



منفی ۱ -۲ یک

نشریه علمی-دانشجویی منفی یک



دانشکده مهندسی نقشه برداری و
اطلاعات مکانی - دانشگاه تهران

فروردین ۱۴۰۴ | شماره پنجم

مصاحبه‌ی اختصاصی منفی یک با
پروفسور ونیچک

از میرزاخانی
تا ریمان

و مرور این مسیر از
دیدگاه نقشه‌برداری

هوش

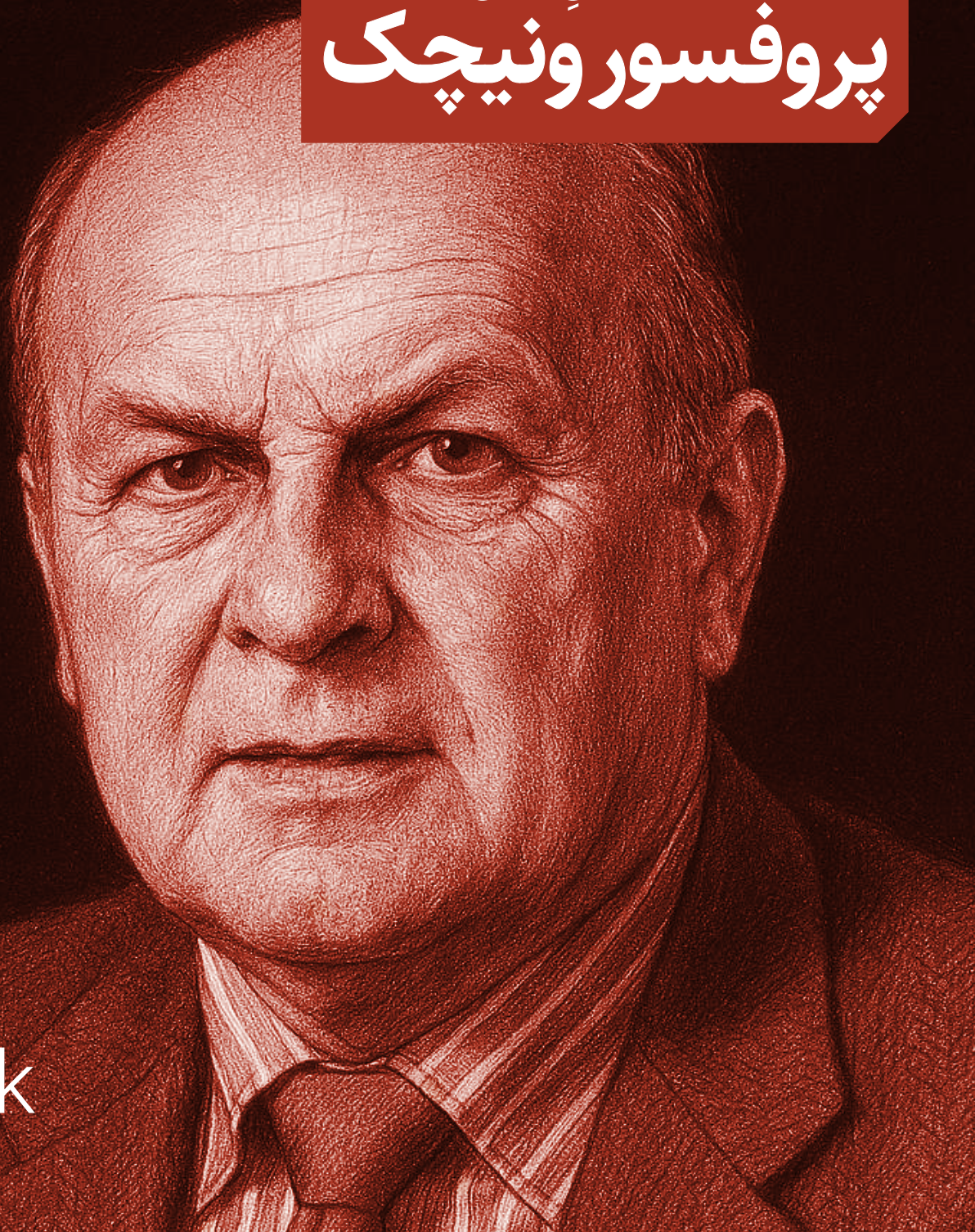
مصنوعی و
ژئوماتیک:

چگونه از اینجا و اکنون،
به سوی فردا برویم

؛InSAR

انقلابی در
دنیای ژئودزی
که بهتر است
بشناسیم

Petr
Vaníček



آشنایی با ما

سر دبیر:
شاهرخ حیدری

مدیر مسئول:
علیرضا نوایی

مدیر گرافیک:
نیما کرمی

هیئت تحریریه:

شاهرخ حیدری دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران

ایران زارع دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه کبک در مونترآل (UQAM)

علیرضا عطوفی دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران

صدرا سیوانی دانشجوی کارشناسی ارشد Geoscience and Environmental Studies، دانشگاه آلاباما (UA)

محمد سلمانی دانشجوی دکتری علوم زمین، دانشگاه ایالتی نیویورک در بافلو (UB)

روابط عمومی :

علیرضا نوایی دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

ویراستاران:

شاهرخ حیدری

ایران زارع

طراحی جلد و صفحه آرایی:

نیما کرمی دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه تهران

نشانی:

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

فهرست

۲۸ گذشته؛

از ریمان تا میرزاخانی

هندسه‌ای فراتر از خطوط
صاف

۱۴ یادداشت؛

کجای جهان
ایستاده‌ایم؟

نقشه‌ای نو از آینده‌ای که
دیگر منتظر مانمی‌ماند

۲۲ مصاحبه؛

واکاوی ژرفای زمین
با ذهنی از جنس
ریاضیات

گفت‌وگویی با چهره‌ی
ماندگار ژئودزی، پتر و نیچک

۰۲ سرمقاله؛

در ستایش
ادامه دادن

۰۴ نمای نزدیک؛
InSAR؛ انقلابی در
دنیای ژئودزی که بهتر
است بشناسیم



دیر ستایش ادامه دادن

همواره هدف اصلی و به نوعی رسالت این نشریه، تشویق و کمک به دانشجویان در طی کردن مسیر فراگیری علم، کسب تجربه و تبدیل شدن به یک فرد مفید و موفق در دانشگاه یا صنعت بوده است. هربار که دست به قلم برده‌ایم، امید داشته‌ایم که بتوانیم در مسیر دانشجوی خسته، امید و در چشم‌انداز دانشجوی سردرگم، چراغی باشیم. اما دیگر دست ما هم دیر به قلم می‌رود و دل‌مان نیز به هر تپش سخت به تقلا می‌افتد. بسیار سخت است با کسانی که هر روزه در تقلای مدام برای بقا هستند، کسانی که تنها به امید بدیهیات زیستن می‌جنگند، از خواندن، یادگرفتن و هرچیزی در این باب سخن گفت، پرواضح است که احتمالا هیچکدام این‌ها در فهرست اولویت‌های هیچکدام‌مان قرار نمی‌گیرند. حداقل در این روزهای سیاه. اما زندگی بارزشت‌ترین دارایی هرکدام‌مان است و لحظه‌ای زیست نیز مشروط به ادامه دادن. از شعار و حرف‌های ثقیل که بگذریم، هیچ چاره‌ای به جز پیش‌رفتن و دست‌نکشیدن از امید پیش روی‌مان نیست. پس چه نیکوتر که به توجیه پیمودن شیب بلند زیستن، قلب‌های فسرده‌مان را به تکاپو انداخته و از قفس سرد زمستان برهانیم. پس پنجمین شماره از نشریه علمی-دانشجویی منفی یک با افتخار تقدیم می‌شود به تمام کسانی که علی‌رغم تمام معصیت‌های این مسیر، همچنان ادامه می‌دهند.

امید است در خیابان‌ها، کلاس‌ها، پژوهشگاه‌ها و هر هوای تازه‌ای که قدم می‌گذارید، به یاد داشته باشید که بسیاری از ما این فرصت‌ها را مدیون کسانی هستیم که در همین کلاس‌ها و راهروها و خیابان‌ها از رفاه، آزادی و حتی جان خود گذشته‌اند. به فرصت زیستن و آموختن که تلاش بی‌وقفه خود و فداکاری هم‌کیشان خود بدست آورده‌ایم به دیدی بلندتر بنگریم و آنرا کوچک نشماریم.

حال در این شماره، اتفاقی بسیار برجسته و مهم رخ داده است و آن نیز انجام مصاحبه‌ای به یادماندنی با استاد بزرگ علم ژئودزی جهان، جناب پروفیسور ونیچک می‌باشد که به نوعی اولین مصاحبه ایشان با یک رسانه فارسی زبان به شمار می‌رود. این رویداد به این لحاظ برای تمام اعضای نشریه از اهمیتی دوچندان برخوردار است که جناب ونیچک خود الگوی بسیاری از اساتید برجسته دانشگاه ما به شمار رفته و بارها و بارها نام ایشان را بعنوان شخصیتی مثال‌زدنی در کلاس‌های درس خود شنیده‌ایم و مطمئناً می‌توان ایشان را از برجسته‌ترین شخصیت‌های علمی این رشته تلقی نمود.

در این شماره نیز سعی شده است گذری به برخی از موضوعات مطرح در دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های معتبر جهان داشته و سعی شود تا دانشجویان بیش از پیش با ظرفیت‌های فوق‌العاده این رشته آشنا شوند. بی‌شک همه ما می‌دانیم که فاصله بسیار زیادی از لبه‌های علم داشته و راهی بسیار پر پیچ و خم برای جبران این فاصله‌ها پیش روی ما قرار دارد. شایان ذکر است، هدف اصلی چنین پرداختی در مطالب این نشریه، سوق دادن مسیر دانشجویان به یادگیری از پیشگامان علم و رساندن کشور عزیزمان به قله‌های علمی و صنعتی جهان می‌باشد.

با توجه به همزمانی انتشار این شماره از نشریه با عید پرشکوه و باستانی نوروز، برای تمام مردم این سرزمین، سالی عاری از هرگونه بلا، اندوه و حسرت آرزومندیم و امید است در سایه حق تعالی و در وفور سلامت، امنیت و آرامش زندگی پر برکتی در انتظار همه هموطنانمان باشد.

نوروزتان پیروز!

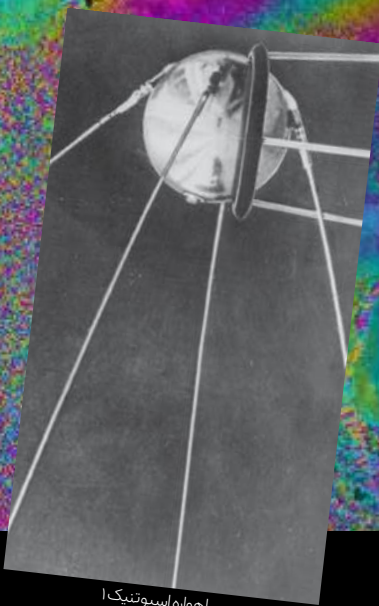
شاهرخ حیدری

سر دبیر نشریه علمی-دانشجویی «منفی یک»
ورودی ۱۴۰۳ کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده
مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران

InSAR؛ انقلابی در دنیای ژئودزی که بهتر است بشناسیم

شاهرخ حیدری

ورودی ۱۴۰۳ کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده
مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران

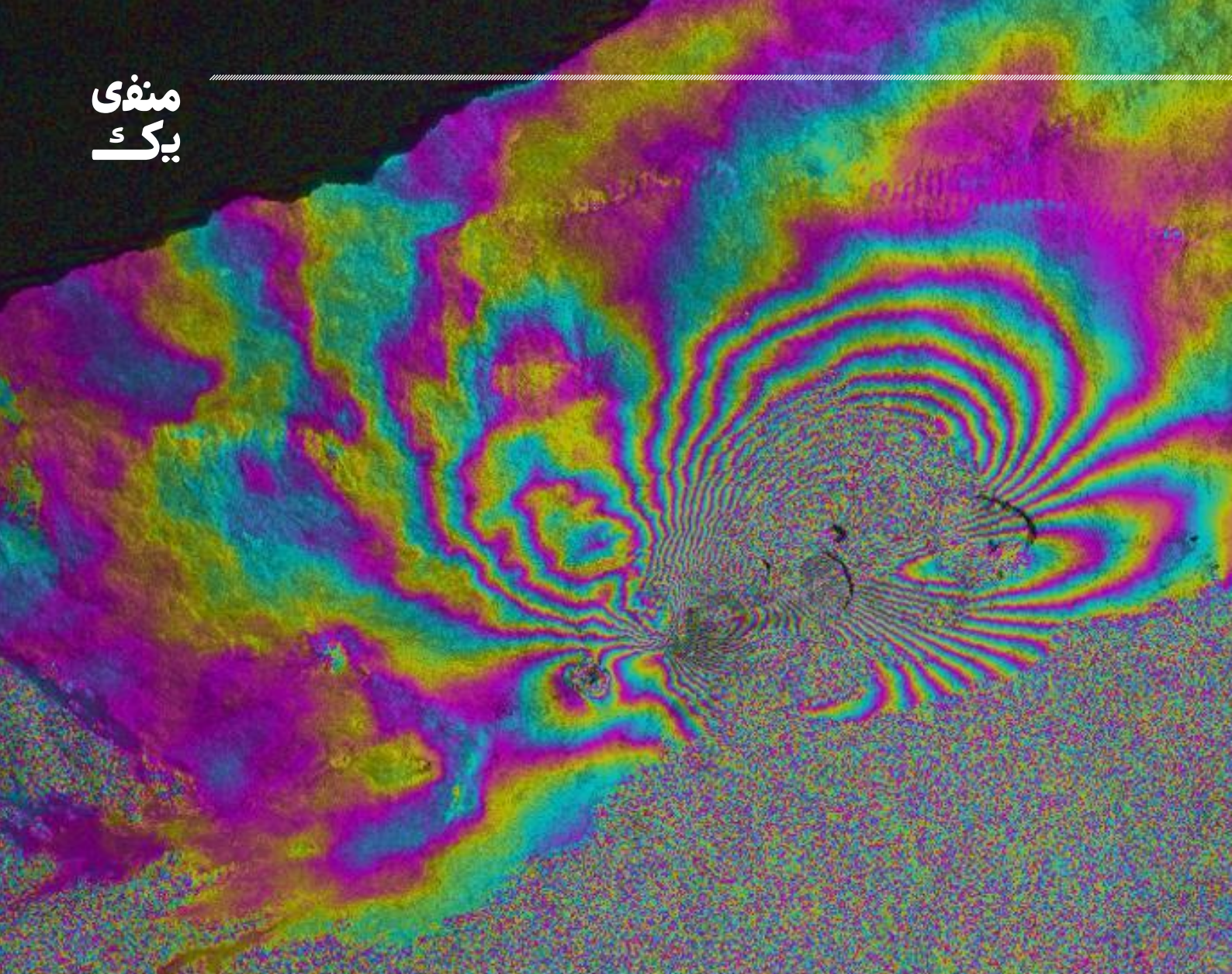


نگاهی به آنچه تا به اینجا پیموده‌ایم

می‌توان چنین بیان نمود که ظهور علم ژئودزی مصادف است با اولین پرسش‌های ذهن بشری در باب شکل و شمایل محل زیست‌اش، که یحتمل از خانه و اراضی پیرامون او آغاز شده و بعداً به زمین و حتی آسمان نیز رسیده است. خوشبختانه بشر از دیرباز تا کنون در پی حل این پرسش اساسی بوده است. از اندازه‌گیری با طناب و شاقول گرفته تا ظهور تئودولیت که احتمالاً آن زمان به عنوان انقلابی شگرف به شمار می‌رفت تا محاسبه فواصلی به حدی دور که بسیاری حتی فرصت طی چنین مسیری را در عمر خود پیدا نمی‌کردند، بیانگر سیر صعودی سرسام‌آور پیشرفت در این علم می‌باشد. پیشرفتی که نه منفعت بلکه التزام بوده، چرا که زمین پویا، پیچیده و ناشناخته است و ذهن بشر پرتکاپو!

تمام روند پیشرفتی که پیش‌تر به آن اشاره گردید، علی‌رغم قابل توجه بودن آن در مقیاس تاریخی خود، حتی ذره‌ای نشان دهنده شتاب واقعی نوآوری‌ها و فناوری‌های رخ داده در این عرصه نمی‌باشد. تصور نمایید جهش بشر از طناب و شاقول به تئودولیت و مثلث‌بندی حاصل چندین قرن تلاش و تفکر بوده و جهش بلند آن از ترازیاها و تئودولیت‌ها به چگالی حیرت‌آور ماهواره‌های ساخته دست بشر در مدار زمین و حتی صف طویل این سازه‌ها در مسیر آسمان شلوغ این کره آبی، همه در کمتر از یک قرن اتفاق افتاده است. دهه 50 تا 70 میلادی را می‌توان به عنوان عصر ژئودزی فضایی نامید که دولت شوروی با پرتاب ماهواره اسپوتنیک ۱ (Sputnik_1) به مدار زمین آغازگر انقلابی عظیم در دنیای نقشه‌برداری جهان شد و پس از طی دو دهه، جهان شاهد ظهور تکنولوژی‌هایی نظیر VLBI، SLR و GPS بود. تغییراتی که بشر را به لحاظ توان و دسترسی به ابزارهای مختلف جهت موقعیت‌یابی، مسیریابی، تهیه نقشه و پایش زمین بسیار ثروتمند نمود.

یقیناً پیشرفت روزافزون هر کدام از این فناوری‌ها و گسترش آن‌ها کاملاً مشهود است اما پرداختن به هر کدام، خود حوصله بسیار می‌طلبد و از توان این مطلب خارج است. مقصود اصلی ما در این عنوان ارائه پیش‌زمینه‌ای مختصر، جهت آشنایی با یکی از فناوری‌های نوظهور و بسیار کاربردی در علم ژئودزی و پایش زمین به نام تداخل‌سنجی راداری یا InSAR می‌باشد



معرفی مختصر و کلی InSAR

به لحاظ تاریخی، اولین خودنمایی InSAR به سال ۱۹۹۲ میلادی و زمین لرزه بزرگ Landers در ایالت کالیفرنیا برمی گردد که دانشمندان توانستند با استفاده از داده‌های ماهواره ERS-1، جابجایی سطح زمین را برآورد نمایند. این فناوری به صورت کلی یک تکنیک در حوزه سنجش از دور تلقی می‌شود که بطور فوق‌العاده‌ای امکان اندازه‌گیری تغییرات شکل سطح زمین را با دقتی بسیار بالا برای دانشمندان فراهم می‌آورد. این مسئله در کنار مزایای قابل توجهی که به همراه دارد، به ما در شناخت بیشتر و درک بهتر وضعیت زمین بعنوان خانه خود و تغییرات طبیعی و انسانی آن کمک می‌نماید.

ظهور InSAR از ابتدا صورتی انقلاب‌گونه داشت و با اختصاص دادن جلد اصلی مجله بسیار معتبر Nature به خود، نوید یک فناوری نوین، مبتکرانه و تاثیرگذار را می‌داد. اما علی‌رغم سرعت بالای پیشرفت علم و فناوری در تمام سال‌های اخیر، همچنان تصور پیشرفتی چنین عظیم برای یک فناوری در حوزه علوم زمین و ژئودزی برای هرکسی دشوار می‌نمود. اما امروزه و با شیب تند پیشرفت فناوری‌های ماهواره‌ای و همچنین بهبود کیفیت و کمیت داده‌های راداری، InSAR به قطبی بسیار مهم و حیاتی در پایش و اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین شده است. بطوریکه این فناوری به یکی از ارکان اصلی مانیتورینگ پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، آتشفشان و فرونشست بدل شده است.

همانطور که بیان گردید، پیشرفت چشم‌گیر فناوری‌های ماهواره‌ای و آینده درخشان آن‌ها باعث شده است که چشم‌انداز بسیار خوشبینانه‌ای در رابطه با افزایش داده‌ها و در نتیجه بهبود بی‌سابقه دقت اندازه‌گیری‌های InSAR در جهان ایجاد شود. این مسئله در کنار افزایش خطرات ناشی از حرکات سطح زمین و تغییرات شکل آن مانند فرونشست در مناطق شهری، آسیب به زیرساخت‌ها و بلایای طبیعی مانند زلزله در شهرهای پرجمعیت و بزرگ، ما را به شناخت بهتر این فناوری و بررسی آن ملزم نماید.

در ادامه این مطلب، به معرفی ساز و کار فناوری InSAR در اندازه‌گیری جابجایی، چگونگی اخذ و پردازش داده‌ها، توضیح کاربردهای آن بصورت جزئی‌تر، مزایا، چالش‌ها و محدودیت‌های آن و در نهایت چشم‌انداز این فناوری در آینده پرداخته خواهد شد.

فیزیک و ساختار InSAR در یک نگاه

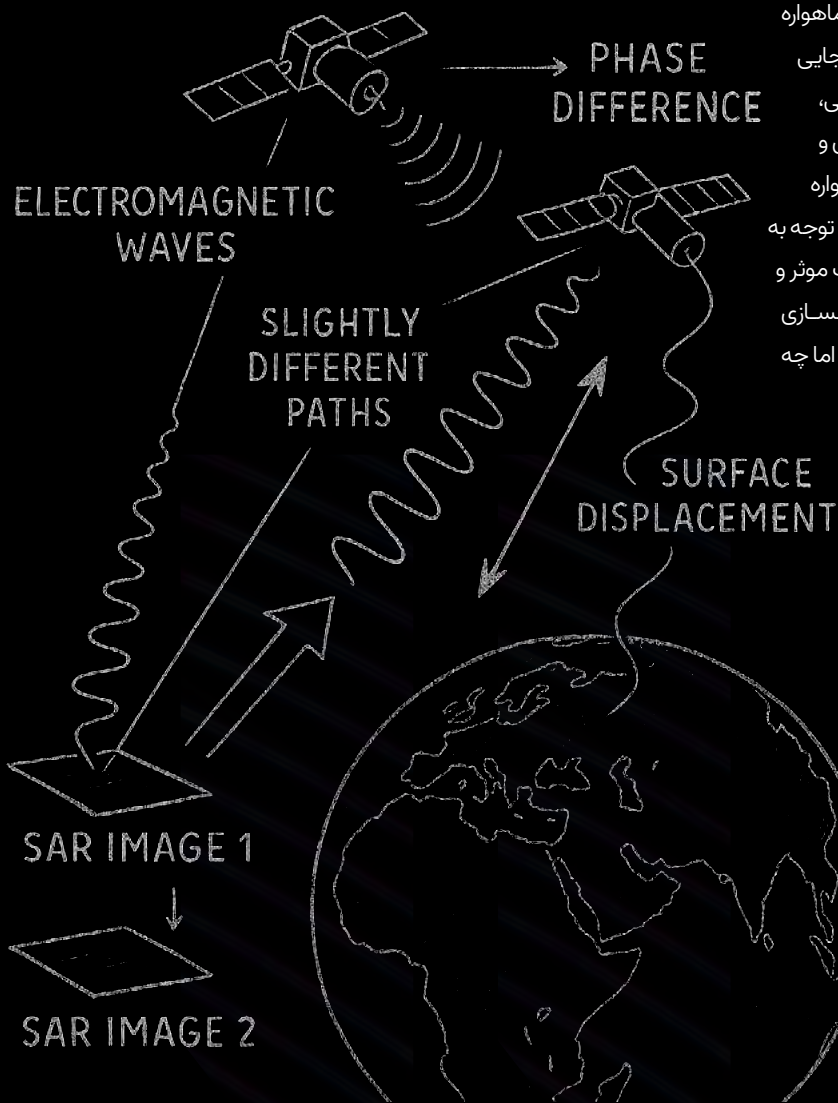
بهتر است با اولین فرض شروع کرده و به قرارگیری دقیق ماهواره در مداری مشابه با زمان قبلی تصویر برداری از نقطه مورد نظر بپردازیم. در واقعیت معمولاً ماهواره در زمان در مداری با فاصله از مدار زمان قرار می‌گیرد و این مسئله بطور واضحی بر فاصله ماهواره از سوژه موثر خواهد بود. البته به دلیل در اختیار داشتن موقعیت ماهواره در هر لحظه، می‌توان این تفاوت را برآورد نموده و بر محاسبات اعمال نمود. این اما این مسئله همچنان بصورت یک خطای سیستماتیک در برآورد جابجایی تاثیرگذار خواهد بود.

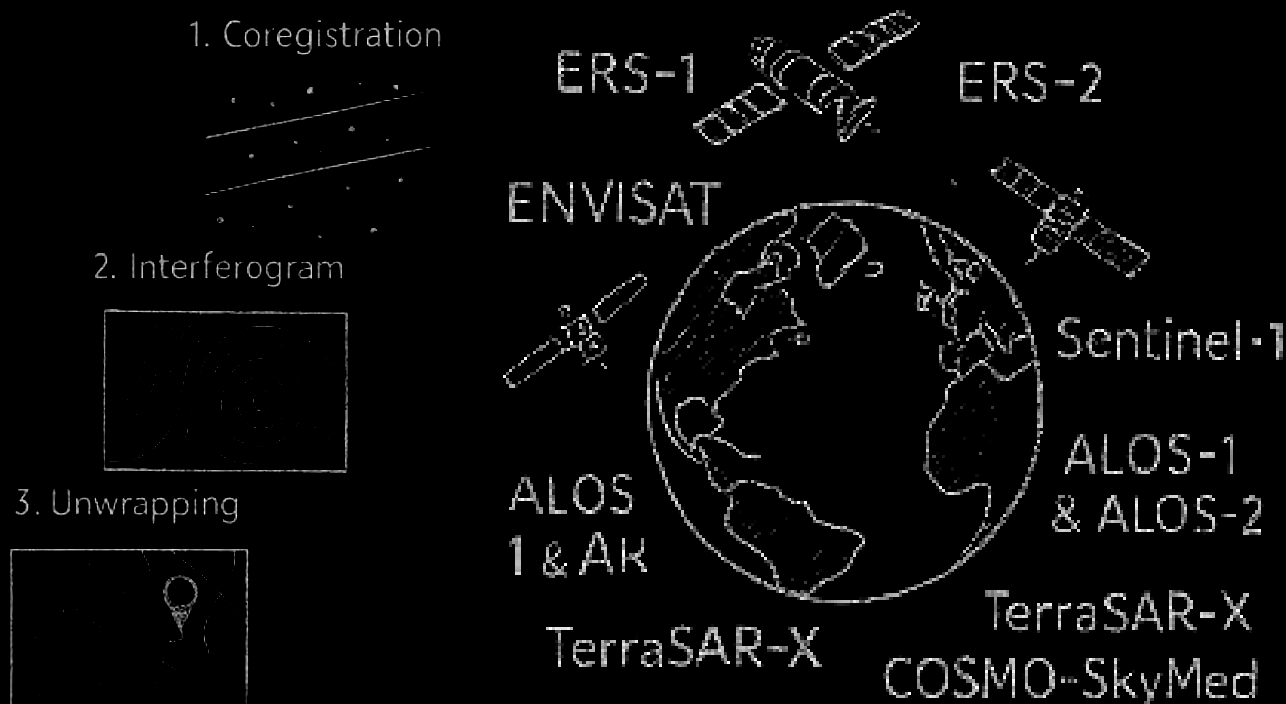
دسته دیگری از خطاها نیز وجود داشته که برخلاف خطای مدار ماهواره، ماهیتی کاملاً تصادفی داشته و قابل مدلسازی نمی‌باشند. پوشش سطح زمین، خطاهای سخت‌افزاری ماهواره و گیرنده و تغییرات جوی از این قبیل خطاها بوده و در صورتی که هرکدام از این موارد در فاصله زمانی دو تصویربرداری متوالی تغییرات زیادی داشته باشند، دقت تصاویر تداخل سنج بسیار کاهش یافته و در مواقعی کاملاً غیر قابل استناد می‌شوند. پس باید حتی‌الامکان تصاویر راداری به گونه‌ای اخذ شوند که خطاهای ناشی از تغییرات موارد مذکور به حداقل برسند.

پایه و اساس سیستم SAR یا همان رادار با دریچه مصنوعی، تخمین فاصله با استفاده از فاز امواج الکترومغناطیس می‌باشد. این سیستم دارای یک آنتن متحرک بوده که هزاران پالس رادیویی را با سرعتی بسیار بالا در هر ثانیه به سمت زمین ارسال کرده و پژواک آن‌ها را دریافت می‌نماید. میزان انرژی بازگشتی هر پالس و همچنین مدت زمان ارسال و دریافت آن به عوامل متعددی از جمله فاصله آنتن و سوژه وابسته می‌باشد و این مسئله به ما امکان برآورد فاصله ماهواره از سوژه را در هر بار انجام مشاهده خواهد داد همانطور که گفته شد، سیستم SAR با استفاده از فاز امواج دریافتی، فاصله خود با سوژه را در زمان تخمین می‌زند. حال در صورتی که ماهواره در زمان بر فراز سوژه قبلی عبور کرده و مجدداً با استفاده از فاز امواج الکترومغناطیس دریافتی، فاصله خود را با سوژه برآورد نماید، می‌توان با فرض قرارگیری ماهواره در موقعیت قبلی و شرایط جوی یکسان یا متعادل، جابجایی سوژه بین زمان را با استفاده از اختلاف فاز امواج برگشتی در این دو زمان اندازه‌گیری نمود. به محاسبه اختلاف فاز ثبت شده برای هر نقطه در دو تصویر SAR و محاسبه جابجایی آن در فاصله زمانی بین اخذ تصاویر مذکور، تداخل‌سنجی یا Interferometry گفته می‌شود.

تمام فرایند گفته شده به سادگی نیز انجام‌پذیر نخواهد بود. تمام امواج ارسالی از ماهواره به زمین و بازگشت آن‌ها به سنسورهای ماهواره تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرند. درواقع علاوه بر جابجایی سطحی یک نقطه بر روی زمین، شرایط جوی، پوشش سطحی، همبستگی زمانی در ایجاد تصاویر راداری متوالی، توپوگرافی زمین و حتی نویزهای سخت‌افزاری می‌توانند بر فاز موج برگشتی به ماهواره اثر گذاشته و محاسبه دقیق فاصله را دشوار نمایند. حال و با توجه به این مسئله، استفاده از تکنیک InSAR تنها زمانی یک تکنیک موثر و دقیق به منظور برآورد جابجایی هر نقطه می‌باشد که امکان مدلسازی یا حذف تاثیر هر کدام از موارد گفته شده وجود داشته باشد. اما چه عواملی بر دقت و صحت اندازه‌گیری‌های InSAR تاثیر گذار هستند؟

بی‌شک هرگونه اندازه‌گیری دارای خطا بوده و ما همواره از محاسبه قطعی هر کمیت مورد اندازه‌گیری عاجز خواهیم بود. اما چگونه می‌توان جابجایی سطحی هر نقطه بر روی زمین را توسط ماهواره‌هایی بسیار دورتر از آن با دقتی در حد میلی‌متر برآورد نمود؟ چه عواملی بر دقت این برآورد اثر گذاشته و ایجاد خطا می‌نمایند؟





داده‌های InSAR؛ اخذ و پردازش

پس از موفقیت چشم‌گیر InSAR در پایش جابجایی‌های سطحی، تلاش زیادی در راستای گردآوری داده‌های بهتر و بیشتر در این زمینه انجام شد که نتیجه آن طرح، برنامه‌ریزی و انجام مأموریت‌های فضایی متعدد به این منظور بوده است. همانطور که گفته شد، اولین داده‌هایی از این قبیل که بصورت عملی مورد استفاده قرار گرفتند مربوط به ماهواره ERS-1 بود. بعدها ماهواره‌های ERS-2 و ENVISAT توانستند پوشش جهانی بهتری را برای پایش تغییرات فراهم آورد. در سال 2014 اولین مأموریت اختصاصی پایش جابجایی سطح زمین توسط InSAR انجام شده و ماهواره Sentinel-1 به مدار زمین پرتاب شد. این ماهواره با ارائه تصویربرداری منظم در فواصل زمانی 12 روزه، نقش حیاتی در استخراج داده‌ها و پایش زمین ایفا می‌نماید. علاوه بر مأموریت Sentinel-1، ماهواره‌های ALOS-1 و ALOS-2 نیز با طول موج L به جمع‌آوری داده‌های SAR مشغول هستند که به دلیل ماهیت این طول موج، عملکرد خوبی در پایش جابجایی در مقیاس قاره‌ای دارند. همچنین ماهواره‌های TerraSAR-X و COSMO-SkyMed نیز با استفاده از باند X دارای دقت تصویربرداری بالاتری بوده و البته در مقیاسی محدودتر به جمع‌آوری داده می‌پردازند.

باید توجه داشت که هر کدام از ماهواره‌ها و باندهایی که در آن‌ها فعالیت می‌کنند، دارای مزیت‌های منحصر به فردی بوده و از جایی که کارایی InSAR مستلزم شرایط خاصی می‌باشد، شرط تکامل و کارایی آن در اخذ انبوه و متنوع داده‌ها و پردازش بهینه آن‌ها می‌باشد. بطور مثال باند L در مناطق تحت پوشش گیاه عملکرد بهتری نسبت به باند C داشته اما به دلیل فرکانس پایین‌تر، بیشتر تحت تأثیر تاخیرهای یونسفری قرار می‌گیرد. از طرفی باند X دارای وضوح بالاتری می‌باشد اما پوشش محدودتری را ارائه می‌دهد. پس بسته به نوع فعالیت، هدف آن و شرایط منطقه می‌توان از داده‌های مختلفی در تولید تصاویر راداری استفاده نمود.

اما از اخذ داده‌ها که عبور نمائیم، نوبت به بررسی چگونگی پردازش آن‌ها می‌رسد. اولین مرحله در پردازش داده‌های InSAR، هم‌تراز سازی دو یا چند تصویر SAR با استفاده از اطلاعات جانبی می‌باشد که به این مرحله Coregistration گفته می‌شود. همانطور که پیش‌تر گفته شد، تصاویر SAR با استفاده از فاز موج برگشتی از سطح زمین ساخته می‌شوند. حال در صورتی که فازهای دو یا چند تصویر راداری را از هم کم کرده و اختلاف آن‌ها را بسنجیم، یک اینترفروگرام (Interferogram) تشکیل می‌شود که بیانگر اختلاف فاز در هر نقطه بین دو تصویر می‌باشد. در مرحله بعدی اینترفروگرام‌های ساخته شده بازگشایی فاز شده و به بیانی Unwrapping بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد که این مسئله باعث نرم‌تر شدن و اصلاح تغییرات فاز بر روی آن‌ها می‌شود. سپس داده‌های پردازش شده طی فرایند Geocoding به مختصات دقیق جغرافیایی تبدیل شده و آماده محاسبه تغییرات فاصله هر نقطه از ماهواره و پایش جابجایی این نقاط می‌شوند.

نگاهی به کاربردهای InSAR و عرصه‌های نقش‌آفرینی آن

بطور کلی می‌توان تداخل سنجی راداری را ابزار اصلی دانشمندان برای پایش جابجایی هر نقطه بر روی زمین و به طبع تمام پیامدهای آن در هر زمینه دانست. با توجه به این تعریف و وابستگی بسیار زیاد عناصر طبیعی، صنایع، زیرساخت‌های شهری و حتی زندگی افراد بصورت مستقیم یا غیر مستقیم به پایش این پدیده، InSAR طیف وسیعی از کاربردها را در بر می‌گیرد. در ادامه به بررسی جزئی‌تر این فناوری از پایش حرکات تکتونیکی مثل زلزله گرفته تا پایش ذخایر و منابع زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

تکتونیک؛ زلزله‌ها و آتشفشان‌ها:

همه می‌دانیم که کره زمین همواره در حال تغییر شکل بوده و به دلیل حرکات تکتونیکی، پدیده‌های زمین‌شناسی متعددی مانند زمین‌لرزه‌ها و آتشفشان‌ها در نتیجه این پویایی رخ داده یا شکل می‌گیرند. واضح است که مطالعه هر کدام از این پدیده‌ها کمک شایانی در شناخت بهتر کره زمین و البته پدیده‌های طبیعی مختلف آن به ما خواهد نمود. خوشبختانه InSAR با دقت فوق‌العاده‌ای ما را در این مسیر همراهی می‌کند. پایش جابجایی سطح زمین در فازهای هم‌لرزه‌ای و بین‌لرزه‌ای توسط InSAR به ما اجازه می‌دهد با دقت بسیار بالایی به مطالعه موقعیت، فیزیک و حرکات گسل‌ها پرداخته و توان ما در مدیریت بحران را به شدت افزایش می‌دهد. این مطالعات با ارائه داده‌های دقیق جابجایی سطحی زمین، باعث برآورد اطلاعات دقیق مربوط به عمق گسل، طول، الگوهای لغزش و همچنین ویژگی‌های اصطکاکی آن می‌شود. مجموع این اطلاعات می‌تواند نقش کلیدی در کاهش خطر زلزله و همچنین پیش‌بینی آن ایفا نماید.

به دلیل پیچیدگی بسیار زیاد گسل‌ها و زلزله‌ها، وجود یک فناوری کارآمد در بررسی آن‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. از نمونه‌های نقش‌آفرینی InSAR در این زمینه می‌توان به زلزله بم در ایران، Landers در ایالات متحده، زلزله سال 2016 Kaikoura نیوزیلند و گسل آنا‌تولیای شمالی در ترکیه اشاره نمود که داده‌های بدست آمده از تداخل‌سنج‌ها نقش کلیدی در درک آن‌ها ایفا کرده‌اند.

مشابه با زلزله‌ها، تداخل سنجی راداری با پایش جابجایی دقیق و جزئی کوه‌های آتشفشانی، تاثیر بسیاری بر مطالعات در این زمینه نیز گذاشته است. سطح کوه‌های آتشفشانی با هرگونه تغییر داخلی مثل افزایش یا کاهش سطح ماگما دچار جابجایی شده و در صورت اندازه‌گیری این جابجایی، می‌توان اطلاعات دقیقی راجع به وضعیت آتشفشان یا زمان فوران آن بدست آورد. بعنوان مثال، داده‌های InSAR توانستند با ارائه محاسبات دقیق باعث تخلیه به‌موقع بیش از 400 هزار نفر در پی افزایش ناگهانی گنبد آتشفشانی کوه مراپی در اندونزی شوند. همچنین یکی دیگر از مزیت‌های مهم پایش کوه‌های آتشفشانی توسط InSAR، دسترسی به آتشفشان‌هایی است که در مناطقی دور افتاده یا دشوار به لحاظ جمع‌آوری داده قرار دارند.



زمین لغزش‌ها، فرونشست شهری، زیرساخت‌ها و مخازن زیرزمینی:

احتمالا همه ما می‌دانیم که یکی از برجسته‌ترین مخاطرات در پروژه‌های عمرانی یا تاسیسات مهم، پایداری دامنه‌ها و مناطق تحت پوشش می‌باشد. یکی از کاربردهای مهم InSAR، شناسایی پایداری دامنه‌ها و پایش زمین‌لغزش‌های کند و جزئی می‌باشد. این فناوری به ما امکان تفکیک مناطق پایدار و ناپایدار را در مقیاس وسیع داده و نقش کلیدی در فعالیت‌های عمرانی ایفا می‌نماید. امروزه بسیاری از شهرهای بزرگ جهان و بخصوص کلان شهرهای کشور ما با پدیده فرونشست مواجه هستند که کاهش بی‌رویه سطح آب‌های زیرزمینی بعنوان دلیل اصلی آن شناخته می‌شود. دقت زمانی و مکانی بالای داده‌های SAR امکان پایش نشست‌های زمین در شهرها و حرکات ناشی از تغییر سطح آب‌های زیرزمینی را در مناطقی با وسعت زیاد فراهم می‌آورند که این مسئله به خصوص در کشورهای درگیر با خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

یکی دیگر از کاربردهای مهم InSAR، توانایی پایش پایداری سازه‌هایی از قبیل پل‌ها و سدهای بزرگ به دلیل دقت میلی‌متری خود می‌باشد. این سازه‌ها علاوه بر ارتباط مستقیم با امنیت انسان‌ها، سازه‌هایی بسیار گران قیمت نیز بوده و در صورت ایجاد آسیب می‌توانند خسارات زیادی را به همراه داشته باشند. با استفاده از بازتاب‌دهنده‌های مصنوعی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای تداخل سنجی راداری، می‌توان شبکه‌های ژئودتیکی دقیقی بر روی این سازه‌ها تشکیل داده و رفتار آن‌ها را با حساسیت بالایی ارزیابی نمود.

یکی دیگر از صنایع بسیار گران‌قیمت، ارزشمند و حساس، صنایع استخراج نفت و گاز می‌باشند که در بسیاری از کشورها حتی بعنوان ستون اصلی اقتصادی آن کشور نقش‌آفرینی می‌نمایند. مخازن اینچنینی همواره به پایش منطقه تحت شعاع خود به لحاظ تغییرات سطحی ناشی از برداشت سیالات و تغییرات فشار ناشی از استخراج یا تزریق سیالات می‌باشند. این عملیات بصورت سنتی به دلیل نیاز به صدها نقطه کنترل بسیار پرهزینه می‌باشد. اما InSAR می‌تواند از کیلومترهای دورتر و با دقتی بسیار بالا به مانیتورینگ این مخازن کمک فوق‌العاده‌ای نموده و به شدت به کاهش هزینه‌های مذکور کمک نماید.

با نگاهی به تمام کاربردهای ذکر شده می‌توان به نقش کلیدی InSAR در ژئودزی و زمین‌شناسی، علوم مهندسی، مدیریت بحران و برنامه‌ریزی شهری پی برد. این تأثیرگذاری و مفید بودن، InSAR را به یک فناوری انقلاب‌گونه بدل کرده است و قطعاً نمی‌توان به راحتی از کنار آن عبور نمود. حال بهتر است برای درک بهتر امتیازات و محدودیت‌های تداخل سنجی راداری، نگاهی جزئی‌تر به مزایای کلیدی استفاده از این داده‌ها و همچنین چالش‌های آن داشته باشیم.



چرا InSAR؟

پوشش منطقه‌ای وسیع و دقت بالا

احتمالا افزایش مقیاس اندازه‌گیری و مشاهده، از دیرباز ویژگی مشترک تمام فناوری‌های ماهواره‌ای بوده و حتی می‌توان آن را یکی از دلایل اصلی سرمایه‌گذاری بر روی این پروژه‌ها نیز دانست. در InSAR نیز این قابلیت به بهترین نحو ممکن در دسترس بوده و تداخل سنجی راداری می‌تواند مناطقی در ابعاد هزاران کیلومتر مربع را با دقت و وضوح مکانی بسیار بالا پایش نماید. این پوشش وسیع در کنار دقت بالا که می‌تواند به حد چند میلی‌متر نیز برسد و با روش‌هایی مانند ترازبانی نوری برابری نماید، از InSAR یک ابزار بسیار قدرتمند در ردیابی فعالیت‌ها و جایجایی‌های مختلف در سطح زمین ساخته است.



هزینه کم و بازدهی بالا

تصور کنید برای دسترسی به تمام داده‌هایی که امروزه برای اخذ آن‌ها از InSAR استفاده می‌شود، لازم بود از عملیات‌های میدانی و نیروی انسانی استفاده نمائیم. فارغ از غیرممکن یا بسیار سخت بودن این کار در بسیاری از مناطق، هزینه آن نیز بطور چشم‌گیری افزایش می‌یافت. خوشبختانه با در اختیار داشتن داده‌های ماهواره‌ای می‌توانیم با هزینه بسیار کمتر و بدون نیاز به نصب تجهیزات و حتی دسترسی مستقیم به مناطق مطالعه شده، به بررسی آن‌ها با دقتی بالا بپردازیم.



قابلیت عملکرد در تمامی شرایط آب‌وهوایی

حسگرهای SAR در محدوده امواج میکروویو کار می‌کنند که این مسئله باعث می‌شود تا برخلاف حسگرهای نوری تحت تاثیر پوشش ابر و نور خورشید قرار نگیرند و امکان پایش پیوسته زمین در شرایط ابری و مه‌آلود را داشته باشند. به دلیل عدم وابستگی به نور خورشید می‌توان در طول شب نیز از داده‌های InSAR استفاده نمود و این مزیت آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای هر منطقه‌ای و در هر زمانی بدل می‌نماید.



دسترسی به داده‌های تاریخی

بی‌شک یکی از مزایای مهم InSAR، توانایی بررسی تغییرات زمین و تحلیل روند این تغییرات با استفاده از داده‌های بایگانی شده SAR از اوایل دهه 90 میلادی تا امروز می‌باشد. این مزیت با گذر زمان ارزش بسیار بیشتری نیز پیدا می‌کند چرا که با افزایش داده‌های در دسترس، توان مطالعاتی ما نیز افزایش پیدا خواهد کرد.



محدودیت‌ها و چالش‌ها

فناوری InSAR نیز با وجود مزایای قابل توجه که به آن‌ها اشاره شد، دارای محدودیت‌ها و چالش‌هایی است که به طبع بر دقت، بازدهی و کارایی آن تاثیر می‌گذارند. در ادامه مهم‌ترین چالش‌های تداخل‌سنجی راداری نگاهی می‌اندازیم.

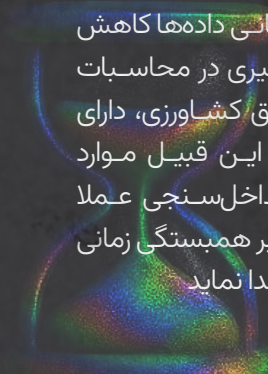
اثرات جوی یا Atmospheric Effects

تاخیرات جوی با تشکیل یک صفحه فازی و قرارگیری بر روی تصاویر SAR و داشتن الگویی بسیار شبیه به الگوی تغییرات مکانی نقاط بر روی سطح زمین، باعث کاهش دقت برآورد جابجایی شوند. سیگنال‌های تروپوسفری بزرگترین منبع نویز در داده‌های InSAR هستند و گاهی می‌توانند تاثیرات زیادی نیز بر داده‌ها اعمال کنند. البته نکته مهم این است که با ترکیب داده‌های یک سری زمانی بلند مدت از SAR، می‌توان این تاخیرات را برآورد کرده و حذف نمود



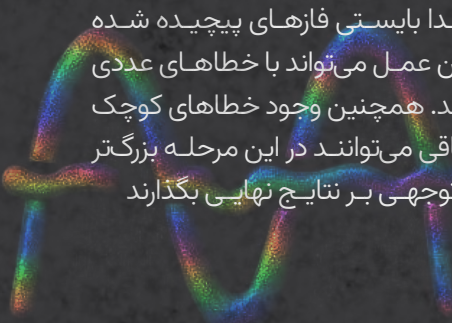
کاهش همبستگی زمانی یا Temporal Decorrelation

در مناطقی که پوشش سطح زمین در آن‌ها به سرعت تغییر می‌کند، دقت InSAR به شدت کاهش پیدا می‌کند. این مسئله به دلیل تغییرات امضای الکترومغناطیسی این مناطق و موقعیت پراکنش‌گرها در طول زمان می‌باشد. در نتیجه با تغییر میزان بازتاب امواج در هر پیکسل، همبستگی زمانی داده‌ها کاهش پیدا کرده و کاهش دقت چشم‌گیری در محاسبات تداخل‌سنجی صورت بگیرد. مناطق کشاورزی، دارای پوشش گیاهی و سطوح آبی از این قبیل موارد می‌باشند که در برخی از آن‌ها تداخل‌سنجی عملاً غیرممکن خواهد بود مگر اینکه تاثیر همبستگی زمانی با اعمال شرایط خاص کاهش پیدا نماید



خطاهای بازگشایی فاز یا Phase Unwrapping Errors

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در تداخل‌سنجی راداری این است که فاز اندازه‌گیری شده در سنسور تنها بصورت فاز پیچیده شده یا Wrapped Phase قابل مشاهده می‌باشد. برای انجام پردازش‌ها بر روی این داده‌ها ابتدا بایستی فازهای پیچیده شده بازگشای شوند و این عمل می‌تواند با خطاهای عددی مختلفی همراه باشد. همچنین وجود خطاهای کوچک سیستماتیک یا اتفاقی می‌توانند در این مرحله بزرگ‌تر شده و تاثیر قابل توجهی بر نتایج نهایی بگذارند



اعوجاج‌های هندسی یا Geometric Distortions

حسگرهای SAR در تلاش برای به حداقل رساندن ابهام‌های زمانی در زمان رسیدن پالس‌ها به سنسور، بصورت دید جانبی (Side Looking) تصویربرداری می‌کنند. اما مایل بودن زاویه تصویربرداری در این ماهواره‌ها باعث ایجاد اعوجاجات هندسی شده و در برخی مناطق باعث کاهش دقت داده‌های ارتفاعی و جابجایی زمین می‌شود



آینده و چشم انداز تداخل سنجی راداری

با توجه به همه مزیت‌ها و معایب گفته شده راجع به InSAR، جدید بودن و قابلیت‌های آن، سوال اساسی آینده این فناوری می‌باشد. ماهواره‌های جدید، داده‌های جدید و احتمالاً روش‌ها و تکنیک‌های جدید تداخل سنجی راداری چه تغییری در این فناوری ایجاد می‌نمایند؟

ماموریت‌های ماهواره‌های جدید

با توجه به برنامه‌های هیجان‌انگیز و جاه طلبانه سازمان‌های فضایی اروپا، هند و آمریکا، می‌توان آینده‌ای درخشان برای این فناوری در سال‌های آتی متصور بود. این برنامه‌ها شامل ماهواره‌هایی با پوشش گسترده‌تر، فرکانس تصویربرداری بالاتر و همچنین رزولوشن بهتر می‌شوند



افزایش دسترسی به داده‌ها

با توجه به ماموریت‌های ماهواره‌های جدید، می‌توان توقع افزایش چشم‌گیر داده‌های SAR در آینده را داشت و قطعاً این افزایش باعث پیشرفت فوق‌العاده‌ای در توانایی پایش پدیده‌های وابسته به زمان و همچنین تغییرات بلند مدت پدیده‌های زمین‌شناسی خواهد شد



روش‌های پردازش بهینه و خودکارسازی آن‌ها

همانطور که گفته شد، احتمالاً در آینده با انبوهی از داده‌های SAR مواجه خواهیم بود و طبیعتاً پردازش این حجم از داده‌ها با چالش‌های جدی روبرو خواهد بود. اما با توجه به دنیای یادگیری ماشین و پیشرفت‌های چشم‌گیر در زمینه بهینه‌سازی پردازش کلان داده‌ها (Big Data) می‌توان به افزایش ظرفیت InSAR در پردازش داده‌های جدید نیز امیدوار بود و چشم‌اندازی روشن از آینده این فناوری داشت



پایش لحظه‌ای و یکپارچگی داده‌ها

در صورت موفقیت‌آمیز بودن حتی بخشی از ماموریت‌های آینده InSAR نیز می‌توان امیدوار بود که با تکیه بر تعداد زیاد ماهواره‌های فعال در مدار و دوره زمانی کوتاه آن‌ها، بتوانیم زمین را بصورت لحظه‌ای پایش کرده و همچنین با در اختیار داشتن انبوهی از داده‌های متنوع و ادغام آن‌ها با دیگر داده‌های مرتبط، به پایگاهی عظیم از داده‌ها دست پیدا نمائیم



قطعاً پرداخت مفصل به InSAR از حوصله یک مطلب خارج است اما بنظر معرفی‌نامه ارائه شده از این فناوری نیز به حد اقناع فرد علاقه‌مند به پژوهش برای کنج‌کاو شدن راجع به این تکنولوژی کفایت خواهد کرد. بی‌شک InSAR آینده‌ای درخشان دارد و واضح است که باید تلاش کنیم در این آینده سهمیم بوده و از ظرفیت‌های آن استفاده نمائیم.

کجای جهان ایستاده‌ایم



شاهرخ حیدری

ورودی ۱۴۰۳ کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران



علیرضا عطفی

ورودی ۱۴۰۳ کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران

نقشه‌ای نو از آینده‌ای که دیگر منتظر ما نمی‌ماند

بیا بید باورهای غلط را کنار بگذاریم!

احتمالا بخش چشم‌گیری از ما با شنیدن نامی از هوش مصنوعی، بی‌درنگ به ربات‌های گفتگو یا همان Chat Bot ها می‌اندیشیم و در صدر آن‌ها نیز بی‌شک Chat GPT بعنوان پرچمدار فعلی این عرصه خودنمایی می‌کند. ربات‌هایی که درواقع ابزاری سخنگو هستند که با اطلاعاتی که از فرط تنوع و تعدد باعث می‌شوند همراه سخنور و مجازی ما بسیار باهوش بنظر برسد. اما آیا این تمام هوش مصنوعی است؟

بنظر می‌رسد که چنین نیست و این نوع نگرش، غالباً کوچک شمردن اهمیت اتفاقی است که بی‌شک بسیار فراتر و پراهمیت‌تر از ویژگی‌هایی است که به آن‌ها اشاره شد. این فناوری را می‌توان یک انقلاب بزرگ و تاریخی تلقی نمود که با ورودش به هر عرصه‌ای اعم از صنعت و علم، در حال ایجاد تغییرات بنیادین در آن است. تنها نگاهی گذرا به صنایعی که در سایه هجوم بی‌رحمانه هوش مصنوعی به جهان ساده ما دچار تحولی عظیم شده و تنوع بسیار آن‌ها، نشان از قدرت حیرت‌انگیز این فناوری داده و ما را مستلزم پرداخت جدی به آن می‌نماید.

هوش مصنوعی در سال‌های اخیر، گاه در لباس یک پزشک به تشخیص بیماری‌ها مشغول شده و گاه تیغ جراحی به دست منجی بشریت بوده است. در بانک‌ها و موسسات مالی بدل به یک حسابدار مجرب و مطمئن شده و حتی شانه به شانه هر استاد و شاگردی به آموزش و یادگیری پرداخته است. گاه زحمت رانندگی طاقت‌فرسای روزهای سخت و شلوغ را به دوش کشیده و گاه نیز با قدرت‌نمایی در رسانه‌ها صرفاً یک دوست یا همراه سرگرم‌کننده بوده است

اما فارغ از تعریف و تمجید از هوش مصنوعی و پرداختن به اینکه ظهور و حالا حضورش چه امکانات گسترده‌ای را ارائه کرده است، بایستی به این پرداخت که چه باید کرد. بی‌شک هوش مصنوعی و انسان‌ها در یک مسیر قرار گرفته‌اند و این مسیر نیز بطور پرواضحی همگرا خواهد بود. حال اما پرسش اساسی این است که در این مسیر هیجان‌انگیز، ما دقیقاً کجا ایستاده‌ایم؟

زمانی که به دید داخلی به این موضوع بنگریم، متأسفانه با چشم‌انداز امیدوار کننده‌ای روبرو نخواهیم شد. بسیاری از افراد حتی هنوز تصور درستی از چیستی و چگونگی این فناوری نداشته و فاصله بسیار زیادی نیز با استفاده بهینه از آن برای سوار شدن بر موج تسهیل مسیر پیشرفت و تسریع آن دارند. تصور بخش غالب جامعه از هوش مصنوعی محدود به امور بسیار سطحی و ساده می‌باشد که در نهایت نیز از آن بعنوان ابزاری جهت سرگرمی و تفریح استفاده می‌نمایند. این مسئله زمانی جدی‌تر می‌شود که گاه افراد متخصص نیز اشرافی بر پتانسیل استفاده درست از هوش مصنوعی و تاثیر چشم‌گیر آن بر حوزه فعالیت حرفه‌ای خود ندارند

در واقع می‌توان گفت که مشکل اصلی ما در برخورد با مقوله هوش مصنوعی، دید سطحی از ماهیت آن است که در اغلب موارد در کاربرد کلیشه‌ای از این فناوری خلاصه می‌شود. در صورتی که پرسش اصلی و اساسی هر شخص حرفه‌ای و دغدغه‌مند در این برهه و در مواجهه با این پدیده باید چگونگی بهره‌مندی از تمام مزایای آن جهت پیشبرد منافع شخصی و حرفه‌ای خود باشد. به اطراف خود که نگاه کنیم، متوجه می‌شویم که درصد خیلی از پژوهشگران، صنعت‌گران و دانشجویان رشته ما در حال یادگیری و استفاده از این فناوری در حوزه‌های کاری و تحصیلی خود هستند و این نشان از ناشناخته بودن آن در رشته ما دارد. تصور کنید چه پتانسیلی در ادغام هوش مصنوعی با ژئودزی، تعیین موقعیت ماهواره‌ای، سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات کمانی نهفته است و چه فرصت‌هایی برای پژوهش در این زمینه‌ها وجود دارد

ژئوماتیک و هوش مصنوعی؛ دقیقاً کجای مسیر ایستاده‌ایم؟

در نگاهی ریزبینانه‌تر به علم نقشه‌برداری و تمرکز بر روی نقطه آغازین این رشته که اندازه‌گیری و مشاهده می‌باشد، اصل اساسی داده‌ها با تمام پیچیدگی‌ها و تنوع حیرت‌انگیز آن‌ها پدیدار خواهند شد. کدام ابزاری را می‌شناسید که بتواند سریع‌تر، دقیق‌تر و چندجانبه‌تر از هوش مصنوعی بر تحلیل و پردازش چنین داده‌هایی چیره شود؟ دقت و خطا نیز به گمان من دو عضو جدایی‌ناپذیر از این رشته می‌باشند که هر کدام از ما احتمالاً بارها و بارها خود را در جدال با ازدیاد یکی و کاهش دیگری یافته‌ایم. اما تا چه حد به توان هوش مصنوعی در بهبود عملکرد مشاهدات و محاسبات ما در زمینه افزایش دقت و کاهش خطا واقف بوده و از آن بهره می‌بریم؟ بهتر است کمی سریع‌تر قدم برداشته و پیش‌تر فکر کنیم. چرا که این مطلب مطلقاً قصد ندارد به بررسی و معرفی پایه‌ها و اساس نقش و کاربرد هوش مصنوعی در رشته نقشه‌برداری یا هر علم دیگری بپردازد. درواقع زمان و موقعیت ما نسبت به سرعت آن، چنین اجازه‌ای نخواهد داد

شاید چند ایده مبتکرانه، نو و بسیار هیجان‌انگیز در مقیاس جهانی بتواند دید بهتری نسبت به این موضوع به ما ارائه دهد. در ادامه به معرفی هر ایده، زمینه پژوهشی جهانی و پتانسیل داخلی آن پرداخته خواهد شد

تعیین موقعیت دقیق و حتی بسیار دقیق (Precise Positioning)

سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای که GPS معروف‌ترین آن‌ها می‌باشد در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشم‌گیری را تجربه نموده‌اند. اما در نتیجه این پیشرفت‌ها، حجم و تنوع داده‌هایی که در اختیار ما قرار می‌دهند نیز بطور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده است. از طرفی همواره مسئله سرعت و زمان در تعیین موقعیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و این دو عامل در کنار یکدیگر ما را مستلزم سرعت و دقت بسیار بالایی نموده تا امکان استفاده از تمام ظرفیت‌های این سیستم‌ها را داشته باشیم. یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می‌توانند با تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها و بسیار سریع‌تر از نیروی انسانی در این زمینه بسیار کمک‌کننده بوده و تاثیر برجسته‌ای بر شاخه تعیین موقعیت ماهواره‌ای بگذارند.

ایده جهانی:

سیستم موقعیت‌یابی فوق دقیق برای کشاورزی هوشمند (Smart Farming)

امروزه در کشورهای توسعه یافته‌ای مانند ژاپن و آمریکا سرمایه‌گذاری زیادی بر روی صنعت کشاورزی انجام می‌گیرد. یکی از حوزه‌های بسیار جذاب در این زمینه نیز ارتقاء کشاورزی هوشمند می‌باشد که یکی از ارکان اصلی آن، هوشمندسازی هر سه فاز کاشت، داشت و برداشت در مزارع می‌باشد. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق به منظور موقعیت‌یابی بسیار دقیق ماشین‌آلات کشاورزی، این امکان را فراهم می‌آورد که این ماشین‌آلات بصورت خودکار فعالیت داشته و عملیات کشاورزی را بطور چشم‌گیری بهبود دهند. همچنین کنترل بهتر پهپادها به منظور پایش محصولات کشاورزی و پایش موقعیت لحظه‌ای دام‌ها نیز از مزیت‌های فوق‌العاده این فناوری می‌باشند که باعث افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و پایداری زیست محیطی در مزارع کشاورزی می‌شوند.

پتانسیل داخلی:

بر هیچکس پوشیده نیست که کشور ما به واسطه موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خود، پتانسیل بی‌نظیری در زمینه کشاورزی دارد. کشوری پهناور، دارای اراضی متنوع و آب‌وهوای چهار فصل که می‌تواند به لحاظ کشاورزی حتی در عرصه جهانی ممتاز باشد. حال تصور کنید تمام این پتانسیل در مسیر هوشمندسازی حرکت کرده و از تمام ظرفیت‌های ممکن بهره‌مند شود. یقیناً انقلابی در صنعت کشاورزی کشور و اقتصاد آن شکل خواهد گرفت.





تعیین ژئوئید (Geoid Determination)

همه ما می‌دانیم که مسئله تعیین ژئوئید از چه اهمیتی در علم ژئودزی برخوردار می‌باشد. ژئوئید بعنوان سطح مبنای بسیاری از محاسبات و مشاهدات نقشه‌برداری به نوعی تعیین‌کننده اغلب مدل‌سازی‌های زمینی بوده و همچنین محاسبه دقیق آن بر پایش آب‌های سطحی و زیر زمینی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. اما این مسئله به دلیل پیچیدگی داده‌های مشاهداتی و نیاز مبرم به مدل‌سازی‌های بسیار دقیق، همواره بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده است. اما استفاده از هوش مصنوعی و بهره‌گرفتن از قابلیت‌های مدل‌های یادگیری عمیق توانسته است حل این مسئله را بسیار دقیق‌تر و سریع‌تر صورت دهد

ایده جهانی:

مدل‌سازی ژئوئید با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و یادگیری عمیق

در اروپا و با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی نظیر GOCE و GRACE و همچنین ادغام این داده‌ها در مدل‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، پژوهشگران در حال کار بر روی تعیین دقیق‌تر ژئوئید می‌باشند. که این پروژه‌ها به پیش‌بینی تغییرات ژئوئید در طول زمان نیز دست پیدا نموده‌اند. در این پروژه‌ها از روش‌های مختلف یادگیری عمیق به منظور مدل‌سازی تغییرات زمانی داده‌های گرانشی، تغییرات ناشی از ذوب یخچال‌ها، جریان‌های اقیانوسی و آب‌های زیرزمینی، افزایش رزولوشن داده‌های ژئودتیکی و استخراج الگوهای مکانی در مشاهدات مختلف استفاده می‌شود

پتانسیل داخلی:

با توجه به بحران فرونشستی که بواسطه برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در کشور ما و همچنین تاثیر بسیار زیاد تعیین ژئوئید در پایش حجم آب‌های زیرزمینی، استفاده از هوش مصنوعی در مطالعات ژئوئید می‌تواند کاربردی حیاتی در مدیریت بحران کشور داشته باشد و به حل مسئله فرونشست کمک شایانی نماید

تحلیل‌های مکانی (Spatial Analysis):

امروزه که جهان به جهان تحلیل داده‌ها بدل شده است، داده‌های مکانی نیز به عنصری بسیار مهم در امور مدیریتی حیاتی از جمله مدیریت زیرساخت‌ها، توسعه شهری، مدیریت بحران، پایش و پایدارسازی منابع طبیعی و محیط زیستی تبدیل شده است. از طرفی به واسطه پیشرفت چشم‌گیر پلتفرم‌های ارائه دهنده داده‌های مکانی مختلف و انبوه اطلاعات در دسترس، تجزیه و تحلیل سریع و دقیق این داده‌ها و همچنین تصمیم‌گیری درست حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته به یکی از امور مهم در هر کشوری تبدیل شده است. بی شک استفاده از هوش مصنوعی به منظور تشخیص الگوهای پنهان در دل داده‌های مکانی مختلف، تجزیه آن‌ها و حتی پیش‌بینی رفتار این داده‌ها در طول زمان می‌تواند پیشرفت چشم‌گیری در تحلیل هرچه دقیق‌تر این داده‌ها ایجاد نماید

ایده جهانی:

پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده از هوش مصنوعی

در کشورهایی مثل استرالیا و هند، سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای بر روی استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی صورت می‌پذیرد. پروژه‌هایی از این قبیل، درواقع ادغام داده‌های سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات مکانی، الگوریتم‌های یادگیری عمیق، الگوریتم‌های پردازش کلان داده‌ها و شبکه‌های عصبی می‌باشد که به تحلیل، مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوهای بارشی، دما و پدیده گرمایش جهانی و شناسایی مناطق در معرض خطر بلایای طبیعی مانند آتش‌سوزی، سیل و طوفان می‌باشند

پتانسیل داخلی:

متأسفانه کشور ما در سالیان اخیر به دلیل پدیده‌های جهانی مانند گرمایش جهانی و همچنین تغییر کاربری اراضی مختلف و البته تغییرات اقلیمی شدید و گسترده، در معرض خطر جدی خشکسالی، کاهش منابع آبی و تغییرات اقلیمی قرار دارد که ادغام صحیح و بموقع در راستای استفاده از ظرفیت‌های ادغام تحلیل‌های مکانی و هوش مصنوعی می‌تواند در راه مبارزه با چنین خطراتی بسیار حیاتی و مفید واقع شود





AI

01010
01010

خودروهای خودران (Autonomous Vehicles)

پیشرفت چشمگیر خودروهای خودران در سالیان اخیر و تبدیل این خودروها به یک ترند جهانی باعث شده است که از توضیح و معرفی این صنعت به عنوان یکی از ارکان اصلی صنعت حمل و نقل در آینده‌ای نزدیک بی‌نیاز باشیم. اما این خودروها در هر لحظه با انبوهی از داده‌ها مواجه هستند که بایستی در حداقل زمان ممکن و با بیش‌ترین دقت تجزیه و تحلیل شده و به سرعت نیز اقدام به تصمیم‌گیری نمایند. از طرفی اهمیت سرعت و دقت تصمیم‌گیری این خودروها نیز پرواضح است چرا که بصورت مستقیم با سلامت انسان‌ها در ارتباط می‌باشد

ایده جهانی:

خودروهای خودران مبتنی بر تعیین موقعیت دقیق و هوش مصنوعی

در آمریکا و چین، کمپانی‌های بزرگی مانند Tesla، Baidu Apollo و Waymo، با استفاده از سیستم‌های موقعیت‌یابی فوق دقیق و الگوریتم‌های یادگیری عمیق توانسته‌اند به پیشرفت‌های چشمگیری در ساخت خودروهای خودران و بهبود کیفیت آن‌ها دست پیدا نمایند. این فناوری‌ها به خودروها امکان تعیین موقعیت دقیق و سریع، تشخیص الگوها ترافیکی و مسیریابی بهینه را در کمترین زمان ممکن ارائه می‌دهند

پتانسیل داخلی:

قطعا بحران شدید آلودگی هوا، مصرف بالای سوخت و مدیریت شهری موجود در کشور بر هیچکس پوشیده نیست. تصور کنید که بتوانیم در کشور خودمان و به منظور رفع تمام بحران‌های مذکور از این تکنولوژی‌ها استفاده نماییم. بی‌شک افزایش کیفیتی فوق‌العاده‌ای در زندگی شهری مردم در تمام کلان شهرها ایجاد خواهد شد و با بهبود حمل و نقل عمومی، مصرف بهینه سوخت و کاهش ترافیک، گامی بلند به سوی دستیابی به شهرهایی هرچه مدرن‌تر خواهیم گذاشت

چرا باید عجله کرد؟

بسیار واضح است که تمام حرف‌های گفته شده تنها چند مثال ساده بوده و حتی گوشه‌ای از دنیای هوش مصنوعی و نقش آن در علم نقشه‌برداری را نیز پوشش نخواهند داد. اما قطعاً همین توضیحات مختصر نیز برای درخواستن و هجوم بردن به سمت این تکنولوژی‌ها و فناوری‌ها کفایت می‌کنند. حقیقت این است که به یقین دنیا منتظر نمی‌ماند تا ما به آگاهی رسیده و حرکت نمائیم. کشورهای توسعه یافته جهان از خیلی پیش‌تر و با سرعتی سرسام‌آور در حال پیشرفت و حرکت بر لبه علم هستند و ما با هر لحظه غفلت، فقط فاصله خود با توسعه را افزایش خواهیم داد

وقت بیدار شدن است!

حالا می‌دانیم که هوش مصنوعی خیلی فراتر از یک ابزار قدرتمند و همه کاره بوده و می‌وان از آن بعنوان یک انقلاب یاد کرد. انقلابی عظیم که پتانسیل ایجاد تحولی عظیم در تمام علوم و صنایع و بخصوص رشته ما را دارد. اما شرط بهره‌مندی از مزایای این انقلاب، همراه شدن با آن می‌باشد. عرصه‌ای که در بر آن قدم می‌گذاریم، هنوز عرصه‌ای بکر است که هوش مصنوعی می‌تواند از دل آن ده‌ها فرصت شکوفایی بیرون کشیده و باعث تحولات بی‌نظیری شود. گام اول، به یقین تغییر دیدگاه خود نسبت به ماهیت هوش مصنوعی و نگاهی ژرف‌تر به آن است و گام بعدی دست به کار شدن و تلاش برای گرفتن سهم خود از این انقلاب خواهد بود

وقتی همه چیز باید دقیق و
حرفه‌ای باشد،

انتخاب مشخص است.

با بیش از ۲۵ سال تجربه

در زمینه تولید، فروش، اجاره، کالیبراسیون و آموزش تجهیزات نقشه‌برداری

دفتر مرکزی:

تهران، خیابان ستارخان، بین حبیب
الله و شادمهر، خیابان میکائیلی، پلاک ۳

تلفن: ۰۹۱۲۵۰۰۰۲۳۴ ۰۲۱ ۶۲۹۹۹۹۵

کارخانه:

پردیس، جاجرود، روبروی پلیس راه، پلاک ۹۵

تلفن: ۰۹۱۲۲۷۵۶۱۶۷ ۰۲۱ ۷۶۲۰۵۵۲۰

araddoorbin.com

ara-tech.ir

واکاوی ژرفای زمین با ذهنی از جنس ریاضیات

گفت‌وگویی با چهره‌ی ماندگار ژئودزی

پتر ونیچک

صدرا سیوانی

دانشجوی کارشناسی ارشد Geoscience and Environmental Studies، دانشگاه آلاباما (UA)



محمدسلمانی



دانشجوی دکتری علوم زمین، دانشگاه ایالتی نیویورک در بافلو (UB)

صدرا: به یاد دارم زمانی که در میانه مقطع تحصیلی کارشناسی خود در رشته مهندسی نقشه برداری دانشگاه تهران بودم، در یکی از کلاس‌های دکتر محمدعلی شریفی، نامی را شنیدم که همیشه به یادم ماند؛ پتر ونیچک (Peter Vanicek). در آن زمان، هنگامی که بحران ترم چهار که اکثر دانشجویان در هر رشته‌ای تجربه می‌کنند، همانند بختک بر جانم افتاده بود و درباره مسیر تحصیلی و آینده‌ام شک کرده بودم، کمی خواندن درباره‌ی پروفسور ونیچک و به دنبال آن دیگر بزرگان این رشته، اشتیاقم را برای ادامه راه تحصیلی دوباره برگرداند و مرا مصمم کرد. شاید تنها نیازی که در آن زمان داشتم، درک درستی از جایگاه این رشته در جهان بود که خواندن درباره بزرگان این رشته این درک را به من داد.

حقیقتاً آن زمان حتی نمی‌دانستم که پروفسور ونیچک از دانشمندان دوره معاصر است و حتی فکرش را هم نمی‌کردم که روزی بتوانم فرصت هم صحبتی با ایشان را داشته باشم. اما بسیار خرسندم که در تاریخ دوازدهم آپریل سال ۲۰۲۴ فرصت هم-صحبتی و مصاحبه با ایشان را داشتم؛ مصاحبه‌ای که برای اولین بار و به طور اختصاصی از نشریه منفی یک، متعلق به دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران پخش می‌شود. برای این مصاحبه از یکی از دوستانم (محمد سلمانی) نیز درخواست کردم تا به صورت آنلاین در این جلسه شرکت کند تا از این فرصت پیش آمده بیشترین بهره را ببریم. مقدمه-چینی کافیهست و بهتر است به سراغ مصاحبه برویم:



در سال ۱۹۸۰، ونیچک در دومین سمپوزیوم بین‌المللی درباره مشکلات مرتبط با بازتعریف شبکه‌های ارتفاعی ژئودتیکی آمریکای شمالی، که در اتاوا برگزار شد، سخنرانی کرد.

صدرا: بسیار خوب، از زمانی که برای انجام این مصاحبه اختصاص دادید بسیار

ممنونم. بگذارید مصاحبه را اینطور شروع کنم؛ شما یک شخصیت بسیار معروف و افتخارآمیز در جامعه علمی مهندسی نقشه برداری در سطح جهان هستید؛ و در این زمینه، ایران نیز استثنا نیست. تمام دانشجویان و اساتید در کشور من ایران، حتی برخی از دانشجویان تازهوارد و ۱۸ ساله، شما را می‌شناسند و بسیار مشتاقند درباره سفر علمی شما و مسیری که در این راه طی کرده‌اید، بشنوند. اگر ممکن است، برای ما توضیح دهید که

چه زمانی در این رشته شروع به کار کردید و چه چیزی شما را به ورود به این زمینه سوق داد؟ بهترین و بدترین لحظات این سفر برای شما چه بوده‌اند؟

پروفسور ونیچک: بسیار از لطف و توجه شما سپاسگزارم. من حدود ۶۰-۷۰ سال پیش نقشه‌بردار زمینی

بودم، حدود ۶۰ سال پیش، و از آن زمان تاکنون در زمینه ژئودزی فعالیت می‌کنم. ژئودزی، همانطور که می‌دانید، بخش علمی نقشه‌برداری است. این علم در واقع درباره زمین صحبت می‌کند و البته نقشه‌برداران زمینی افرادی هستند که بر روی زمین فعالیت می‌کنند و اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهند، بنابراین ما در این زمینه اشتراکاتی داریم. من پشت میز می‌نشینم و فکر می‌کنم، در حالی که ۷۰ سال پیش به عنوان یک نقشه‌بردار زمینی در میدان می‌دویدم و اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دادم، که البته آن زمان بسیار متفاوت از چیزی بود که شما امروزه انجام می‌دهید، زیرا شما یک گیرنده GPS یا GNSS دارید و آن را در جایی قرار می‌دهید و بلافاصله مختصات نقاط را دریافت می‌کنید، ما این امکانات را نداشتیم. ما شبکه‌ها و مجموعه‌ای از نقاط ساخته شده در سنگ‌های محکم داشتیم، و این‌ها نقاط مثلثاتی یا نقاط چندجمله‌ای بودند و ما از این نقاط برای انجام نقشه‌برداری خود استفاده می‌کردیم. این روش‌ها به نظر شما شاید مانند یک روش بسیار قدیمی و موزه‌ای به نظر برسد. این روش‌ها ارتباط کمی با فناوری‌های مدرن دارند.

من پشت میز می‌نشینم و فکر می‌کنم، در حالی که ۷۰ سال پیش به عنوان یک نقشه‌بردار زمینی در میدان می‌دویدم و اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دادم.

در حدود سال ۱۹۶۴، حدود ۶۰ سال پیش، به بخش علمی نقشه‌برداری روی آوردم و شروع به انجام ژئودزی کردم. اولین دکتری خود را در فیزیک ریاضیاتی در چکسلواکی کسب کردم و در سال ۱۹۹۴ دوباره دکتری علوم دیگری در جمهوری چک در فیزیک ریاضیاتی کسب کردم. از آن زمان تاکنون به در واقع در زمینه ژئوفیزیک یا ژئودزی فعالیت داشته‌ام. ارتباط من با نقشه‌برداری زمینی یا اطلاعات جغرافیایی، و یا هرچه که بخواهید آن را بنامید، بسیار

کمرنگ است. بنابراین، اگر از من بپرسید که درباره نقشه‌برداری زمینی یا اطلاعات جغرافیایی چه فکر می‌کنم، باید اعتراف کنم که بسیار اندک است. من البته تا حدی مسئول برخی از پیشرفت‌های فناوری بودم که به وضعیت فعلی که شما با آن مواجه هستید منجر شد. استفاده از ماهواره‌ها برای تعیین موقعیت دقیق و همچنین استفاده از ماهواره‌ها برای حل برخی از مشکلات ما در زمینه میدان گرانشی نیز به من مربوط است.

من مدت‌هاست که از دنیای نقشه‌برداری زمینی فاصله گرفته‌ام و فکر می‌کنم آخرین باری که به طور جدی درباره نقشه‌برداری زمینی و آینده آن فکر کردم و صحبت کردم، در سال ۱۹۸۴ بود، در یک نشست سالانه انجمن بین‌المللی ژئودزی، جایی که سعی کردم GPS را به همکاران اروپایی معرفی کنم. ما به GPS بسیار آشنا تر و نزدیک‌تر بودیم، زیرا این پروژه‌ای آمریکایی بود و ما با آمریکایی‌ها همکاری داشتیم، و بسیار موفقیت‌آمیز بود و حدود ۱۲۰۰۰ دستگاه فروختیم و رقیب خاصی نداشتیم. و در آن زمان، پیش‌بینی کردم که نقشه‌برداری زمینی در حفظ بقا با چالش‌هایی روبرو خواهد شد، زیرا با استفاده از GPS و تعیین موقعیت ماهواره‌ای، اگر ابزار مناسب داشته باشید، شاید ۳-۴ سانتی‌متر افقی و شاید ۲-۳ سانتی‌متر عمودی است، و این فرایند به طور خودکار انجام می‌شود.



در سال ۱۹۷۷، ونیچک سه هفته را در برزیل گذراند و در «مؤسسه مهندسی نظامی» (Instituto Militar de Engenharia) در شهر ریودوژانیرو، درباره تعیین نقاط مبنای ژئودتیکی، جزر و مدهای زمین، و ژئودزی ماهواره‌ای تدریس کرد.

در سال ۱۹۸۴، نقشه‌برداران زمینی را با "زمان‌گویان" مقایسه کردم. نمی‌دانم آیا می‌دانید "زمان‌گو" چیست یا نه، اما در قرون وسطی، افرادی بودند که در شهرها قدم می‌زدند و هر ساعت با یک بوق بزرگ اعلام می‌کردند که مثلاً الان ساعت سه بامداد است. این افراد با پیشرفت ساعت‌های مچی به کلی از میان رفتند. در سال ۱۹۸۴، پیش‌بینی کردم که شاید نقشه‌برداران زمینی و سنتی نیز به سرنوشت مشابهی دچار شوند، زیرا افراد ممکن است ساعت یا ابزاری روی مچ خود داشته باشند که با فشار دادن آن، مکان دقیق را به آنها بگوید. تا آن اندازه پیشرفت نکرده‌ایم، اما تقریباً به آن نزدیک شده‌ایم و پیشنهاد کردم که اگر نقشه‌برداران قدیمی به عنوان یک حرفه بخواهند تا ۳۰-۵۰ سال دیگر زنده بمانند، باید نوع تفکر خود را تغییر دهند. آن‌ها باید به جای کاربران این سیستم‌ها، هدایت‌کننده آنها شوند. به نظر می‌رسد که احتمالاً درست گفته بوده‌ام و حرفه نقشه‌برداری زمینی امروزه واقعاً بخشی از جغرافیا شده است. امروزه ابزارها می‌توانند به طور خودکار موقعیت هر نقطه‌ای را که می‌خواهید، ارائه دهند و بخشی از فعالیت‌هایی که با تعیین این موقعیت مرتبط است، به صورت خودکار انجام می‌شود و هر کسی (حتی بدون علم نقشه‌برداران سابق نیز) می‌تواند این کار را انجام دهد. شاید یک راننده این کار را بهتر از یک نقشه‌بردار حرفه‌ای انجام دهد.

بنابراین، اگر می‌خواهد در همان فیلد نقشه‌برداری قدیمی زنده بماند، باید به یک جغرافیدان تبدیل شود که من واقعاً از این وضعیت خوشم نمی‌آید؛ زیرا فکر می‌کنم جغرافیا واقعاً یک موضوع علمی نیست. من شخصاً به ژئودزی علاقه‌مند شدم و نگران رفتار گرانث، نحوه اندازه‌گیری ارتفاع و مقایسه آن از نظر فیزیکی، معنای واقعی آن و موارد مشابه هستم. بنابراین این کاری است که من در آنجا انجام می‌دهم.

محمد: شما به تعریف ژئودزی اشاره کردید. این مفهوم برای برخی از افراد و یا حتی در برخی از دانشمندان ممکن است کمی مبهم باشد. چیزی که ما می‌خواهیم بدانیم این است که شما چگونه ژئودزی را برای یک فرد عادی توضیح می‌دهید؟

پروفسور ونیچک: ژئودزی یک علم مربوط به سیاره زمین است. در واقع، اگر بخواهید، می‌توان گفت که ژئودزی بخشی از ژئوفیزیک است که توجه علمی خود را به زمین معطوف می‌کند، به این معنا که موضوع آن زمین است و در این علم، زمین از دیدگاه شکل، ابعاد و تغییرات آن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطور که گفتم، پروژه‌های من نیز در زمینه ژئودزی است. این همان چیزی است که من در اینجا به آن می‌پردازم. این تنها بخشی از ژئودزی است؛ بخش دیگر، مطالعه تغییرات زمانی شکل زمین و میدان گرانشی است. یعنی چگونه زمین حرکت می‌کند؟ چگونه تحت فشار تغییر شکل می‌دهد؟ و غیره. این بیشتر روشی بوده که من با آن کار خود را آغاز کردم، و اکنون توجه من بیشتر از آن که به دینامیک زمین معطوف شده باشد، به میدان گرانشی معطوف شده است.

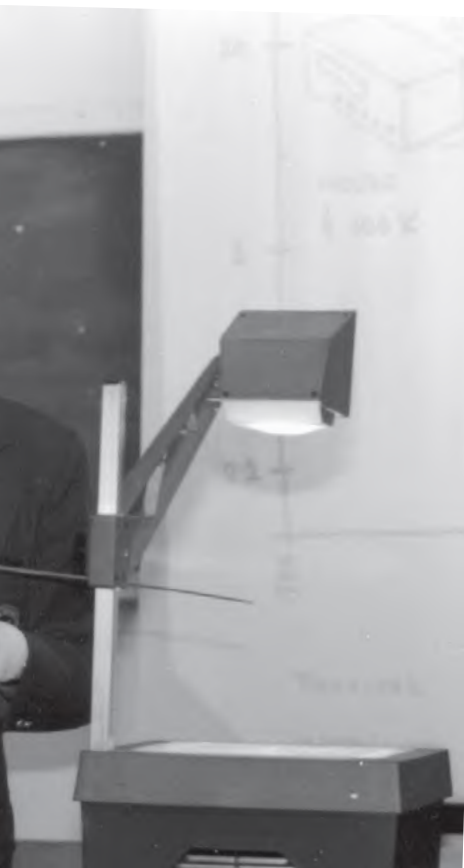


در سال ۱۹۹۰، ونیچک که موفق به دریافت جایزه بنیاد هومبولت شده بود، در مراسم ویژه دریافت‌کنندگان این جایزه حضور یافت (تصویر مربوط به همان مراسم است).

صدرا: بسیار عالی. همانطور که پیشتر اشاره کردید، شما در طول دوران حرفه‌ای خود کارهای بزرگ و مهم بسیاری انجام داده‌اید و بدون شک همه این کارها ارزشمند و قابل ستایش هستند. اما به نظر شما، کدامیک از کارهای شما برای خودتان مهم‌ترین بوده و بیشترین تأثیر را در علم داشته است؟

پروفسور ونیچک: فکر می‌کنم آنچه که من بیشترین شهرت را به خاطر آن دارم و بخاطر آن در این سال‌ها جوایز و مدال‌های مختلفی دریافت کرده‌ام، یک قطعه ریاضی است که زمانی که روی پایان‌نامه دکترایم کار می‌کردم، انجام دادم. تمرکز پایان‌نامه دکترای من روی تغییراتی که در شکل زمین به دلیل جزر و مد رخ می‌دهد، بود. برای مطالعه این پدیده، باید پاسخ زمین به این تغییرات شکل، یا همان پاسخ جزر و مدی، را اندازه‌گیری کرد. این اندازه‌گیری‌ها به‌طور معمول با سرعت و زمان‌های نسبتاً ثابتی انجام می‌شوند. از این داده‌ها می‌توانیم به بررسی فرکانس‌های زمانی این پدیده‌ها بپردازیم و تعیین کنیم که آیا آنچه مشاهده می‌کنیم پدیده‌های جزر و مدی هستند یا خیر.

برای مطالعه این پدیده، باید طیف‌هایی که مشاهده می‌کنید را بشناسید، که می‌توان این طیف‌ها را با استفاده از تکنیک‌های فوری از مشاهدات استخراج کرد. اما رویکرد فوری که اساساً به تحلیل طیفی می‌پردازد، تنها زمانی قابل اجراست که مشاهدات به‌صورت کاملاً ثابت و منظم انجام شوند. اگر مشاهدات با وقفه‌های زمانی نامنظم انجام شوند، روش فوری کارایی نخواهد داشت. بنابراین، من مجبور شدم تکنیکی طراحی کنم که بتواند مشاهدات را به‌صورت تصادفی دریافت کرده و طیف‌های محتمل‌ترین را استخراج کند. این تکنیک که به نام "تحلیل طیفی کمترین مربعات" شناخته شد، به‌عنوان یکی از بهترین و معتبرترین دستاوردهای من در علم و ریاضیات شناخته می‌شود، اگرچه ارتباط چندانی با ژئودزی ندارد.





در سال ۲۰۰۱، ونیچک بار دیگر در کارگاه
همایش چهلمین سالگرد تأسیس
دپارتمان، (در قالب چهار میلیون واژه یا
کمتر)، توضیح داد که ژئودزی چیست.

دستاوردهای من در ژئودزی به صورت پراکنده و در بخش‌های مختلف این علم بوده است. اما احتمالاً مهم‌ترین دستاورد فعلی من تیمی است که اینجا با من کار می‌کند.

من حدود پنج دکتر دارم که با من کار می‌کنند، و آن‌ها اکنون استادانی در دپارتمان ما هستند. تحقیقات ما در حال حاضر بر روی چگونگی تعیین دقیق‌ترین شکل زمین و به عبارت دیگر ارتفاع، متمرکز است. یکی از مسائل همیشه حاضر در ژئودزی، محاسبه ژئوئید بوده است که همیشه چالشی بزرگ محسوب می‌شده است. بهترین تلاش‌ها در این زمینه توسط پروفسور موریس در کتابش به نام "ژئودزی فیزیکی انیشتین و موریس" انجام شده است. در آن زمان، دقت این تکنیک‌ها حدود یک متر بود. ما این کار را ادامه دادیم و دقت را افزایش دادیم و اکنون می‌توانیم ژئوئید را با دقت یک سانتی‌متر محاسبه کنیم. این دستاورد من و دانشجویان سابقم، که اکنون خودشان دکتران و اساتید حال حاضر هستند، در زمینه ژئودزی در ۲۰ تا ۳۰ سال گذشته بوده است.

محمد: از پاسخ‌های دقیق شما بسیار سپاسگزارم. اکنون می‌خواهم درباره پیشرفت‌های حوزه ژئودزی از شما بپرسم. بدون شک شما در زمینه ژئودزی یک متخصص هستید و می‌خواهم بدانم که این علم در سال‌های اخیر چگونه پیشرفت کرده است، چه تفاوت‌هایی با گذشته دارد، و آینده آن را چگونه پیش‌بینی می‌کنید؟ رویکرد درست برای پیشبرد این علم چیست؟

پروفسور ونیچک: به عنوان یک دانشمند، طبیعتاً باید معتقد باشم که رویکرد ما بهترین است. بنابراین، از این نقطه شروع می‌کنم که می‌توانم بگویم کاری که ما انجام داده‌ایم این است که فیزیک مربوطه را به صورت کاملاً دقیق به کار برده‌ایم. ما

از هرگونه تقریب صرف‌نظر کرده‌ایم و چیزی را نادیده نگرفته‌ایم، زیرا همه چیز را به طور دقیق و سخت‌گیرانه انجام داده‌ایم. وقتی که قوانین فیزیکی را به صورت دقیق و کامل اعمال کردیم، و در نتیجه دقت اندازه‌گیری‌ها را از یک متر به یک سانتی‌متر افزایش دادیم، که صدها برابر دقیق‌تر از زمانی است که پروفسور موریس به این کار می‌پرداخت. بنابراین، من معتقدم که این واقعاً تنها رویکرد جدی برای حل مشکلات ژئودزی است؛ پایبندی به فیزیک و البته ریاضیات به طور کاملاً دقیق.

**این میراث من است:
پایبندی به دقت و عدم
نادیده گرفتن تقریبات در
مواردی که نمی‌دانیم از
نظر فیزیکی چه معنایی
دارند.**

راه‌های مختلفی برای محاسبه ژئوئید و ارتفاعات به شیوه‌های مهندسی وجود دارد که به نوعی می‌گویند، خوب، باید تقریباً این‌گونه باشد، و برای اثبات آن به این شکل عمل می‌کنند. اما رویکرد ما یک رویکرد فیزیکی دقیق است که با صرف زمان و تلاش بیشتر انجام می‌شود. اما امروزه با کامپیوترهایی که در اختیار داریم، انجام این محاسبات مشکل چندانی ندارد. پس پاسخ کوتاه به سوال شما این است: بیایید به دقیق‌ترین شکل ممکن عمل کنیم. این چیزی است که همیشه به دانشجویانم گفته‌ام و امیدوارم که آن‌ها مرا به خاطر این موضوع به یاد بیاورند. این میراث من است: پایبندی به دقت و عدم نادیده گرفتن تقریبات در مواردی که نمی‌دانیم از نظر فیزیکی چه معنایی دارند.

البته این نیاز به زبانی برای بیان این موضوعات دارد که آن زبان ریاضیات است. یکی باید به اندازه کافی ریاضیات پیشرفته را بداند تا بتواند این کارها را به طور دقیق انجام دهد. بنابراین، تیم من، این افراد، در حال مطالعه ریاضیات، معادلات دیفرانسیل جزئی، معادلات انتگرالی، و البته آمار دقیق هستند. این چیزی است که به نظر من تیم من را به یکی از بهترین‌ها در جهان تبدیل کرده است.

صدر: شما به تأثیر و استفاده از ریاضیات و فیزیک حوزه ژئودزی اشاره کردید. اما امروزه می‌بینیم که برخی از دانشجویان به رویکردهای متفاوتی روی آورده‌اند و از چیزهایی مانند آموزش مدل‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند، بدون اینکه واقعاً بدانند در پس این تکنیک‌ها چه اتفاقی می‌افتد! بسیاری از افراد و دانشمندان با این رویکرد موافق نیستند. نظر شما درباره این رویکرد چیست که برخی از دانشجویان به آن روی آورده‌اند؟

ونیچک در سال ۱۹۸۰ به آفریقای جنوبی سفر کرد. او از «دپارتمان نقشه‌برداری و ژئوماتیک» دانشگاه ناتال در شهر دوربان بازدید نمود و در آنجا درباره ترازبایی و حرکات پوسته زمین تدریس کرد.





ونیچک در سال ۱۹۹۴ مدرک دکترای علوم (Dr. Sc.) را از آکادمی علوم جمهوری چک در شهر پراگ دریافت کرد.

اگر شما تمایلی به صرف زمان برای یادگیری چیزی که در حال مطالعه آن هستید ندارید، بهتر است به طور کل آن را رها کنید.

پروفسور ونیچک:

من فکر نمی‌کنم هیچ چیزی بتواند جایگزین درکی شود که شما به دست آورده‌اید. اگر شما تمایلی به صرف زمان برای یادگیری چیزی که در حال مطالعه آن هستید ندارید، بهتر است به طور کل آن را رها کنید. شما می‌توانید با آن بازی کنید و هر کاری که می‌خواهید انجام دهید، اما هرگز نخواهید فهمید که نتایج شما چقدر واقعی هستند، مگر اینکه اصول فیزیکی را به کار بگیرید. بله، من در مورد ژئودزی صحبت می‌کنم، اما فکر می‌کنم این اصل برای هر علم دیگری نیز معتبر است، به‌ویژه در علوم فیزیکی. من در مورد علوم اجتماعی صحبت نمی‌کنم، اما در هر علم فیزیکی، شما باید ریاضیات و فیزیک را بدانید.

بگذارید من اینجا در مورد یک داستان صحبت کنم. من شش نوه دارم. سه نفر از آن‌ها در کانادا زندگی می‌کنند و سه نفر دیگر در فرانسه. آن سه نفری که اینجا زندگی می‌کنند، به نوعی به طور جدی تربیت شده‌اند. نوه وسطی، که یک دختر است، در حال حاضر مشغول به تحصیل در رشته ریاضی و فیزیک است. من سعی کردم او را از این مسیر دور نگه دارم، زیرا این یک کار سخت است و راه میان‌بری وجود ندارد. اما او مصمم بود که تا حد ممکن درباره جهان فیزیکی یاد بگیرد. امروزه، این تابستان، او روی یک پروژه با رئیس دانشکده مهندسی کار خواهد کرد و قرار است درباره گرانش کوانتومی مطالعه کند. گرانش کوانتومی به این معنی است که شما باید بفهمید گرانش چیست. من نیمه اول عمرم را صرف یادگیری درباره گرانش کردم و هنوز نمی‌دانم دقیقاً چیست. هیچ‌کس دیگر هم نمی‌داند. حداقل امروزه می‌دانیم که گرانش با سرعت نور منتشر می‌شود، اما این تمام چیزی است که می‌دانیم. چگونه کار می‌کند؟ گرانش چیست؟ هیچ‌کس نمی‌داند. این همان چیزی است که من فکر می‌کنم، اگر کمی بیشتر هوش داشتم، ممکن بود این بخش از گرانش را مطالعه کنم. این یک رویکرد فیزیکی اساسی به گرانش است. من امیدوارم که آن‌ها کشف کنند که گرانش واقعاً چیست.

من اکنون اینجا نشسته‌ام و به نوهام نگاه می‌کنم و امیدوارم که او بتواند این کار را انجام دهد. و دعا می‌کنم که آن‌ها کشف کنند این موضوع چیست. این بزرگترین مشکل در فیزیک است. اگر آن‌ها کشف کنند که گرانش چیست، به‌طور حتم جایزه نوبل را خواهند گرفت. همین موضوع برای بقیه علوم هم صادق است.

محمد: شما اشاره کردید که شش نوه دارید. این سوال کمی شخصی است. آیا به

هیچ‌کدام از آن‌ها پیشنهاد کرده‌اید که به حوزه ژئودزی وارد شوند و آن را مطالعه کنند؟

پروفسور ونیچک: نه، من اصلاً این را نگفتم. از دیدگاه والدین یا پدربزرگ و مادر بزرگ،

سیاست نادرستی است که بخواهند به نوعی به آن‌ها بگویند که در زندگی خود چه کار کنند.

من فکر می‌کنم آن‌ها باید خودشان این مسیر را کشف کنند. کاری که می‌توان انجام داد

این است که به آن‌ها اصول کلی علم را آموزش داد. این همان چیزی است که او علاقه‌مند

به انجام آن است. او به نظر می‌رسد که این کار را برای مدت طولانی دوست داشته باشد.

بنابراین، تنها کاری که من باید انجام می‌دادم این بود که به او بگویم چه شاخه‌ای از علم

فیزیک را مطالعه کند یا نکند، چه شاخه‌ای از فیزیک، ریاضی مقدماتی و یا هر چیز دیگری

را بخواند. او خودش تصمیم گرفت که این کار را انجام دهد. من مطمئن نیستم که او در

زندگی حرفه‌ای خود این مسیر را ادامه دهد، اما ممکن است این کار را بکند. و ممکن است

که ما را تشویق کند تا به نوعی او را در این مسیر هدایت کنیم.

صدرا: من علاقه‌مندم درباره تجربیات شما با دانشجویان ایرانی و احتمالاً بازدیدهای

شما از ایران بیشتر بدانم. آیا تا به حال به ایران سفر کرده‌اید؟

پروفسور ونیچک: بله، چندین بار. فکر می‌کنم احتمالاً برخی از استادانی که شما در

دانشگاه تهران داشتید، از دانشجویان سابق من بوده‌اند. رئیس دیپارتمان در دانشگاه تهران

که بود؟ او کارشناسی ارشد خود را با من در دانشگاه اشتوتگارت انجام داد. نامش را به

خاطر نمی‌آورم، علیرضا...؟ شخصی به این نام.

صدرا: دکتر علیرضا آزموده اردلان؟

پروفسور ونیچک: بله، دقیقاً. او دانشجوی من بود. همچنین دانشجویان بسیار

خوبی داشتم، مانند آقای محمد کریم، آقای نجفی و غیره. همگی آن‌ها دانشجویان بسیار

خوبی بودند. در واقع، یکی از آخرین دانشجویان من یک ایرانی به نام اسماعیل فروغی

بود که کار فوق‌العاده‌ای برای دکتری خود انجام داد. او ژئوئید فرانسه را با دقت ۶ میلی‌متر

محاسبه کرد. من همیشه درباره دانشجویان تحصیلات تکمیلی ایرانی و دانشمندان ایرانی

به طور کلی چیزهای زیادی می‌شنوم. ظاهراً یک ریاضی‌دان بسیار خوب، یک دختر ایرانی در

ریاضیات وجود دارد که به‌عنوان یکی از بهترین ریاضی‌دان‌های تاریخ جهان شناخته می‌شود

(اشاره به پروفسور مریم میرزاخانی). من بسیار خوشحالم که بخشی از این ماجرا بوده‌ام

و به نوعی در این مسیر کمک کرده‌ام، زیرا فکر می‌کنم که در زمینه ژئودزی و نقشه‌برداری،

ایرانیان بسیاری هستند که نام‌های خوبی برای خود دست و پا کرده‌اند. و من از دیدن آن‌ها

خوشحالم.

محمد: متشکرم. دانستن این موضوع واقعاً دلگرم‌کننده است.

منفی یک

صدرا: یک عکس بسیار قدیمی به دست من رسیده که اطلاعات زیادی از آن نداریم.

آیا شما به یاد می‌آورید که این عکس چه زمانی گرفته شده است؟ آیا در ایران بوده است؟

پروفسور ونیچک: خب، مطمئن نیستم اما ممکن است این عکس مربوط به اولین سفر من به ایران باشد که یک سفر آموزشی نبود. من توسط هیچ دانشگاهی دعوت نشده بودم، بلکه توسط یک نهاد ملی که در آن زمان مسئول روزنامه‌نگاری و نقشه‌برداری بود، دعوت شدم. این اتفاق فکر می‌کنم در سال ۱۹۸۳ و در دوران جنگ ایران و عراق رخ داد. درست یک روز قبل از اینکه به تهران برسم، یک موشک عراقی خانه‌ای را دقیقاً روبروی هتلی که من در آن اقامت داشتم، تخریب کرد. بنابراین در این فکر بودم که آیا ممکن است به من هم اصابت کند یا نه. فکر می‌کنم این عکس احتمالاً مربوط به همان اولین سفر من باشد که به مدت یک هفته به آنجا دعوت شده بودم و قرار بود با این افراد درباره ژئودزی صحبت کنم. این سفر بسیار فشرده بود؛ ما واقعاً به مدت یک هفته، و هر روز به مدت هشت ساعت درباره ژئودزی صحبت می‌کردیم و فکر می‌کنم این ممکن است باعث شده باشد که این افراد به این نتیجه برسند که داشتن یک نهاد آموزشی خوب برای ژئودزی در تهران مفید خواهد بود. بعد از آن، در سفرهای بعدیم من برای تدریس در دوره‌های دانشگاهی و دوره‌های تحصیلات تکمیلی دعوت شدم. به هر حال، بهترین حدس من برای پاسخ به سوال شما این است که این عکس مربوط به حدود سال ۱۹۸۳ و اولین سفر من به تهران است.

محمد: دوست دارم بدانم چه توصیه‌ای به اساتید این رشته دارید تا تدریس در حوزه ژئودزی را برای دانشجویان جذاب‌تر کنند.

پروفسور ونیچک: خب، مطمئن نیستم. این موضوع هیچ‌گاه برای من مشکلی نبوده است، زیرا من معتقدم که علم خود به خود جذاب است، چرا که علم است، به این دلیل که چیزی است که باید به‌طور دقیق و منظم انجام شود، چیزی است که شما باید با دقت و تفکر به آن بپردازید، و همین موضوع به خودی خود آن‌قدر جذاب است که نیازی به توجیهات بیشتری ندارد. علم به این دلیل جذاب است که برای مطالعه آن، باید کنجکاو باشید؛ البته منظورم علوم فیزیکی است، نه علوم اجتماعی. در واقع، نیروی محرکه اصلی کنجکاوی است. حداقل می‌دانم که نیروی محرکه من کنجکاوی بود. همیشه سوالاتی همچون "چگونه کار می‌کند؟"، "آیا ممکن است من این کار را انجام دهم؟" و ... را داشتم و همیشه کنجکاو بودم که به این سوالات پاسخی دقیق بدهم.

صدرا: در مورد دانشجویان چگونه؟ چه توصیه‌ای برای دانشجویانی دارید که در ابتدای مسیر علمی و دانشگاهی خود هستند؟

پروفسور ونیچک: خب، کنجکاوی! کنجکاوی باید نیروی محرکه باشد، و من این را در اطرافم می‌بینم. افرادی که با آن‌ها کار می‌کنم همگی کنجکاو هستند. بنابراین، کنجکاوی. این باید شما را به مطالعه دقیق و جدی موضوعاتی که انتخاب می‌کنید، سوق دهد.

محمد: شما قطعاً به سراسر جهان سفر کرده‌اید و تحقیقات تان را انجام داده‌اید. با توجه به این تجربه، اگر بتوانید در حال حاضر مکانی را برای تمرکز تحقیقات خود انتخاب کنید، آن مکان کجا خواهد بود؟

پروفسور ونیچک: خب، من یک ژئودزیست هستم و تمرکز من بر روی کل زمین است، نه فقط یک بخش از آن. شما نمی‌توانید ژئودزی را برای یک قطعه کوچک زمین انجام دهید. موضوع مورد علاقه شما باید کل زمین باشد. البته، برخی از مکان‌ها از نظر ژئودزی به طور طبیعی جذاب‌تر و چالش‌برانگیزتر از سایر مکان‌ها هستند. شرق کانادا با کوه‌های بلند در یک سمت و دریا و زمین‌های صاف و مرتفع در سمت دیگر، یکی از این مکان‌ها است. اگر بتوانید یک مسائل ژئودزی را برای شرق کانادا حل کنید، احتمالاً می‌توانید آن‌ها را برای ۹۰٪ از زمین انجام دهید.

در مورد ایران، بله، شما کوه‌ها، دریاها و انواع مختلفی از زمین‌ها را دارید. بنابراین، ایران یک کشور جالب برای کار کردن است، به ویژه با وجود تعداد زیادی از مسائل ژئودزی که نیاز به راه‌حل‌های دقیق دارند. مشکل در ایران این بود که مشاهدات کمی انجام

شده بود و سرمایه‌گذاری زیادی برای مشاهدات مختلف در ایران صورت نگرفته بود، بنابراین داده‌ها در دسترس نبودند. شاید اکنون وضعیت بهتر شده باشد، زیرا به‌طور کلی دو نسل از ژئودزیست‌های ایرانی باید دریافته باشند که اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات بسیار اهمیت دارند.

مشکل در ایران این بود که مشاهدات کمی انجام شده بود و سرمایه‌گذاری زیادی برای مشاهدات مختلف در ایران صورت نگرفته بود، بنابراین داده‌ها در دسترس نبودند. در نهایت، مشاهدات واقعاً تنها چیزی هستند که شما دارید.

در نهایت، مشاهدات واقعاً تنها چیزی هستند که شما دارید. اگر شما به هر نظریه یا هر چیزی دست پیدا کنید، آن نظریه بهتر است که با واقعیت‌های قابل مشاهده تطابق داشته باشد. اگر اینطور نباشد، آن صرفاً یک تئوری باقی خواهند ماند و فقط همین!

صدرا: بسیار از شما سپاسگزاریم که وقت خود را برای ملاقات با ما اختصاص دادید. مصاحبه با شما فوق‌العاده ارزشمند بود و ما بسیار قدردان هستیم.

پروفسور ونیچک: بسیار سپاسگزارم. خوش بگذراندید؛ این مهم‌ترین چیز است. سلام من را به تمام افرادی که در ژئودزی ایران می‌شناسم، برسانید.



دانشجویان ارشد ۱۳۶۸ و اساتید امروز: از راست بالا: دکتر امیر ابوالقاسم، مهندس وحید مظاهری، دکتر ایرج جزیرئیان، مهندس جاری سابق، پروفسور ونیچک، دکتر نانکی، دکتر امیر نهانچی، مهندس شاهکار، دکتر رجبی، مهندس صالح‌آبادی، دکتر فرخ توکلی از راست نشسته‌ها: مهندس شاهین فرد، دکتر آزموه اردلان، مهندس شاکری و دکتر میرقاسمی‌پور

از ریمان تا میرزاخانی

گئورگ فردریش
برنارد ریمان

ایران زارع

دانشجوی کارشناسی ارشد
جغرافیا، دانشگاه کبک در
مونترآل (UQAM)



گذشته

در این شماره مجله «منفی یک»
تصمیم گرفتیم به سراغ موضوعی
برویم که شاید برای شما هم جالب باشد.
دنیای ما در چه فضایی تعریف می‌شود؟ ممکن

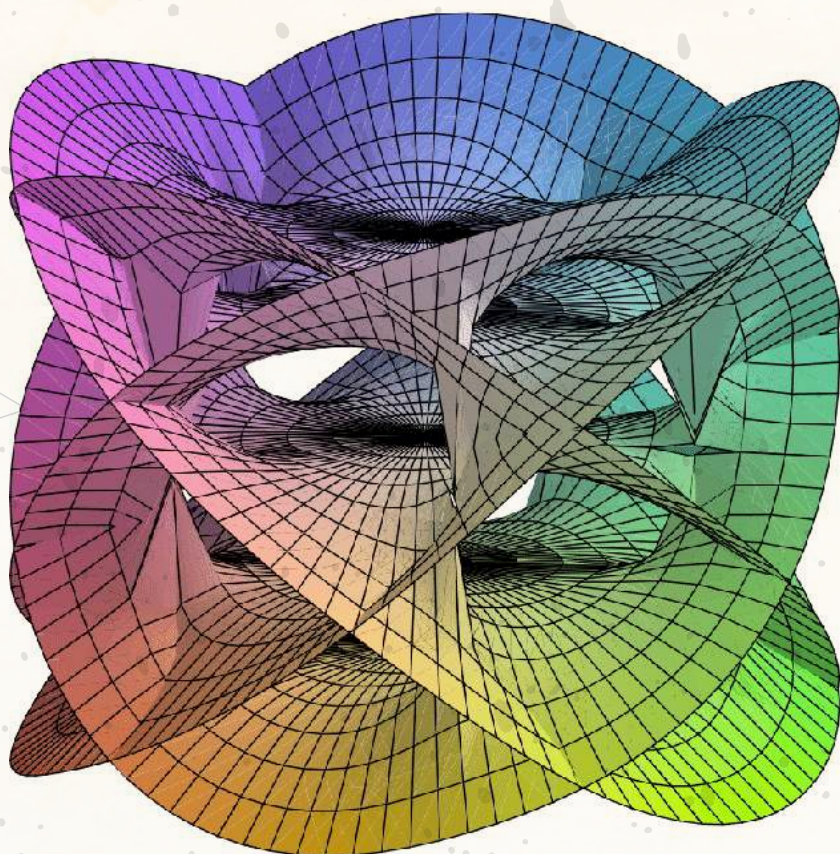
است تازگی‌ها وارد دانشگاه شده باشید، شاید رشته شما مهندسی نقشه‌برداری نباشد، یا
حتی استاد دانشگاه در زمینه ژئودزی هندسی باشید. قرار است با زبانی ساده مرور کنیم
چه شد که پایه‌های علم ژئودزی نهاده شده‌اند. از سیستم مختصاتی صحبت می‌کنم که
بر فضای حقیقی ما حاکم است.

در این شماره قرار است تاریخ این علم را از ریاضیدان آلمانی، برنارد ریمان آغاز کنیم. ریمان در سال ۱۸۲۶ میلادی
(۱۲۰۵ هجری شمسی) متولد شد. ریمان تحصیلات خود را در دانشگاه گوتینگن آغاز کرد و در آنجا تحت تأثیر
اساتیدی چون کارل فریدریش گاوس (۱۷۷۷-۱۸۵۵ میلادی) قرار گرفت. گاوس، که یکی از برجسته‌ترین ریاضیدانان
زمان خود بود، استعداد ریمان را تشخیص داد و او را به سوی مطالعات عمیق‌تری در زمینه ریاضیات هدایت کرد.
ریمان پس از مدتی به دانشگاه برلین رفت و در آنجا زیر نظر ریاضیدانان مشهوری مانند یوهان پتر دیرشلت و
کارل گوستاو یاکوبی تحصیل کرد. ریمان در طول زندگی کوتاه ۳۹ ساله‌اش تأثیرات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف
ریاضی از جمله تحلیل، هندسه، و نظریه اعداد داشت. او به خاطر توسعه هندسه ریمانی شناخته می‌شود. که
پایه‌های ریاضیاتی لازم برای درک فضاهای خمیده و چندبعدی را فراهم کرد. دستاوردهای این دانشمند تا به امروز
در ریاضیات و فیزیک مدرن تأثیرگذار باقی مانده است.

پیش از ریمان، دنیای اطراف ما با دستگاه
مختصات دکارتی (برگرفته از نام ریاضیدان فرانسوی،
رنه دکارت ۱۵۹۶-۱۶۵۰ میلادی) تعریف می‌شد. جهان
در سه بعد با محورهای X, Y, Z تعریف می‌شد.
اما مشکل این نوع تعریف جهان چه بود؟

**به صورت بسیار ساده، با این تعریف کره زمین
به صورت تخت تعریف خواهد شد. در حالی که
می‌دانیم کره‌ی است.**

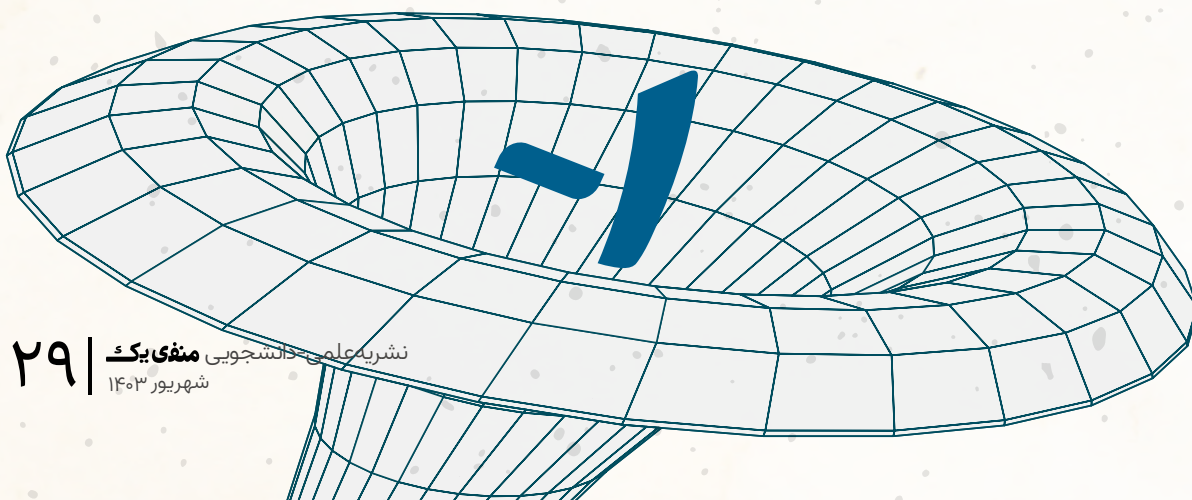
نخستین کسی که در این زمینه نظریه‌ای مطرح
کرد، برنارد ریمان بود. او این نظریه خود را در قالب
یک سخنرانی در تاریخ ۱۰ ژوئن ۱۸۵۴ با عنوان «درباره
فرضیه‌هایی که در اساس هندسه قرار دارند» مطرح
کرد. این سخنرانی یکی از نقاط عطف در تاریخ
ریاضیات است. ریمان در این سخنرانی مفاهیمی
بنیادین را مطرح کرد که هندسه را از چهارچوب‌های
اقلیدسی کلاسیک خارج و به مفهومی گسترده‌تر از
هندسه غیر اقلیدسی و فضاهای چندبعدی هدایت
کرد. این سخنرانی به طور خاص در زمینه هندسه
دیفرانسیل و منیفلدها^۱ اثرگذار بود



در این نوشته، قرار نیست وارد جزئیات این سخنرانی شویم اما به طور کلی او هندسه‌های رایج در آن
زمان، به ویژه هندسه اقلیدسی^۲ را زیر سؤال برد و پیشنهاد کرد که این تنها یک حالت خاص از یک مفهوم
بزرگتر است. از اندازه‌گیری فواصل و زاویه‌ها در این فضاها صحبت کرد، متریک ریمانی را معرفی کرد،
مفهوم انحنای فضا را مطرح کرد و در پایان سخنرانی، ریمان به کاربردهای بالقوه هندسه‌ی خود در فیزیک
اشاره کرد. این سخنرانی تنها برای ریاضیات مهم نبود، بلکه تأثیرات عمیقی بر فلسفه علم و فیزیک نیز
داشت. با استفاده از مفهوم منیفلد و هندسه چندبعدی، راه را برای فهم بهتر فضاهای غیرخطی و نظریات
پیشرفته هموار کرد.

پس از ریمان، بسیاری از ریاضیدانان بزرگ به گسترش مفاهیم هندسه ریمانی و کاربردهای آن در
ریاضیات و فیزیک کمک کردند. افراد مانند ریچچی-کورباسترو (Gregorio Ricci-Curbastro، ۱۸۵۳-۱۹۲۵)،
لوی-چیویتا (Tullio Levi-Civita، ۱۸۷۳-۱۹۴۱)، وایل (Hermann Weyl، ۱۸۸۵-۱۹۵۵) و کارتان (Lie Cartan)،
(۱۸۶۹-۱۹۵۱) با گسترش ابزارهای ریاضی و تانسورها به توسعه هندسه ریمانی کمک کردند. همچنین آلبرت
اینشتین با استفاده از هندسه ریمانی در نظریه نسبیت عام، باعث شد این شاخه از ریاضیات به طور
مستقیم در فیزیک نظری مدرن کاربرد پیدا کند.

نمونه یک رویه ریمانی، منبع: از مقاله
On the Correspondence of Open
and Closed Strings-Marco
Baumgartl



ارتباط هندسهٔ ریمانی با رشتهٔ مهندسی نقشه‌برداری

هندسه ریمانی ارتباط تنگاتنگی با مهندسی نقشه‌برداری دارد، چرا که مفاهیم پیشرفته‌ای از هندسهٔ فضاها و خمیده و غیر اقلیدسی را فراهم می‌کند که برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل دقیق زمین و دیگر اشکال سه‌بعدی مهم است. نقشه‌برداری به عنوان رشته‌ای که با اندازه‌گیری و ترسیم زمین سر و کار دارد، به درک دقیق از هندسه فضا و سطوح نیاز دارد. در ادامه چند زمینه کلیدی که هندسه ریمانی در مهندسی نقشه‌برداری نقش دارد بررسی می‌شود:

ژئودزی، که شاخه‌ای از علم مهندسی نقشه‌برداری است، به مطالعه، اندازه‌گیری و نمایش دقیق زمین می‌پردازد. از آنجا که سطح زمین خمیده است، هندسه اقلیدسی نمی‌تواند به طور کامل روابط فضایی را توصیف کند. در اینجا هندسه ریمانی، که برای فضاها و خمیده مانند سطح کره تعریف شده، بسیار مفید است. در هندسه اقلیدسی، محاسبه فاصله‌ها و زوایه‌ها در یک سطح مسطح ساده است، اما در نقشه‌برداری که با سطوح خمیده سروکار داریم (مثل سطح زمین)، محاسبات پیچیده‌تری لازم است. با استفاده از مفاهیم هندسه ریمانی، مهندسان نقشه‌بردار می‌توانند فاصله‌ها و زوایه‌ها را در سطوح خمیده به دقت محاسبه کنند، مخصوصاً هنگام کار بر روی مسیرهای ژئودزیک^۳ که کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه روی سطح خمیده است.

در ادامه، نمایش دوبعدی زمین بر روی نقشه همیشه منجر به اعوجاج‌هایی می‌شود، زیرا یک سطح خمیده (مثل سطح کره) باید به یک سطح مسطح تبدیل شود. پروجکشن^۴‌های مختلفی برای نمایش نقشه وجود دارد، اما همه این پروژکشن‌ها تا حدی باعث تغییر در اندازه و شکل می‌شوند. هندسه ریمانی به نقشه‌برداران کمک می‌کند تا این اعوجاج‌ها را بهتر مدل‌سازی کنند و روابط بین پروژکشن‌های مختلف را بهتر درک کنند.

از سوی دیگر، تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای مثل GPS به هندسه دقیق زمین و فضا برای تعیین موقعیت وابسته‌اند. داده‌های GPS از ماهواره‌ها در مدار زمین به دست می‌آیند و برای تحلیل دقیق این داده‌ها و تبدیل آن‌ها به مختصات جغرافیایی صحیح، هندسه ریمانی که به مطالعه فضاها و خمیده و فاصله‌های ژئودزیک کمک می‌کند، نقش کلیدی دارد.

وقتی مهندسان نقشه‌بردار با طراحی و نقشه‌برداری سازه‌های بزرگ سروکار دارند، مانند جاده‌ها، پل‌ها یا تونل‌ها، آن‌ها نیاز به درک دقیق از منحنی‌ها و سطوح دارند. در این زمینه، هندسه ریمانی به آن‌ها کمک می‌کند تا منحنی‌های پیچیده را در فضاها و سه‌بعدی مدل‌سازی و محاسبه کنند و بهترین مسیرها یا ساختارها را طراحی کنند.



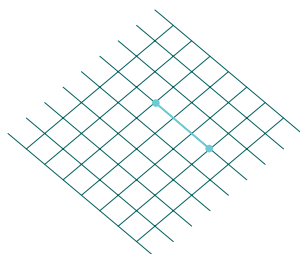
مدال فیلدز

در بخش مصاحبه با پروفیسور ونیچک که در همین شمارهٔ مجله به انتشار رسیده است، ایشان از مریم میرزاخانی (۱۹۷۷-۲۰۱۷ میلادی) یاد کردند. جالب است بدانید جایزه فیلدز که به مریم میرزاخانی در سال ۲۰۱۴ میلادی اهدا شد، به طور مستقیم به تحقیقات او در زمینه‌های مرتبط با هندسه ریمانی، هندسه هذلولوی و دینامیک سیستم‌های هندسی ارتباط داشت. او این جایزه را به دلیل دستاوردهای بی‌نظیرش در مطالعه‌ی سطوح ریمانی و فضاها و مدولی دریافت کرد.

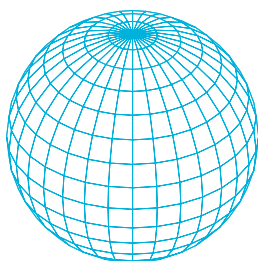
مریم میرزاخانی

در خانه‌اش

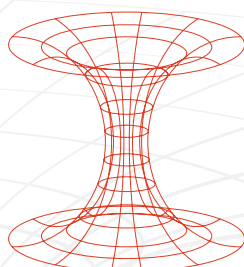
۲۰۱۴



هندسه صفحه‌ای
اقلیدسی



هندسه بیضوی
ریمانی



هندسه هذلولوی
لورانتسکی

یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مریم میرزاخانی، مطالعه هندسه هذلولوی بود. هندسه هذلولوی نوعی هندسه غیر اقلیدسی است که در آن فضاها انحنای منفی دارند، برخلاف هندسه اقلیدسی که در آن فضا تخت است. فضاهای هذلولوی زیرمجموعه‌ای از منیفلدهای ریمانی هستند که در آن‌ها انحنای به صورت منفی تعریف می‌شود. میرزاخانی روی خواص و ساختارهای پیچیده سطوح هذلولوی تحقیق کرد، از جمله نحوه رفتار و دینامیک ژئودزیک‌ها (کوتاه‌ترین مسیرها) در این فضاها.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای میرزاخانی، کار بر روی فضاهای مدولی (Moduli Spaces) بود. این فضاها به مطالعه ساختارهای هندسی روی سطوح مختلف می‌پردازند و شامل هندسه‌های ریمانی با انحنای خاصی می‌شوند. به طور خاص، میرزاخانی در بررسی سطوح ریمانی با انحنای منفی و سیستم‌های دینامیکی مرتبط با این سطوح نقش مهمی داشت. فضاهای مدولی مورد مطالعه او به طور خاص به توصیف و دست‌بندی سطوح ریمانی کمک می‌کنند و ابزار مهمی برای تحلیل رفتار این فضاها هستند.

مریم میرزاخانی

تنها زنی است که برنده مدال فیلدز، بزرگترین افتخار ریاضی جهان شده است.

عکس از Mariana Cook

۱۳۵۶-۱۳۹۶

توضیح مفاهیمی که در نوشته آمده‌اند در زیر آمده است

هندسه اقلیدسی: (Euclidean Geometry) شاخه‌ای از ریاضیات است که به مطالعه اشکال، خطوط، زوایا و فضا بر پایه اصول و قواعدی که توسط اقلیدس، ریاضیدان یونانی، در کتاب مشهور خود به نام «عناصر» (Elements) تدوین شده است، می‌پردازد. این نوع هندسه به عنوان هندسه کلاسیک یا معمولی نیز شناخته می‌شود و به طور گسترده در مدارس و دانشگاه‌ها آموزش داده می‌شود. هندسه اقلیدسی مبتنی بر فرض این است که فضا تخت و یکنواخت است.

منیفلد: (manifold) (به فارسی: چندریخت یا چندبافت) یک مفهوم ریاضی پیشرفته است که به فضاهایی اشاره دارد که در اطراف هر نقطه به صورت محلی شبیه به فضای اقلیدسی هستند، اما به طور کلی ممکن است شکلی پیچیده‌تر یا خمیده داشته باشند. در واقع، منیفلدها فضاهایی هستند که اگر به اندازه کافی کوچک به یک نقطه از آن نگاه کنیم، به نظر می‌رسد که فضای مسطح و آشنا (مثل یک صفحه دوبعدی یا یک فضای سه‌بعدی) است، اما وقتی به کل فضا نگاه کنیم، ممکن است خمیده یا پیچیده باشد.

مسیرهای ژئودزیک: به کوتاه‌ترین مسیرها بین دو نقطه بر روی یک سطح یا در یک فضای خمیده گفته می‌شود. این مفهوم تعمیم خط مستقیم در فضای اقلیدسی است. در فضای مسطح، خط مستقیم کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه است؛ اما وقتی سطح یا فضا خمیده باشد (مانند سطح یک کره یا فضا-زمان در نظریه نسبیت عام)، مسیر ژئودزیک دیگر یک خط مستقیم نخواهد بود، بلکه یک منحنی است که هنوز کوتاه‌ترین مسیر ممکن را بین دو نقطه ایجاد می‌کند.

پروجکشن: (Projection) در ریاضیات و نقشه‌برداری به فرآیندی گفته می‌شود که یک فضای چندبعدی (معمولاً یک سطح خمیده مانند کره) را به یک فضای با ابعاد کمتر (معمولاً صفحه تخت) نگاشت می‌کند. این مفهوم به ویژه در نقشه‌برداری اهمیت دارد، زیرا برای نمایش سطح کره زمین (که سه‌بعدی است) روی یک نقشه‌ی مسطح (که دوبعدی است)، از پروجکشن‌ها استفاده می‌شود.

پل‌های ارتباطی

جهت ارسال نظرات،
انتقادات و پیشنهادات
و درخواست همکاری

گرافیک
نمای گرامر
@onedevidbytwo

شاهرخ حیدری
سر دبیر
@Shahrokh_heidarii

انجمن علمی دانشکده
مهندسی نقشه‌برداری و
اطلاعات مکانی
@SAGE_UT



منفی یک



سد داریان روستای هجیج منطقه اورامانات - عکس از محمد دیار جعفرپور - دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشهبرداری دانشگاه تهران

منفی ۱
۲۰۱۳