प्रौद्योगिकी विशेष

डीआरडीओ की संस्थागत
एस एण्ड टी पत्रिका

www.drdo.gov.in/prodhyogic-vishesh
खंड 13 अंक 4, जुलाई–अगस्त 2025
ISSN: 2319-5568

पर्वतीय भू-खतरे मानचित्रण एवं भू-सूचना

प्रौद्योगिकी विशेष डीआरडीओ द्वारा विकसित किए गए उत्पादों, प्रक्रमों एवं प्रौद्योगिकियों को शामिल करते हुए इस संगठन द्वारा प्रौद्योगिकीय विकास के क्षेत्र में प्राप्त की गई उपलब्धियों को पाठकों के समक्ष प्रस्तुत करता है।

जुलाई–अगस्त 2025
खंड 13 अंक 4

मुख्य संपादक: किरण चौहान
सह मुख्य संपादक: सुधांशु भूषण
संपादक: दीप्ति अरोरा
सहायक संपादक: धर्म वीर
संपादकीय सहायक: रमन
अनुवादक: अनुराग कश्यप

पाठकगण कृपया अपने सुझाव निम्नलिखित पते पर भेजें

संपादक, प्रौद्योगिकी विशेष
रक्षा वैज्ञानिक सूचना तथा प्रलेखन केंद्र (डेसीडॉक)
मेटकॉफ हाउस, दिल्ली–110054
टेलीफोन : 011–23902403, 23902472
फैक्स : 011–23819151, 011–23813465
ई–मेल : director.desidoc@gov.in; techfocus.desidoc@gov.in; technologyfocus@desidoc.deldom
इंटरनेट : http://www.drdo.gov.in/prodhyogic-vishesh

स्थानीय संवाददाता

अहमदनगर :	कर्नल अतुल आप्टे, श्री आर ए शेख, वीआरडीई
अंबरनाथ :	डॉ गणेश एस ढोले, एनएमआरएल
बेंगलूरू :	श्री सतपाल सिंह तोमर, एडीई श्रीमती एम आर भुवनेश्वरी, कैब्स श्रीमती ए जी जे फहीमा, केयर श्री आर कमलाकन्नण, सेमीलेक डॉ संचिता सिल एवं डॉ सुधीर एस काम्बले, डेबेल डॉ वी सेंथिल, जीटीआरई श्रीमती साईमा बशीर, एलआरडीई डॉ सुशांत छत्रे, एमटीआरडीसी
चंडीगढ़ :	डॉ पाल दिनेश कुमार, टीबीआरएल डॉ अनुजा कुमारी, डीजीआरई
चेन्नई :	श्री के अंबाझगन, सीवीआरडीई
देहरादून :	श्री डीपी त्रिपाठी, डील डॉ एस के मिश्रा, आईआरडीई
दिल्ली :	श्री हेमंत कुमार, सीफीस श्री संतोष कुमार चौधरी, डीआईपीआर श्री नवीन सोनी, इनमास डॉ रुपेश कुमार चौबे, एसएसपीएल
ग्वालियर :	डॉ ए के गोयल, डीआरडीई
हल्दवानी :	डॉ अतुल ग्रोवर, डिबेर डॉ रंजीत सिंह, डिबेर
हैदराबाद :	श्री नरसिम्हाचारी, डीएलआरएल श्री एस शशी नाथ, डीएमआरएल श्री श्रीनिवास जुलुरू, डीआरडीएल
जोधपुर :	श्री डी के त्रिपाठी और डॉ योजना जानू, डीएलजे
कानपुर :	डॉ मोहित कटियार, डीएमएसआरडीई
कोच्चि :	श्रीमति लता एम एम, एनपीओएल
लेह :	डॉ शेरिंग स्टोब्डन, दिहार
मैसूर :	डॉ एम पालमुरूगन, डीआईबीटी
पुणे :	डॉ गणेश शंकर डोम्बे, एचईएमआरएल श्री अजय कुमार पांडेय, एआरडीई डॉ अनूप आनंद, आर एण्ड डीई (ई)
तेजपुर :	डॉ एस एन दत्ता, डीआरएल

"जब तक जीना, तब तक सीखना। अनुभव ही जगत में सर्वश्रेष्ठ शिक्षक है।"– स्वामी विवेकानंद

From the Desk of Special Editor

Defence Geoinformatics Research Establishment (DGRE) under Soldier Support Systems (SSS) has been raised on 15 November 2020. DGRE imbibes the responsibilities of erstwhile Snow & Avalanche Study Establishment (SASE), Chandigarh and Defence Terrain Research Laboratory (DTRL), Delhi. With its Headquarter at Chandigarh, DGRE has four Research & Development Centres (RDCs) and five Mountain Meteorological Centres (MMCs) spread over Northwest, Central, and Northeast regions of Indian Himalaya for in-depth geo-hazard research and management.

DGRE is working towards the development of broad spectrum of technologies for mountain geo-hazard mapping, monitoring, prediction, and mitigation. For the management of avalanche hazard in the Indian Himalayan snowbound regions, DGRE has developed technologies and models for weather & avalanche forecasting; snow & meteorological sensors; instrumentation for snow cover monitoring; communication network; and data links for near real-time dissemination of hazard information and critical alerts to the users.

To mitigate the avalanche hazard of strategic areas, DGRE has developed various control measures that includes implementation of avalanche control structures and artificial triggering of avalanches, etc. The development & implementation of geospatial tools and techniques for geo-hazard mapping, monitoring and geo-int generation is another technology domain of DGRE. DGRE is extensively employing multi-source remote sensing data (optical, thermal and microwave) for mapping, detection and monitoring of avalanches and landslides.

Physical and statistical modelling of the snow, avalanches and landslides is another important research domain of DGRE. These models provide the better insight to avalanche and landslide problems, which leads to effective implementation of geo-hazard mitigation measures.

This current edition of *Technology Focus,* Mountain Geo-hazard Mapping and Geo-intelligence as well as upcoming edition on Geo-hazard Monitoring, Modeling and Mitigation highlights the key enabling technologies developed by DGRE in recent years towards mountain geo-hazards management and are expected to serve the reference for future developments.

I am extremely delighted with the dedicated efforts that are continuously being put by DGRE team in developing technologies & products and services for geo-hazard management to fulfil the crucial operational requirements of the Users and exhort DGRE to continue the excellent work towards the complete safety from geo-hazards in Indian Himalaya.

Dr Upendra Kumar Singh
Distinguished Scientist & Director General
Soldier Support System (SSS)

From the Desk of Guest Editor

DGRE is the only establishment of its kind working on the technologies for geo-hazard management with a focus on avalanches and landslides for safe movement of the Armed Forces. DGRE is striving to ensure safe mobility of troops in inhospitable terrains with a focus on enhancing military potential and combat effectiveness in various types of terrains based on niche techniques. DGRE has its Area of Responsibility (AOR) along all major land border areas in states/UTs including Jammu & Kashmir, Ladakh, Himachal Pradesh, Uttarakhand, Sikkim and Arunachal Pradesh. Major users of DGRE are Armed Forces, Para-Military Forces, MoRTH, BRO and other Central and State Government Departments.

Snow avalanches are prominent natural hazards in mountainous regions of Indian Himalaya. DGRE has developed the technologies for identification, mapping, control of the mountain geo-hazards and it provides operational weather and avalanche forecasting services to the users. These technologies and services play a critical role in planning and decision-making by defence establishments as well as civil authorities in their operations.

Accurate observations of snow, meteorological and avalanche parameters are important inputs in the process of geo-hazard estimation, forecasting, and mitigation. To achieve this, DGRE has developed a network of manual snow-met observatories as well as Automatic Weather Stations (AWS) in the Himalayan region to collect data on a wide range of atmospheric and snow parameters. Further, DGRE has designed the network of 348 AWS keeping the geo-hazards in mind along with important road networks and community settlements.

Different kinds of avalanche control structures have been designed, developed and implemented by DGRE to mitigate avalanche hazards. DGRE has also provided technical consultancies to infrastructure development agencies for implantation of various avalanche mitigation measures.

The extensive analysis and susceptibility mapping of landslide prone regions and control release of weak zones prone to landslides has been demonstrated to the Users to achieve safe mobility in North-East regions.

Development of geospatial technologies and generation of geo-intelligence is another research domain of DGRE. To address the requirements of Indian Armed Forces, DGRE generates exhaustive terrain topographic and thematic database of Indian Himalayan regions and developed various GIS applications for geo-hazard analysis, mapping and monitoring. DGRE has also generated various GeoInt products such as DEMs (5 m resolution) of AOI, contour maps for high resolution data to be used for navigation.

This current special issue of *Technology Focus* on Mountain Geo-hazard Mapping and Geo-intelligence and next special issue on Geo-hazard Monitoring, Modeling and Mitigation presents the glimpse of new technologies developed by DGRE in the ambit of geo-hazards Management. It is anticipated that this issue of *Technology Focus* will provide a cursory insight into the preparedness of DGRE to develop futuristic geo-hazard and geo-intelligence technologies for Indian Himalayan region.

Dr Pramod Kumar Satyawali
Outstanding Scientist & Director
DGRE

पर्वतीय भू-खतरे मानचित्रण एवं भू-सूचना

भारतीय पर्वतीय क्षेत्रों में भू–खतरे के मध्यों का विस्तार केंद्र शासित प्रदेश जम्मू–कश्मीर, केंद्र शासित प्रदेश लद्दाख, हिमाचल प्रदेश, उत्तराखंड, सिक्किम और अरुणाचल प्रदेश तक फैला हुआ है। इसमें पर्वतीय क्षेत्रों का लगभग 4.31 लाख वर्ग किमी भूभाग शामिल है। हिमस्खलन और भूस्खलन इन क्षेत्रों को प्रभावित करने वाले दो प्रमुख भू–खतरे हैं। हिमस्खलन प्रवण क्षेत्र के प्रारंभिक अनुमानों से पता चला है कि लगभग 1.5 लाख वर्ग किमी, जो कुल क्षेत्रफल का 34% है, हिमस्खलन प्रवण क्षेत्रों के अंतर्गत आता है। इन जोखिम प्रवण क्षेत्रों में स्थलाकृतिक, भू–आकृति विज्ञान, मौसम विज्ञान, और हिम चरों में व्यापक स्थानिक परिवर्तनशीलता देखी गई है। इसके अलावा, इन क्षेत्रों का सामरिक महत्व भी बहुत अधिक है क्योंकि भारत की भू–राजनीतिक अंतर्राष्ट्रीय सीमा रेखाएँ इन क्षेत्रों से होकर गुजरती हैं। इसलिए, जोखिम की पहचान, भेद्यता आकलन, और जोखिम न्यूनीकरण के लिए इन क्षेत्रों का पूर्ण एवं सटीक मानचित्रण और निरंतर निगरानी आवश्यक है।

डीजीआरई के कार्यक्षेत्र में परिचालन पर्वतीय मौसम और हिमस्खलन पूर्वानुमान, भू–खतरों का मानचित्रण और मॉडलिंग, भू–खतरों का शमन और इंजीनियरिंग समाधान, डेटा संग्रह के लिए सेंसर और उपकरण, पर्वतीय खतरे का आकलन और स्थितिजन्य जागरूकता के लिए भू–स्थानिक डेटा और उपकरण, हिमस्खलन के कृत्रिम ट्रिगरिंग के लिए प्रणालियाँ, हिमस्खलन घटना और उससे पीड़ितों का पता लगाना, ऑफ–रोड यातायात क्षमता के लिए भू–भाग विश्लेषण, भू–खतरों की प्रारंभिक चेतावनी प्रणाली, और उपयोगकर्ताओं को सुरक्षा और बचाव प्रशिक्षण शामिल हैं।

पर्वतीय भू–खतरा प्रबंधन के क्षेत्र में कार्यरत एकमात्र प्रयोगशाला होने के नाते, डीजीआरई विभिन्न नागरिक तथा रक्षा एजेंसियों को भू–खतरा संबंधी सेवाएँ व्यापक रूप से प्रदान कर रही है। इनमें से कुछ हैं – परिचालन पर्वतीय मौसम एवं हिमस्खलन पूर्वानुमान, सुरक्षित शिविर स्थलों का चयन एवं उपयोगकर्ता के शिविरों और अन्य स्थापनाओं का सुरक्षा ऑडिट, सर्दियों की तैयारी के लिए दीर्घकालिक मौसम एवं बर्फ का अनुमान, तथा 'हिमस्खलन सुरक्षा एवं बचाव कार्यों और बर्फीला मौसम संबंधी डेटा संग्रह' पर प्रशिक्षण। डीजीआरई भू–खतरों के शमन के उपायों जैसे नियंत्रण संरचनाओं और हिमस्खलन के कृत्रिम ट्रिगरिंग को लागू करने में उपयोगकर्ताओं को तकनीकी सहायता भी प्रदान करता है।

भू-खतरों के मानचित्रण और निगरानी हेतु भू-स्थानिक प्रौद्योगिकियाँ

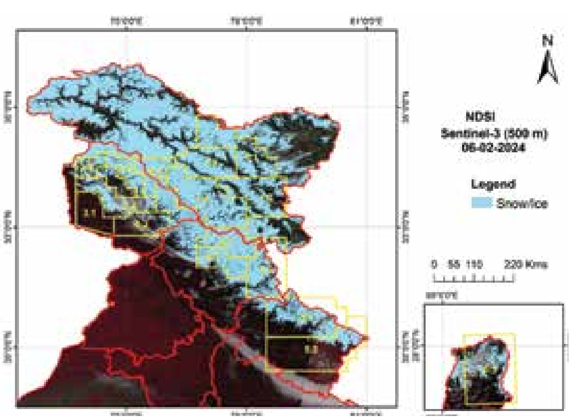
उपग्रह-आधारित मानचित्रण

हिम आवरण, भू–भाग, मौसम संबंधी मापदंडों और हिमस्खलन घटनाओं या मलबे की जानकारी आदि से संबंधित भू–स्थानिक डेटाबेस, हिमस्खलन के खतरों के मानचित्रण और निगरानी तथा हिमस्खलन पूर्वानुमान की सटीकता में सुधार के लिए आवश्यक हैं। हिमालय के विशाल ऊबड़–खाबड़ पहाड़ों और कठोर जलवायु परिस्थितियों के कारण, उच्च ऊँचाई वाले भू–अवलोकनों से हिम आवरण और भू–भाग की जानकारी एकत्र करना एक कठिन कार्य है। भू–स्थानिक प्रौद्योगिकी उच्च स्थानिक और कालिक विभेदन द्वारा बड़े क्षेत्रों के हिम आवरण की जानकारी के मानचित्रण और निगरानी के लिए एक प्रभावी उपकरण साबित होती है। डीजीआरई ने बहु–स्पेक्ट्रल रिमोट सेंसिंग और जीआईएस तकनीकों का उपयोग करके हिम आवरण की जानकारी निकालने के लिए विभिन्न एल्गोरिदम विकसित किए हैं।

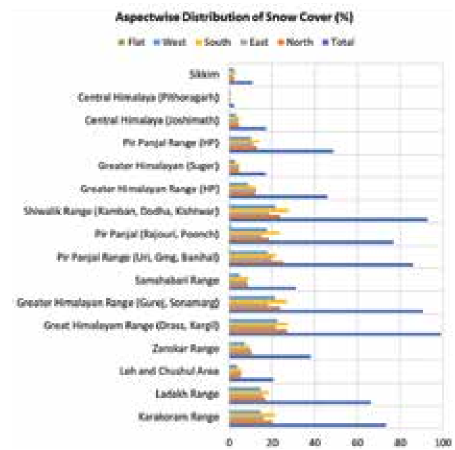
हिम आवरण क्षेत्र मानचित्रण

हिमस्खलन के खतरों के आकलन और पूर्वानुमान के लिए हिमालयी क्षेत्र में मौसमी हिम आवरण की जानकारी बहुत महत्वपूर्ण है। ऑप्टिकल उपग्रह सेंटिनल–3 पूरे हिमालयी क्षेत्र के लिए दैनिक आधार पर बहु–स्पेक्ट्रल चित्र प्रदान करता है। हिम आवरण क्षेत्र (SCA) मानचित्रों और हिम आवरण वितरण पैटर्न के निर्माण के लिए, नॉर्मलाइज़्ड डिफरेंस स्नो इंडेक्स (NDSI) आधारित पद्धति अपनाई गई है, जो हिम आवरण की परावर्तन क्षमता पर आधारित है (जैसा कि चित्र 1 में दिखाया गया है)।

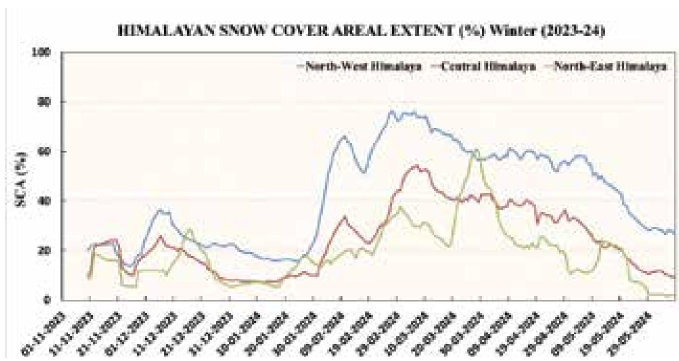
हिमस्खलन पूर्वानुमान के लिए सर्दियों के महीनों के दौरान दैनिक आधार पर SCA उत्पाद तैयार किए जा रहे हैं। चित्र 2 कुल क्षेत्रवार और पहलूवार SCA वितरण को दर्शाता है। हिमालय में 2023–24 की सर्दियों की अवधि के लिए देखे गए हिम आवरण वितरण पैटर्न चित्र 3 में दिखाए गए हैं। मासिक औसत हिम आवरण वितरण दर्शाता है कि 2022–23 की तुलना में 2023–24 की शुरुआती सर्दियों में कम बर्फबारी हुई, हालाँकि सर्दियों के अंत की अवधि के लिए भी ऐसा ही पैटर्न देखा गया था (चित्र 4)।



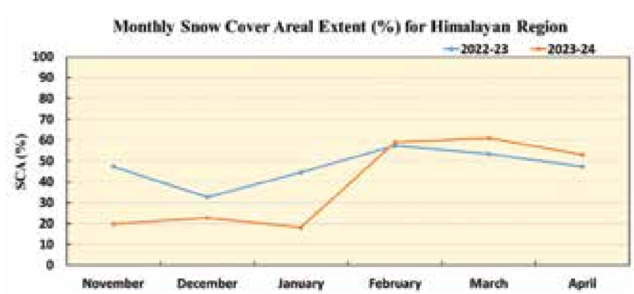
चित्र 1. हिमालय में ऑप्टिकल रिमोट सेंसिंग उपग्रह डेटा का उपयोग करके क्षेत्रवार SCA मानचित्रण।



चित्र 2. हिमालय में क्षेत्रवार (कुल SCA और पहलूवार) SCA वितरण।



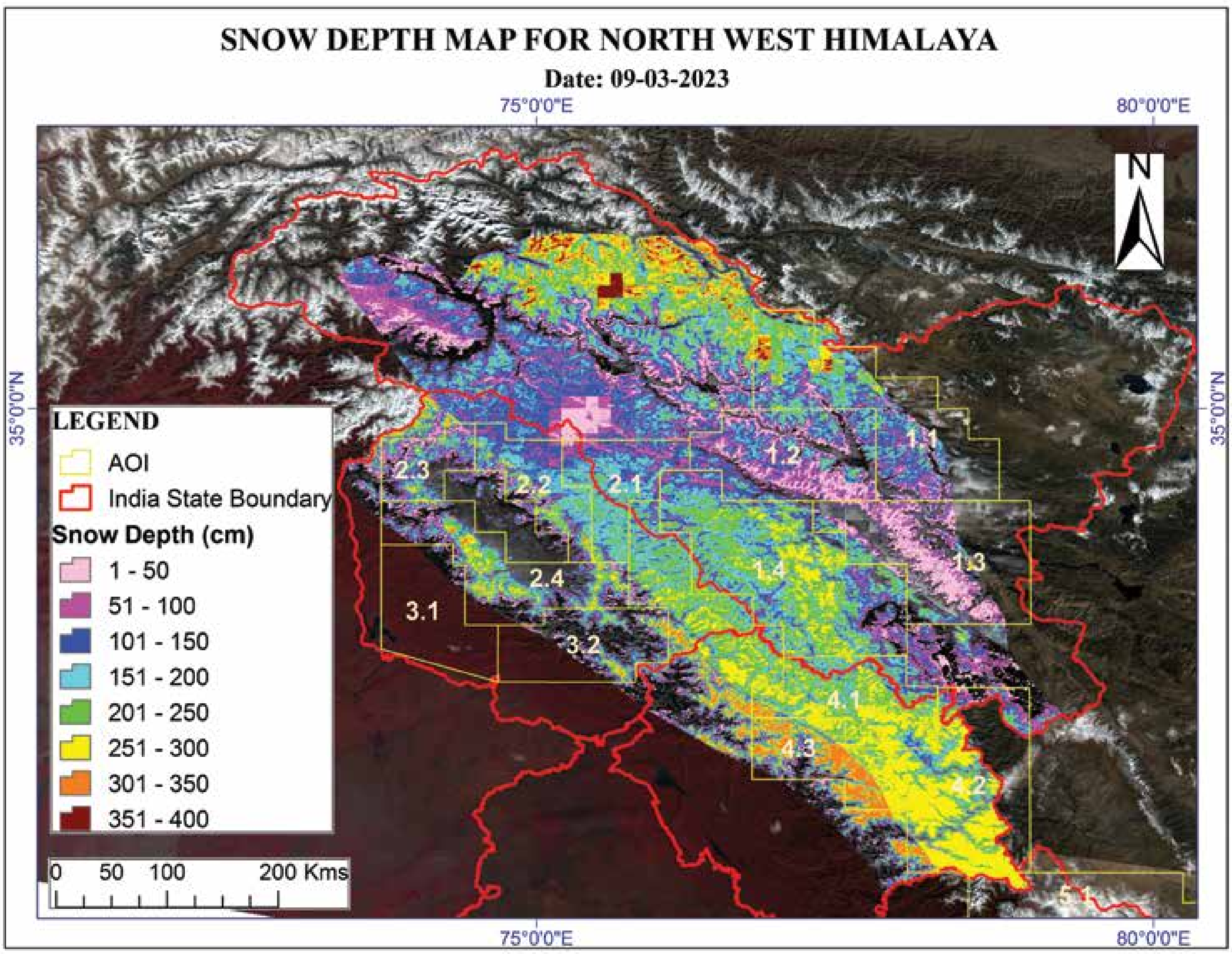
चित्र 3. हिमालय में शीतकाल 2022-23 और 2023-24 के लिए मौसमी हिम आवरण वितरण।



चित्र 4. हिमालय में शीतकाल के लिए माहवार मौसमी हिम आवरण वितरण।

हिम-गहराई का अनुमान

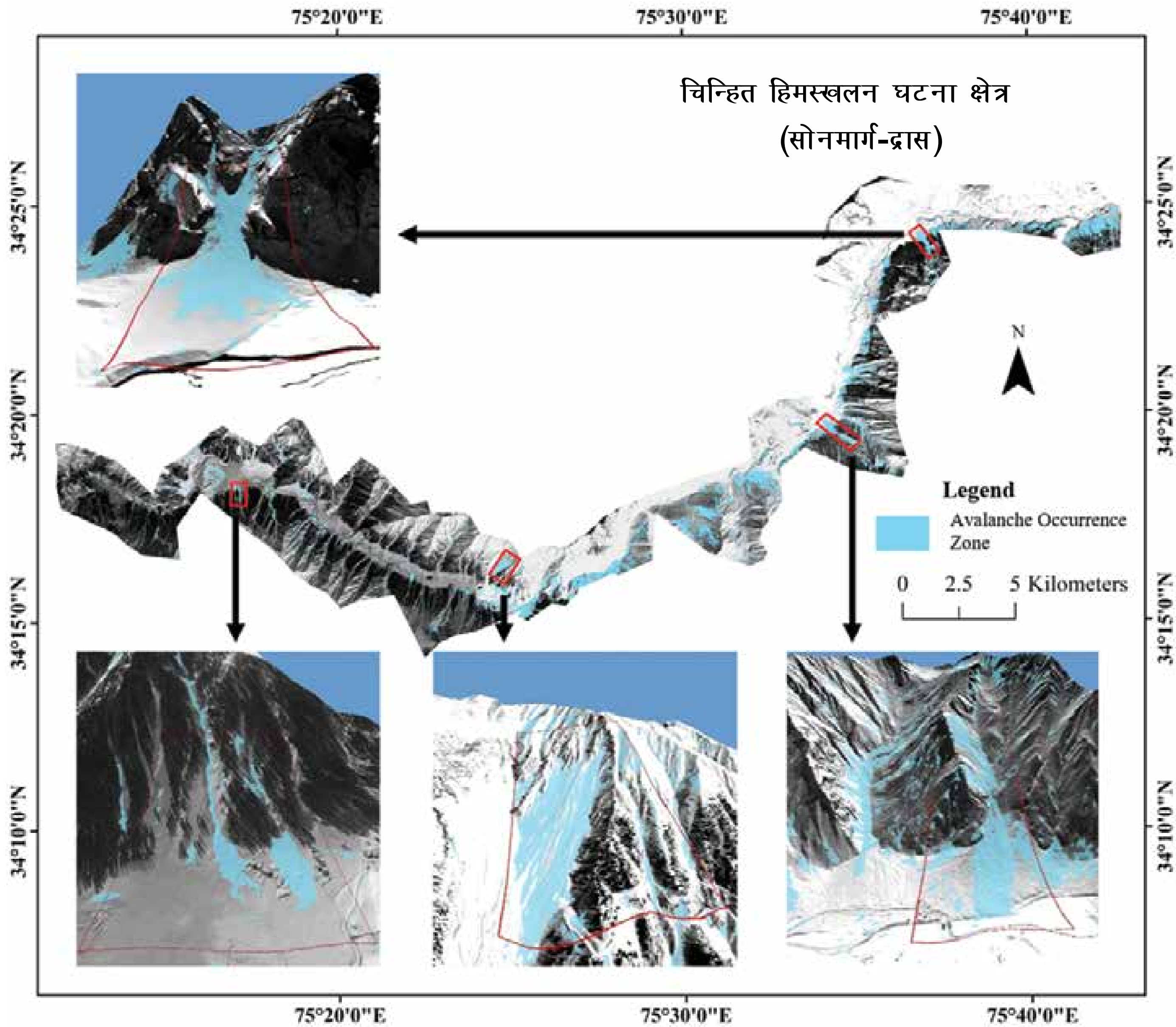
स्पेसिओटेम्पोरल स्नो डेप्थ (SD) एस्टिमेशन हिमस्खलन के पूर्वानुमान के लिए और जल विज्ञान से संबंधित कई अनुप्रयोगों के लिए विशेष रूप से आवश्यक है। हिमालय में हिम गहराई में उच्च स्थानिक–समय परिवर्तनशीलता को ध्यान में रखते हुए, तीन अलग–अलग हिमालयी क्षेत्रों, अर्थात् निम्न हिमालयी क्षेत्र (LHZ), मध्य हिमालयी क्षेत्र (MHZ), और उच्च हिमालयी क्षेत्र (UHZ) के लिए 500 मीटर के स्थानिक विभेदन पर SD का अनुमान लगाने के लिए क्षेत्रवार मॉडल विकसित किए गए हैं। उन्नत माइक्रोवेव स्कैनिंग रेडियोमीटर 2 (AMSR2) से बहु–आवृत्ति धवलता तापमान अवलोकन (TB), हिम आवरण अवधि डेटा (SCD), भू–भाग पैरामीटर (अर्थात, ऊँचाई, ढलान और ऊबड़–खाबड़ रास्ते, आदि) का उपयोग SD मॉडल विकसित करने के लिए किया जाता है। उत्पन्न SD उत्पाद चित्र 5 में दिखाए गए हैं।



चित्र 5. उत्तर-पश्चिम हिमालय में हिम-गहराई का वितरण।

ऑटोमेटेड एवलांच डेब्रिस डिटेक्शन

डीप लर्निंग तकनीक का उपयोग करके एक स्वचालित हिमस्खलन घटना क्षेत्र का पता लगाने की पद्धति विकसित की गई है। मॉडल विकास के लिए जियोआई–1 उपग्रह से प्राप्त उच्च–रिज़ॉल्यूशन (0.5 मीटर) छवियों का उपयोग किया गया है। मॉडल को यू–नेट डीप लर्निंग आर्किटेक्चर का उपयोग करके तीन अलग–अलग पैच आकारों में एवं एनोटेटेड उपग्रह छवियों का उपयोग करके प्रशिक्षित किया गया है। हिमस्खलन घटना क्षेत्र की पहचान के लिए आदर्श पैच, आकार 256 x 256 पाया गया है जिसका F1 स्कोर 0.97 है। प्रशिक्षित डीप लर्निंग मॉडल का उपयोग अब हिमस्खलन घटना क्षेत्र का पता लगाने के लिए किया जा रहा है। विकसित मॉडल के कुछ परिणाम चित्र 6 में दिखाए गए हैं।



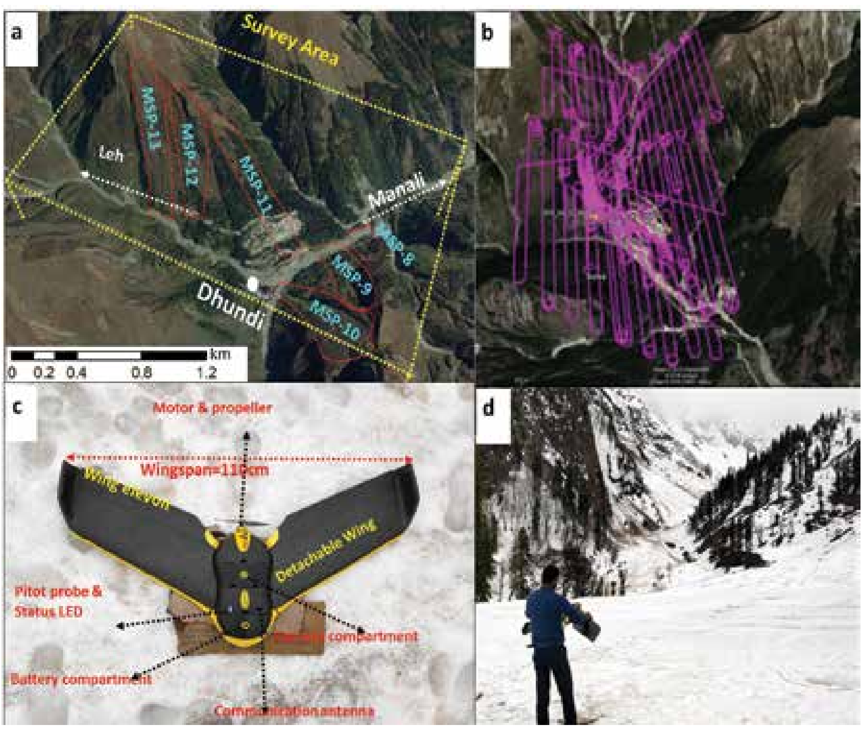
चित्र 6. यू-नेट डीप लर्निंग तकनीक का उपयोग करके उत्तर-पश्चिमी हिमालय से स्वचालित हिमस्खलन घटना क्षेत्र का पता लगाना।

यूएवी-आधारित मानचित्रण

स्ट्रक्चर–फ्रॉम–मोशन (SFM) एक फोटोग्रामेट्रिक तकनीक है जो द्वि–आयामी बहु–दृश्य छवि अनुक्रमों से त्रि–आयामी संरचना के आकलन के लिए गति सदिशों के साथ युग्मित हो इन अतिव्यापी छवियों के बीच परिवर्तन का चित्रण करते हैं। उच्च रिजॉल्यूशन पर स्थलाकृतिक सतहों या विशेषताओं का पुनर्निर्माण करने के लिए, अध्ययन क्षेत्र की बहु–दृश्य अतिव्यापी छवियों को कैप्चर करना आवश्यक है। कैमरे वाले यूएवी का उपयोग रुचिकर क्षेत्र की छवियां प्राप्त करने के लिए किया जाता है। यह पुनर्निमित त्रि–आयामी सतह सर्वेक्षण किए गए क्षेत्र का डिजिटल सर्फेस मॉडल (DSM) है। टाइम–लैप्स फोटोग्रामेट्री का उपयोग मुख्य रूप से त्रि–आयामी सतह में होने वाले अस्थायी परिवर्तनों की निगरानी के लिए किया जाता है। यह बर्फ की गहराई का आकलन करने, हिमस्खलन जमाव का पता लगाने और उसके लक्षण वर्णन, तथा कई अन्य खतरों के मानचित्रण और निगरानी अनुप्रयोगों में बहुत उपयोगी है। डीजीआरई में, UAV सर्वेक्षण डेटा का उपयोग करके उच्च–रिजॉल्यूशन DSM निर्माण, बर्फ की गहराई का मानचित्रण और हिमस्खलन की घटना का पता लगाने की तकनीकें विकसित की गई हैं।

उच्च-रिजॉल्यूशन डिजिटल टेरेन मॉडल और डिजिटल सर्फेस मॉडल

प्रयोगशाला ने मनाली के आसपास के विभिन्न क्षेत्रों में उच्च रिजॉल्यूशन के 10 सेमी DSM बनाने के लिए UAV एसएफएम फोटोग्रामेट्री पद्धति का उपयोग किया। इसके लिए फिक्स्ड विंग सर्वे ग्रेड यूएवी (सेंसफ्लाई e–Bee–X) का उपयोग किया गया। विभिन्न सेंसरों– ऑप्टिकल इमेजरी (RGB), मल्टीस्पेक्ट्रल स्कैनर (MSS), और थर्मल इन्फ्रारेड (TIR) का उपयोग करके अभिरुचि के क्षेत्रों की तस्वीरें ली गईं। धुंडी क्षेत्र (अटल सुरंग, मनाली के पास) में उच्च–रिजॉल्यूशन DSM बनाने के लिए 12 वर्ग किमी क्षेत्र को कवर करने के लिए चार दिनों में 12 उड़ानें भरी गईं। अध्ययन क्षेत्र के उपलब्ध कार्टोसैट डीईएम (10 मीटर रिजॉल्यूशन पर) का उपयोग उन्नयन स्रोत के रूप में किया गया। 5 सेमी GSD RGB चित्र प्राप्त करने के लिए औसत उड़ान ऊँचाई जमीनी स्तर से 212 मीटर ऊपर रखी गई। उड़ान रेखाओं को 60/80 % ओवरलैप वाली RGB छवियों के लिए डिजाइन किया गया था। प्रत्येक सर्वेक्षण के दौरान कुल 2023 चित्र लिए गए। RGB चित्र 20 मेगापिक्सेल कैमरे द्वारा लिए गए। DSM प्राप्त करने के लिए UAV छवियों को संसाधित किया गया।



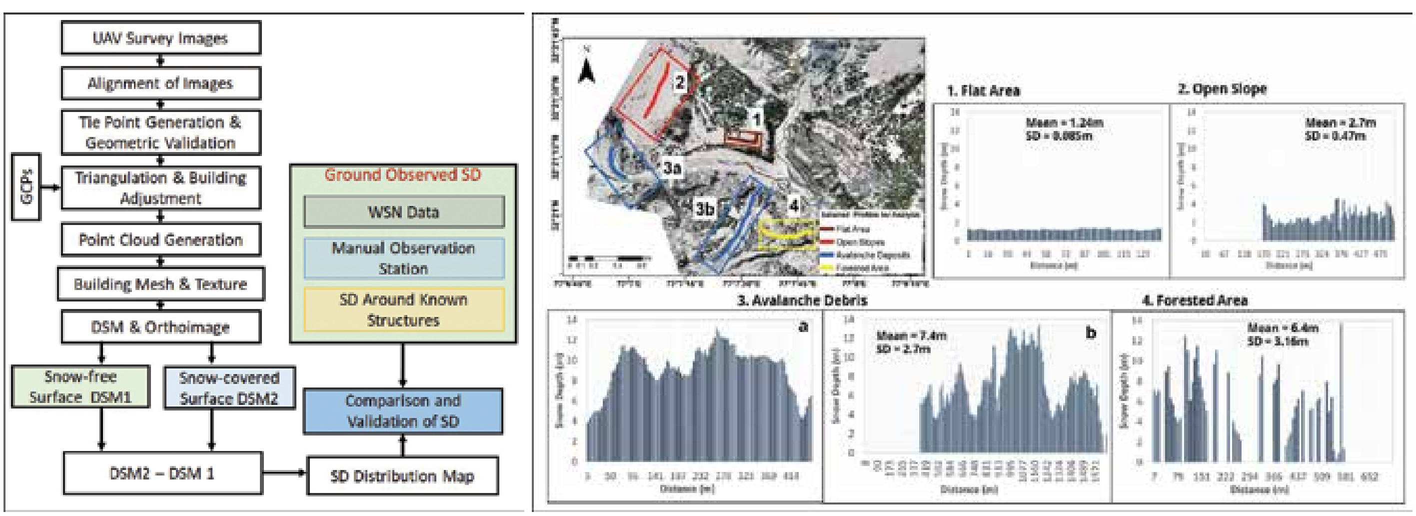
चित्र 7. (क) धुंडी क्षेत्र के निकट प्रमुख हिमस्खलन स्थलों (मनाली दक्षिण पोर्टल MSP-8 से MSP-13) को कवर करने वाला UAV सर्वेक्षण क्षेत्र, (ख) UAV का शीतकालीन सर्वेक्षण उड़ान पथ, (ग) सेंसर और प्रमुख घटकों को दर्शाने वाले लेबल के साथ e-Bee X UAV का योजनाबद्ध आरेख और (घ) हाथ से UAV लॉन्च करने का फील्ड फोटोग्राफ।

0.45 मीटर क्षैतिज सटीकता और 0.85 मीटर ऊर्ध्वाधर सटीकता के साथ 10 सेमी स्थानिक विभेदन वाले DSM को बिना किसी ग्राउंड कंट्रोल पॉइंट (GCP) को शामिल किए तैयार किया गया। सटीकता को और बेहतर बनाने के लिए, डेटा प्रोसेसिंग में पाँच सुपरिभाषित, प्रमुख और वितरित GCP का उपयोग किया गया। GCP के स्थानों का चयन इस प्रकार किया गया कि ये विशेषताएँ छवियों में स्पष्ट रूप से दिखाई दें। धुंडी वेधशाला के पास स्थापित बेस स्टेशन के साथ Leica GS18 T रियल–टाइम–काइनेमेटिक (RTK) GNSS मापन का उपयोग करके GCP की स्थिति का सर्वेक्षण किया गया। बेस स्टेशन और रोवर डेटा का बेसलाइन प्रसंस्करण Leica इन्फिनिटी पोस्ट प्रोसेसिंग टूल का उपयोग करके किया गया। GCP के साथ, 10 सेमी DSM की सटीकता 0.09 मीटर क्षैतिज सटीकता और 0.14 मीटर ऊर्ध्वाधर सटीकता तक सुधार मापा गया।

प्रवाह सिमुलेशन, नियंत्रण संरचना डिजाइन, और ऐसे अन्य विश्लेषणों के लिए, अधिक ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज सटीकता वाले इसी तरह के डिजिटल सरफेस मॉडल को महत्वपूर्ण जोखिम वाली जगहों के लिए तैयार किया जा रहा है।

UAV SFM - आधारित हिम गहराई का मानचित्रण

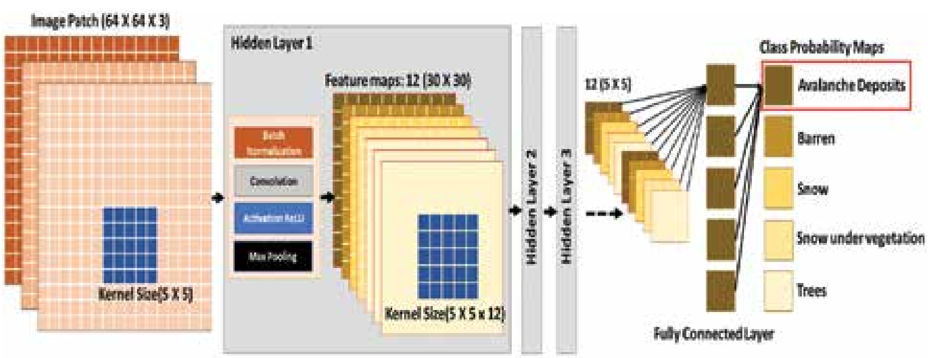
हिमस्खलन जोखिम आकलन, पूर्वानुमान और शमन की प्रक्रिया में सटीक हिम गहराई अवलोकन सबसे महत्वपूर्ण इनपुट में से एक हैं। यह विकास, बार–बार UAV फोटोग्रामेट्रिक सर्वेक्षणों का उपयोग करके, भारत के हिमाचल प्रदेश के मनाली–धुंडी क्षेत्र के हिमस्खलन–प्रवण क्षेत्रों का उच्च–रिजॉल्यूशन हिम गहराई मानचित्रण प्रस्तुत करता है। एक स्थिर–पंख वाले UAV (e–Bee X) पर लगे RGB कैमरे द्वारा कैप्चर की गई छवियों का उपयोग अध्ययन क्षेत्र के उच्च–रिजॉल्यूशन (DSM) और ऑर्थोफोटो उत्पन्न करने के लिए किया गया था। सह–पंजीकृत हिम–आच्छादित DSM का उपयोग करके एक हिम गहराई मानचित्र तैयार किया गया था। UAV–व्युत्पन्न बर्फ की गहराई के मानों को वायरलेस सेंसर नेटवर्क (WSN), मैनुअल अवलोकन स्टेशन, और सर्वेक्षण क्षेत्र में ज्ञात ऊँचाई पर स्थित किसी संरचना के आसपास बर्फ की गहराई के बिंदु मापों द्वारा सत्यापित किया गया है। UAV द्वारा प्राप्त बर्फ की गहराई के मान क्षेत्र में मापी गई बर्फ की गहराई के साथ अच्छे सहसंबंध में पाए गए। आँकड़ों के विश्लेषण से पता चलता है कि UAV–आधारित विधि का उपयोग करके बर्फ की गहराई की नियमित निगरानी (प्रत्येक बर्फीले तूफान से पहले और बाद में) त्वरित और लागत प्रभावी है, और बर्फीले क्षेत्रों में परिचालन उपयोग और योजना के लिए सटीक बर्फ की स्थिति प्रदान करती है। बर्फ की गहराई के आकलन के लिए विकसित विधि और परिणाम चित्र 8 में दिखाए गए हैं।



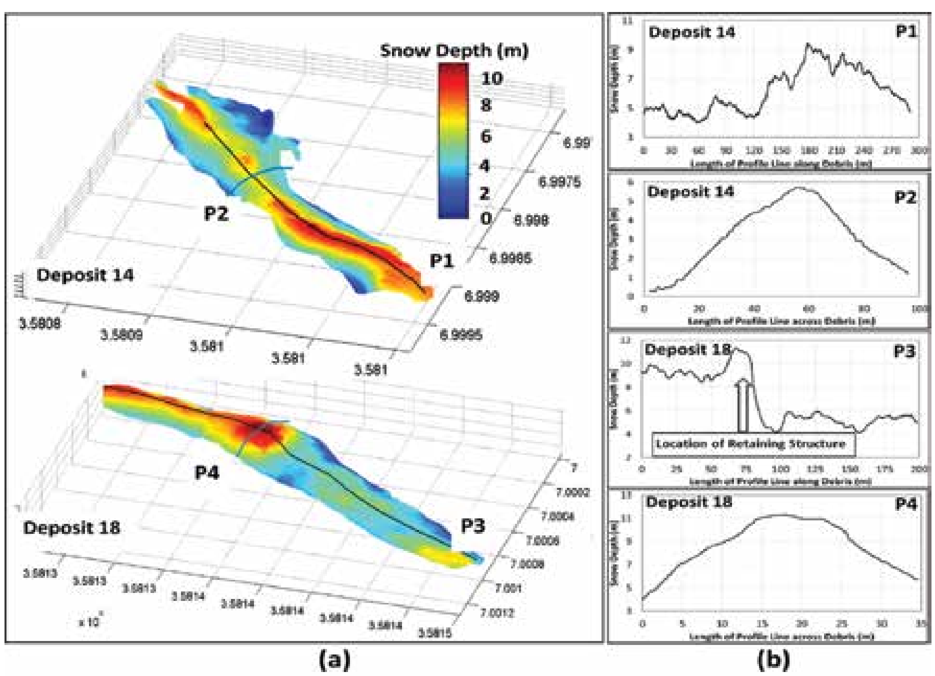
चित्र 8. हिम गहराई के आकलन और मॉडल परिणामों के लिए प्रयुक्त पद्धति का अवलोकन।

हिमस्खलन निक्षेपों का पता लगाना और उनका लक्षण-निर्धारण

बर्फ से ढके पहाड़ी ढलानों पर हिमस्खलन गतिविधियाँ रहती हैं और समय एवं भौगोलिक विस्तार में अनियमित रूप से वितरित होती हैं। इन क्षेत्रों में हिमस्खलन की घटनाओं की सूचना देने के पारंपरिक तरीके प्रतिकूल मौसम और दुर्गम स्थलाकृतिक परिस्थितियों के कारण अक्षम और अपूर्ण हैं। इन सीमाओं को दूर करने के लिए, UAV–RGB छवियों का उपयोग करके हिमस्खलन निक्षेपों का पता लगाने और विश्लेषण के लिए वास्तु आधारित छवि विश्लेषण – कन्वोल्यूशन न्यूरल नेटवर्क (OBIA–CNN) का उपयोग करते हुए एक नवीन ढाँचा विकसित किया गया है। प्रारंभ में, UAV छवि विभाजन के लिए OBIA–आधारित बहु–स्तरीय बहु–रिजॉल्यूशन विभाजन तकनीक का उपयोग किया गया, फिर हिमस्खलन निक्षेपों का पता लगाने के लिए CNN क्लासिफायर का उपयोग करके इन छवि खंडों का वर्गीकरण किया गया। प्रस्तावित विधि का उपयोग करके पता लगाए गए हिमस्खलन निक्षेप मैन्युअल रूप से चित्रित निक्षेपों के साथ अच्छे सहसंबंध में पाए गए। अंत में, पता लगाए गए निक्षेपों का सतह क्षेत्र और बर्फ की मात्रा पर आधारित लक्षण–निर्धारण किया गया। प्रस्तावित ढाँचा हिमस्खलन जमावों का स्वचालित रूप से पता लगाने और विशिष्ट रुचिकर क्षेत्रों के लिए उनके लक्षण–निर्धारण के लिए उपयोगी होगा। चित्र 9 जमाव का पता लगाने के लिए उपयोग किए गए CNN आर्किटेक्चर को दर्शाता है, और चित्र 10 में पता लगाए गए जमाव और उनकी विशेषताएँ दिखाई गई हैं।



चित्र 9. हिमस्खलन जमाव का पता लगाने के लिए प्रयुक्त CNN आर्किटेक्चर।



चित्र 10. पता लगाए गए जमावों का लक्षण वर्णन।

भू-आसूचना सृजन एवं प्रसार हेतु प्रौद्योगिकियाँ

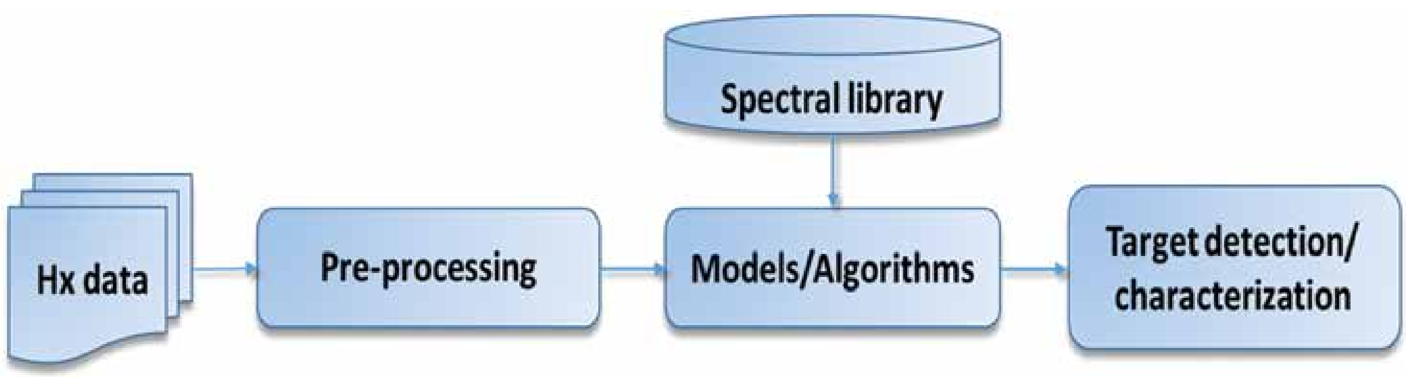
लक्ष्य संसूचन एवं अभिलक्षणन

स्थानिक रूप से अघुलनशील/मिश्रित या छलावरणयुक्त या छद्म रूप से प्रक्षेपित रुचिकर वस्तुओं (लक्ष्य) का पता लगाने, पहचानने और अभिलक्षणन हेतु भू–स्थानिक प्रौद्योगिकी का उपयोग कई नागरिक और रक्षा/सैन्य अनुप्रयोगों में महत्वपूर्ण है। लक्ष्य संसूचन एवं अभिलक्षणन कई मापदंडों पर निर्भर करता है जैसे कि लक्षणों की स्थानिक/वर्णक्रमीय परिवर्तनशीलता, लक्षणों का स्थानिक मिश्रण, पृष्ठभूमि का प्रकार, लक्षणों की वर्णक्रमीय/पश्चप्रकीर्णन प्रतिक्रिया आदि। यद्यपि लक्ष्य संसूचन/अभिलक्षणन अनुप्रयोग परिदृश्य के आधार पर विभिन्न तकनीकें उपलब्ध हैं, फिर भी यहाँ चर्चा केवल अतिवर्णक्रमीय भू–स्थानिक डेटा तक ही सीमित है।

विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के परावर्तक VNIR और SWIR क्षेत्र (350–2500 nm) में सैकड़ों सन्निहित वर्णक्रमीय बैंडों के साथ अतिवर्णक्रमीय (HX) छवि में रुचिकर कई पदार्थों के अभिलक्षणन हेतु वर्णक्रमीय चिह्न प्रदान करने की क्षमता है।

उच्च-स्तरीय डेटा का उपयोग

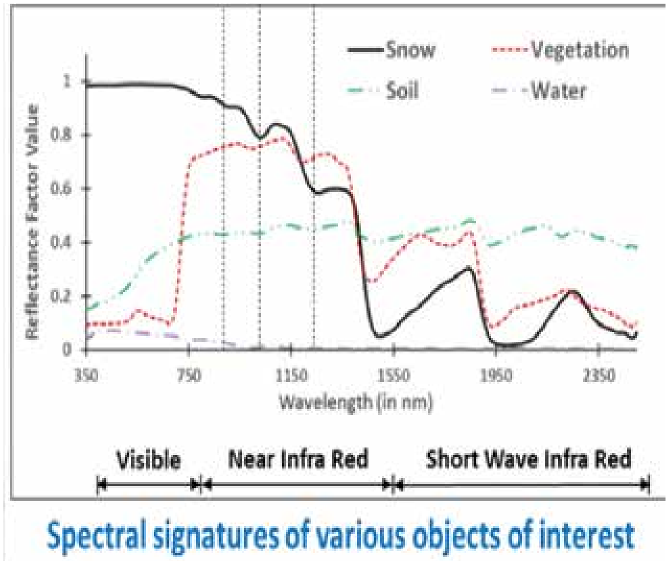
वर्तमान में, कई देशों में अंतरिक्ष–जनित हाइपरस्पेक्ट्रल सेंसर (इटली द्वारा PRISMA, जर्मनी द्वारा ENMAP और भारत द्वारा HySIS, आदि) कार्यरत हैं। हाइपरस्पेक्ट्रल इमेजिंग सैटेलाइट (HySIS) एक भारतीय भू–अवलोकन उपग्रह है जिसे 29 नवंबर 2018 को 10 nm स्पेक्ट्रल और 30 m स्थानिक विभेदन पर 316 बैंडों में 400–2400 nm रेंज में हाइपरस्पेक्ट्रल डेटा कैप्चर करने के लिए लॉन्च किया गया था। रक्षा अनुप्रयोगों हेतु लक्ष्यों की पहचान और लक्षण–निर्धारण हेतु प्रदर्शन विश्लेषण हेतु HySIS डेटा का उपयोग किया जाता रहा है। अज्ञात लक्ष्य सामग्री, पूर्ण पिक्सेल, उप–पिक्सेल और मिश्रित पिक्सेल जैसे विभिन्न परिदृश्यों के लिए HySIS पास के साथ समन्वय में क्षेत्रीय प्रयोगों का संचालन करके HySIS सेंसर डेटा पूर्व–प्रसंस्करण, लक्ष्य सामग्री की पहचान और लक्षण–निर्धारण से संबंधित विभिन्न पहलुओं का पता लगाया गया। समग्र सामान्य प्रसंस्करण प्रवाह में Hx अनिर्मित डेटा अधिग्रहण, रेडियोमेट्रिक, ज्यामितीय विकृतियों और वायुमंडलीय प्रभावों को ठीक करने के लिए पूर्व–प्रसंस्करण, स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी निर्माण, रुचिकर लक्ष्यों का पता लगाने और लक्षण वर्णन के लिए मॉडल और एल्गोरिदम के विकास और सत्यापन के लिए स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी का उपयोग शामिल है जैसा चित्र 11 में दर्शाया गया है।

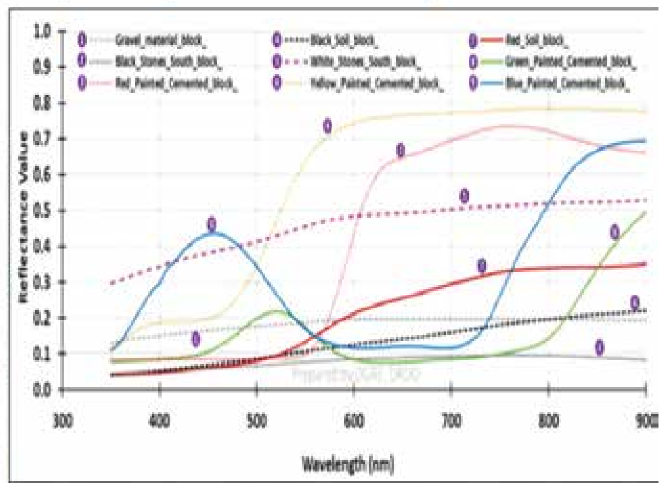


चित्र 11. हाइपरस्पेक्ट्रल डेटा प्रोसेसिंग वर्कफ्लो।

स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी निर्माण

स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी, मेटाडेटा और रुचिकर वस्तुओं/लक्ष्यों के स्पेक्ट्रल चिह्नों का एक संग्रह है और भू–स्थानिक डेटा का उपयोग करके लक्ष्यों का पता लगाने, उनकी पहचान करने और उनके लक्षण–निर्धारण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। सामान्य और रक्षा रुचि के विभिन्न लक्ष्यों की स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी, 350–2500 नैनोमीटर तरंगदैर्ध्य; परास में परिष्कृत क्षेत्र उपकरण स्पेक्ट्रल–रेडियोमीटर का उपयोग करके तैयार की गई है जैसा कि चित्र 12 में दिखाया गया है।





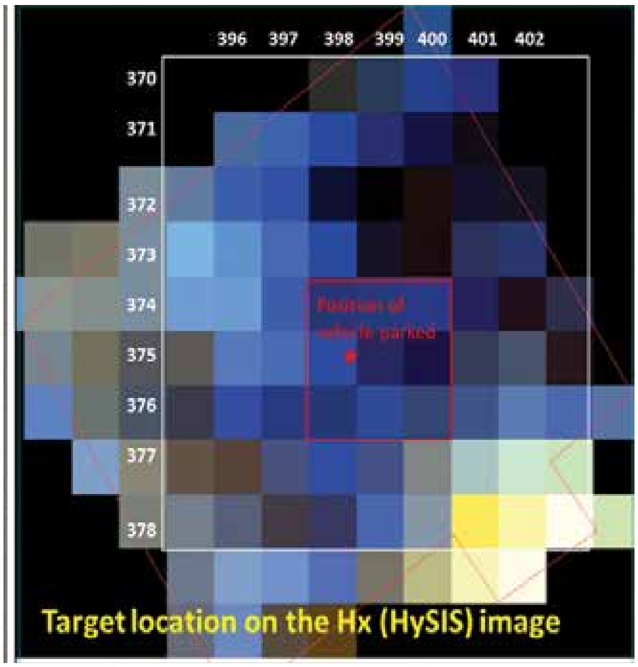
चित्र 12. स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी जनरेशन।

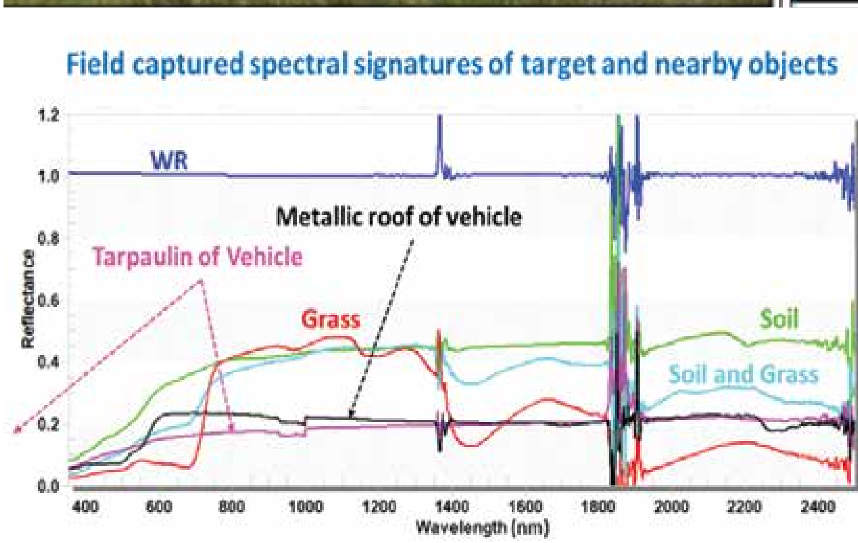
हाइपरस्पेक्ट्रल डेटा विश्लेषण हेतु इन-हाउस सॉफ्टवेयर HYPEX का विकास

डीजीआरई में हाइपरस्पेक्ट्रल डेटा प्रोसेसिंग और विश्लेषण हेतु एक इन–हाउस सॉफ्टवेयर भी विकसित किया गया है। इसमें भू–स्थानिक डेटा प्रदर्शित करने के लिए विजुअल यूजर इंटरफेस, स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी व्यूअर, एंड–मेम्बर एक्सट्रैक्शन टूल, Hx डेटा के लिए स्पेक्ट्रल मैचिंग मॉड्यूल आदि जैसे विभिन्न मॉड्यूल मौजूद हैं।

लक्ष्य पहचान/लक्षण-निर्धारण

HYSIS सैटेलाइट सेंसर इमेज में पूर्ण पिक्सेल या उप/मिश्रित पिक्सेल उपस्थिति वाले लक्ष्यों की मौजूदगी का पता लगाने के लिए हाल ही में प्रयोग किए गए थे। लक्ष्यों को फील्ड पर तैनात किया गया था और लक्ष्य तथा आसपास की वस्तुओं की स्पेक्ट्रल लाइब्रेरी बनाई गई। रुचिकर पिक्सेल में लक्ष्यों की प्रचुरता का पता लगाने, पहचान करने और अनुमान लगाने के लिए HYSIS भू–स्थानिक डेटा पर स्पेक्ट्रल माप–आधारित एल्गोरिदम (SAM, ACE, CEM, आदि) लागू किए गए और उत्साहजनक परिणाम प्राप्त हुए जैसा की चित्र 13 में दर्शाया गया है।





Pixel location: Column_Row →	399_375
Spectral signature ID_Name ↓	Spectral Distance ↓
ID_69_Vegetation_1	0.1256
ID_68_Vegetation_1	0.1271
ID_71_Vegetation_1	0.1337
ID_70_Vegetation_1	0.1392
ID_67_Vegetation	0.1559
ID_26_Vegetation	0.1828
ID_27_Vegetation	0.1859
ID_30_Vegetation	0.1876
ID_28_Vegetation	0.1878
ID_29_Vegetation	0.1888
ID_85_Vehicle Sumo	0.3642
ID_82_Vehicle Sumo	0.3642
ID_84_Vehicle Sumo	0.3643
ID_83_Vehicle Sumo	0.3649
ID_19_Soil	0.3803
ID_17_Soil	0.3823

चित्र 13. क्षेत्र अवलोकनों के साथ सत्यापन।

यह पाया गया है कि उप–पिक्सेल और मिश्रित–पिक्सेल लक्ष्य संसूचन अनुप्रयोगों में लक्ष्य आकार बनाम पिक्सेल आकार तथा लक्ष्य और बैकग्राउंड स्पेक्ट्रा के बीच एक अच्छा कंट्रास्ट महत्वपूर्ण है।

ऑफ-रोड यातायात क्षमता आकलन

यात्रा मानचित्रों के संदर्भ में यातायात क्षमता आकलन रणनीतिक योजना के लिए उपयोगी है। बाढ़ का प्रभाव, भू–भाग की गतिशीलता, वाहन–विशिष्ट गतिशीलता, किसी भू–भाग में वाहनों के गुजरने की अनुमत संख्या आदि जैसे कई परिचालन संबंधी मुद्दों पर ध्यान देने की आवश्यकता है। पारंपरिक रूप से प्रयुक्त शंकु पेनेट्रोमीटर–आधारित उपकरणों में पॉइंट इनफार्मेशन, व्यक्तिपरकता और परिणामों का अनुमान लगाने की आवश्यकता की कुछ सीमाएँ हैं। मौजूदा प्रणालियों को बर्फ और अन्य भू–भागों, दोनों में आवाजाही के लिए ऑन–बोर्ड गतिशीलता मार्गदर्शन प्रदान करने के लिए सुधारा गया है।

डीजीआरई ने टैरेन–व्हीकल इंटरेक्शन बिहेवियर के ऑन दी गो अर्थात चलते–फिरते माप के लिए प्रणाली को डिजाइन और विकसित किया है। विभिन्न भू–भाग स्थितियों पर विकसित प्रणाली की प्रतिक्रिया की निगरानी के लिए क्षेत्र परीक्षण भी किए गए।

मुख्य विशेषताएँ

स्नो एंड टेरेन मोबिलिटी इवैल्यूएशन टूल (STMET), ऑन–बोर्ड सिस्टम फॉर टार्क मेजरमेन्ट एंड इट्स जिओटैगिंग (STAG), सिंगल–व्हील ट्रैफिकेबिलिटी असेसमेंट रिग (STAR), रियल टाइम टेरेन कैरेक्टराइजेशन सिस्टम (RTTCS), और 3–D LiDAR–आधारित रट मापन प्रणाली।

इस प्रणाली की विशिष्ट उप–प्रणालियाँ इस प्रकार हैं:

ऑन-बोर्ड सिस्टम फॉर टार्क मेजरमेन्ट एंड इट्स जिओटैगिंग (STAG)

मिट्टी के प्रकार, सतह की स्थिति, ढलान, बाधाओं, घुमावदार मोड़ आदि के कारण वाहन द्वारा सामना किए जाने वाले प्रतिरोधों को पहिये पर प्रेषित टॉर्क द्वारा नियंत्रित किया जाता है। इसके अलावा, पहिये को चलाने के लिए आवश्यक टॉर्क भू–भाग की स्थिति को दर्शाता है। पहिये और स्टीयरिंग पर प्रेषित टॉर्क को भू–भाग की गतिशीलता के साथ सहसंबंधित करने के लिए विधिवत जियो–टैग किए गए अनुकूलित टॉर्क सेंसर का उपयोग करके मापा जाता है जैसा की चित्र 14 में दिखाया गया है।

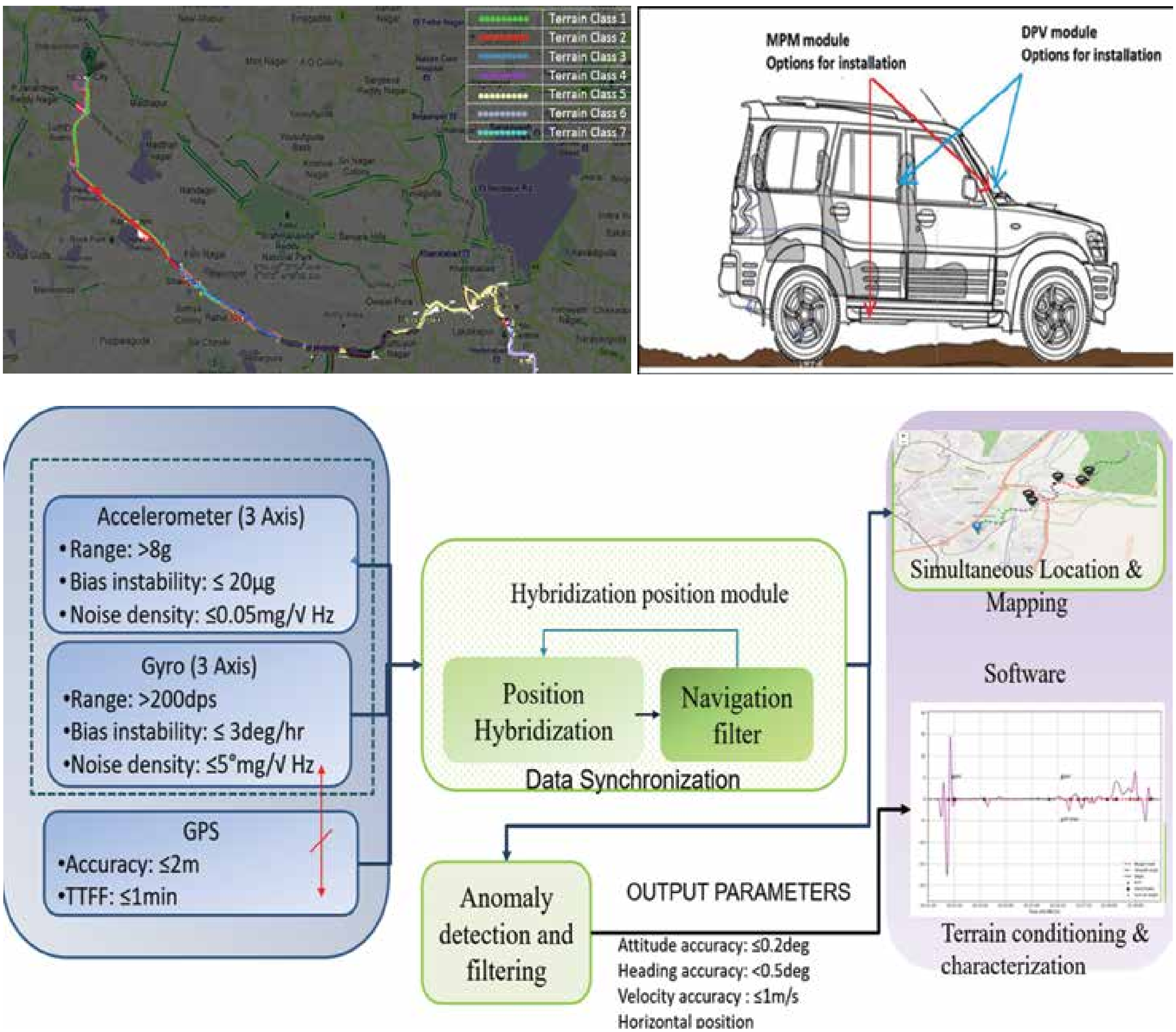
टॉर्क मापन और डेटा लॉगिंग प्रणाली का विकास

चित्र 14. STAR के विभिन्न घटक और वाहन प्लेटफॉर्म में उनका संयोजन।

और परीक्षण प्रयोगशालाओं के साथ–साथ फील्ड में भी किया गया है और गतिशील रूप से बदलती भू–स्थितियों का मूल्यांकन करने के लिए एक नई परीक्षण विधि भी विकसित की गई है।

रियल टाइम टेरेन कैरेक्टराइजेशन सिस्टम (RTTCS)

किसी भी वाहन द्वारा किसी दिए गए भू–भाग पर सामना किया जाने वाला प्रतिरोध, किसी भी भू–भाग पर वाहन के प्रदर्शन के बारे में उपयोगी जानकारी प्रदान करता है। भू–आकृतिकरण प्रतिरोधों की विशेषता और परिमाणीकरण के लिए रोल–पिच–यॉ का सटीक मापन और उसकी जियो–टैगिंग आवश्यक है। इसलिए, भू–यांत्रिक व्यवहार का आकलन करने वाली प्रणाली वाहन द्वारा गति के दौरान सामना किए जाने वाले विभिन्न प्रतिरोधों को मापने के लिए विकसित की गई है जैसा की चित्र 15 में दिखाया गया है।



चित्र 15. टेरा-मैकेनिकल व्यवहार के लगभग वास्तविक समय आकलन के लिए विजुअलाइजेशन मॉड्यूल के साथ RTTCS सबसिस्टम के विभिन्न घटक।

मुख्य विशेषताएँ

इन प्रणालियों में INS–आधारित गति पैरामीटर मापन इकाई का हार्डवेयर और पोर्टेबल–कॉम्पैक्ट डेटा अधिग्रहण प्रणाली शामिल है। इसमें चार्ट, ग्राफ, मानचित्रों में डेटा प्रदर्शित करने की सुविधा के साथ रीयल–टाइम GUI विजुअलाइजेशन, उपयोगकर्ता–सहायता प्राप्त व्याख्या, दृश्य स्ट्रीमिंग के साथ उच्च गति पर भू–भाग का लक्षण वर्णन, भू–प्रतिरोध तथा डेटा प्रसंस्करण भी एकीकृत है। सॉफ्टवेयर और हार्डवेयर का इंटरफेस स्वदेशी डिजाइन का है।

GSM-आधारित एकीकृत हिमस्खलन चेतावनी एवं नेविगेशन प्रणाली

हिमस्खलन प्रवण क्षेत्रों (चित्र 16) में सुरक्षित गतिशीलता को बढ़ाने के लिए, हिमस्खलन और मौसम पूर्वानुमान की रीयल–टाइम जानकारी, हिमस्खलन प्रवण क्षेत्रों और पर्वतीय मार्गों का सटीक चिह्नांकन आवश्यक है। इसे प्राप्त करने के लिए IAWNS श्रृंखला की प्रणालियाँ विकसित की जा रही हैं।

चित्र 16. भारतीय हिमालय में हिमस्खलन।

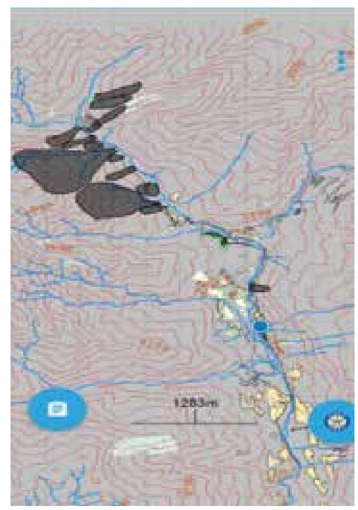
मोबाइल एप्लिकेशन IAWNS-G और सर्वर एप्लिकेशन

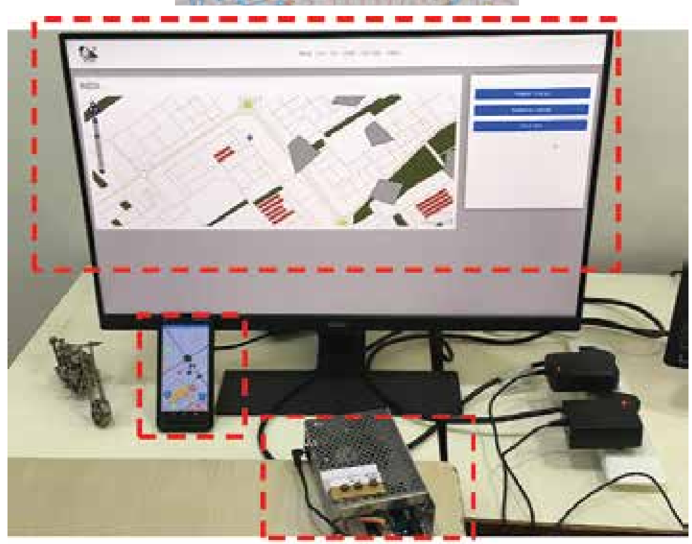
GSM मोबाइल नेटवर्क का उपयोग करके हिमस्खलन और मौसम पूर्वानुमान के प्रसार हेतु एक मोबाइल एंड्रॉइड एप्लिकेशन "इंटीग्रेटेड एवलांच वार्निंग एंड नेविगेशन सिस्टम–GSM" विकसित और परीक्षण किया गया है। इसमें एक GIS इंटरफेस भी है जो संभावित हिमस्खलन क्षेत्रों और सुरक्षित मार्गों को होस्ट और प्रदर्शित करता है। यह प्रस्तावित प्रणाली की कार्यक्षमता का उपयोग करने के लिए व्यावसायिक रूप से उपलब्ध एंड्रॉइड मोबाइल फोन और GSM नेटवर्क का उपयोग करता है।

इस विकास गतिविधि में, एक GIS–आधारित एंड्रॉइड एप्लिकेशन, सर्वर सॉफ्टवेयर और एक GSM मॉडेम (चित्र 17) का विकास किया गया है और हिमस्खलन–प्रवण क्षेत्रों में इसका परीक्षण किया गया है। यह एप्लिकेशन ऑफलाइन मोड में चलता है और मोबाइल एप्लिकेशन और सर्वर सॉफ्टवेयर के बीच स्थान, हिमस्खलन और मौसम पूर्वानुमान, और SOS अनुरोध के आदान–प्रदान के लिए केवल SMS प्रोटोकॉल का उपयोग करता है।

IAWNS-G की विशेषताएँ

- सर्वर पर निरंतर लोकेशन रिपोर्टिंग
- सर्वर से दैनिक मौसम और हिमस्खलन पूर्वानुमान
- एप्लिकेशन से सर्वर तक मौसम डेटा पहुंचना
- स्वचालित संकट आदेश (SOS) प्रबंधन
- रियल टाइम हिमस्खलन पथ चेतावनी



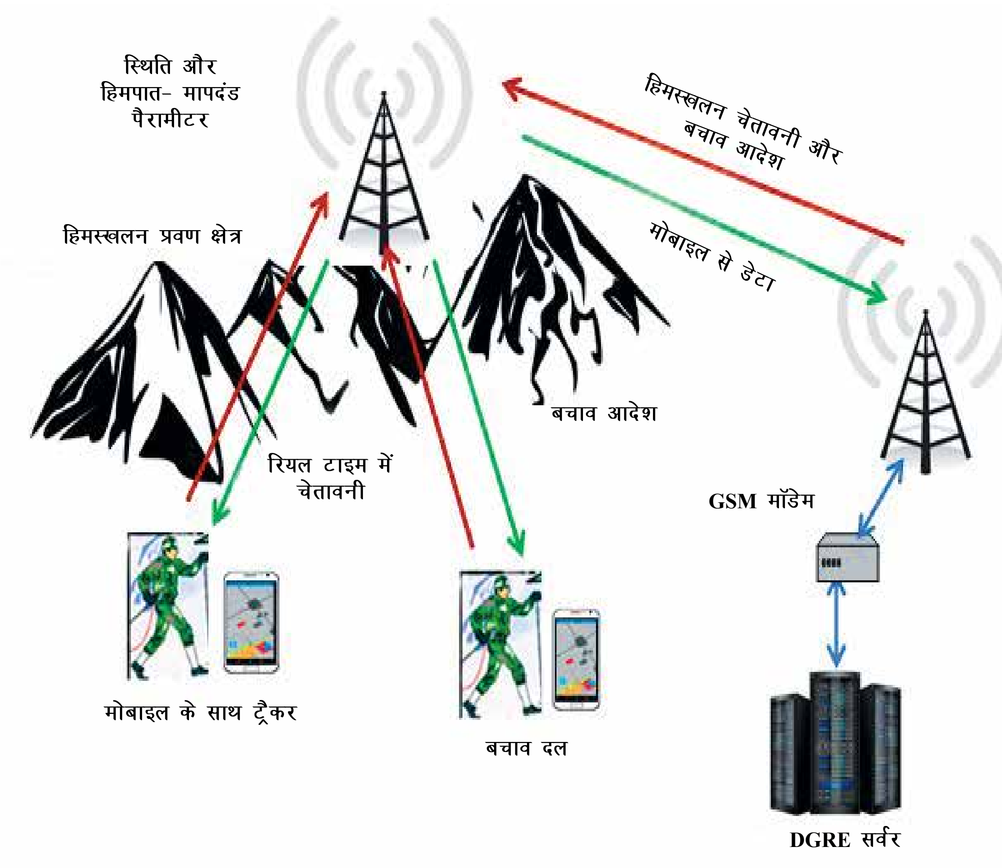


चित्र 17. सर्वर सॉफ्टवेयर और जीएसएम मॉडम के साथ विकसित IAWNS-G एंड्रॉइड एप्लिकेशन।

नेटवर्क आर्किटेक्चर

विकसित प्रणाली को वाणिज्यिक मोबाइल फोन का उपयोग करके तैनात किया जा सकता है; इसका उपयोग सशस्त्र बलों या अर्धसैनिक बलों द्वारा गैर–महत्वपूर्ण क्षेत्रों में और हिमस्खलन प्रवण बर्फीले क्षेत्रों में जाने वाले नागरिक उपयोगकर्ताओं द्वारा भी किया जा सकता है। इस क्षेत्र में वाणिज्यिक मोबाइल कवरेज की उपलब्धता के कारण प्रणाली का उपयोग सीमित है। हालाँकि, इसका उपयोग ऑफलाइन नेविगेशन और हिमस्खलन क्षेत्र जागरूकता के लिए उन क्षेत्रों में किया जा सकता है जहाँ सक्रिय मोबाइल कवरेज नहीं है या सीमित है जैसा चित्र 18 में दिखाया गया है।

परीक्षण परिणाम: मोबाइल एप्लिकेशन और सर्वर सॉफ्टवेयर की प्रभावशीलता की जाँच के लिए मनाली–लेह राजमार्ग पर प्रणाली का परीक्षण किया गया जैसा चित्र 19 में दिखाया गया है।



चित्र 18. IAWNS-G का परिनियोजन परिदृश्य

चित्र 19. व्यवहार्यता परीक्षणों के दौरान IAWNS-G के स्क्रीनशॉट।

परिस्थितिजन्य जागरूकता और निर्णय समर्थन उपकरण

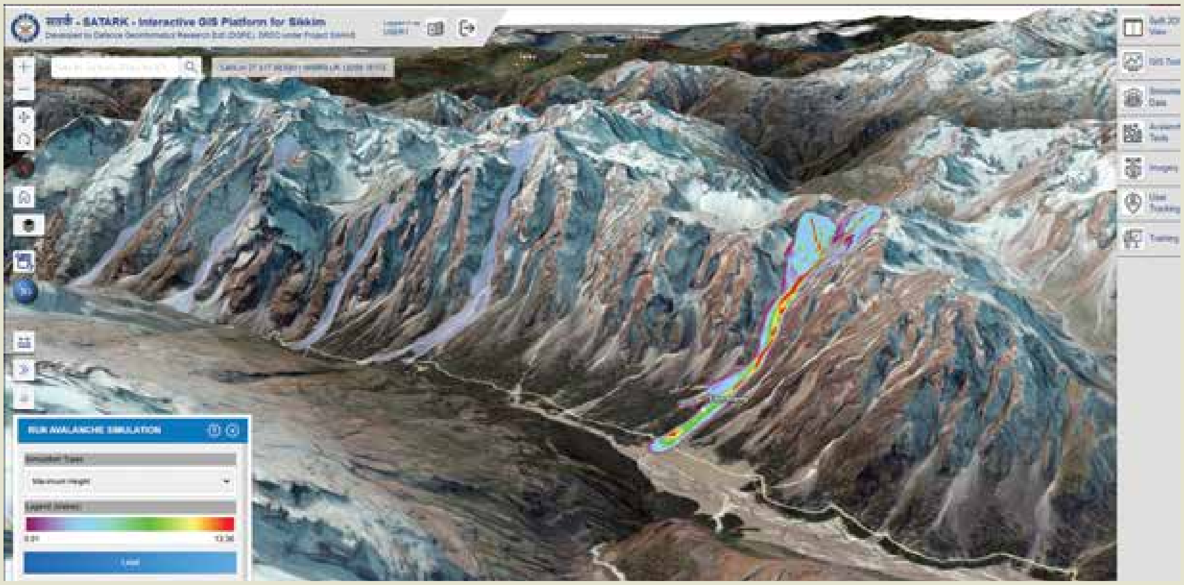
भौगोलिक सूचना प्रणाली (GIS), परिस्थितिजन्य जागरूकता और कुशल निर्णय सुगम करने के लिए भू–स्थानिक डेटा व्याख्या में क्रांति ला रही है। इस गतिविधि का उद्देश्य बहु–स्रोत हिमपात और हिमस्खलन सूचना के एकीकृत दृश्यीकरण और विश्लेषण के लिए एक प्रोटोटाइप सॉफ्टवेयर ढाँचा विकसित करना और विभिन्न भू–प्रसंस्करण उपकरणों के माध्यम से हिमस्खलन आपदा आकलन हेतु स्थानिक निर्णय समर्थन प्रदान करना है।

यह अनुप्रयोग विभिन्न उपयोगकर्ताओं और शोधकर्ताओं को हिम से ढके हिमस्खलन–प्रवण क्षेत्रों के गुणात्मक और मात्रात्मक विश्लेषण के लिए एक मंच प्रदान करता है।

वर्तमान कार्य का मुख्य योगदान इस अनुप्रयोग में विभिन्न डेटा और मॉडलों की पहचान और कार्यान्वयन तथा उन्हें वेब पर उपयोगकर्ताओं के लिए उपलब्ध कराना है। यह एक जावास्क्रिप्ट और ArcGIS–आधारित वेब–GIS अनुप्रयोग है जो उपयोगकर्ता को हिमस्खलन जोखिम पूर्वानुमान के लिए हिम और हिमस्खलन–संबंधी (GIS, रिमोट सेंसिंग और सहायक) डेटा और भू–स्थानिक मॉडल बनाने, देखने, संपादित करने और क्वेरी करने की अनुमति देता है। इस अनुप्रयोग को विकसित करने के लिए कई उपकरणों और तकनीकों (ArcGIS सर्वर, ArcGIS डेस्कटॉप, विजुअल स्टूडियो, जावास्क्रिप्ट, आदि) का उपयोग किया गया था।

ये WebGIS आधारित स्थितिजन्य जागरूकता और निर्णय समर्थन प्लेटफॉर्म डीजीआरई द्वारा सियाचिन, द्रास, कारगिल, बटालिक और सिक्किम (चित्र 20) सहित विभिन्न क्षेत्रों के लिए विकसित किए गए हैं और इनमें निम्नलिखित क्षमताएँ हैं:

- गतिशील 3D वातावरण में उच्च रिजॉल्यूशन उपग्रह इमेजरी
- इनफार्मेशन लेयर्स जैसे सड़क नेटवर्क, आवास, रुचिकर स्थान, भौगोलिक विशेषताएँ जैसे नदियाँ, झीलें, चोटियाँ आदि।
- भू–खतरों से संबंधित लेयर्स – जैसे हिमस्खलन स्थल, उनकी विस्तृत विशेषताएँ, हिमस्खलन प्रवाह का सिमुलेशन, मानव निर्मित संरचनाओं के साथ अंतः क्रिया, आदि।
- GIS विश्लेषण उपकरण जैसे मापन, व्यूशेड विश्लेषण, बफर विश्लेषण, नेटवर्क विश्लेषण, भू–भाग विशेषता निष्कर्षण, आदि।
- विभिन्न स्रोतों से डेटा का एकीकरण जैसे दैनिक हिमस्खलन पूर्वानुमान, मौसम पूर्वानुमान, स्वचालित मौसम केंद्रों और मौसम वेधशालाओं से लाइव डेटा, और टाइम–सीरीज सैटेलाइट डेटा।
- निर्णय सहायक उपकरण जैसे हिमस्खलन संवेदनशीलता मानचित्रों का निर्माण, हिमस्खलन के कृत्रिम ट्रिगर के लिए संभावित रिलीज क्षेत्र, हिमस्खलन पूर्वानुमान, आदि।



चित्र 20. सिक्किम के लिए विकसित स्थितिजन्य जागरूकता और निर्णय सहायता प्लेटफॉर्म 'सतर्क'।