SATELLITE BROADBAND IN INDIA: EXPANDING CONNECTIVITY

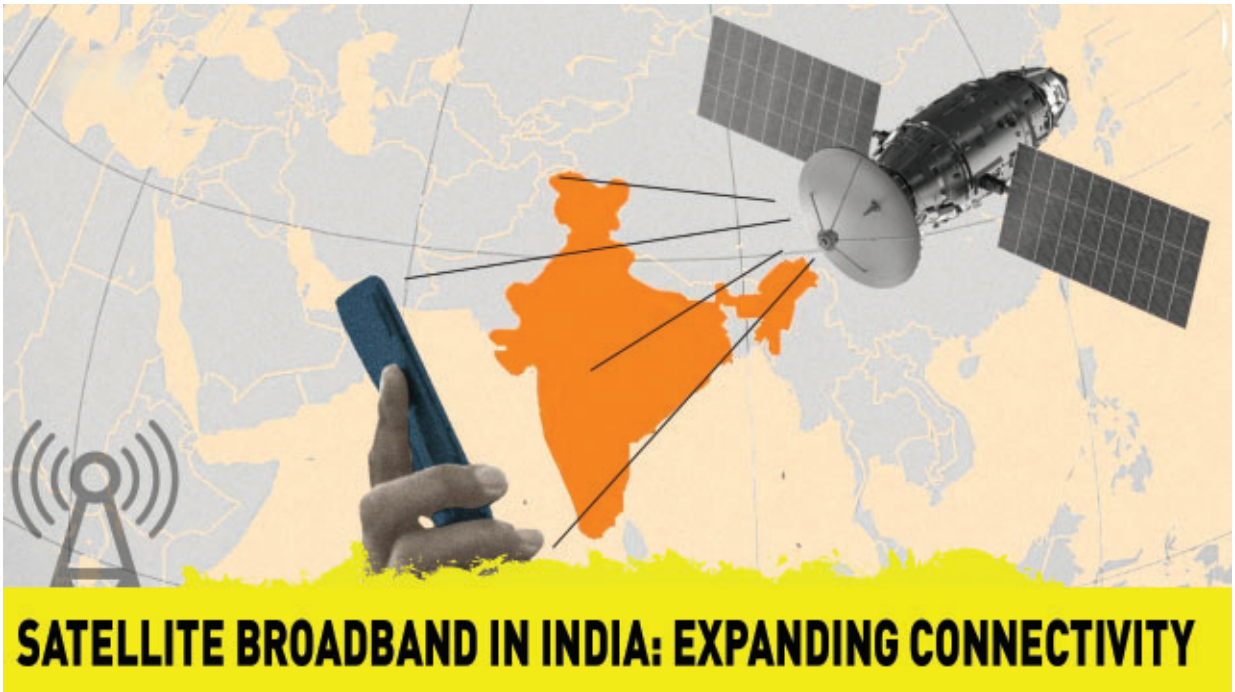
Satellite broadband is emerging as a critical solution for bridging India's persistent digital divide, particularly in rural and geographically challenging regions where terrestrial networks remain limited. By leveraging Low Earth Orbit (LEO), Medium Earth Orbit (MEO), and Geostationary Orbit (GEO) satellite systems, India can significantly expand reliable high-speed connectivity and support the growth of its digital economy.

India's digital economy has expanded rapidly over the past decade, driven by the proliferation of smartphones, affordable data services, and national initiatives promoting digital governance and online services. Despite this progress, a substantial digital divide persists between urban and rural regions. While metropolitan areas benefit from dense fibre networks and high-speed mobile broadband, many remote, mountainous, and sparsely populated regions still lack reliable connectivity. Bridging this gap is critical

भारत में सैटेलाइट ब्रॉडबैंडः कनेक्टिविटी का विस्तार करना

सैटेलाइट ब्रॉडबैंड भारत में लगातार डिजिटल उपकरण को कम करने के लिए जरूरी उपाय के तौर पर उभर रहा है, खासकर ग्रामीण और मुश्किल भौगोलिक इलाकों जहां जमीनी नेटवर्क अभी भी लिमिटेड है। लो अर्थ ऑर्बिट (एलईओ), मीडियम अर्थ ऑर्बिट (एमईओ) और जियोस्टेशनी ऑर्बिट (जीईओ) सैटेलाइट सिस्टम का फायदा उठाकर, भारत भरोसेमंद हाई-स्पीड कनेक्टिविटी को काफी बढ़ा सकता है और अपनी डिजिटल अर्थव्यवस्था की विकास में मदद कर सकता है।

पिछले दस सालों में भारत की डिजिटल अर्थव्यवस्था तेजी से बढ़ी है, जिसकी वजह स्मार्ट फोन का बढ़ना, सस्ती डिजिटल सेवा और डिजिटल गवर्नेंस और ऑनलाइन सेवाओं को बढ़ावा देनी वाली राष्ट्रीय कोशिशें हैं। इस तरक्की के बावजूद, शहरी और ग्रामीण इलाकों के बीच एक बड़ा डिजिटल अंतर बना हुआ है। जहां मेट्रोपॉलिटन इलाकों को घने फाइबर नेटवर्क और हाई स्पीड मोबाइल ब्रॉडबैंड से फायदा होता है, वहीं कई दूरदराज, पहाड़ी और कम आबादी वाले इलाकों में अभी भी भरोसेमंद कनेक्टिविटी की कमी



for ensuring inclusive growth, enabling digital education, telemedicine, e-governance, and financial inclusion across the country.

Satellite broadband has emerged as an important complementary technology to terrestrial infrastructure. Unlike fibre or mobile networks that require extensive ground deployment, satellite systems can deliver connectivity across vast geographical areas with minimal physical infrastructure on the ground. Modern satellite technologies are also becoming significantly more capable, offering higher throughput, improved spectrum efficiency, and lower latency.

Satellite communications operate through three primary orbital architectures: Low Earth Orbit (LEO), Medium Earth Orbit (MEO), and Geostationary Orbit (GEO). Each orbit offers distinct advantages in terms of latency, coverage, and system capacity. From an Indian policy and infrastructure perspective, the integration of these satellite systems can significantly enhance national connectivity strategies while supporting the government's broader digital inclusion goals.

INDIA'S EMERGING SATELLITE BROADBAND ECOSYSTEM

India is witnessing growing interest in satellite broadband as both public and private stakeholders seek to expand connectivity to underserved areas. Historically, satellite communications in the country were dominated by government-led programs, particularly those developed by the Indian Space Research Organisation (ISRO). Communication satellites under the INSAT and GSAT series have long supported broadcasting, meteorology, and telecommunications services.

है। इस कमी को पूरा करना, अब देशभर में डिजिटल एजुकेशन, टेलिमेडिसिन, ई-गवर्नेंस और वित्तीय इनक्लूजन को मुमकिन बनाने के लिए जरूरी है।

सैटेलाइट ब्रॉडबैंड जमीनी इंफ्रास्ट्रक्चर के लिए एक जरूरी पूरक तकनीकी के तौर पर उभरा है। फाइबर या मोबाइल नेटवर्क के उलट, जिन्हें जमीन पर बहुत ज्यादा लगने की जरूरत होती है, सैटेलाइट सिस्टम जमीन पर कम से कम फिजिकल इंफ्रास्ट्रक्चर के साथ बड़े भौगोलिक क्षेत्र में कनेक्टिविटी दे सकते हैं। आधुनिक सैटेलाइट तकानीकी भी काफी ज्यादा सक्षम होती जा रही हैं, जो ज्यादा थ्रूपुट, बेहतर स्पेक्ट्रम प्रभावशिलता और लो लेटेंसी देती हैं।

सैटेलाइट संचार तीन मुख्य ऑर्बिटल संरचना के जरिए काम करते हैंः लो अर्थ ऑर्बिट (एलईओ), मीडियम अर्थ ऑर्बिट (एमई ओ) और जियोस्टेशनरी ऑर्बिट (जीईओ)। हर ऑर्बिट लेटेंसी, कवरेज और सिस्टम क्षमता के मामले में अलग-अलग फायदे देता है। भारतीय नीति और संरचना के नजरिए से, इन सैटेलाइट सिस्टम का एकीकरण सरकार के बड़े डिजिटल इनक्लूजन लक्ष्यों को सर्पोट करते हुए नेशनल कनेक्टिविटी रणनीति को काफी बेहतर बना सकता है।

भारत का उभरता हुआ सैटेलाइट ब्रॉडबैंड इकोसिस्टम

भारत में सैटेलाइट ब्रॉडबैंड में लोगों की दिलचस्पी दिन प्रतिदिन बढ़ रही है, क्योंकि सरकारी और निजी, दोनों तरह के लोग कम सुविधा वाले क्षेत्रों में हर तरह की कनेक्टिविटी बढ़ाना चाहते हैं। पहले, देश के सैटेलाइट संचार पर सरकार द्वारा संचालित प्रोग्राम हावी थे, खासकर इंडियन स्पेस रिसर्च ऑर्गनाइजेशन (इसरो) के बनाये प्रोग्राम। इनसैट और जीसैट सीरिज के संचार सैटेलाइट ने लंबे समय तक प्रसारण, मौसम विज्ञान और दूर संचार सेवाओं को सपोर्ट किया है।

However, the satellite broadband ecosystem is evolving rapidly with the entry of global and domestic commercial players. Companies such as SpaceX through its satellite network Starlink, OneWeb (partly backed by India's Bharti Enterprises), and partnerships involving Reliance Jio and SES are exploring satellite broadband opportunities in the Indian market. These initiatives reflect a broader global shift toward multi-orbit satellite networks capable of delivering high-speed internet access at scale.

India's regulatory framework is also gradually adapting to accommodate these new developments. Spectrum allocation reforms, satellite communication policy updates, and initiatives aimed at encouraging private sector participation are helping shape a more competitive and innovative satellite broadband landscape.

Within this evolving ecosystem, the three orbital architectures—LEO, MEO, and GEO—each contribute unique capabilities that can collectively support India's connectivity objectives.

LOW EARTH ORBIT (LEO) SATELLITES

Low Earth Orbit satellites operate at altitudes between roughly 500 km and 2,000 km above the Earth's surface. Their proximity to Earth allows them to deliver significantly lower latency compared with traditional geostationary satellites, making them suitable for modern broadband applications that require fast response times.

LEO satellite systems typically operate as large constellations consisting of hundreds or thousands of satellites. These satellites move rapidly around the planet and maintain continuous coverage by handing off user connections between satellites and ground stations. This architecture enables near-global broadband coverage, including in areas where terrestrial infrastructure is limited or absent.

For India, LEO satellite broadband presents a compelling opportunity to extend connectivity into difficult terrains. Regions such as the Himalayan states, northeastern India, desert areas in Rajasthan, and island territories like Lakshadweep and the Andaman and Nicobar Islands face logistical and economic challenges in deploying fibre

लेकिन, वैश्विक और घरेलू वाणिज्यिक कंपनियों के आने से सैटेलाइट ब्रॉडबैंड इकोसिस्टम तेजी से बदल रहा है। स्पेसएक्स जैसी कंपनियां अपने सैटेलाइट नेटवर्क स्टारलिंक, वनवेब (जिसे कुछ हद तक भारत की भारती एंटरप्राइजेज का समर्थन है) और रिलायंस जियो और एसईएस की सहभागिता के जरिय भारतीय बाजार में सैटेलाइट ब्रॉडबैंड के मौके तलाश रही हैं। ये कोशिशें मल्टी ऑर्बिट सैटेलाइट नेटवर्क की तरफ एक बड़े ग्लोबल बदलाव को दिखाती हैं जो बड़े पैमाने पर हाई स्पीड इंटरनेट एक्सेस देने में काबिल हैं।

भारत का नियामक फ्रेमवर्क भी धीरे-धीरे इन नये विकास के हिसाब से बदल रहा है। स्पेक्ट्रम आवंटन सुधार, सैटेलाइट संचार नीति अपडेट, और निजी क्षेत्र की भागीदारी को बढ़ावा देने के मकसद से शुरू की गयी पहल, ज्यादा प्रतिस्पर्धी और इनोवेटिव सैटेलाइट ब्रॉडबैंड लैंडस्केपको बनाने में मदद कर रही हैं।

इस बदलते इकोसिस्टम में, तीन ऑर्बिटल आर्किटेक्चर – एलईओ, एमईओ और जीईओ – हर एक खास क्षमता देता है जो मिलकर भारत के कनेक्टिविटी लक्ष्यों को सर्पोट कर सकता है।

लो अर्थ ऑर्बिट सैटेलाइट (एलईओ)

लो अर्थ ऑर्बिट सैटेलाइट पृथ्वी की सतह से 500 केएम और 2000 केएम की ऊंचाई पर काम करती है। पृथ्वी से उनकी नजदीक उन्हें पारंपरिक जियोस्टेशनरी सैटेलाइट की तुलना में लो लेटेंसी देने में मदद करती है, जिससे वे आधुनिक सैटेलाइट आवेदनों के लिए सही बन जाते हैं, जिन्हें तेज रिस्पॉन्स टाइम की जरूरत होती है।

लियो सैटेलाइट सिस्टम आमतौर पर सैकड़ों या हजारों सैटेलाइट वाले बड़े गुप के तौर पर काम करते हैं। ये सैटेलाइट पूरी दुनिया में तेजी से घूमते हैं और सैटेलाइट और ग्राउंड स्टेशनों के बीच यूजर कनेक्शन देकर लगातार कवरेज बनाये रखते हैं। यह आर्किटेक्चर लगभग ग्लोबल ब्रॉडबैंड कवरेज देता है, जिसमें वे इलाके भी शामिल हैं जहां जमीनी संरचना सीमित होती है या नहीं है।

भारत के लिए लियो सैटेलाइट ब्रॉडबैंड मुश्किल इलाकों में कनेक्टिविटी बढ़ाने का शानदार मैका देता है। हिमालयी राज्य, उत्तर पूर्वी भारत, राजस्थान के रेगिस्तानी इलाके, लक्षद्वीप, अंडमान व निकोबार द्वीप समूह जैसे द्वीपीय इलाकों में फाइबर संरचना लगाने में लॉजिस्टिक और आर्थिक चुनौतियों का सामना करना पड़ता है। लियो

infrastructure. LEO systems can deliver high-speed broadband directly to user terminals in these regions.

Another important application is connectivity for transportation and mobility sectors. Satellite broadband can support internet access for aircraft, ships, and remote transportation networks, improving both passenger services and operational communication. LEO systems can also enhance disaster response capabilities by quickly restoring communications when terrestrial networks are disrupted by natural disasters such as cyclones, floods, or earthquakes. As global LEO constellations expand, they are expected to play an increasingly important role in India's connectivity landscape, particularly in addressing last-mile broadband challenges.

MEDIUM EARTH ORBIT (MEO) SATELLITES

Medium Earth Orbit satellites operate at altitudes ranging from approximately 5,000 km to 20,000 km. Positioned between LEO and GEO systems, MEO satellites provide a balance between latency, coverage area, and system efficiency.

One of the key advantages of MEO systems is that they require far fewer satellites than LEO constellations to achieve wide regional coverage. Each satellite can cover a large portion of the Earth's surface, allowing operators to deliver broadband services efficiently while maintaining relatively low latency compared with GEO satellites.

सिस्टम इन इलाकों में सीधे यूजर्स टर्मिनल तक हाई-स्पीड ब्रॉडबैंड पहुंचा सकता है।

एक अन्य जरूरी आवेदन ट्रांसपोर्टेशन और मोबिलिटी सेक्टर के लिए कनेक्टिविटी है। सैटेलाइट ब्रॉडबैंड एयरक्रॉफ्ट, जहाजों और दूर के ट्रांसपोर्टेशन नेटवर्क के लिए इंटरनेट एक्सेस को सपोर्ट कर सकता है, जिससे पैसेंजर सेवा और संचार संचालन दोनों बेहतर होते हैं। लियो सिस्टम साइक्लोन, बाढ़ या भूकंप जैसी प्रकृतिक आपदाओं से जमीनी नेटवर्क में रूकावट आने पर संचार को तेजी से ठीक करके आपदा से निपटने की क्षमता को भी बढ़ा सकते हैं।

जैसे-जैसे दुनिया में लियो ग्रुप बढ़ रहे हैं, उनसे भारत के कनेक्टिविटी लैंडस्केप में, खासकर लास्टमाइल ब्रॉडबैंड चुनौतियों से निपटने में, एक अहाम भूमिका निभाने की उम्मीद है।

मीडियम अर्थ ऑर्बिट (एमईओ) सैटेलाइट

मीडियम अर्थ ऑर्बिट सैटेलाइट लगभग **5000** केएम से लेकर **22000** केएम की ऊंचाई पर काम करते हैं। लियो और जियो सिस्टम के बीच मौजूद एमईओ सैटेलाइट लेटेंसी, कवरेज एरिया और सिस्टम की क्षमता के बीच बैलेंस बनाते हैं।

एमईओ सिस्टम का एक खास फायदा यह है कि बड़े क्षेत्रिय कवरेज के लिए उन्हें लिओ ग्रुप के मुकाबले बहुत कम सैटेलाइट की जरूरत होती है। हर सैटेलाइट धरती के एक बड़े हिस्से को कवर कर सकता है, जिससे ऑपरेटर जिओ सैटेलाइट के मुकाबले कम लेटेंसी बनाये रखते हुए अच्छी ब्रॉडबैंड सेवा दे सकते हैं।

In the Indian context, MEO satellites can be particularly valuable for enterprise connectivity, telecommunications backhaul, and government communication networks. Satellite backhaul is especially relevant in rural areas where fibre connectivity is limited. By connecting cellular base stations to core telecom networks via satellite, operators can expand mobile broadband coverage without the need for extensive ground infrastructure.

MEO systems also support high-throughput communication using advanced technologies such as spot beams and frequency reuse. These technologies enable satellite operators to concentrate bandwidth in high-demand areas, increasing network efficiency and improving service performance.

From a strategic perspective, MEO satellite networks can strengthen India's communication resilience by providing alternative connectivity routes during infrastructure disruptions. This capability is increasingly important as digital services become central to economic activity and public service delivery.

GEOSTATIONARY ORBIT (GEO) SATELLITES

Geostationary Orbit satellites operate at an altitude of approximately 35,786 km above the Earth's equator and remain fixed relative to a particular location on the Earth's surface. This unique characteristic allows a single GEO satellite to continuously serve the same geographical region.

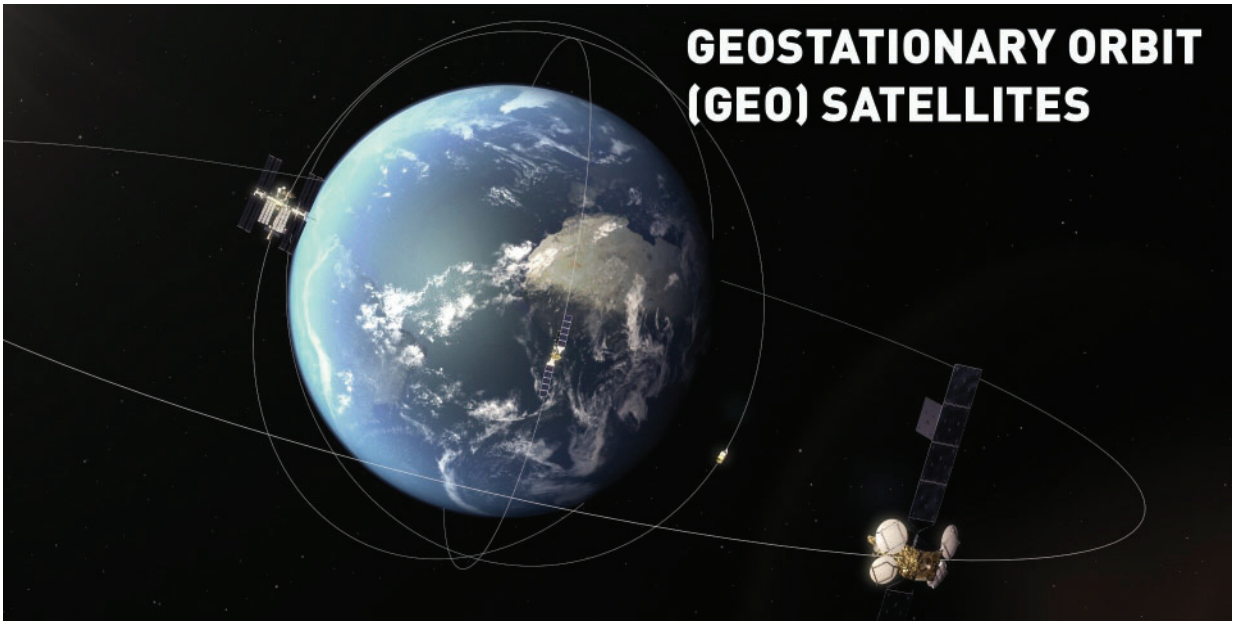
भारत के मामले में एमईओ सैटेलाइट ख़ासतौर पर एंटरप्राइज कनेक्टिविटी, दूरसंचार बैकहॉल और सरकारी संचार नेटवर्क के लिए बहुत काम के हो सकते हैं। सैटेलाइट बैकहॉल ख़ास तौर पर ग्रामीण इलाकों में काम का है, जहां फाइबर कनेक्टिविटी कम है। सैटेलाइट के जरिए सेलुलर बेस स्टेशनों को कोर टेलीकॉम नेटवर्क से जोड़कर, ऑपरेटर बड़े ग्राउंड इंफ्रास्ट्रक्चर की जरूरत के बिना मोबाइल ब्रॉडबैंड कवरेज बढ़ा सकते हैं।

एमईओ सिस्टम स्पॉट बीम और फ्रीक्वेंसी रीयूज जैसी आधुनिक तकनीकी का इस्तेमाल करके हाई-थ्रूपुट संचार का भी समर्थन करते हैं। ये तकनीकी सैटेलाइट ऑपरेटर को ज्यादा डिमांड वाले इलाकों में बैंडविड्थ को कंसंट्रेट करने, नेट प्रभावशिलता बढ़ाने और सेवा प्रदर्शन को बेहतर बनाने में मदद करती है।

रणनीतिक नजरिए से, एमईओ सैटेलाइट नेटवर्क संरचना में रूकावट के दौरान दूसरे कनेक्टिविटी रूट देकर भारत की संचार की क्षमता को मजबूत कर सकते हैं। यह क्षमता और भी जरूरी होती जा रही है क्योंकि डिजिटल सेवा आर्थिक गतिविधियों और पब्लिक सर्विस डिलीवरी के लिए जरूरी होती जा रही है।

जियोस्टेशनरी ऑर्बिट (जिओ) सैटेलाइट

जियोस्टेशनरी ऑर्बिट सैटेलाइट पृथ्वी के इक्वेटर से लगभग **35,786** केएम की ऊंचाई पर काम करते हैं और पृथ्वी की सतह पर किसी ख़ास जगह के हिसाब से स्थिर रहते हैं। यह ख़ासियत एक जिओ सैटेलाइट को लगातार एक ही ज्योग्राफिकल इलाके में सेवा देने में मदद करती है।



India has long relied on GEO satellites for communication services. Systems developed by the Indian space program have supported television broadcasting, meteorological monitoring, and telecommunications across the country for decades. These satellites continue to play a crucial role in India's communication infrastructure.

One of the primary advantages of GEO satellites is their extensive coverage area. A single satellite can cover nearly one-third of the Earth's surface, making GEO systems particularly suitable for large national markets. For India, this wide coverage enables connectivity across rural regions where terrestrial networks may not yet be fully developed.

Modern high-throughput GEO satellites use advanced spot-beam technology and frequency reuse to significantly increase data capacity. These innovations allow satellite operators to deliver improved broadband performance compared with earlier generations of communication satellites.

However, the greater orbital distance of GEO satellites results in higher signal latency compared with LEO and MEO systems. While this may affect certain real-time applications, GEO satellites remain highly effective for many broadband use cases, including government connectivity programs, enterprise networks, and broadcast services.

CONCLUSION

Satellite broadband is poised to become an important pillar of India's digital connectivity strategy. While terrestrial fibre and mobile networks will continue to serve as the backbone of the country's communications infrastructure, satellite technologies can extend connectivity to areas where ground networks are difficult or uneconomical to deploy.

Each orbital architecture contributes unique advantages. LEO systems provide low latency and high-speed connectivity suitable for modern internet applications. MEO satellites offer an efficient balance between coverage and performance for regional broadband and telecom backhaul. GEO satellites provide wide-area coverage and remain essential for broadcasting and national connectivity programs.

For India, leveraging a multi-orbit satellite ecosystem that integrates LEO, MEO, and GEO technologies can significantly accelerate progress toward universal broadband access. As regulatory reforms advance and new satellite networks become operational, satellite broadband will play an increasingly strategic role in bridging the digital divide and supporting the country's digital economy.■

भारत संचार सेवा के लिए लंबे समय से जियो सैटेलाइट पर निर्भर रहा है। भारतीय अंतरिक्ष कार्यक्रम द्वारा विकसित किये गये सिस्टम ने दशकों से पूरे भारत में टेलीविजन प्रसारण, मौसम की निगरानी और दूरसंचार में मदद की है। ये सैटेलाइट भारत के संचार संरचना में अहम भूमिका निभाते रहे हैं।

जिओ सैटेलाइट का एक बड़ा फायदा उनका बड़ा कवरेज एरिया है। एक अकेला सैटेलाइट पृथ्वी की सतह का लगभग एक तिहाई हिस्सा कवर कर सकता है, जिससे जियो सिस्टम बड़े राष्ट्रीय बाजार के लिए ख़ास तौर पर सही उपयुक्त साबित होते हैं। भारत के लिए यह बड़ा कवरेज ग्रामीण इलाकों में कनेक्टिविटी देता है, जहां टेरस्ट्रियल नेटवर्क अभी पूरी तरह से विकसित नहीं हुए हैं।

आधुनिक हाई थ्रूपुट जियो सैटेलाइट डेटा क्षमता को कफी बढ़ाने के लिए एडवांस्ड स्पॉट बीम तकनीकी और फ्रीक्वेंसी रीयूज का इस्तेमाल करते हैं। ये इनोवेशन सैटेलाइट ऑपरेटर को संचार सैटेलाइट की पिछली पीढ़ी की तुलना में बेहतर ब्रॉडबैंड प्रदर्शन देने में मदद करते हैं।

लेकिन, जिओ सैटेलाइट की ज्यादा ऑर्बिटल दूरी की वजह से लिओ और एमईओ सिस्टम के मुकाबले सिगनल लेटेंसी ज्यादा होती है। हालांकि इससे कुछ रियल टाइम आवेदन पर असर पड़ सकता है, फिर भी जिओ सैटेलाइट कई ब्रॉडबैंड इस्तेमाल के मामले में असरदार बने हुए हैं, जिसमें सरकारी कनेक्टिविटी कार्यक्रम, एंटरप्राइज नेटवर्क और प्रसारण सेवा शामिल है।

निष्कर्ष

आने वाले समय में सैटेलाइट ब्रॉडबैंड भारत की डिजिटल कनेक्टिविटी रणनीति का एक अहम पिलर बनने वाला है। जबकि टेरेस्ट्रियल फाइबर और मोबाइल नेटवर्क देश के संचार संरचना की रीढ़ की हड्डी के तौर पर काम करते रहेंगे, सैटेलाइट तकनीकी उन इलाकों में कनेक्टिविटी बढ़ा सकती है, जहां ग्राउंड नेटवर्क लगाना मुश्किल या सस्ता नहीं है।

हर ऑर्बिटल संरचना ख़ास फायदे देता है। लिओ सिस्टम आधुनिक इंटरनेट आवेदन के लिए कम लेटेंसी और हाई स्पीड कनेक्टिविटी देते हैं। मिओ सैटेलाइट रीजनल ब्रॉडबैंड और टेलीकॉम बैकहॉल के लिए कवरेज और प्रदर्शन के बीच एक अच्छा संतुलन देते हैं। जियो सैटेलाइट बड़े क्षेत्र में कवरेज देते हैं और प्रसारण और नेशनल कनेक्टिविटी प्रोग्राम के लिए जरूरी बने रहते हैं।

भारत के लिए लिओ, मिओ और जिओ टेक्नोलॉजी को एकीकृत करने वाले मल्टी ऑर्बिट सैटेलाइट इकोसिस्टम का फायदा उठाकर यूनिवर्सल ब्रॉडबैंड एक्सेस की दिशा में तरक्की को काफी तेज किया जा सकता है। जैसे–जैसे रेगुलेटरी सुधार आगे बढ़ेंगे और नये सैटेलाइट नेटवर्क चालू होंगे, सैटेलाइट ब्रॉडबैंड डिजिटल उपकरण को कम करने और देश की डिजिटल इकॉनमी को सपोर्ट करने में एक अहम भूमिका निभायेगा।■