویژه متلب و پایتون) بود.



کارشناسی ۱۳۹۸

بسته به هدف‌تان در آینده، روی مهارت‌هایی که نیاز دارید تمرکز کنید و آن‌ها را یاد بگیرید (مثلاً تقویت زبان، کار با یک نرم‌افزار، برنامه‌نویسی، مهارت نوشتن، فن بیان).



کارشناسی ۱۴۰۲

یادگیری پایتون یا متلب در حد مطلوب؛ دیدن کارهایی که در رشته انجام می‌شود و فهم درآمد این کارها.



کارشناسی ۱۴۰۰

یک تابستان ایده‌آل، تابستانی است که با برنامه پیش برود و فقط به خواب اختصاص داده نشود؛ بهتر است زمینه‌هایی که ضعیف هستیم را بهبود بخشیم، مثل زبان، ورزش، درس یا تجربه شغلی.



کارشناسی ۱۴۰۰

کار کردن به صورت نیمه‌وقت در رشته خودمان و همچنین تفریح کردن.

خودت را فراموش نکن

(تفریح و استراحت؛ تعادل میان کار و زندگی)

در میان همه‌ی برنامه‌ریزی‌ها و توصیف‌های تابستان ایده‌آل، نکته مشترک، اهمیت داشتن تفریح مناسب و ایجاد تعادل میان کار و زندگی بود.



کارشناسی ۱۴۰۲

کارآموزی و تفریح را در کنار یکدیگر تجربه کنند.



کارشناسی ارشد ۱۴۰۱

یک تابستان ایده‌آل شاید با برنامه‌ریزی بیشتر برای تفریح باشد؛ برنامه‌های کوتاه‌مدت اما پُرمرغز. مثلاً شب‌ها و آخر هفته‌ها برای خودتان وقت بگذارید و حتماً تفریحتان را با عزیزانتان داشته باشید.



کارشناسی ۱۳۹۸

سفر می‌رفتم (با خانواده یا دوستان)، فیلم و سریال می‌دیدم، تهران‌گردی می‌کردم. در گروه‌های دانشجویی فعالیت می‌کردم (گروه‌های ادبی و تولید مجله علمی-دانشجویی).



کارشناسی ۱۴۰۲

یادگیری برنامه‌نویسی و ورزش کردن، در کنار دیدن سریال.



نیماکرمی
مدیر گرافیک
@onedevidedbytwo

انجمن علمی دانشکده
مهندسی نقشه‌برداری و
اطلاعات مکانی
@SAGE_UT

شاهرخ حیدری
سر دبیر
@Shahrokh_heidarij

جهت ارسال نظرات،
انتقادات و پیشنهادات
و درخواست همکاری

پی‌های
ارتباطی

منفی یک



سه خط طلا، سوادکوه

منفی ۱
ایک