भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 32 अंक (2) दिसम्बर 2024 पृ. 53-61
DOI: 10.56042/bvaap.v32i2.7575

कोयला खदानों में आग की समस्या की निगरानी की आधुनिक विधि-सुदूर संवेदन तकनीक

जितेंद्र पाण्डेय[1a,b], धीरज कुमार[2], सुमित कुमार चौधरी[3], अजय खलखो[1a], आदित्य कुमार[1a] एवं जय कृष्ण पाण्डेय[1a,b]

[1a]खान अग्नि, संवातन, खनिक सुरक्षा एवं स्वास्थ अनुसंधान विभाग, एवं [b]वैज्ञानिक और अभिनव अनुसंधान अकादमी (AcSIR), केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, धनबाद, झारखंड

[2]खनन अभियंत्रण विभाग, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (आई.एस.एम), धनबाद, झारखंड

[3]पर्यावरण इंजीनियरिंग विभाग,भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (बीएचयू), वाराणसी, उत्तर प्रदेश

ई-मेलः jitu.cimfr@gmail.com

सारांश

कोयला, प्रकृति प्रदत एक गैर-नवीकरणीय अनमोल उपहार है, जो विश्व में सबसे अधिक इस्तेमाल किया जाने वाला जीवाश्म ईंधन है। कोयले का निर्माण पूर्वकाल में जमीन के अंदर दबे पेड़-पौधों के विभिन्न घटकों में रासायनिक और बैक्टीरियल परिवर्तन से हुआ है। कोयले में कार्बन की मात्रा बहुत अधिक होती है, जिसे हम ऊर्जा के रूप में उपयोग करते हैं। वर्तमान में, कोयला खदानों में स्वतः दहन/आग एक वैश्विक समस्या हो गयी है। भारत के कोयले की खदान में भी स्वतः स्फूर्त दहन/सुलगता हुआ आग लगने की घटना का एक लंबा इतिहास रहा है, जो मूल्यवान प्राकृतिक संसाधन के विनाश का कारण बना हुआ है। कोयला खदान की आग प्रबल रूप से पारिस्थितिक तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव के साथ-साथ, कोयला क्षेत्रों के लोगों के सामाजिक जीवन, स्वास्थ्य और सुरक्षा पर भी प्रतिकूल प्रभाव डालती है। सुदूर-संवेदन तकनीक कोयला अग्नि प्रभावित क्षेत्र का पता लगाने की आधुनिक एवं प्रभावी तकनीक है। एक विशाल अग्नि प्रभावित क्षेत्र जैसे, झारखंड का झरिया एवं पश्चिम बंगाल का रानीगंज कोयला क्षेत्र के चित्रण और समयबद्ध निगरानी के लिए उत्तम और अपेक्षाकृत आर्थिक रूप से भी उपयुक्त विधि है। एक लंबी अवधि तक के समयबद्ध उपयोग से आग के प्रसार की गति, आग की अवस्था, विस्तार एवं स्वरूप के अध्ययन हेतु भी यह सर्वश्रेष्ठ तकनीक है। इस शोधपत्र में झरिया कोलफील्ड के कोयला खदानों में लगी आग की सुदूर संवेदन तकनीक से चित्रण और समयबद्ध निगरानी करने की आधुनिक विधि की विस्तृत चर्चा की गयी है।

मुख्य शब्दः कोयला, स्वतः स्फूर्त दहन, सतही एवं भूमिगत आग, सुदूर संवेदन तकनीक, चित्रण और समयबद्ध निगरानी

Remote Sensing Technique- A Modern tool for Monitoring of Fire Problem in Coal Mines

Jitendra Pandey[1a, b], Dheeraj Kumar[2], Sumit kumar Chaudhari[3], Ajay Khalkho[1a], Aditya Kumar[1a] and Jai Krishna Pandey[1a, b]

[1a] Mines Fire, Ventilation, Miners Safety and Health Research Department, and [b]Academy of Scientific and Innovative Research (AcSIR), Central Institute of Mining and Fuel Research, Dhanbad, Jharkhand

[2]Department of Mining Engineering, Indian Institute of Technology, Dhanbad, Jharkhand

[3]Department of Environmental engineering, Indian Institute of Technology (BHU), Varanasi, U.P.

E-mail: jitu.cimfr@gmail.com

Abstract

Coal, a valuable non-renewable gift from nature, is the most widely used fossil fuel in the world. Coal has been formed in the past due to chemical and bacterial changes in various components of plants buried under the ground. Coal is rich in carbon, which we used as a pivotal source of energy. At present, spontaneous combustion / fire in coal mines has become a global problem. India's coal mines also have a long history of self-ignition/fire causing destruction of a valuable natural resource. It strongly and adversely affects the ecosystem as well as the social life, health and safety of the coalfield's populace. Remote-sensing technology is a modern and effective technique used to detect coal fire

affected areas. It is an excellent and relatively economical method for locating and monitoring of a large fire-prone area viz. Jharia and Raniganj, coalfields of Jharkhand and West Bengal states respectively in a timely manner. It is the best technique to study periodical speed of fire spread, stage, extent and nature of fire over specific time period gap. In this research paper, the method of remote sensing monitoring of coal mine fires in Jharia coalfield has been discussed in detail.

Keywords: Coal, Spontaneous Combustion, Surface and Underground Fires, Remote Sensing Techniques, Mapping and Temporal Monitoring.

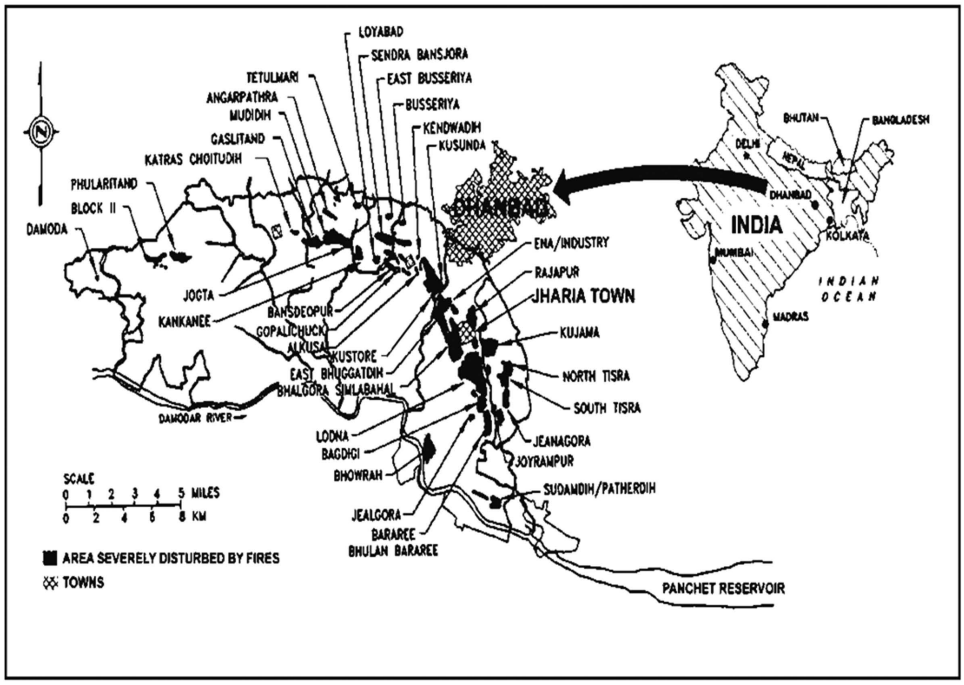
1. प्रस्तावना

कोयला, भारत सहित विश्व के बिजली उत्पादन का मुख्य स्रोत है। वर्तमान में विश्व के लगभग 40% और भारत के लगभग 70% ऊर्जा की आवश्यकताएं कोयले से पूरी की जा रही है और उम्मीद है कि निकट भविष्य में भी यह ऊर्जा का प्रमुख स्रोत बना रहेगा। आधुनिक भारत में बढ़ती हुई ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए कोयले का उत्पादन, जो कि राष्ट्रीयकरण से पहले, 1970 के दशक में 65 से 70 मिलियन टन था, वर्ष 2022-23 में बढ़कर लगभग 800 मिलियन टन तक पहुंच गया है[1]। वर्तमान परिदृश्य में भारत, विश्व का दूसरा सबसे बड़ा कोयला उत्पादक देश है[2]। भारत में लगभग 325 बिलियन टन कोयला का अकूत भण्डार है, जो कि पूरे विश्व का लगभग 7% है। भारत में कोयला भण्डार सबसे अधिक झारखंड राज्य में है और प्राइम कोकिंग प्रकार के कोयले का एकमात्र भण्डार भी मुख्यतः झारखंड एवं पश्चिम बंगाल में ही है। कोयला उत्पादन में झारखंड भारत का दूसरा सबसे बड़ा राज्य है। झारखंड में देश का लगभग 20% कोयला उत्पादन होता है[3]।

भारतवर्ष में कोयले का खनन पुरातन काल से होता रहा है। यद्यपि इतिहास के अनुसार संदर्भित लेख में 1774 ई. में पश्चिम बंगाल के रानीगंज कोयला क्षेत्र में कोयले के खदानों से कोयला खनन का उल्लेख मिलता है[4]। कालांतर में भारत के विभिन्न कोयला-क्षेत्रों से कोयले के खनन का विस्तृत रूप से उल्लेखित किया गया है। भारत के कोयला खदान मे आग का संदर्भित वर्णन 1865 ई. में पश्चिम बंगाल के रानीगंज कोयला-क्षेत्र में उल्लेखित है, हालांकि कालांतर में भारत के विभिन्न कोयला-क्षेत्रों से भूमिगत आग का उल्लेख मिलता है। वर्तमान परिदृश्य में भारत के लगभग सभी कोयला-क्षेत्र खान-अग्नि से प्रभावित हैं, जिसमें झारखंड के झरिया कोलफील्ड एवं पश्चिम बंगाल के रानीगंज कोलफील्ड खान-अग्नि से भयावह रूप से प्रभावित है। खान-अग्नि से पारिस्थितिक तंत्र के साथ-साथ इन कोयला क्षेत्रों के लोगों का सामाजिक जीवन, स्वास्थ्य और सुरक्षा प्रबल रूप से प्रभावित है तथा साथ ही साथ मूल्यवान प्राकृतिक संसाधन के विनाश का यह कारण बना हुआ है। विभिन्न वैज्ञानिक अध्ययनों से यह अनुमान लगाया गया है कि अब तक लगभग 100 मिलियन टन उच्च गुणवत्ता वाला कोयला जलकर नष्ट हो चुका है तथा लगभग 250-300 मिलियन टन कोयले का खनन आग के कारण प्रभावित है[5]।

कोयले की आग के प्रभाव को कम करने अथवा नियंत्रित करने के उपाय तय करने के लिए यह आवश्यक होता है कि कोयले की खदान में आग की सही स्थिति एवं स्थान का आकलन हो। अतः कोयले की खदान में आग के सही स्थान एवं स्थिति और आकलन के पश्चात ही आग नियंत्रण के उपलब्ध विभिन्न तरीकों में से सबसे सटीक एवं महत्वपूर्ण तकनीक का चयन किया जाना होता है। कोयला स्तर (coal seam) में स्वतःदहन/आग के दौरान आसपास के मौजूद नजदीकी स्तरों (nearby strata) में भी विभिन्न भौतिक-रासायनिक प्रक्रियाओं की भिन्न-भिन्न श्रृंखलाओं से गुजरता है[6]। इनमें तापमान में वृद्धि, धुएं का उत्सर्जन, चट्टान के रंग में परिवर्तन, कई दरारों आदि के साथ-साथ सतह का धंसना इत्यादि प्रमुख बदलाव के लक्षण होते पाये गए हैं। जाहिर है, इन प्रत्येक मौजूद विसंगतियों/लक्षणों एवं कोयले की आग विकास के चरण/स्थिति के बीच परस्पर संबंध होता है जिसके आधार पर हम कोयले के स्वतःदहन/आग की अवस्था एवं स्थान का ठीक से आकलन करते हैं। वैश्विक स्तर पर कोयले की आग का पता लगाने के लिए भूमिगत, सतही, हवाई और अंतरिक्ष जनित प्लेटफार्म से कई तकनीकों का इस्तेमाल किया गया है। हालांकि, कोयले की खान में आग की सही स्थिति एवं अवस्था का पता लगाने के उपलब्ध विभिन्न तरीके का चयन स्थान-विशिष्ट परिस्थितियों, उपलब्ध संसाधनों एवं आवश्यकताओं पर निर्भर करता है[6]।

तापीय सर्वेक्षण (thermal survey) दुनिया भर में कई दशकों से उपयोग की जाने वाली सबसे प्रचलित तकनीक रही है। इस तकनीक का उपयोग सतह और उपसतह कोयले की आग की स्थिति और विस्तार की सीमा का पता लगाने और मूल्यांकन करने के लिए किया जाता रहा है[7]। 1960 के दशक तक, शोधकर्ताओं द्वारा कोयले की खान का आकलन करने के लिए थर्मोकपल्स और थर्मामीटर का उपयोग प्रमुखता से किया जाता था, लेकिन कालांतर में तकनीकी बदलाव के कारण यह विधि अनुपयुक्त एवं महंगी हो गयी[8]। यह विधि बड़े क्षेत्र को जांच करने के लिए पर्याप्त आंकड़े (डेटा) नहीं प्रदान करती है एवं कुछ जगहों पर इस विधि द्वारा निकटता से तापमान मापना संभव भी नहीं हो पाता है। बड़े, अगम्य और अस्थिर क्षेत्र में आग की प्रगति की जांच के मामले में, इस पारंपरिक विधि द्वारा निगरानी बहुत ही कठिन, अधिक समय लेने वाली, महंगी तथा कभी-कभी असंभव हो जाती है। उपरोक्त तथ्यों को ध्यान में रखते हुए,



चित्र 1. झरिया कोलफील्ड के कोयला खदान की आग से प्रभावित प्रमुख क्षेत्र[6]।

अधिकांश शोधकर्ताओं ने हवाई सर्वेक्षण/सुदूर संवेदन (रिमोट सेंसिंग) द्वारा प्राप्त छवियों से उत्पन्न वायु-जनित और उपग्रह-जनित थर्मल आधार-सामग्री आंकड़ों (thermal based data) को पसंद किया, जो कि कोयले की आग की सही अवस्था का पता लगाने और आग का चित्रण करने में सुगम तथा निगरानी व्यवस्था को अत्यधिक आसान बनाते हैं[9]। हालाँकि हवाई सर्वेक्षण तकनीक से कोयले की आग का चित्रण और निगरानी करना काफी महंगा होता है। अतः उपग्रह जनित रिमोट सेंसिंग छवियों से आग का चित्रण और निगरानी काफी सुलभ, आसान एवं सस्ता होता है।

उपग्रह जनित सुदूर संवेदन से कोयला अग्नि प्रभावित क्षेत्र का पता लगाने और निगरानी की तकनीक का सर्वप्रथम इस्तेमाल सन् 1960 के दशक में संयुक्त राज्य अमेरिका में शुरू किया गया था[10]। हालांकि, दुनिया भर में कोयले की आग का चित्रण और निगरानी के लिए विभिन्न देशों द्वारा सुदूर संवेदन तकनीक का प्रयोग वर्ष 1984 में लैंडसैट-5 उपग्रह प्रक्षेपण के उपरांत लैंडसैट-टीएम (लैंडसैट-थमैटिक मैपर) जनित रिमोट सेंसिंग थर्मल छवियों की उपलब्धता के बाद व्यापक रूप से किया जाने लगा। भारत में भी इस तकनीक का उपयोग सन् 1990 के दशक के बाद सीमित मात्रा में अग्नि प्रभावित कोयला क्षेत्रों के चित्रण और निगरानी अध्ययन के लिए किया जा रहा है। यह विधि उपलब्ध अन्य तरीकों की तुलना में अत्यंत किफायती और फायदेमंद है, क्योंकि कोयले की आग का पता लगाने लिए इसमें बहु-स्पेक्ट्रल (multi-spectral) और समयबद्ध (temporal) डेटा का उपयोग किया जा सकता है। एक विशाल अग्नि प्रभावित क्षेत्र (झरिया/रानीगंज कोलफील्ड) की निगरानी, अध्ययन एवं जाँच के लिए उत्तम तकनीक है और यह अपेक्षाकृत आर्थिक रूप से भी उपयुक्त है। हालाँकि, छोटे एवं कम तापमान वाले अग्नि प्रभावित क्षेत्रों के लिए यह विधि पूर्णतः उपयुक्त नहीं है। एक लंबी अवधि तक के समयबद्ध उपयोग से आग के प्रसार की गति, आग की अवस्था, विस्तार एवं स्वरूप के अध्ययन हेतु भी यह सर्वश्रेष्ठ तकनीक है[11]।

इस शोधपत्र में झरिया कोलफील्ड के कोयला खदानों में लगी आग की रिमोट सेंसिंग थर्मल छवियों के द्वारा सुदूर-संवेदन तकनीक से चित्रण और समयबद्ध निगरानी करने की विधि को विस्तार से चर्चा किया गया है। वर्तमान अध्ययन में झरिया कोलफील्ड के विभिन्न कोयला खानों में लगी आग के सुदूर संवेदन तकनीक द्वारा अध्ययनों से व्यापक आवधिक कालानुक्रमिक परिवर्तनों (temporal changes) का मूल्यांकन एवं अवलोकन भी वर्णित है (चित्र 1)।

2. सुदूर-संवेदन विधि (Remote Sensing Technique)

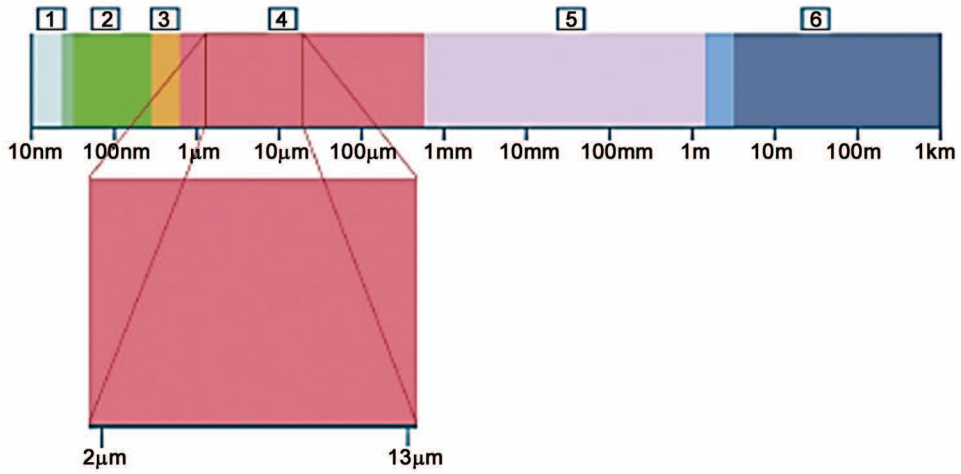
रिमोट सेंसिंग तकनीक, भौतिक संपर्क के बिना किसी वस्तु के बारे में जानकारी प्राप्त करने की एक विधि है, जिसमें परस्पर रूप से जुड़े दो मूलभूत पहलू शामिल हैं, जैसे (a) उपकरण के माध्यम से दूरी

पर स्थित वस्तु की सूचना (डेटा) प्राप्त कराना, तथा (b) प्राप्त आवश्यक सूचना या विशेषताओं की व्याख्या करने के लिए पर्याप्त आंकड़ों (डेटा) का विश्लेषण करना। सुदूर संवेदन तकनीक निष्क्रिय अथवा सक्रिय प्रणाली पर काम करता है। रिमोट सेंसिंग की सक्रिय प्रणाली के पास ऊर्जा का अपना स्रोत होता है, जबकि निष्क्रिय प्रणाली सौर प्रदीपन (रोशनी) या वस्तु के स्व-उत्सर्जन पर निर्भर करती है।

इस पद्धति में अंतर्निहित सिद्धांत यह मानता है कि प्रत्येक वस्तु विभिन्न तरंग दैर्ध्य श्रेणियों पर ऊर्जा की एक निश्चित तीव्रता को दर्शाती या उत्सर्जित करती है। यह प्रतिबिंब या उत्सर्जन, सामग्री और घटनाओं के विभिन्न गुणों पर निर्भर करता है जिससे सामग्री की संरचनात्मक, रासायनिक, भौतिक, सतह का खुरदरापन (surface roughness) आदि के रूप में क्रमशः आपतित कोण (angle of incidence), तीव्रता (intensity), विकिरण ऊर्जा की तरंग दैर्ध्य (wavelength of radiant energy) के रूप में संदर्भित किया जाता है। वस्तुओं की पहचान विभिन्न मात्रा के साथ विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम (electromagnetic spectrum) के विभिन्न बैंडों पर वस्तु और घटना द्वारा परावर्तित या उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा द्वारा किया जा सकता है। रिमोट सेंसिंग के प्रयोजनों के लिए विभिन्न प्रकार की वस्तुओं का विभाजन या वर्गीकरण एक या एक से अधिक तरंगदैर्ध्य श्रेणियों की जानकारी का उपयोग करके किया जाता है। इस स्पेक्ट्रम को मोटे तौर पर दो मुख्य भागों यथा ऑप्टिकल रेंज (0.4 से 14 μm तक) और माइक्रोवेव रेंज (1 mm से 1 m तक) में बांटा गया है। विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम (electromagnetic spectrum) एवं इसके विभिन्न बैंडों के विभाजन को चित्र 2 में दर्शाया गया है।

रिमोट सेंसिंग के प्रयोजनों के लिए विद्युत चुंबकीय स्पेक्ट्रम (ईएम स्पेक्ट्रम) 0.02 माइक्रोमीटर से 1 मीटर तरंग दैर्ध्य रेंज में भिन्न-भिन्न प्रकार का होता है। कई अंतरिक्ष-जनित रिमोट सेंसिंग मल्टी-बैंड सेंसर विभिन्न ऑप्टिकल, इन्फ्रा-रेड (IR), पैन-क्रोमेटिक (Pan-chromatic) और थर्मल स्पेक्ट्रल वर्णक्रमीय क्षेत्रों में काम कर रहे हैं। जैसेकि, लैंडसैट 5 टीएम उपग्रह डेटा ऑप्टिकल के लिए बैंड 1 से बैंड 3 तक, आईआर (Infra-Red) की विभिन्न श्रेणियों के लिए बैंड 4, 5 और 7 तथा थर्मल स्पेक्ट्रल क्षेत्रों के लिए बैंड-6 प्रदान करता है। रिमोट सेंसिंग तकनीक में ऑप्टिकल और आई-आर बैंड का उपयोग उपयुक्त डेटा विश्लेषण का उपयोग करके रंग, तापमान, बनावट आदि में उनके वर्णक्रमीय अंतर के अनुसार मूल चट्टानों से पाइरो-मेटामॉर्फिक चट्टानों को अलग करने के लिए किया जाता है। कोयले की खदान में आग लगने की स्थिति में चट्टानें और मिट्टी गर्म होकर सूख जाती हैं तथा मूल अवस्था से रंग बदल जाता है। इस प्रकार छवि प्रसंस्करण तकनीकों का उपयोग करके सामान्य अंतर-वनस्पति सूचकांक मूल्य (एनडीवीआई) द्वारा कोयले की आग से प्रभावित भाग और अप्रभावित भाग से आसानी से अलग किया जा सकता है[12]।

सुदूर संवेदन में 3-35 μm के EM (विद्युत चुम्बकीय) तरंगदैर्ध्य क्षेत्र को थर्मल इन्फ्रारेड क्षेत्र के रूप में जाना जाता है। इस तरंगदैर्ध्य क्षेत्र में पृथ्वी की तापीय अवस्था के कारण उत्सर्जित होने वाला विकिरण, सौर-परावर्तित विकिरण से अधिक तीव्र होता है। इसलिए इस क्षेत्र में काम करने वाला कोई भी सेंसर मुख्य रूप से जमीनी वस्तु/सामग्री के तापीय गुणों का पता लगाया जाता है। इसके अलावा, कोयले की आग का पता लगाने और मानचित्रण के लिए,



चित्र 2. विद्युत चुंबकीय स्पेक्ट्रम (Electromagnetic spectrum), 1: एक्स किरण (x-ray), 2: यूवी किरण (UV ray), 3: दृश्यमान (visible), 4: आई-आर (infra-Red), 5: माइक्रोवेव (microwave), 6: रेडियो तरंग (Radio-wave)[11]

3-35 μm तरंग दैर्ध्य क्षेत्रों में से 8-14 गउ रेंज, सुदूर-संवेदन के लिए उपलब्ध उच्चतम ऊर्जा को इंगित करता है, क्योंकि परिवेश के तापमान पर, पृथ्वी के कृष्णिका विकिरण का चरम लगभग 9.7 μm तरंगदैर्ध्य पर होता है तथा उत्कृष्ट वायुमंडलीय खिड़की (atmospheric window) 8-14μm तरंग दैर्ध्य के बीच में होती है अतःअंतरिक्ष जनित रिमोट सेंसिंग डेटा के लिए पसंदीदा रेंज 8 से 14 μm तरंग दैर्ध्य के बीच माना जाता है[13,14]।

3. सामग्री और पद्धति (Material and Methodology)

प्रस्तुत अध्ययन में कोयला खदान में लगी आग के पहचान और मानचित्रण के लिए मुख्य रूप से रिमोट सेंसिंग थर्मल-बैंड डेटा का उपयोग किया गया है। इस अध्ययन में प्रयुक्त डेटा में पूर्वाह्न के समय का लैंडसैट उपग्रह थर्मल-चित्र, झरिया-कोलफील्ड का भारतीय सर्वेक्षण स्थलाकृतिक मानचित्र प्रमुख है। भारतीय सर्वेक्षण स्थलाकृतिक मानचित्र का उपयोग छवि पंजीकरण (Image Registration) एवं ज्यामितीय सुधार (Geometric Correction) के लिए आधार मानचित्र के रूप में किया गया है। प्रस्तुत अध्ययन में उपग्रह चित्रों के विश्लेषण के लिए ERDAS इमेजिन-9.2 और Arc-GIS प्रक्रिया सामग्री (सॉफ्टवेयर) का उपयोग करके किया गया है। झरिया-कोलफील्ड के कुछ चुनिंदा स्थलों पर जमीनी सत्यापन और आग के क्षेत्र का वास्तविक तापमान थर्मल-इमेजिंग कैमरा उपयोग से जांच कर एकत्र किए गए है।

कोयला खदान में लगी आग के जांच और मानचित्रण के लिए रिमोट सेंसिंग कार्यप्रणाली में मोटे तौर पर तीन बुनियादी चरण होते हैं। पहला चरण, डाटा-अधिग्रहण और इमेज प्रोसेसिंग प्रक्रिया से संबंधित है तथा दूसरे चरण में संसाधित डेटा-सेट सेपिक्सेल-एकीकृत तापमान का निष्कर्षण शामिल है। तीसरे चरण में संसाधित डेटा सेट से कोयले की खान में आग लगने वाले विषम-क्षेत्र, आग की सीमा का पता लगाने और फायर मैप (सुदूर-संवेदन अग्नि मानचित्र) का चित्रण करने से संबंधित है। थर्मल-इमेजिंग कैमरे के उपयोग से ग्राउंड थर्मल मैपिंग और डिफरेंशियल ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम (DGPS) के उपयोग से चयनित अग्नि क्षेत्र में जमीनी सत्यापन (ग्राउंड ट्रुथिंग) किया जाता है। अंत में तैयार सुदूर-संवेदन अग्नि मानचित्र के आधार पर विभिन्न वर्षों में कोयले की आग के अस्थायी संक्रमणों (temporal changes) का विश्लेषण कर अध्ययन किया जाता है।

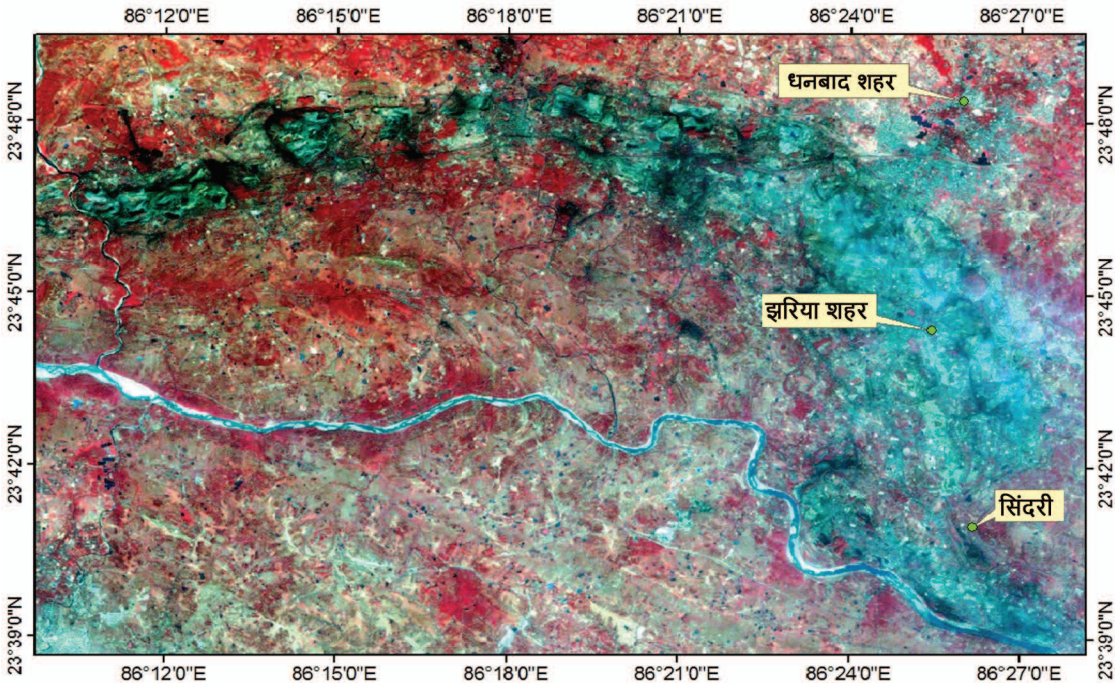
4. सुदूर-संवेदन चित्रण विधि (Remote Sensing Mapping Technique)

उपग्रह आधारित अवलोकित डेटा के एकीकरण (integration) के माध्यम से कोयला खदान की आग की जांच और अग्नि-चित्रण (फायर-मैपिंग) किया जाता है। यह मुख्यतः तीन प्रकार के डेटा सेट अर्थात्- लैंडसैट उपग्रह चित्र, स्थलाकृतिक क्षेत्र का नक्शा और विभिन्न अग्नि प्रभावित स्थलों का जमीनी तापमान सर्वेक्षण के एकीकरण करके प्राप्त किया जाता है।

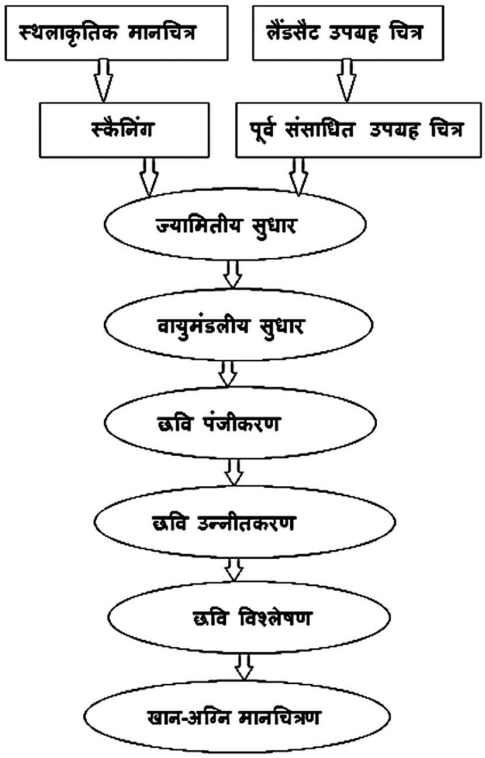
सुदूर-संवेदन तकनीक में खान-अग्नि चित्रण विधि के विभिन्न चरण होते हैं। सर्वप्रथम उपग्रह-चित्र का अधिग्रहण कर उससे अध्ययन के लिए आवश्यक भाग जैसे AOI (area of Interest) को काट कर अलग कर निकाल लेते हैं जिससे उपग्रह-चित्र के प्रसंस्करण में सुविधा होती है (चित्र-3)। पहले चरण में लैंडसैट अधिग्रहित उपग्रह-चित्र के अधिग्रहण के असंसाधित AOI चित्र और स्थलाकृतिक क्षेत्र के नक्शे को एक दूसरे के साथ दोष-रहित पंजीकरण (रजिस्टर्ड) किया जाता है। उसके उपरांत अधिग्रहित असंसाधित उपग्रह-चित्र को अनेक प्रकार के छवि सुधारात्मक प्रक्रिया से गुजरना होता है जिसका वर्णन चित्र-4 में दिखलाया गया है। संशोधित उपग्रह-चित्र का अनेक विश्लेषण किया जाता है तथा अंत में विश्लेषित उपग्रह-चित्र के उपयोग से संबन्धित क्षेत्र का अग्नि चित्रण (फायर-मैपिंग) किया जाता है।

कोयले की आग की जांच और अग्नि-चित्रण (फायर-मैपिंग) का मुख्य उद्देश्य, थर्मल विशेषताओं के द्वारा कोयले की आग से प्रभावित क्षेत्रों और अप्रभावित पृष्ठभूमि वाले क्षेत्रों का अलग-अलग चित्रण करना होता है। उपग्रह-चित्र में निहित तापीय विशेषताएँ, चित्र के प्रत्येक पिक्सेल में मौजूद शुभ्रता/धवलता का मान (Brightness value) अथवा डिजिटल-संख्या (digital number) के रूप में होती है। अग्नि प्रभावित क्षेत्र, गैर-अग्नि प्रभावित क्षेत्र की तुलना में उच्च-धवलता का मान या डिजिटल-संख्या (DN) का मान अधिक उत्पन्न करता है। अग्नि क्षेत्र और गैर-अग्नि क्षेत्र में अंतर को अनेक विभिन्न गणितीय एल्गोरिद्म समीकरणों के माध्यम से इन डीएन मूल्यों के तुलनात्मक अध्ययन के द्वारा प्राप्त किया जाता है।

डिजिटल-संख्या अथवा डीएन मूल्य मान के तुलनात्मक अध्ययन के आधार पर पूरे निगरानी वाले क्षेत्र को अग्नि प्रभावित क्षेत्र और गैर-अग्नि प्रभावित क्षेत्र में वर्गीकृत किया जाता है। अंत में आग से प्रभावित क्षेत्रों का अग्नि-चित्रण (फायर-मैपिंग) नक्शे पर पुनः दो वर्गों जैसे सतही आग-क्षेत्र और भूमिगत आग-क्षेत्र में वर्गीकृत किया जाता है। चित्र-5 में सुदूर-संवेदन तकनीक द्वारा झरिया-कोलफील्ड के खान-अग्नि से प्रभावित भू-भाग का अग्नि प्रभावित क्षेत्रों का चित्रण दिखाया गया है। झरिया कोलफील्ड के भूतल और भूमिगत कोयला खदान आग प्रभावित क्षेत्र का सुदूर-संवेदन तकनीक से फायर मैप के द्वारा विभिन्न वर्षों में पार्श्व-प्रसार (lateral-spread) आंकने का प्रयास किया गया है तथा आग के व्यवहार के साथ-साथ इसकी



चित्र 3. सुदूर-संवेदन तकनीक द्वारा प्राप्त झरिया कोलफील्ड का गैर-प्रसंस्कृत (un-processed) उपग्रह-चित्र।

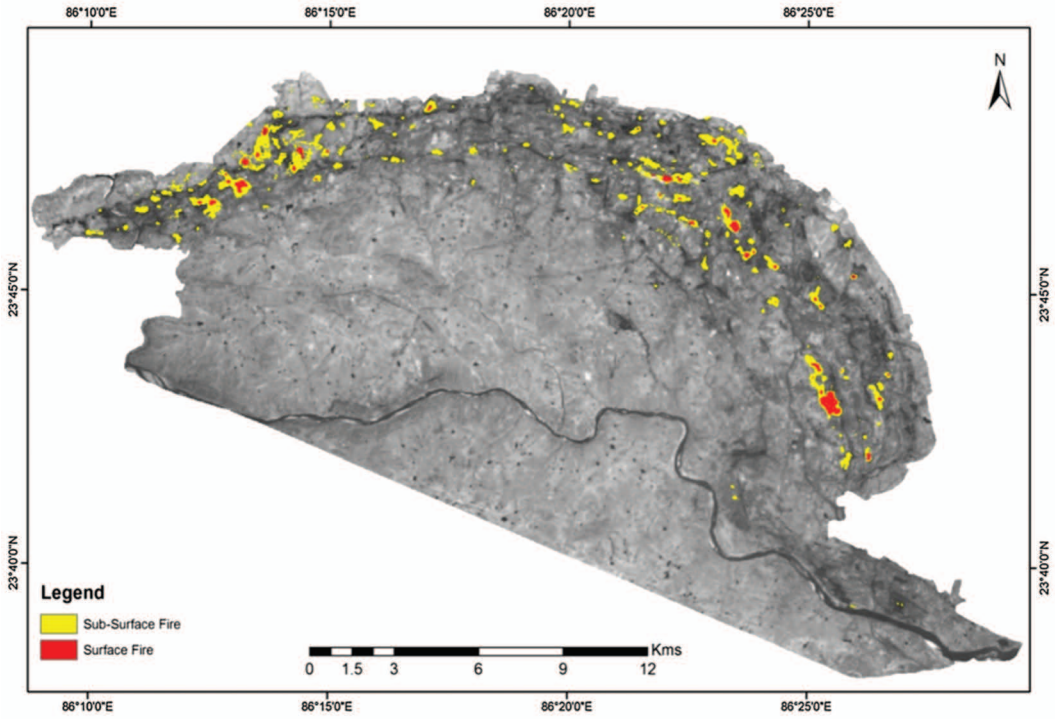


चित्र 4. सुदूर-संवेदन तकनीक द्वारा खान-अग्नि चित्रण विधि के विभिन्न चरणों का फ्लोचार्ट।

गतिशीलता की स्थिति का भी अध्ययन किया गया है। आग की गतिशीलता के विश्लेषण के आधार पर विभिन्न वर्षों मे कोयले की सतह और भूमिगत आग (surface and sub-surface fire) की स्थिति में परिवर्तन और नए क्षेत्रों की ओर प्रगति का मूल्यांकन किया जाता है। विभिन्न वर्षो मे कोयले की सतह और भूमिगत आग (surface and sub-surface fire) की स्थिति में परिवर्तनों के मूल्यांकन के आधार पर आग की रोकथाम के प्रयास एवं आग प्रबंधन का अध्ययन किया जाता है ताकि कोयला खदानों की आग की समस्या को नियंत्रण में लाकर इसकी सम्पूर्ण रूप से रोकथाम की जा सके और कोयला खदानों में खनन कार्य में कार्यरत खनिकों की सुरक्षा एवं उत्पादकता सुनिश्चित किया जा सके।

5. परिणाम और चर्चा

कोयले की खदान में आग की प्रकृति, परिमाण और प्रसार की दिशा को समझना, इसकी निगरानी तथा प्रभावी प्रबंधन योजना के लिए बहुत ही महत्वपूर्ण होता है। विभिन्न वर्षो के प्राप्त उपग्रह डेटा के आधार पर झरिया-कोलफील्ड के कोयले में आग की पहचान, इसके फैलने की प्रकृति और प्रसार की दिशा के अध्ययन का प्रयास किया गया है। इस अध्ययन में कोयले की आग से प्रभावित और गैर-प्रभावित भाग को चित्रित करने के लिए लैंडसैट डेटा का उपयोग किया गया



चित्र 5. सुदूर-संवेदन तकनीक द्वारा झरिया-कोलफील्ड के सतह और भूमिगत खान-अग्नि से प्रभावित भू-भाग का चित्रण।

है। अग्नि क्षेत्र को चित्रित करने के लिए तापमान की सीमा के आधार पर भूमिगत एवं सतही क्षेत्र का निर्धारण किया गया है। वर्तमान अध्ययन का उद्देश्य विभिन्न वर्षों में संदिग्ध आग से प्रभावित क्षेत्र के पार्श्व-प्रसार (lateral-spread) के आधार पर मानचित्र तैयार कर इमेज-ओवरले (image-overlay) विश्लेषण तकनीक का उपयोग करके क्रमिक वर्षों में अलग-अलग पहलुओं को वर्गीकृत करना है। जिससे विभिन्न वर्षों में कोयले की सतह और भूमिगत आग (surface and sub-surface fire) की स्थिति में परिवर्तन एवं नए क्षेत्रों की ओर इसकी प्रगति का सटीक मूल्यांकन किया जा सके।

विभिन्न वर्षों के विश्लेषण के आधार पर यह देखा गया है कि मुख्य रूप से कोयले के अधिकांश खनन क्षेत्र और खनन डंप क्षेत्र (dumping area) लगभग 90% आग से प्रभावित है। झरिया कोलफील्ड के लगभग 10 वर्ग कि.मी. क्षेत्रफल का भू-भाग विशेष रूप से पूर्वी भाग आज भी आग से बुरी तरह से प्रभावित है। आग प्रभावित खनन-क्षेत्र के आस-पास अनेक मानव बस्तियाँ हैं, जहां रहना सुरक्षा एवं स्वास्थ्य की दृष्टि से बहुत ही खतरनाक है। हालांकि, 90 के दशक की अपेक्षा कोयला खदान आग प्रभावित क्षेत्र में धीमी गति से ही सही कमी की प्रवृत्ति रही है। फिर भी, कुछ नए क्षेत्र भी आग से प्रभावित हुए हैं। पिछले 25 वर्षों के दौरान सतह और उपसतह कोयला खदान के आग से अनेक महत्वपूर्ण सड़कें, रेलवे लाइनें, आवासीय स्थान, स्कूल-कॉलेज इत्यादि भी आग से प्रभावित होकर खत्म हो गए हैं या घिर गए हैं।

5. निष्कर्ष

भारत के कोयला खदानों में लगी आग, राष्ट्र के लिए एक गंभीर आर्थिक, सामाजिक एवं पर्यावरणीय समस्या है। आग के कारण भारी मात्रा में कोयला भंडार का नुकसान राष्ट्र के लिए बहुत ही बड़ी आर्थिक क्षति है। कोयले खदानों की आग से उत्सर्जित गैसों के कारण आसपास के इलाकों में रहने वाले लोगों के लिए सुरक्षा और स्वास्थ्य संबंधी नुकसान होता है। कोयला खदानों की आग की समस्या को सम्पूर्ण रूप से खत्म करने के लिए उपलब्ध आधुनिक तकनीकों के द्वारा कोयले की सतह और उपसतह आग (surface and sub-surface fire) की विभिन्न वर्षों में प्रगति और स्थिति में परिवर्तन के अधययन तथा मूल्यांकन के आधार पर नियंत्रित किया जा सकता है। उपलब्ध आधुनिक तकनीकों में सुदूर-संवेदन तकनीक कोयला अग्नि प्रभावित क्षेत्र का पता लगाने में प्रभावी तकनीक हो सकती है। झरिया के अग्नि प्रभावित क्षेत्र में आग के प्रसार की गति, आग की अवस्था, विस्तार एवं स्वरूप के चित्रण और समयबद्ध निगरानी एवं अध्ययन हेतु यह उपयुक्त, उत्तम और अपेक्षाकृत आर्थिक रूप से किफायती विधि साबित हुई हैं। समयबद्ध उपयोग से आग की गतिशीलता और स्थिति के विश्लेषण से खदानों में आग की समस्या

को नियंत्रण में लाकर इसका सम्पूर्ण रूप से रोकथाम किया जा सकता है। जिससे इन इलाकों में रहने वाले लोगों एवं खदानों में कार्यरत खनिकों की सुरक्षा सुनिश्चित की जा सकती है।

आभारः

लेखकगण, निदेशक, सी.एस.आई.आर.-केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, बरवा रोड, धनबाद (झारखण्ड) का शोध पत्र प्रकाशित करने के लिए अपनी अनुमति प्रदान करने के लिए आभारी हैं। इस पत्र में व्यक्त विचार लेखकों के हैं।

संदर्भ

1. ऊर्जा सांख्यिकी (2019), ऊर्जा सांख्यिकी पर रिपोर्ट-2019, 26वां अंक, केंद्रीय सांख्यिकी कार्यालय, सांख्यिकी और कार्यक्रम कार्यान्वयन मंत्रालय, भारत सरकार, नई दिल्ली, http://www.mospi.gov.in

   Energy statistics (2019), Report on Energy Statistics-2019, 26th Issue, Central Statistics Office, Ministry of Statistics and Programme Implementation, Government of India, New Delhi, http://www.mospi.gov.in

2. अंतर्राष्ट्रीय ऊर्जा एजेंसी (आईईए), (2024), सांख्यिकी रिपोर्ट-जुलाई 2024, विश्व कोयला क्षेत्र में व्यापक ऐतिहासिक समीक्षा और वर्तमान बाजार रुझान एवं जानकारी,

   https//www.iea.org/reports/coal-information-overview. International Energy Agency (IEA). 2024. Statistics report-July 2024, coal information: Comprehensive historical review and current market trends in the world coal sector. https://www.iea.org/reports/coal-information-overview.

3. जितेंद्र पांडे, डी. डी. त्रिपाठी, एन. के. सिन्हा, ए. खलखो और जे. के. पांडे (2021) ''कोयला खदानों में ऑटो-इग्निशन/आग की समस्याओं पर एक मूल्यांकनः इसका प्रभाव और कुछ उपचारात्मक उपाय'', भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका (बीवीएएपी), खंड-29 (2), दिसम्बर-2021, पृष्ठ सं.-98-109.

   Pandey Jitendra, Tripathi D D, Sinha N K, Khalkho A & Pandey J K (2021) An Appraisal on auto-ignition/fire problems in coal mines: It's impact and few curative measures, Bharatiya Vaigyanik evam Audyogik Anusandhan Patrika (BVAAP), VOL. 29(2), December-2021, pp. 98-109.

4. ए. सिन्हा और वी.के. सिंह, (2005), ''स्वतःस्फूर्त कोयला सीम आगः एक वैश्विक घटना'', कोयला सीम आग पर सतत नियंत्रण और प्रबंधनः एक वैश्विक आपदा शमन के लिए अंतर्राष्ट्रीय अनुसंधान पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन में, बीजिंग, पी. आर. चीन, 29 नवंबर-1 दिसंबर 2005, पृष्ठ सं. 42-66.

   Sinha, A. and Singh, V. K., (2005), Spontaneous coal seam fires: a global phenomenon. In International Conference on International Research for Sustainable Control and Management on Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigation a Global Disaster, Beijing, P.R. China, 29 November.1 December 2005, pp. 42-66.

5. जितेंद्र पांडे, डी. कुमार, वी.के. सिंह और एन.के. मोहालिक, (2016), ''झरिया कोयला क्षेत्र में आग के पर्यावरणीय और सामाजिक-आर्थिक प्रभावः एक मूल्यांकन", करंट साइंस जर्नल, खंड-110, संख्या-9, 10 मई 2016, पृष्ठ सं. 1639-1650.

   Pandey J., Kumar D., Singh V. K. and Mohalik N. K., (2016), "Environmental and Socio-economic impacts of fire in Jharia coalfield: An appraisal", Current Science Journal, Vol. 110, No. 9, 10 May 2016, pp. 1639-1650.

6. जी.बी. स्ट्रैचर और पी.टी. टेलर, (2004), ''दुनिया भर में कोयले स्तर की अनियंत्रित आगः पर्यावरणीय आपदा के लिए एक थर्मोडायनामिक उपाय'', इंटरनेशनल जर्नल ऑफ कोल जिओलोजी, 2004, खंड-59, पृष्ठ सं. 7-17.

   Stracher, G. B. and Taylor, P. T., (2004), Coal fire burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe. Int. J. Coal Geol-, 2004, 59, pp. 7-17.

7. एस.सी., बनर्जी, (1996), ''कोयला खदान की आग और उसकी चुनौतियों पर अनुसंधान एवं विकास की स्थितिः रुझान और चुनौतियाँ'', खदान और औद्योगिक आग की रोकथाम और नियंत्रण पर सेमिनार, कोलकाता, पृष्ठ सं. 21-42.

   Banerjee, S. C., (1996), Status of R&D on coal mine fires and its challenges. In Proceedings, Seminar on Prevention and Control of Mine and Industrial Fires: Trends and Challenges, Kolkata, pp. 21-42.

8. प्रसून के. गंगोपाध्याय, (2005), रिमोट सेंसिंग का उपयोग करके कोयला आग की निगरानी, आग पर सतत नियंत्रण और

प्रबंधन के लिए अनुसंधान, कोयला सीम आगः एक वैश्विक आपदा पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन, बीजिंग पी. आर. चीन, पृष्ठ सं. 351-361.

Prasun K. Gangopadhayay, (2005), Monitoring of Coal Fire Using Remote Sensing, International Research for Sustainable Control And Management on Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigation A Global Disaster. International Conference, Beijing P.R. China, pp. 351-361.

9. जितेंद्र पांडे, आर. के. मिश्रा, ए. खलखो, आर. वी. के. सिंह और वी. के. सिंह, (2011), ''थर्मोग्राफ़ी तकनीक-झरिया कोलफील्ड में कोयला खदान की आग के आकलन और निगरानी के लिए एक बहुमुखी उपकरण", माइनटेक जर्नल (सीएमपीडीआईएल), खंड-32, नंबर-3, सितंबर 2011, पृष्ठ सं. 33-41.

Pandey J., Mishra, R.K., khalkho A., Singh R.V.K. and Singh, V. K. (2011), "Thermography Technique-A versatile tool for Assessment and Monitoring of Coal Mine Fire, Jharia Coalfield (JCF)", Minetech Journal (CMPDIL), Volume-32, No.-3, September 2011, pp. 33-41

10. आर. जे. स्लेवेकी (1964) उपसतह कोयले की आग के स्थान पता लगाना, पर्यावरण के रिमोट सेंसिंग पर तीसरा अंतर्राष्ट्रीय संगोष्ठी, विज्ञान और प्रौद्योगिकी संस्थान, मिशिगन विश्वविद्यालय, यूएसए, 14-16 अक्टूबर 1964, पृष्ठ सं. 537-547

Slavecki R J (1964) Detection and locating subsurface coal fires, In: 3rd international symposium on remote sensing of environment, Institute of science and technology, university of Michigan, USA, 14-16 October 1964, pp 537-547

11. जितेंद्र पांडे, डी. कुमार, डी.सी. पाणिग्रही और वी. के. सिंह, (2017), ''लैंडसैट उपग्रह इमेजरी का उपयोग करते हुए झरिया कोयला क्षेत्र (भारत) की कोयला खदान की आग का समयबद्ध संक्रमण विश्लेषण", इंटरनेशनल जर्नल ऑफ पर्यावरण पृथ्वी विज्ञान (स्प्रिंगर साइंसेज), खंड-76, अंक 12, पृष्ठ सं. 439-448.

Pandey J., Kumar D., Panigrahi D. C. and Singh V. K., (2017), Temporal transition analysis of coal mine fire of Jharia coalfield, India, using Landsat satellite imageries", Environmental Earth Sciences Journal (Springer Sciences), Vol. 76, issue 12, (76:439).

12. ए. प्रकाश, और आर.पी. गुप्ता, (1999), ''टीएम डेटा से झरिया कोयला क्षेत्र (भारत) में सतही आग और तापमान का वितरण और उसका अनुमान'', इंटरनेशनल जर्नल ऑफ रिमोट सेंसिंग, 1999, खंड-20, पृष्ठ सं. 1935-1946.

Prakash, A. and Gupta R. P., (1999), Surface fire in Jharia coalfield, India - their distribution and estimation of area and temperature from TM data, Int. J. Remote Sensing, 1999, 20, pp. 1935-1946.

13. आर.के. मिश्रा., जे.के. पांडे., जितेंद्र पांडे, एस. कुमार, पी.एन. एस. रॉय, (2020) ''लैंडसैट रिमोट सेंसिंग डेटा का उपयोग करके झरिया कोलफील्ड में कोयले की आग का पता लगाना और विश्लेषण करना'' जर्नल ऑफ द इंडियन सोसाइटी ऑफ रिमोट सेंसिंग, खंड-48 अंक (2)), पृष्ठ सं. 181-195.

Mishra R.K., Pandey J K, Pandey J, Kumar S, Roy P N S., (2020) Detection and analysis of coal fire in Jharia Coalfield (JCF) using Landsat remote sensing data Journal of the Indian Society of Remote Sensing 48 (2), pp. 181-195.

14. आर.पी. गुप्ता, (2003), ''द रिमोट सेंसिंग जियोलॉजी'', दूसरा संस्करण, स्प्रिंगर, वेरलाग बर्लिन हीडलबर्ग, अध्याय- 9, पृष्ठ सं. 172-206.

Gupta, R. P., (2003), The Remote Sensing Geology, Second ed., Springer, Verlag Berlin Heidelberg, chapter- 9, pp. 172-206.