J. RS. GEOINF. RES. 1(2): 143-151, Summer & Autumn 2023

Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research
(JRSGR)
Homepage: jrsgr.sru.ac.ir

REVIEW PAPER

Applications of Satellite-based Geodesy in Navigation and Earth Monitoring

A. Ghasemi Khalkhali

Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-Takestan Branch, Takestan, Iran

Received: 24 May 2023
Reviewed: 16 August 2023
Revised: 12 September 2023
Accepted: 01 October 2023

KEYWORDS:
Geodesy
Global Navigation Satellite System
Gravity Field
Terrestrial Reference Frames

* Corresponding author
sa.ghasemi@iau.ac.ir
(+9828) 35270130

ABSTRACT

Background and Objectives: Geodesy is the basis of the science of Geomatics and Surveying Engineering. The Greek root of the word geodesy means dividing the earth, which shows that geodesy is historically closely related to the preparation of maps, analysis of the state of the earth, and geo-spatial data. Today, the science of geodesy discusses the set of rules related to the measurement and representation of the earth in a three-dimensional space that changes with time. This knowledge plays a key role in various scientific, engineering and navigational applications. In this paper, we will have an overview of the modern applications of geodesy in the field of navigation and earth monitoring and how these developments affect the global infrastructure of geo-spatial information and related scientific research.

Methods: In recent years, the Global Positioning Satellite System (GNSS) by increasing the accuracy and public access to the location caused a fundamental evolution in precise navigation, including the navigation of self-driving cars. Determining the earth's gravity field is another fundamental aspect of geodesy, which has made significant progress in this field along with the development of space programs. Advanced satellite missions such as GRACE-FO have provided an unprecedented ability to increase the accuracy of Earth's gravity field models. These models are used to understand Earth's dynamic processes, including sea level, mass balance of ice sheets, and Earth's internal dynamics. Moreover, using a standard framework to connect geodetic observations around the world is a necessary thing, for this purpose, Terrestrial Reference Frames (TRFs) are used. The development of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), the latest version of which is ITRF2023, is a sign of global joint efforts to increase the accuracy and reliability in the realization of reference frames for the unification of geodetic observations.

Findings: GNSS has provided the ability of positioning with very high spatial accuracy. The findings showed that GNSS can determine the position with centimeter accuracy. Also, navigation using GNSS technology has grown day by day and GNSS receivers play a vital role in aviation, shipping and transportation industries. This navigation system provides pilots with accurate information about the position, speed and direction of the aircraft, which helps to control the flight more accurately and respond faster in emergency situations. The maritime industry has also made extensive changes through the use of GNSS. Today, various ships need GNSS receivers to navigate and avoid potential risks of collision with other vessels. Also, GNSS technology plays an essential role in the transportation sector for managing urban and intercity traffic, optimizing transportation networks, reducing travel time, and improving the efficiency of the transportation system. In addition, the role of GNSS is very valuable in natural disaster management. Also, measurements of Earth's gravity field using satellite missions such as GRACE-FO have contributed to a better understanding of Earth's climate changes. These missions monitor the changes in mass distribution on the earth's surface and provide the possibility of monitoring phenomena such as the melting of polar glaciers and the displacement of underground water resources. This information is very useful for assessing the effects of climate change. Accurate satellite gravimetric data have the ability to monitor sea level elevation changes. By monitoring changes in ocean mass, scientists can make more accurate predictions about changes in sea level elevation. This information is necessary for the management of coastal settlements and policy making for coastal management. Ultimately, these measurements help scientists better understand Earth's internal structure, including plate tectonic movements. Quantifying plate tectonic motion is important for understanding the internal structure and behavior of plate tectonics, including the relationship of these processes to earthquakes and volcanic activity.

Conclusion: GNSS, as one of the main foundations of satellite geodesy, have increased our ability to navigate and accurately position on the surface of the earth with acceptable accuracy. Achieving centimeter accuracy in navigation is used in various industries such as transportation, agriculture and natural disaster management. Determining the gravity field is vital for monitoring environmental changes and provides the information needed to understand climate change. The existence of ground reference frames is one of the foundations of geodetic measurements. These frameworks provide the possibility of international cooperation in the fields that need to be measured in a single global framework. Since geodesy, like other geospatial information sciences, depends on the development of technology, therefore, in the future, changing the methods of accurate positioning and navigation will not be far from expected.

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF TABLES
33	0	1

مقاله مروری

کاربردهای ژئودزی ماهواره‌ای در ناوبری و پایش زمین

سید امین قاسمی خالخالی

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تاکستان، تاکستان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: اساس و پایه علم مکان‌یابی و نقشه برداری زمینی، دانش ژئودزی می‌باشد. ریشه یونانی کلمه ژئودزی به معنای تقسیم کردن زمین است که نشان می‌دهد ژئودزی از نظر تاریخی با تهیه نقشه، تجزیه و تحلیل وضعیت زمین و داده‌های مکانی، ارتباط نزدیکی دارد. امروزه، دانش ژئودزی درباره مجموعه قواعدی که در ارتباط با اندازه‌گیری و نمایش زمین در یک فضای سه بعدی که با زمان تغییر می‌کند، بحث می‌کند. این دانش، نقش کلیدی در کاربردهای مختلف علمی، مهندسی و مسائل مرتبط با مسائل ناوبری دارد. در این مقاله، مروری بر کاربردهای نوین ژئودزی در حوزه ناوبری و پایش زمین خواهیم داشت و این‌که چگونه این پیشرفت‌ها بر زیرساخت جهانی دانش اطلاعات مکانی و تحقیقات علمی مرتبط تأثیرگذاری دارند.

روش‌ها: در سال‌های اخیر، سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای جهانی (GNSS) با افزایش دقت و دسترسی عمومی به مکان‌یابی موجب تحولی اساسی در ناوبری دقیق، از جمله ناوبری خودروهای خودران، گردید. تعیین میدان گرانش زمین، یک جنبه اساسی دیگر از ژئودزی است که همگام با توسعه برنامه‌های فضایی، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در این عرصه وجود داشته است. مأموریت‌های ماهواره‌ای پیشرفته مانند GRACE-FO توانمندی بی‌سابقه‌ای را در افزایش دقت مدل‌های میدان گرانش زمین فراهم کرده‌اند. این مدل‌ها برای درک فرآیندهای پویای زمین، از جمله افزایش سطح دریا، تعادل جرمی لایه‌های یخی و دینامیک داخلی زمین، استفاده می‌شوند. در این میان، به‌کارگیری یک چارچوب استاندارد برای اتصال مشاهدات ژئودزی در سراسر جهان یک امر ضروری است که بدین منظور از چارچوب‌های مرجع زمینی (TRFs) استفاده می‌شود. توسعه چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) که آخرین نسخه آن ITRF2023 است نشانه‌ای از تلاش‌های مشترک جهانی برای افزایش دقت و قابلیت اعتماد در تحقق چارچوب‌های مبنا برای یکدست کردن مشاهدات ژئودزی است.

یافته‌ها: سامانه GNSS توانایی موقعیت‌یابی با دقت مکانی خیلی بالا را فراهم کرده است. یافته‌ها نشان داد که GNSS می‌تواند با دقت سانتیمتر تعیین موقعیت کند. همچنین، ناوبری با استفاده از فناوری GNSS، رشد روزافزونی داشته و گیرنده‌های GNSS در صنایع هوانوردی، دریانوردی و حمل و نقل نقش حیاتی بازی می‌کنند. این سامانه ناوبری برای خلبانان اطلاعات دقیقی در مورد موقعیت، سرعت و جهت هواپیماها فراهم می‌کند که به کنترل پرواز دقیق‌تر و پاسخ سریع‌تر در مواقع اضطراری کمک می‌کند. صنعت دریانوردی نیز از طریق به‌کارگیری GNSS تغییرات گسترده‌ای کرده است. امروزه، کشتی‌های مختلف برای مسیریابی و جلوگیری از خطرات احتمالی برای برخورد به سایر شناورها به گیرندگان GNSS نیاز دارند. همچنین، فناوری GNSS در بخش حمل و نقل برای مدیریت ترافیک شهری و بین شهری، بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل، کاهش

تاریخ دریافت: ۰۳ خرداد ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۲۵ مرداد ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۲۱ شهریور ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:
میدان گرانش
چارچوب‌های مرجع زمینی ژئودزی
سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای جهانی

* نویسنده مسئول
sa.ghasemi@iau.ac.ir
۰۲۸- ۳۵۲۷۰۱۳۰

زمان سفر و بهبود کارایی سامانه حمل و نقل نقش اساسی دارد. علاوه بر این، نقش GNSS در مدیریت سوانح طبیعی بسیار ارزشمند است. همچنین، اندازه‌گیری‌های میدان گرانش زمین با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE-FO به درک بهتر تغییرات آب و هوایی زمین کمک کرده است. این مأموریت‌ها تغییرات توزیع جرم در سطح زمین را رصد می‌کنند و امکان پایش پدیده‌هایی مانند ذوب یخچال‌های قطبی و جابجایی منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کنند. این اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بسیار کاربردی هستند. داده‌های دقیق گرانش سنجی ماهواره‌ای توانایی پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا را دارند. با پایش تغییرات در جرم اقیانوس، دانشمندان می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد تغییرات ارتفاعی سطح دریاها ارائه دهند. این اطلاعات برای مدیریت سکونت‌گاه‌های ساحلی و سیاست‌گذاری برای مدیریت سواحل ضروری است. در نهایت، این اندازه‌گیری‌ها به دانشمندان کمک می‌کنند تا ساختار داخلی زمین از جمله حرکات تکتونیکی صفحات را بهتر درک کنند. کمی‌کردن حرکت تکتونیکی صفحه برای درک ساختار داخلی و رفتار صفحات تکتونیکی مهم است که شامل روابط این فرآیندها با زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی است.

نتیجه‌گیری: سامانه‌های GNSS بعنوان یکی از پایه‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای توانایی ما را در ناوبری و موقعیت‌یابی دقیق بر روی سطح زمین با دقت قابل قبولی افزایش داده‌اند. دستیابی به دقت سانتیمتری در ناوبری در صنایع مختلف از جمله حمل و نقل، کشاورزی و مدیریت سوانح طبیعی کاربرد دارد. تعیین میدان گرانش برای پایش تغییرات محیطی حیاتی هستند و اطلاعات مورد نیاز برای درک تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کنند. وجود چارچوب‌های مرجع زمینی یکی از مبانی اندازه‌گیری‌های ژئودزیک هستند. این چارچوب‌ها امکان همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه گیری در یک چارچوب واحد جهانی دارد را فراهم می‌کنند. از آن‌جا که ژئودزی نیز مانند سایر علوم اطلاعات مکانی به توسعه فناوری وابسته است، لذا در آینده تغییر روش‌های تعیین موقعیت دقیق و ناوبری دور از انتظار نخواهد بود.

مقدّمه

زمین سیاره‌ای ناپایدار است که به دلیل تأثیر فرآیندهای دینامیکی متنوعی که در داخل زمین، در سطح و در جو آن اتفاق می‌افتد، دائماً تغییر می‌کند. محرک‌های این فرآیندهای پویا، نیروهای داخلی و خارجی اصلی هستند که بر سیاره ما عمل می‌کنند. نیروهای درونی یا درون زا از درون بر روی سیاره ما اثر می‌گذارند که از هسته، بالای گوشته و تا پوسته (اقیانوسی و قاره‌ای) شروع می‌شود. فرآیندهای داخلی دائماً سطح زمین را به دلیل افزایش تنش با عمق تغییر شکل می‌دهند که ناشی از نیروهای گرانشی در زیر و در سطح زمین است [۱]. از سوی دیگر نیروهای خارجی یا برون زا از بیرون بر بدن زمین اثر می‌گذارند. هوازدگی، فرسایش و سایر اثرات پدیده‌های طبیعی سطح فیزیکی زمین را مدل‌سازی می‌کنند. با این حال، تغییر شکل زمین نیز توسط جاذبه ماه و خورشید ایجاد می‌شود [۲]. به دلیل فرآیندهای پویا در داخل، جو و اقیانوس، بسیاری از مناطق سطح زمین در معرض سوانح طبیعی مانند زلزله، فوران آتشفشان، سیل، سونامی، هشدار جهانی و غیره هستند [۳]. دانشمندان تلاش زیادی برای درک بهتر تغییرات زمین انجام می‌دهند، جایی که یکی از اهداف اصلی پیش‌بینی خطرات طبیعی است. انگیزه برخی از این مخاطرات طبیعی ریشه در حرکات صفحات تکتونیکی زمین دارد. دینامیک و تکامل زمین جامد، باعث حرکات و تغییر شکل صفحات تکتونیکی می‌شود [۴]. مدل‌سازی و پردازش مشاهدات مجموعه داده‌های بزرگ اغلب برای درک بهتر این فرآیندها مورد نیاز است.

ژئودزی، اغلب به عنوان "علم اندازه‌گیری و نقشه‌برداری زمین" شناخته می‌شود و دانشی است که نقش مهمی در درک شکل، جهت و میدان گرانشی زمین ایفا می‌کند. از شیوه‌های سنتی اندازه‌گیری تا فناوری‌های پیشرفته مبتنی بر ماهواره، اندازه‌گیری‌ها در ژئودزی به طور پیوسته دقیق‌تر و سریع‌تر شده است [۱-۳]. ریشه‌های ژئودزی به عصر باستان باز می‌گردد زمانی که تمدن‌ها اهمیت اندازه‌گیری دقیق زمین را برای اهدافی مانند مالیات، تعیین حدود اراضی و پروژه‌های ساختمانی دریافتند. واژه "ژئودزی" خود از واژه‌های یونانی "geo" زمین و "daio" تقسیم کردن مشتق می‌شود و این اشاره تاریخی است به ارتباط آن با تقسیم زمین [۴]. ژئودزی‌دانان نخستین، مانند اراتوستن، گام‌های مهمی در درک اندازه و شکل زمین از طریق اندازه‌گیری زاویه اشعه‌های خورشید در مکان‌های مختلف برداشتند [۵,۶]. در طول تاریخ، ژئودزی همراه با پیشرفت‌های فناورانه تکامل یافت. ظهور ابزارهای پیشرفته‌تر مانند ئودولیت امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر زوایا و فواصل را فراهم کرد. در قرن هجدهم، توسعه شبکه‌های ژئودزی که کشورهای مختلف را پوشش می‌داد، امکان‌پذیر شد و ایجاد نقشه‌های ملی و تعیین سطح مبناهای دقیق را ممکن ساخت [۷].

تغییر و تحول در ژئودزی با پرتاب اولین ماهواره‌ها در اواخر دهه ۱۹۵۰ همگام شد [۸]. پس از آن که ماهواره‌ها مجهز به ساعت‌های اتمی دقیق شدند، امکان تعیین موقعیت در سطح زمین با دقت قابل قبول ایجاد شد. این پیشرفت در فناوری تأثیراتی شگرف در مسائلی خارج از حوزه ناوبری داشت و به عنوان ابزاری اساسی در علوم مختلف شناخته شد [۹,۸,۴]. یکی از ستون‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای، سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای جهانی (GNSS) است که ابتدا برای مقاصد نظامی توسعه یافت، اما به مرور زمان به ابزار ضروری برای کاربردهای متنوعی مانند کشاورزی، حمل و نقل و مدیریت سوانح طبیعی تبدیل شد [۱۰]. یک سامانه GNSS مجموعه‌ای از ماهواره‌ها در مدارهای دقیق هستند و سیگنال‌های ناوبری را به سمت زمین پخش می‌کنند که توسط گیرنده‌های زمینی دریافت می‌شوند [۱۱]. در دهه حاضر، GNSS بر دنیای خارج از ناوبری نیز اثرگذار بوده است. در سال‌های اخیر، شاهد گسترش وسایل نقلیه خودکار که برای موقعیت‌یابی و زمان‌بندی دقیق

به GNSS وابسته هستند، بوده‌ایم. همچنین، در کشاورزی دقیق از داده‌های GNSS استفاده فراوانی شده است. این سامانه‌ها حتی وارد جیب‌های ما شده‌اند، زیرا تلفن‌های هوشمند مجهز به گیرنده‌های GNSS جهت ارائه خدمات مبتنی بر موقعیت مکانی هستند [۱۳,۱۲].

در حالی که امروزه GNSS یکی از مهمترین کاربردهای ژئودزی ماهواره‌ای است، تعیین میدان گرانش زمین از فضا نیز بعد دیگری از ژئودزی ماهواره‌ای است که امروزه توسط ماهواره‌ها ممکن شده است [۴]. درک میدان گرانشی زمین نه تنها برای زندگی روزمره ما بلکه برای به‌دست آوردن درکی از ساختار داخلی زمین، تغییرات آب و هوا و تغییرات ارتفاعی سطح دریا لازم است. ظهور مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند ماموریت GRACE و جانشین آن گریس-فو توانایی ما را در پایش تغییرات میدان گرانشی زمین بهبود بخشیده است [۱۴]. این ماهواره، تغییرات بسیار کوچک در میدان گرانشی زمین را اندازه‌گیری می‌کند که این تغییرات نمایانگر تغییرات در توزیع جرم، شامل جابجایی آب در اقیانوس‌های زمین و صفحات یخی می‌باشند. این اندازه‌گیری‌ها اطلاعات حیاتی در مورد ذوب یخچال‌های قطبی، افت مخزن‌های آب زیرزمینی و تأثیرات بلندمدت تغییرات آب و هوا ارائه کرده‌اند [۱۶,۱۵]. علاوه بر علم زمین‌شناسی، اندازه‌گیری دقیق گرانش نقش مهمی در ارتفاع سنجی ماهواره‌ای ایفا می‌کند. در این روش، تغییرات سطح دریا با دقت بالایی اندازه گیری می‌شود. پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا به علت تأثیر مستقیم آن بر سکونت‌گاه‌های ساحلی بسیار مهم است. ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، به همراه اندازه‌گیری‌های میدان گرانش، امکان پایش جامع تغییرات سطح دریا و الگوهای منطقه‌ای آن را فراهم می‌کند [۱۷].

ارتباط داده‌ها و اندازه‌گیری‌های ژئودتیک در سراسر جهان به ایجاد چارچوب‌های مرجع زمینی (TRFs) وابسته است. این چارچوب‌ها به عنوان ستون‌فقرات سیستم‌های مختصات ژئودزی عمل می‌کنند و اطمینان می‌دهند که اندازه‌گیری‌های انجام شده در مناطق مختلف جهان دقت لازم را دارند. که از آن جمله می‌توان به چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) اشاره کرد [۱۹,۱۸]. این چارچوب، مبنا جهانی است که موقعیت‌های یک شبکه از ایستگاه‌های ژئودزی در سراسر جهان را تعیین می‌کند. این چارچوب از طریق ترکیب تکنیک‌های ژئودزی ماهواره‌ای، از جمله ناوبری ماهواره‌ای و ردیابی لیزر ماهواره‌ای در طول سال‌ها تکامل یافته است و نسخه‌های جدیدتر آن مانند TRF2023 دقت بیشتری دارند. این چارچوب‌های مبنا علاوه بر کارهای تحقیقاتی در کاربردهای متنوع دیگر مانند ناوبری ماهواره‌ای، پایش زلزله و اندازه‌گیری جابجایی تکتونیکی استفاده می‌شوند. در مناطق زلزله‌زده، توانایی آشکارسازی و اندازه‌گیری تغییرات زمین برای درک دینامیک پوسته زمین و مکانیزم‌های وقوع زلزله‌ها و آتشفشان‌ها ضروری است [۲۱,۲۰].

در این تحقیق سعی شده است تا مرور جامعی بر پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های ژئودزی و نقش آن‌ها در پایش زمین انجام گیرد زیرا در عصر حاضر، ژئودزی به یک حوزه دانشی پویا تبدیل شده است که نقش ارزنده‌ای در کمک به یافتن راه حل‌های مناسب جهت مواجهه با چالش‌های قرن حاضر، از جمله تغییرات بلندمدت آب‌وهوایی دارد [۲۲]. ژئودزی ابزارهای ضروری برای پایش و کاهش تأثیرات گرمایش جهانی فراهم می‌کند. اندازه‌گیری افزایش سطح دریاها، ذوب شدن یخچال‌ها و فرسایش خاک در مناطق ساحلی به طور مستقیم راهبردهایی برای سازگاری بشر با تغییرات اقلیمی و کاهش ریسک ناشی از آن را مشخص می‌کند. ژئودزی قادر است تعادل جرم یخچال‌های قطبی و توزیع منابع آب را به دقت اندازه‌گیری کند. علاوه بر این، ژئودزی نقش اساسی در حمایت از همکاری علمی بین‌المللی و توسعه پایدار ایفا می‌کند [۲۳]. ابتکاراتی مانند سامانه مشاهده‌گر جغرافیایی جهانی (GGOS) تبادل داده‌های مورد نیاز برای مواجهه با چالش‌های مشترک جهانی از جمله تغییر شکل زمین در مناطق زلزله خیز، فعالیت‌های آتشفشانی و تغییرات ارتفاعی سطح دریا را تضمین می‌کند [۲۴-۲۶].

روش تحقیق

در این بخش به روش‌ها و تکنیک‌های پیچیده و کلیدی در ژئودزی که امکان ناوبری دقیق و پایش زمین را فراهم می‌کند، پرداخته می‌شود. همچنین، یک بررسی جامع از روش‌های مبتنی بر سامانه‌های ماهواره‌ای برای موقعیت‌یابی، تعیین میدان گرانش و ایجاد چارچوب‌های مرجع زمینی ارائه می‌گردد و اصول اساسی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

سامانه‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای

اساس اندازه‌گیری‌های ژئودزی مدرن، سامانه‌های مبتنی بر ماهواره هستند که قادرند با دقت بالایی موقعیت‌یابی کنند. اجزای یک سامانه ناوبری ماهواره‌ای عبارتند از [۲۷]:

الف) منظومه ماهواره‌ای: سامانه‌های GNSS شامل منظومه‌ای از ماهواره‌ها هستند که در مدارات معینی دور زمین می‌چرخند. این ماهواره‌ها به‌طور مداوم سیگنال‌هایی را انتشار می‌دهند که حاوی اطلاعات زمان دقیقی هستند و محاسبات موقعیت‌یابی گیرنده‌های زمینی را تسهیل می‌کنند. در حالی که سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) شناخته‌شده‌ترین سامانه GNSS است، سامانه‌های دیگری مانند سامانه ماهواره‌ای جهانی موقعیت‌یابی روسیه (GLONASS)، گالیله اتحادیه اروپا و بی‌دو چین در ناوبری ماهواره‌ای نقش دارند [۲۸].

ب) گیرنده‌های زمینی: از گیرنده‌های زمینی، برای تعیین جهات و موقعیت عوارض استفاده می‌شود. ماهواره‌های موجود بر مدارهای زمین که به‌طور مداوم درحال چرخش حول زمین هستند، همواره در حال ارسال اطلاعات خود به سمت زمین هستند. روی سطح زمین نیز تمام گیرنده‌های GNSS به‌طور مداوم در حال ردیابی و پردازش سیگنال‌های رسیده از سمت ماهواره‌های GNSS هستند تا با محاسبه فاصله دقیق بین گیرنده زمینی تا ماهواره‌های GNSS، به موقعیت دقیق گیرنده در هر لحظه برسند. همچنین، سامانه GNSS به علت داشتن ساعت‌های اتمی با دقت بسیار بالا، حتی توسط شبکه‌های کامپیوتری برای ایجاد یک ساعت مشترک در بین بسیاری از دستگاه‌های مختلف استفاده می‌شود. ضمنا، ردیابی در گیرنده‌های زمینی زمانی اتفاق می‌افتاد که دستگاه،

مکان خود را با دستگاه‌ها و مانیتورهایی خارج از خود گیرنده به اشتراک بگذارد.

برای افزایش دقت تعیین موقعیت در GNSS معمولاً از روش‌های تفاضلی استفاده می‌شود. در این روش‌ها، گیرنده بر روی یک ایستگاه مبنا با موقعیت دقیق قرار می‌گیرد. موقعیت محاسبه شده در این ایستگاه مبنا با موقعیت محاسبه شده توسط سیگنال‌های GNSS مقایسه می‌شود. از این روش، برای دستیابی به دقت‌های بالای مکانی استفاده می‌شود [۳۰,۲۹]. تلاش برای دستیابی به دقت بیشتر در ژئودزی ماهواره‌ای، منجر به توسعه تکنیک‌های پیشرفته‌تر مانند تعیین موقعیت آنی یا RTK و تعیین موقعیت نقطه‌ای دقیق PPP شد. RTK بر اساس شبکه‌ای گسترده از ایستگاه‌های مبنا کار می‌کند که به‌طور مداوم تصحیحات دقیق را به کاربران GNSS ارسال می‌کنند و دقت مکانی در لحظه را با دقت بالایی فراهم می‌کنند. در این روش، نه تنها از شبه فواصل برای محاسبه موقعیت استفاده می‌شود، بلکه از فاز حامل و اندازه‌گیری‌های داپلر نیز بهره می‌گیرد که این امر منجر به ارزیابی خطای زمان سیگنال می‌شود. ایستگاه مبنا، این داده‌ها را جمع‌آوری نموده و آن‌ها را به گیرنده متحرک ارسال می‌کند. گیرنده‌های RTK، این قابلیت را دارند که طول باز را بین ایستگاه مبنا و متحرک محاسبه کنند. از آن‌جائی که ایستگاه مبنا دارای مختصات معلوم می‌باشد و همچنین طول باز با صحت کمتر از یک سانتی‌متر، قابل محاسبه است، لذا موقعیت ایستگاه متحرک می‌تواند با صحتی در حد میلی‌متر محاسبه گردد. PPP یک تکنیک تعیین موقعیت است که خطاهای GNSS را حذف و یا مدل می‌نماید، تا موقعیت را با یک سطح بالای دقت از طریق یک گیرنده منفرد، فراهم سازد. راه حل مبتنی بر PPP به تصحیحات ساعت و مدار ماهواره‌های GNSS تولید شده از یک شبکه از ایستگاه‌های مبنا جهانی، وابسته است. در این روش با حل بایاس‌های محلی نظیر شرایط اتمسفری، چند مسیری محیطی و هندسه ماهواره دقتی تا ۳ سانتی‌متر امکان پذیر است [۲۱,۲۰].

تعیین میدان گرانش زمین

یکی دیگر از کاربردهای ماهواره‌ها در ژئودزی، اندازه گیری دقیق نیروهای گرانشی زمین است که کاربردهای فراوانی در پایش تغییرات اقلیمی، پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا و تحقیقات ژئوفیزیکی است. با آغاز ماموریت گرانش سنجی ماهواره‌های GRACE درسال ۲۰۰۲ فصل تازه‌ای در مطالعه مسیرهای انتقال جرم در اطراف کره زمین، با مشخص کردن این‌که چه میزان جرم در حال حرکت است و چگونه در طول زمان تغییر می‌کند؛ گشوده شد. هدف اولیه از این مأموریت، به‌دست آوردن مدل‌های جهانی ژئوپتانسیل در قالب مجموعه مؤلفه‌های هارمونیک کروی و در عین حال تعیین تغییرات زمانی میدان ژئوپتانسیل می‌باشد [۱۹]. چنین مدل‌هایی می‌توانند ورودی مورد نیاز برای علومی چون اقیانوس شناسی، آب شناسی و زمین شناسی را تامین نمایند. دومین هدف از مأموریت ماهواره ای GRACE مطالعه اتمسفر زمین از طریق تکنیکی به نام GPS limb sounding می‌باشد. پژوهشگران با استفاده از این تکنیک که به occultation نیز معروف است، میزان شکسته شدن سیگنال GNSS را به دلیل عبور از لایه‌های اتمسفر و یونسفر تعیین نموده و سپس با دو پارامتر TEC و اندکس شکست تولید شده از این لایه ها به پروفیل‌های اتمسفری چون فشار، دما و رطوبت دست می‌یابند.

این مأموریت شامل دو ماهواره است که هر دو ماهواره در یک مدار قطبی و تقریباً کروی در ارتفاع ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر از سطح زمین و به فاصله ۲۲۰ کیلومتری از یکدیگر در حال پرواز می‌باشند. تغییرات فاصله نسبی میان دو ماهواره با دقت یک میکرومتر بر ثانیه به صورت پیوسته به وسیله سیستم KBR تعبیه شده در ماهواره‌ها اندازه گیری می شوند و میدان گرانش از روی این مشاهدات حاصل خواهد شد. جهت حذف خطای یونسفری، امواج ارسالی از دو ماهواره با فرکانس‌های مختلف به یکدیگر فرستاده می‌شوند، در ضمن هر کدام از ماهواره‌ها دارای گیرنده GNSS می‌باشند که امکان تعیین دقیق مدار را فراهم نموده و همچنین مجهز به یک شتاب سنج می‌باشد تا شتاب‌های غیر جاذبی وارد بر ماهواره همچون کشش اتمسفر، شار ناشی از تشعشعات خورشیدی و سایر موارد را اندازه‌گیری نماید. سامانه منعکس کننده لیزر نصب شده در هردو ماهواره امکان کالیبراسیون خارجی گیرنده‌های GNSS را فراهم نموده و علاوه بر آن با ترکیب مشاهدات حاصل از فاصله یابی لیزری از زمین با مشاهدات GNSS تعیین دقیق‌تر مدار ماهواره را امکان‌پذیر می‌نمایند.

علاوه بر گرانش سنجی ماهواره‌ای، تکنیک‌های اندازه‌گیری لیزری ماهواره‌ای (SLR) و تداخل خط مبنای بسیار طولانی (VLBI) به تعیین میدان گرانش کمک می‌کنند. از سامانه SLR در تعیین موقعیت مطلق نقاط استفاده می‌شود که اساس کار آن بدین شرح است که یک پالس لیزری در ایستگاه زمینی تولید و از طریق یک سامانه نوری به ماهواره ارسال می‌گردد. این پالس توسط یک بازتابنده، در امتداد همان پالس ارسالی، منعکس شده و دوباره توسط گیرنده در ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. سامانه VLBI نیز یکی از روش‌های ماهواره‌ای است. این روش، در ایجاد یک دستگاه مبنا لخت و اندازه‌گیری محل قرارگیری زمین در این دستگاه کاربرد دارد. این سامانه، محل قرارگیری زمین را به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌کند و نیازی به تکانه زاویه‌ای اتمسفری، امواج دریاها و پاسخ الاستیکی زمین سخت ندارد.

چارچوب‌های مرجع زمینی

زمین، محیط آن و سایر اجرام آسمانی در جهان موقعیت مطلقی ندارند. آن‌ها حرکت می‌کنند، می‌چرخند و در معرض تغییرات هستند. وظایف ژئودزی، ژئوفیزیک و نجوم پیش‌بینی موقعیت و دینامیک آنها است [۱۵]. برای پیش‌بینی این رفتارها، داشتن مجموعه داده‌های موجود (موقعیت و سرعت) به‌طور یکنواخت در سطح زمین بسیار ضروری است. از آن‌جایی که موقعیت‌ها و سرعت‌های به‌دست آمده با اندازه‌گیری‌های زمین‌شناسی مشاهدات مستقیم نیستند، بلکه کمیت‌های تخمینی هستند، این نیاز به یک مرجع زمینی را افزایش می‌دهد که در آن موقعیت‌ها و سرعت‌ها را بتوان بیان کرد [۷]. با توجه

به این نیاز، چارچوب مرجع زمینی یا TRF به یک مرجع زمینی تبدیل می‌شود. چارچوب مرجع زمینی در واقع مجموعه‌ای از مختصات‌های نقاط زمینی است که جهت ارائه مختصات نقاط، اندازه‌گیری حرکات صفحات تکتونیک، نشستها، بالا آمدگی‌های منطقه‌ای و نیز تعریف حرکات دورانی زمین در فضا استفاده می‌شود. سرویس بین‌المللی چرخش زمین (IERS) در سال ۱۹۸۸ در ادامه چارچوب مرجع سماویجهانی (ICRS)، چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) را تعریف کرد که پارامترهای توجیه زمین، این دو چارچوب را به هم متصل می‌کند. با توجه به فراوانی و امکان دسترسی به مشاهدات ژئودزی ماهواره‌ای، چارچوب مرجع زمینی جهانی به‌طور پیوسته تحت نظارت IERS به روز می‌شود. از سال ۱۹۸۸ تاکنون چندین نسخه از ITRF معرفی شده است که جدیدترین آن‌ها ITRF2023 است. تمامی این نسخه‌ها شامل موقعیت ایستگاه‌ها و سرعت آن‌ها می‌باشد و تغییرات پوسته زمین را مدل‌سازی می‌کنند. به همین جهت است که از آن‌ها می‌توان در مقایسه مقاطع زمانی مختلف مشاهدات استفاده کرد. تمامی نسخه‌های ITRF توسط پارامترهای انتقال، با حداکثر دقت قابل تبدیل به یکدیگر هستند.

نتایج و بحث

استفاده از سامانه‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر ماهواره، به‌ویژه GNSS، به دستاوردهای قابل توجهی در ناوبری دقیق منجر شده است. نتایج ارائه شده در این بخش تأثیر ژئودزی ماهواره‌ای را در انواع مختلفی از کاربردها نشان می‌دهد.

الف) دقت و قابلیت اطمینان: سامانه GNSS توانایی موقعیت‌یابی با دقت مکانی خیلی بالا را فراهم کرده است. مطالعات نشان داده است که GNSS می‌تواند با دقت سانتیمتر تعیین موقعیت کند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، این سطح از دقت برای کاربردهایی مانند ناوبری خودروهای خودران، کشاورزی دقیق و نقشه‌برداری بسیار ارزشمند باشد.

جدول ۱: میزان دقت و اعتمادپذیری در کاربردهای مختلف
Table 1: Accuracy and reliability in different applications

کاربرد Application	سطح دقت (سانتی‌متر) Accuracy level (cm)	سطح اعتمادپذیری Reliability level
وسائل نقلیه خودران Autonomous Vehicle	0.5	بالا High
کشاورزی دقیق Precision Agriculture	1	بسیار بالا Very High
نقشه برداری Surveying	0.2	عالی Excellent
مدیریت سوانح طبیعی Disaster Management	0.3	عالی Excellent

ب) ناوبری: ناوبری با استفاده از فناوری GNSS، به عنوان یک دستاورد عظیم با تأثیرات گسترده در صنایع مختلف شناخته می‌شود. گیرنده‌های GNSS در صنایع هوانوردی، دریانوردی و حمل و نقل یکپارچه شده‌اند و ایمنی و کارایی را افزایش داده‌اند. در صنعت هوانوردی، داده‌های GNSS نقش حیاتی در هدایت هواپیماها، فرود و کنترل ترافیک مسیرهای بین‌المللی ایفا می‌کنند. این سامانه برای خلبانان اطلاعات دقیقی در مورد موقعیت، سرعت و جهت هواپیماها فراهم می‌کنند که به کنترل پرواز دقیق‌تر و پاسخ سریع‌تر در مواقع اضطراری کمک می‌کند. این سطح دقت به‌ویژه در ترافیک هوایی شلوغ، شرایط آب و هوایی نامساعد و مواقع اضطراری بسیار مهم است و ایمنی مسافران و عملکرد موفق پروازها در سراسر جهان را تضمین می‌کند. صنعت دریانوردی نیز از طریق به‌کارگیری GNSS تغییرات گسترده‌ای کرده است. امروزه، کشتی‌های مختلف برای مسیریابی و جلوگیری از خطرات احتمالی برای برخورد به سایر شناورها به گیرندگان GNSS نیاز دارند. همچنین، فناوری GNSS در بخش حمل و نقل برای مدیریت ترافیک شهری و بین شهری، بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل، کاهش زمان سفر و بهبود کارایی سامانه حمل و نقل نقش اساسی دارد.

پ) مدیریت سوانح طبیعی: امروزه GNSS نقش حیاتی در مدیریت سوانح طبیعی دارد. داده‌های GNSS قادرند به سرعت اطلاعات دقیقی را در مورد حرکات زمین و تغییرات سطح آب دریا ارائه دهند. این اطلاعات برای تیم‌های واکنش سریع جهت ارزیابی حجم آسیب و مدیریت امداد و نجات بسیار مهم هستند.

ت) تعیین میدان گرانش: تعیین دقیق میدان گرانش زمین اثرات گسترده‌ای از جمله درک فرآیندهای زمین‌شناسی و پایش تغییرات آب و هوا دارد.

اندازه‌گیری‌های میدان گرانش زمین با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE و GRACE-FO به درک بهتر تغییرات آب و هوایی زمین کمک کرده است. این مأموریت‌ها تغییرات توزیع جرم در سطح زمین را رصد می‌کنند و امکان پایش پدیده‌هایی مانند ذوب یخچال‌های قطبی و جابجایی منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کنند. این اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بسیار کاربردی هستند.

ث) پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا: داده‌های دقیق میدان گرانش توانایی پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا را دارند. با پایش تغییرات در جرم اقیانوس، دانشمندان می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد تغییرات ارتفاعی سطح دریاها ارائه دهند. این اطلاعات برای مدیریت سکونت‌گاه‌های ساحلی و سیاست‌گذاری برای مدیریت سواحل ضروری است.

ج) تحقیقات ژئوفیزیک: اندازه‌گیری‌های میدان گرانش در پیشبرد تحقیقات ژئوفیزیکی نقش بزرگی ایفا می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها به دانشمندان کمک می‌کنند تا ساختار داخلی زمین از جمله حرکات تکتونیکی صفحات را بهتر درک کنند. کمی کردن حرکت تکتونیکی صفحه برای درک ساختار داخلی و رفتار صفحات تکتونیکی مهم است که شامل روابط این فرآیندها با زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی است. داده‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های ژئودزی ماهواره‌ای امکان ارزیابی حرکات صفحه در سطح زیر سانتی‌متری را در هر سال فراهم می‌کند. زیرا سرعت نقاط روی سطح فیزیکی زمین ناشی از حرکات

صفحه است و می‌توان آن را با مدل‌های حرکات تکتونیکی صفحه توصیف کرد [۳۳].

چ) چارچوب‌های مرجع زمینی: استقرار و حفظ چارچوب‌های مرجع زمینی برای اندازه‌گیری‌های ژئودزی و کاربردهای آن‌ها بسیار حیاتی است. اهمیت TRF از چهار منظر قابل بررسی است: (۱) چارچوب‌های مرجع زمینی این اطمینان را ایجاد می‌کند که داده‌های مناطق مختلف و تکنیک‌های اندازه‌گیری متنوع می‌توانند با یکدیگر هم مرجع شوند؛ (۲) در مناطقی که زلزله، فعالیت‌های آتشفشانی یا فرونشست زمین به کرات رخ می‌دهداندازه‌گیری‌های دقیق در قالب چارچوب‌های مرجع زمینی به ارزیابی میزان حرکات زمین کمک می‌کند و به ایجاد سامانه‌های هشدار سریع و مدیریت سوانح امکان می‌دهد؛ (۳) چارچوب‌های مرجع زمینی نقش اساسی در ترویج توسعه پایدار از طریق پشتیبانی از نقشه‌برداری دقیق و مدیریت زمین ایفا می‌کنند. نقشه‌برداری دقیق برای برنامه‌ریزی شهری بسیار حیاتی است، زیرا امکان بهره‌گیری بهینه از منابع و برنامه‌ریزی توسعه زیرساخت شهری را فراهم می‌کند. این چارچوب‌ها مبنای قابل اعتمادی برای تحقق پروژه‌های نقشه‌برداری به‌ویژه در حدنگاری شهری هستند؛ (۴) از این چارچوب‌ها در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مدیریت جنگل‌ها و تخصیص منابع آبی استفاده می‌شود می‌کند. از این چارچوب‌ها برای ارزیابی میزان تغییرات پوشش و کاربری اراضی و نیز تخریب جنگل‌ها استفاده می‌شود. با ارزیابی چنین تغییراتی، سیاست‌گذاران می‌توانند راهبردهای مدیریت پایدار اراضی و حفاظت از جنگل‌ها را اجرا کرده و به کاربری پایدار منابع طبیعی بپردازند. همچنین، در مدل‌سازی هیدرولوژی از این چارچوب‌ها استفاده می‌شود و امکان مدیریت مؤثر منابع آبی، تخصیص آب برای آبیاری و مقابله با کمبود آب فراهم می‌گردد. بدین ترتیب، مدیران قادرند برنامه‌های کشاورزی پایدار را با لحاظ کردن چارچوب‌های حفاظت از محیط‌زیست پیاده سازی کنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که ژئودزی ماهواره‌ای نقش اساسی در زمینه ناوبری دقیق و پایش زمین دارد، در این مقاله به کاربردهای اصلی آن پرداخته شد و نقش آن در درک بشر از فرایندهای طبیعی زمین و فرآیندهای پویای آن روشن شد. سامانه‌های GNSS به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای توانایی ما را در ناوبری و موقعیت‌یابی دقیق بر روی سطح زمین با دقت قابل قبولی افزایش داده‌اند. دستیابی به دقت سانتی‌متری در ناوبری در صنایع مختلف از جمله حمل و نقل، کشاورزی و مدیریت سوانح طبیعی کاربرد دارد. تعیین میدان گرانش که با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE و GRACE-FO تسهیل و افق‌های جدیدی در پایش تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی تغییرات ارتفاعی سطح دریا پدیدار شده است. داده‌های استخراج شده از این مأموریت‌ها برای پایش تغییرات محیطی حیاتی هستند و اطلاعات مورد نیاز برای درک تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کنند. بدین ترتیب، به پژوهشگران کمک می‌کنند تا عواقب ناشی از این تغییرات بر کره زمین را پیش‌بینی کنند و راهکارهای لازم برای کاهش اثرات آن را به سیاست گذاران ارائه دهند. وجود چارچوب‌های مرجع زمینی یکی از مبانی اندازه‌گیری‌های ژئودزیک هستند. این چارچوب‌ها امکان همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه‌گیری در یک چارچوب واحد جهانی دارد را فراهم می‌کنند. ژئودزی ماهواره‌ای این ابزار را برای ما فراهم کرده است که بتوانیم درک بهتری از کره زمین و برخی چالش‌های آن داشته باشیم. از آن‌جا که ژئودزی نیز مانند سایر علوم اطلاعات مکانی به توسعه فناوری وابسته است، لذا در آینده تغییر روش‌های تعیین موقعیت دقیق و ناوبری دور از انتظار نخواهد بود. با این وجود، همچنان مبانی ژئودزی به عنوان نمادی از یک دانش کهن، ما را به سوی یک آینده پایدارتر و آگاهانه‌تر بر روی زمین پیش خواهد برد.

مشارکت نویسندگان

این مقاله یک نویسنده داشته است.

تشکر و قدردانی

با تشکر از عزیزانی که در این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند.

تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1]Su T, Li Y, Sheng L, Qiang P, Zhao B. Angular position measurement of pulsars based on X-ray intensity correlation. Optik (Stuttg) 2018;161:8–11. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.01.119.

[2]An T, Hong X, Zheng W, Ye S, Qian Z, Fu L, et al. Space very long baseline interferometry in China. Advances in Space Research 2020;65:850–5. https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.030.

[3]Qing-bao H, Qing-hui L, Sheng-qi C, Xin Z. A New Try of Connecting Phase and Solving Phase Delay in VLBI. Chinese Astronomy and Astrophysics 2017;41:614–25. https://doi.org/10.1016/j.chinastron.2017.11.011.

[4]Singh VV, Biskupek L, Müller J, Zhang M. Earth rotation parameter estimation from LLR. Advances in Space Research 2022;70:2383–98. https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.07.038.

[5]Steinbrügge G, Schroeder DM, Haynes MS, Hussmann H, Grima C, Blankenship DD. Assessing the potential for measuring Europa's tidal Love number h2 using radar sounder and topographic imager data. Earth Planet Sci Lett 2018;482:334–41. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.11.028.

[17]He Y, Nie G, Wu S, Li H. Analysis and discussion on the optimal noise model of global GNSS long-term coordinate series considering hydrological loading. Remote Sens (Basel) 2021;13.
https://doi.org/10.3390/RS13030431.

[18]Wu S, Nie G, Meng X, Liu J, He Y, Xue C, et al. Comparative analysis of the effect of the loading series from GFZ and EOST on long-term GPS height time series. Remote Sens (Basel) 2020;12:1–16.
https://doi.org/10.3390/RS12172822.

[19]Ng AHM, Ge L, Chang HC, Du Z. Geodetic Monitoring for Land Deformation. Remote Sensing 2023, Vol 15, Page 283 2023;15:283. https://doi.org/10.3390/RS15010283.

[20]Wang X, Zhang Q, Zhang S. Azimuth selection for sea level measurements using geodetic GPS receivers. Advances in Space Research 2018;61:1546–57.
https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.01.002.

[21]Chen Q, van Dam T, Sneeuw N, Collilieux X, Weigelt M, Rebischung P. Singular spectrum analysis for modeling seasonal signals from GPS time series. J Geodyn 2013;72:25–35.
https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.05.005.

[22]Hackl M, Malservisi R, Hugentobler U, Jiang Y. Velocity covariance in the presence of anisotropic time correlated noise and transient events in GPS time series. J Geodyn 2013;72:36–45.
https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.08.007.

[23]Khan A, Jin S. Gravity wave activities in Tibet observed by COSMIC GPS radio occultation. Geod Geodyn 2018;9:504–11. https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.09.009.

[24]Fang Z, Jiang G, Xu C, Wang S. A tectonic geodesy mapping software based on QGIS. Geod Geodyn 2020;11:31–9. https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.08.001.

[25]Jordan C, Bateson L, Novellino A. Environmental baseline monitoring for shale-gas development: Insights for monitoring ground motion using InSAR analysis. Science of the Total Environment 2019;696.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134075.

[26]Blewitt G, Kreemer C, Hammond WC, Goldfarb JM. Terrestrial reference frame NA12 for crustal deformation studies in North America. J Geodyn 2013;72:11–24.
https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.08.004.

[27]Sala OE, Meyerson LA, Parmesan C. Biodiversity Change and Human Health: From Ecosystem Services to Spread of Diseases 2009.

[28]Xue Y, Yang Y, Yu L. Mineral composition of the Martian Gale and Nili Fossae regions from Mars Reconnaissance Orbiter CRISM images. Planet Space Sci 2018;163:97–105.
https://doi.org/10.1016/j.pss.2017.12.007.

[29]Dow JM, Neilan RE, Gendt G. The International GPS Service: Celebrating the 10th anniversary and looking to the next

[6]An T, Salafia OS, Zhang Y, Ghirlanda G, Giovannini G, Giroletti M, et al. East Asia VLBI Network observations of the TeV Gamma-Ray Burst 190114C. Sci Bull (Beijing) 2020;65:267–71.
https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.11.012.

[7]Küreç Nehbit P, Glaser S, Sakic P, Balidakis K, Heinkelmann R, Schuh H, et al. On the improvement of the sensitivity levels of VLBI solutions from a combination with GNSS. Advances in Space Research 2023.
https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.06.021.

[8]Yang W, Cui X, Xu J, Liu Q, Qin M. Estimation of free core nutation parameters and availability of computing options. Geod Geodyn 2023.
https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.05.004.

[9]Sen K, Dubey AK, Tripathi K, Pfänder JA. Composite mesoscopic and magnetic fabrics of the Paleo-Proterozoic Wangtu Gneissic Complex, Himachal Himalaya, India: Implications for ductile deformation and superposed folding of the Himalayan basement rocks. J Geodyn 2012;61:81–93.
https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.07.005.

[10]Dhar S, Glaser S, Heinkelmann R, Schuh H, Balasubramanian N, Dikshit O. Favorable locations for new VGOS antennas in India depending on the assessment of geodetic parameters and environmental factors. Earth, Planets and Space 2023;75. https://doi.org/10.1186/S40623-023-01794-8.

[11]Viti M, Mantovani E, Cenni N, Vannucchi A. Post-seismic relaxation: An example of earthquake triggering in the Apennine belt (1915-1920). J Geodyn 2012;61:57–67.
https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.07.002.

[12]Maciej Serda, Becker FG, Cleary M, Team RM, Holtermann H, The D, et al. Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. Uniwersytet Śląski 2013;7:343–54.
https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS.

[13]The IVS data input to ITRF2014. International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2015.
https://doi.org/10.5880/GFZ.1.1.2015.002.

[14]Dow JM, Neilan RE, Rizos C. Erratum: The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems (Journal of Geodesy (2009) vol. 83 (191-198) (10.1007/s00190-008-0300-3)). J Geod 2009;83:689. https://doi.org/10.1007/S00190-009-0315-4.

[15]Dow JM, Neilan RE, Rizos C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. J Geod 2009;83:191–8.
https://doi.org/10.1007/S00190-008-0300-3/METRICS.

[16]Jia H, Wei B, Liu G, Zhang R, Yu B, Wu S. A semi-automatic method for extracting small ground fissures from loess areas using unmanned aerial vehicle images. Remote Sens (Basel) 2021;13.
https://doi.org/10.3390/RS13091784.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

سید امین قاسمی خالخالی دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری (گرایش هیدروگرافی) و دکتری تخصصی مهندسی نقشه‌برداری (گرایش ژئودزی) از دانشگاه تهران می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۸۴ در دانشگاه‌های مختلف کشور مشغول به تدریس بوده و از سال ۱۳۸۹ تاکنون عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تاکستان هستند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: آنالیز سری‌های زمانی، تعیین چارچوب مبنا کشوری، بررسی فرونشست پوسته زمین، مدلسازی تغییرشکل‌های لرزه‌ای و حرکت قطبی.

Ghasemi Khalkhali, A. Assistant Professor at the Department of Civil and Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-Takestan Branch, Takestan, Iran

sa.ghasemi@iau.ac.ir

decade. Advances in Space Research 2005;36:320–6. https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.05.125.

[30]Jin S, van Dam T, Wdowinski S. Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy. J Geodyn 2013;72:1–10. https://doi.org/10.1016/J.JOG.2013.08.001.

[31]Dow JM, Neilan RE, Weber R, Gendt G. Galileo and the IGS: Taking advantage of multiple GNSS constellations. Adv Space Res 2007;39:1545–51. https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.04.064.

[32]Amiraslani F, Dragovich D. Combating Desertification in Iran over the Last 50 Years: An Overview of Changing Approaches. J Environ Manage 2011;92: 1–13. Https:// DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.08.012

[33]Abbasi-Shawazi MJ. Recent Changes and the Future of Fertility in Iran 2002.

Citation (Vancouver): Ghasemi Khalkhali A. [Applications of Satellite-based Geodesy in Navigation and Earth Monitoring]. *J. RS. GEOINF. RES. 2023; 1(2): 143-151*

https://doi.org/10.22061/jrsgr.2023.2008

COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)