भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 29 अंक (2) दिसम्बर 2021 पृ. 98-109

कोयला खदानों में स्वतः दहन/आग की समस्या, दुष्प्रभाव एवं रोकथाम के उपाय का मूल्यांकन

जितेंद्र पाण्डेय, डी डी त्रिपाठी, नन्दन कुमार सिन्हा, ए खलखो एवं जय कृष्ण पाण्डेय
खान अग्नि, संवातन, खनिक सुरक्षा एवं स्वास्थ्य अनुसंधान विभाग
केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, धनबाद 826 015 (झारखंड)

सारांश : अग्नि अर्थात् आग, जो कि जीवन के लिए अत्यंत ही उपयोगी एवं महत्वपूर्ण है, लेकिन कोयला खदानों के लिए यह एक भयावह आपदा है। वर्तमान में कोयला खदानों में स्वतः दहन/आग एक वैश्विक समस्या हो गयी है। स्वतः दहन अथवा आग आग के कारण, ईश्वर प्रदत्त बहुमूल्य ऊर्जा स्रोत तो नष्ट हो ही रहा है, साथ ही उसका देश के आर्थिक, सामाजिक एवं पर्यावरण पर भी अनेक दुष्प्रभाव पड़ रहा है। वैश्विक तापमान वृद्धि में अन्य कारणों के अलावा, कोयला खदानों की आग भी एक प्रमुख कारण है। कोयला खदानों की भूमिगत आग के कारण खनन कार्य में लगे श्रमिकों एवं खदानों के आस-पास रहने वाले लाखों लोगों का जीवन अत्यंत ही असुरक्षित एवं कष्टदायक हो गया है। इस शोधपत्र में भारत के विभिन्न कोयला क्षेत्रों के भूमिगत आग की समस्या के प्रभाव का संक्षिप्त विवरण, खदानों में आग के कारण, जाँच की विधि एवं रोकथाम के उपायों का मूल्यांकन किया गया है।

An Appraisal on auto-ignition/fire problems in coal mines: It's impact and few curative measures

Jitendra Pandey, D D Tripathi, N K Sinha, A Khalkho & J K Pandey
Mine Fire, Ventilation, Miner's Safety and Health Research Group
CSIR-Central Institute of Mining and Fuel Research, Dhanbad 826 015 (Jharkhand)

Abstract

Indeed, 'Agni' or the Fire is foremost important and essential for creature on the mother earth, but it is not well-thought of acceptable for coal mining fraternity. Despite of so much helpful to the mankind, auto-ignition/ fire in coal mines create several distresses. The problem of spontaneous combustion or fire in coal mines are became a global catastrophe. Due to fire in coal mines not only loss of huge amount of non-renewal energy resources, but it also produces several agonies on economy, society and environment of the nation. Despite of other reasons, coal mine fire also leads an immense impact on global warming. It leads to several complications on safety of the miners as well as productivity of mines. In this paper, problem associated with coal mine fire, its method of early detection, along with prevention and control methodologies used worldwide are discussed.

प्रस्तावना

कोयला, प्रकृति प्रदत्त एक अनमोल उपहार है, जो विश्व में सबसे अधिक इस्तेमाल किया जाने वाला जीवाश्म ईंधन है। कोयले का निर्माण पूर्व काल में जमीन के अंदर दबे पेड़-पौधों के विभिन्न घटकों में रासायनिक और बैक्टीरियल परिवर्तन से हुआ है। कोयले में कार्बन की मात्रा बहुतायत होती है, जिसे हम ऊर्जा के रूप में उपयोग करते हैं। कोयला, विश्व के बिजली उत्पादन का प्रमुख स्रोत है। वर्तमान में विश्व का लगभग 40% और भारत का लगभग 75% ऊर्जा की आवश्यकताएं कोयले से पूरी की जा रही हैं और उम्मीद है कि निकट भविष्य में भी यह ऊर्जा का प्रमुख स्रोत बना रहेगा[1]।

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 2020-21 में

बढ़कर लगभग 750 मिलियन टन तक पहुंच गया है[2]। वित्त वर्ष 2024-25 में कोयले की मांग लगभग 1500 मिलियन टन तक पहुंच जाने की संभावना है। वर्तमान परिदृश्य में भारत, विश्व का तीसरा सबसे बड़ा कोयला उत्पादक देश है। भारत में लगभग 320 बिलियन टन कोयले का अकूत भण्डार है, जो कि पूरे विश्व का लगभग 7% है। भारत में कोयला रिजर्व सबसे अधिक झारखंड राज्य में है और प्राइम कोकिंग प्रकार के कोयले का एकमात्र भण्डार भी झारखंड में ही है। कोयला उत्पादन में झारखंड भारत का दूसरा सबसे बड़ा राज्य है। यहाँ देश का लगभग 20% कोयला उत्पादन होता है[3]।

जमीन के नीचे से कोयले का दोहन स्वाभाविक रूप से जोखिमों से भरा हुआ है, जो अक्सर अनेक आपदाओं को जन्म देता है। पूरे विश्व में इस प्रकार की आपदा की कई घटनाएं सामने आई हैं, जिससे कोयले की उत्पादन और उत्पादकता दोनों प्रभावित होती है। इन आपदाओं के प्रमुख कारण कोयला खदान में आग और गैसीय विस्फोट, छतों/पक्षों (roof/sides) का गिरना तथा पानी का सैलाब (inundation) आना इत्यादि है। भारतीय कोयला खदानों में वर्ष 1947 से 2016 तक कुल खनन आपदाओं में लगभग 40% का कारण खदान में आग और गैसीय विस्फोट है[4]। पूरे विश्व में जहां भी कोयले का उत्पादन होता है, वहाँ के कोयला खदानों की आग एक सामाजिक, आर्थिक एवं तकनीकी समस्या है। वैश्विक स्तर पर कोयले की आग अभी भी संयुक्त राज्य अमरीका, चीन, रूस, इंडोनेशिया, दक्षिण अफ्रीका, ऑस्ट्रेलिया, इंडोनेशिया, जर्मनी और भारत में मौजूद है (चित्र 1)[5,6,7]। इस समस्या की भयावता, उस देश के कोयले की प्रकृति, सतह से गहराई एवं स्थानीय जलवायु के अनुसार भिन्न-भिन्न हो सकती है।

भारत में कोयले का खनन पुरातन काल से होते आ रहा है। हालांकि, भारत में कोयले की खनन के विषय में पहला प्रकाशित संदर्भ 1774 ई. में रानीगंज कोल फील्ड स्थित दी सरगढ़ के चिनाकुरी कोयला खदान में बताया गया है। वर्तमान में, भारत के कोयला खदानों में भूमिगत आग की समस्या बहुत ही भयावह है। इतिहास के अनुसार, भारत में पहली बार कोयले की खान में आग 1865 ई. में रानीगंज कोलफील्ड में दर्ज की गयी थी। जबकि झरिया में कोयला खनन का कार्य 1894 में शुरू हो चुका था और पहली कोयले की खान में आग वर्ष 1916 में में दर्ज की गयी[9]। वर्ष 1930 के बाद, झरिया और रानीगंज के कई स्थानों पर खदान की आग ने सबका ध्यान अपनी ओर आकृष्ट किया है। सन् 1996 में पूरे भारत में 196 स्थानों पर कोल इंडिया लिमिटेड (सीआईएल) की विभिन्न सहायक कंपनियों में कोयला खदान की आग पाई गई थी। वर्तमान में पूरे भारत के सभी कोयला परिक्षेत्रों (coalfields) की कोयला खदानें आग से प्रभावित हैं। कोयला खदानों की भूमिगत आग से सबसे अधिक झारखंड एवं बंगाल के क्रमशः झरिया एवं रानीगंज कोलफील्ड प्रभावित हैं।

कोयला खदानों में आग लगने के अनेक कारण हैं, जिसमें स्वतः स्फूर्त दहन (Auto ignition/ Spontaneous combustion) प्रमुख है। कोयले में स्वतः-स्फूर्त दहन एक प्राकृतिक गुण है।

चित्र 1 – विश्व के कोयला खदानों में आग से प्रभावित देशों के कोयला क्षेत्र[8]।

कोयला मे स्वतः-स्फूर्त दहन की घटनायें दो परस्पर प्रक्रियाओं के कारण होती हैं। इसके प्रथम चरण की शुरुआत कोयला और ऑक्सीजन के पारस्परिक प्रभाव (ऑक्सीकरण) और दूसरे चरण में ऊष्माक्षेपी प्रतिक्रिया (exothermic reaction) होती है, जिसमें ऊष्मा निकलती हैं। प्रतिक्रिया से उत्पन्न ऊष्मा, अगर संवाहन (conduction) या संवहन (convection) या विकिरण (radiation) अथवा तीनों कारणों के द्वारा अगर नष्ट नहीं होती हैं तो लगातार तापमान में वृद्धि होने लगता हैं और एक समय पर कोयले में स्वतः दहन की प्रक्रिया प्रारम्भ हो जाती है[10]।

$$Coal + O_2 CO_2 + Heat$$

यह प्रक्रिया कम तापमान से शुरू होती है और धीमी दर के साथ बिना लौ सुलगते हुए (smouldering combustion), इसका विस्तार होता है तथा कालांतर में यह विकराल रूप ले लेता है। विभिन्न भूवैज्ञानिक खनन और पर्यावरणीय कारणों से तथा अवैज्ञानिक तरीकों से कोयले का निकासी तथा खदान में कोयले के स्वतः-स्फूर्त दहन का प्रमुख कारण है।

कोयला खदानों में आग का सामाजिक, आर्थिक एवं पर्यावरणीय प्रभाव

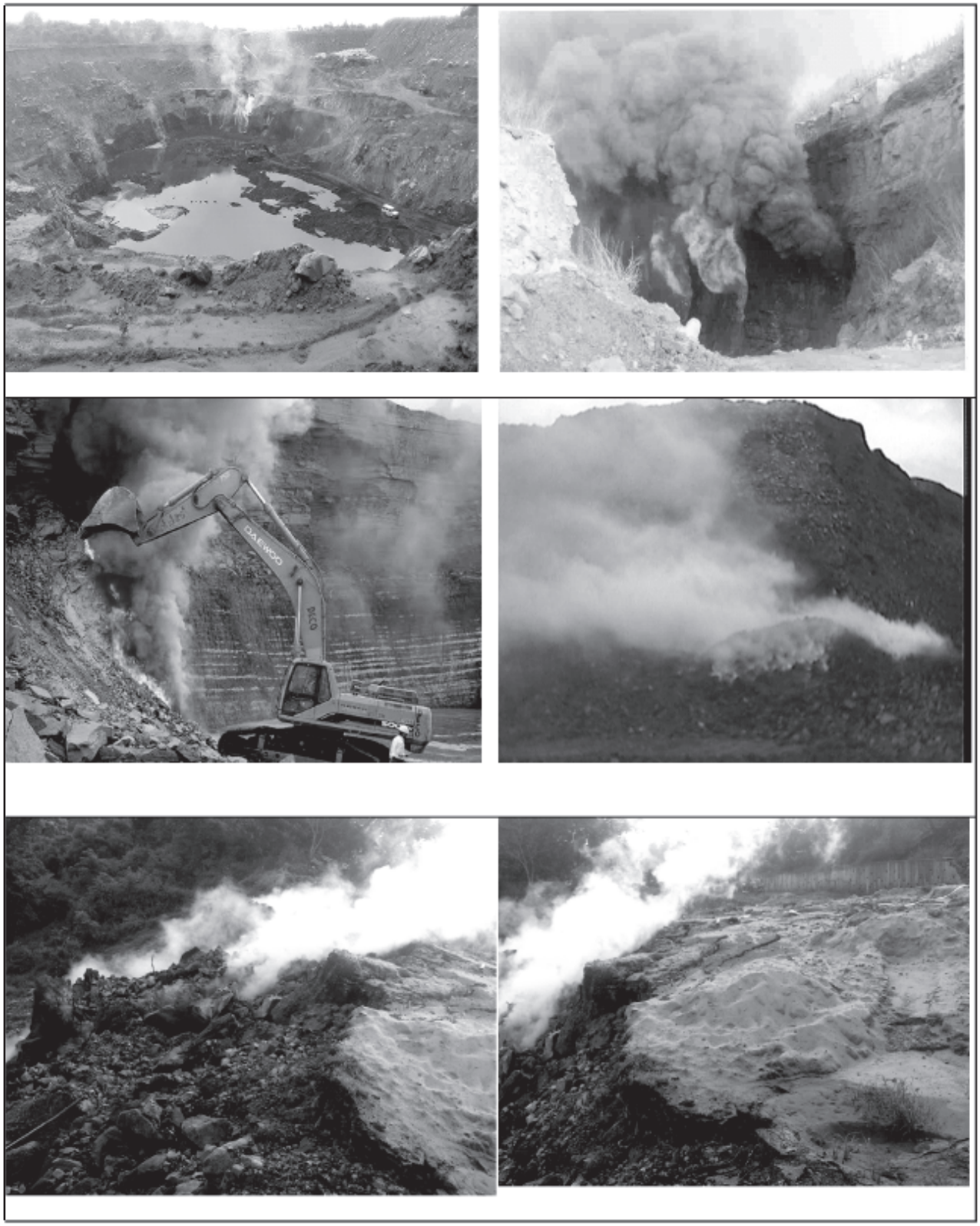
पर्यावरण और सामाजिक-आर्थिक रूप से कोयला खदानों में लगी आग, एक बहुत गंभीर समस्या है। परिणामस्वरूप, प्राकृतिक से संसाधनों की भारी मात्रा में क्षति हो रही है। साथ ही इसके कारण भारी आर्थिक नुकसान एवं खदान के परिचालन में अनेक कठिनाइयां उत्पन्न होती हैं तथा उत्पादकता भी प्रभावित होती है[4]। कोयला खदान में लगी आग, वायु प्रदूषण के रूप में पर्यावरण को प्रभावित करती है एवं जमीन की गुणवत्ता को घटाती है तथा साथ ही जमीन को भी बंजर कर रही है। वैश्विक और स्थानीय स्तर पर कोयले की आग पर्यावरण के लिए एक गंभीर समस्या है। कोयला दहन से बहुत अधिक मात्रा में हानिकारक और ग्रीन हाउस गैसों का उत्सर्जन होता है और साथ में अनेक अन्य सूक्ष्म कणों (Particulate Matters) का भी उत्सर्जन होता है[11,12]। कोयले की खान में लगी आग से ग्रीन हाउस गैसों के उत्सर्जन होता है, जो वैश्विक स्तर पर पर्यावरण को प्रभावित करता है[13]। इसके अलावा भारी मात्रा में अनुत्पादक ऊष्मा (लगभग 8 से 10 x 10^{12}kWh) का उत्सर्जन हो रहा है, जिसके कारण पृथ्वी के तापमान में लगातार वृद्धि हो रही है[14]।

कोयला खदान की आग तथा इसकी तीव्रता, पारिस्थितिकी तंत्र को प्रतिकूल रूप से प्रभावित करती है। कोयला खदान में आग के कारण पर्यावरण में प्रदूषण की मात्रा अधिक हो जाती है और यह हवा, पानी और भूमि को बुरी तरह से प्रभावित करता है। कोयले के दहन से कई प्रकार की हानिकारक गैसों का उत्सर्जन होता है, जिसमें कार्बन मोनोऑक्साइड और कार्बन डाइऑक्साइड (CO, CO_2), नाइट्रोजन और सल्फर के ऑक्साइड (ND, SD) आदि प्रमुख हैं। जिससे वहाँ के स्थानीय लोगों के स्वास्थ्य को बुरी तरह से प्रभावित करता है। जबकि ग्रीन हाउस गैसों (CO_2, CH_4, H_2) का उत्सर्जन, वैश्विक जलवायु परिवर्तन में योगदान देता है[11,15]। कोयले में आग के कारण सात यौगिकों यथा बेंजीन, (benzene), टॉलीन (toluene), ईथाइल बेंजीन (ethyl benzene), जाइलीन (xylene), मीथेन (methane), कार्बन डाइऑक्साइड (carbon dioxide) और कार्बन मोनोऑक्साइड (carbon monoxide) का सामान्यतः उत्सर्जन होता है। जो पर्यावरण और मानव स्वास्थ्य को बुरी तरह से प्रभावित करता है[16]।

कोयले में सल्फर होने के कारण कोयले की आग के कारण सतही एवं भूमिगत जल को भी वृहत स्तर पर प्रदूषित कर रही है, जिससे उसकी अम्लीयता अत्यधिक बढ़ जाती है। कोयले की आग एवं अन्य खनन गतिविधियों के कारण पानी की गुणवत्ता को भी प्रतिकूल रूप से प्रभावित कर रही है तथा SPS-TDS और कुछ भारी धातु जैसे Fe, Cu, Mn, Ni की मात्रा को तय मानक स्तर से वृद्धि कर रही है। इस पानी का उपयोग कई घरेलू कार्य प्रयोजनों के लिए होता है, जिससे स्वास्थ्य समस्या हो सकती है[17]। केन्द्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (सी.पी.सी.बी.) के अनुसार झरिया कोलफील्ड्स से होकर जाने वाली दामोदर नदी भारत की सबसे प्रदूषित नदी के रूप में वर्गीकृत की गयी है। आग से प्रभावित कोयला क्षेत्रों में उत्पन्न दरारों के कारण अनेक तालाब और नदियां पूरी तरह से सूख चुके हैं।

कोयला खदान की आग ने भूमि का क्षरण करने में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। आग प्रभावित क्षेत्रों की ऊपजाऊ भूमि अपनी उर्वरक शक्ति खो चुकी है। कोयले की आग और अन्य खनन गतिविधियों के कारण वनों के आवरण में भी भारी कमी आई है[18,19]।

कोयले की खान की आग ने समाज पर प्रत्यक्ष और व्यापक रूप से प्रभाव डालता है। कोयला क्षेत्रों की अधिकाधिक जनसंख्या सीधे या परोक्ष रूप से खनन गतिविधियों पर ही निर्भर है। कोयले की आग से प्रभावित अनेक खदान बंद हो चुकी है जिससे कोयला उद्योग के साथ जुड़े लोगों की मुख्य समस्या अनैच्छिक विस्थापन और बेरोजगारी हो गयी है। कई आवासीय कालोनियों और निजी आवासों को खदान की आग ने प्रभावित किया है।



चित्र 2 – अग्नि प्रभावित कोयला खदानों की भयावह स्थिति

जिसके कारण कुछ लोगों ने तो सुरक्षित स्थानों पर पलायन कर लिया है, लेकिन बहुतायत आबादी वर्तमान में भी अग्नि प्रभावित कई क्षेत्रों के असुरक्षित इलाकों में रह रही है। खदान की आग ने उनकी आजीविका को बुरी तरह से प्रभावित किया है। कई कोयला खानों को आग के कारण बंद कर दिया गया है, जिससे इन क्षेत्रों में निवास करने वाले लोगों का रोजगार छिन गया है। हालांकि कई सरकारी एजेंसियों और खान प्रबंधनों द्वारा अग्नि प्रभावित क्षेत्रों के निवासियों के लिए नोटिस/अपील एवं चेतावनियों को जारी किया गया है कि यह क्षेत्र रहने के लिए असुरक्षित है, इसके बावजूद भी असुरक्षित क्षेत्रों में निवास करने वाले अपना रोजगार समाप्त होने के कारण वहीं पर बसे हुए हैं। वायु प्रदूषण और प्रदूषित पेय जल भी इनके स्वास्थ्य को प्रतिकूल रूप से प्रभावित कर रहे हैं। अग्नि प्रभावित क्षेत्रों के निवासियों में स्वास्थ्य से संबंधित रोग, विशेष रूप से फेफड़ों और सांस सम्बन्धित रोग, तंत्रिका तंत्र की समस्याएं, उच्च रक्तचाप, हीट स्ट्रोक आदि आमबात हैं। वर्तमान में कोयले की आग से दूषित पर्यावरण के कारण लोगों में कैंसर और दिल की बीमारियां होना आम हो गया है। इसके कारण सामाजिक गतिविधियां भी प्रभावित हो रही हैं।

भूमिगत कोयला का संस्तर (coal seam) उसके ऊपरी सतह (strata) को सहारा देता है। जब वही कोयला का संस्तर, आग की वजह से समाप्त हो जाता है, तो ऊपरी सतह में कई दरार आ जाती हैं और इसी से फिर धुआं और गैस निकलने लगती हैं, जिससे कालांतर में भूधसान हो जाता है। कोयला खदान में लगी आग सतही संरचनाओं को काफी प्रभावित करती है। अनेक महत्वपूर्ण सतही संरचनाओं और सुविधाओं जैसे कि सड़कें, रेल लाइनें, स्कूल-कॉलेजों, सरकारी कार्यालय, जल आपूर्ति की लाइनें, बिजली प्रेषण लाइनें, व्यावसायिक इकाइयों, आवासीय क्षेत्र, धार्मिक स्थानों और स्मारकों पर निरंतर खतरा बना हुआ है[20]।

भूमिगत खदान की आग के कारण ही धनबाद-झरिया-सिंदरी रेलवे लाइन को उखाड़ दिया गया है एवं धनबाद-चन्द्रपुरा रेलवे लाइन को स्थायी रूप से बंद कर दिया गया है। वर्तमान में विभिन्न कोयला क्षेत्रों में कई महत्वपूर्ण रेलवे लाइने एवं मुख्य सड़कें, कोयला खदानों के ऊपर से गुजर रही हैं जो खदान की आग से प्रभावित हैं एवं असुरक्षित हैं।

कोयला क्षेत्रों में जो भूमिगत आग लगी हुई है, उसे बुझाने अथवा नियंत्रण के लिए भारी मात्रा में धन का इस्तेमाल हो चुका है और यह साथ ही साथ कोयला भंडार को भी नष्ट कर रहा है। अग्नि प्रभावित क्षेत्र में रह रहे लोगों को विस्थापन और पुनर्वास, अनेक महत्वपूर्ण सतही संरचनाओं और बुनियादी सुविधाओं का निर्माण अर्थात् सड़कें, रेल लाइन, स्कूलों, कॉलेजों, सरकारी कार्यालय, पानी की आपूर्ति की लाइनें, बिजली पारेषण, लाइनें व्यावसायिक इकाईयां, आवासीय क्षेत्र, धार्मिक स्थानों और स्मारकों इत्यादि में बहुत अत्यधिक धन की आवश्यकता होती है, जो कि राष्ट्र का आर्थिक नुकसान है। इस सामाजिक-तकनीकी समस्या का प्रबंधन करने के लिए पैसे की बड़ी रकम खर्च हो चुकी है, लेकिन समस्याएं, जस की तस हैं, वे अभी भी जारी हैं।

खदान में स्वतःदहन/आग का पता लगाने के उपाय

कोयला खदान में स्वतः दहन/आग का पता लगाने के लिए कई प्रकार की तकनीकों का इस्तेमाल किया जाता रहा है। उपलब्ध आंकड़ों के वैज्ञानिक विश्लेषण से सतह और उपसतह की आग का पता लगाने के लिए, विभिन्न उपयुक्त तरीकों को प्रयोग में लाया जाता है। आग वाले क्षेत्रों के चित्रण एवं विश्लेषण के लिए विभिन्न उपलब्ध तकनीकों को भी नीचे सूचीबद्ध किया गया है[21-28]।

(क) भौतिक अवलोकन (Physical observation)- खदान में आग का प्रारम्भिक पारंपरिक सूचक, भूमिगत आग एवं सतह की आग से अलग होती है। जिसमें प्रमुखतः धुआं, बदबू, जलवाष्प और गंधयुक्त गैसीय उत्सर्जन तथा भंग सतह (surface subsidence) प्रमुख हैं।

(ख) क्षेत्र के सतह का ऊष्ण मानचित्रण (Surface Thermal Mapping of Area) - कोयले की खान में आग के प्रभावित क्षेत्रों का सतही तापीय मानचित्रण (surface thermal mapping) के द्वारा जानना, उपलब्ध महत्वपूर्ण तरीकों में से एक है। आग प्रभावित क्षेत्र के प्रत्येक बिंदु का तापमान वितरण की निगरानी के लिए प्रभावी ढंग से अग्नि प्रभावित क्षेत्र (फायर जोन) के निर्धारण के लिए जरूरत है। निगरानी की मुख्य समस्या जल्दी और प्रभावी ढंग से सतह के तापमान और प्रभावित क्षेत्र में इसके वितरण का अधिग्रहण करने के लिए है।

(ग) तापमान (उष्णता) एवं गैस संरचना अध्ययन (Thermo-compositional study)- खदानों में आग की स्थिति का निध ारण करने के लिए तथा तापमान और गैस का विश्लेषण के द्वारा तापमान एवं गैसीय संरचना का अध्ययन किया जाता है। उपसतह कोयले की आग का पता लगाने के लिए उपकरणों द्वारा बोरहोल तापमान मापन एवं उत्सर्जित गैसों का विश्लेषण प्रमुख विधियाँ हैं। इनका लाभ है कि इन विधियों का उपयोग आग के केंद्र के नजदीक किया जा सकता है, जिससे आग की सटीक जाँच की जा सकती है। हालाँकि बोरहोल का बेधन (ड्रिलिंग) काफी

खर्चीली विधि है तथा कुछ जगहों पर बेधन करना संभव नहीं हो पाता है।

(घ) भू-भौतिकीय प्रक्रियाएं (Geo-physical methods)- सतह और उप सतह कोयला खदान में आग का पता लगाने के लिए कई भू-भौतिकीय प्रक्रियाओं एवं विधियों का इस्तेमाल किया जा रहा है। जिसमें प्रमुख हैं बोरहोल तापमान विधि, रेडियोधर्मी विधि, प्रतिरोधकता विधि। कोयला में बोरहोल तापमान माप पारंपरिक तरीका है जो तेजी से आग की विसंगतियों की पहचान करता है। रेडियोधर्मी विधि में, रेडियोधर्मी तत्व (अल्फा) कणों का उत्सर्जन करता है। यदि तापमान अधिक है तो कणों का उत्सर्जन भी अधिक होता है। कोयले की आग का पता लगाने के लिए प्रतिरोधकता विधि भी प्रयोग किया जाता है।

(ङ) सुदूर संवेदन अध्ययन (Remote sensing Study)- सुदूर संवेदन से कोयला अग्नि प्रभावित क्षेत्र का पता लगाने की तकनीक का इस्तेमाल 1960 के दशक में संयुक्त राज्य अमेरिका में शुरू किया था। 1980 से कोयला अग्नि प्रभावित क्षेत्र का पता लगाने और कोयले की आग पता लगाने के लिए अंतरिक्ष जनित तकनीक का इस्तेमाल किया जा रहा है। भारत में भी इस

चित्र 3 – कोयला खदानों की आग को जाँचने में उपयोग की जाने वाली विभिन्न तकनीक

तकनीक का उपयोग 1990 के दशक बाद विभिन्न अग्नि प्रभावित कोयला क्षेत्रों के अध्ययन के लिए किया जाता रहा है। यह विधि अन्य तरीकों की तुलना में फायदेमंद है, क्योंकि कोयले की आग का पता लगाने लिए यह बहु-स्पेक्ट्रल और/बहु अस्थायी डेटा का उपयोग कर कार्य कर सकता है। एक विशाल अग्नि प्रभावित क्षेत्र की निगरानी के लिए और पता लगाने के लिए उत्तम है और अपेक्षाकृत आर्थिक रूप से उपयुक्त है। हालाँकि छोटे एवं कम तापमान वाले अग्नि प्रभावित क्षेत्रों के लिए यह विधि उपयुक्त नहीं है।

(च) डेटा विश्लेषण और व्याख्या (Data analysis - Interpretation)- भूमिगत खदान की आग के बारे में उपलब्ध डेटा का जल्दी एवं सटीक विश्लेषण और व्याख्या, इसके तेजी से फैलने एवं कम से कम नुकसान में बहुत ही मददगार हो सकती है। आग की स्थिति का सही विश्लेषण करने के लिए यह अति आवश्यक है कि

- भूमिगत आग का कोई विशिष्ट लक्षण प्राप्त हो,
- जिसे मापा या विश्लेषित किया जा सके, अथवा
- आग के लक्षण की विशेषता के नमूनों (sample) को उचित तरीकों से विश्लेषण करके पता लगाया जा सके, और
- नमूनों के विश्लेषण से प्राप्त तथ्य की सही ढंग से व्याख्या की जा सके।
- जो भूमिगत आग की अवस्था, विस्तार एवं फैलाने की दर की सटीक जानकारी प्रदान कर सके।

खदान में आग की रोकथाम नियंत्रण

कोयला खनन कार्य में खदान की आग, खान एवं खनिकों की सुरक्षा में बहुत ही बाधक एवं खतरनाक होती है। साथ ही आग के कारण कोयला भंडार को भी हानि पहुंचा रही है जिससे राष्ट्र को आर्थिक नुकसान झेलना पड़ रहा है। कोयला स्तरों (कोल-सीम) की आग बुझाने और (पुनः) प्रज्ज्वलन को रोकने के लिए दुनिया भर में कई तरीकों और तकनीकों का विकास किया गया है। इन तकनीकों के इस्तेमाल के लिए चयन, आग की परिस्थिति, इसके प्रकार (सतही/भूमिगत) एवं भयावता पर निर्भर करता है। हालांकि, प्रत्येक तकनीक की अपनी विशेषता एवं परिसीमाएं होती हैं, जिसकी सफलता अथवा विफलता विशिष्ट भू-खनन परिस्थितियों की अवस्था पर निर्भर होती है। इन विधियों के उपयोग से आग की समस्या से निपटने में कुछ सफलता मिली है, फिर भी इस समस्या का पूर्णकालिक समाधान नहीं हो पाया है। वर्तमान में उपलब्ध तरीकों और तकनीकों, जिसका इस्तेमाल खदान की आग की रोकथाम एवं नियंत्रण के लिए किया जाता है, का सूचीबद्ध सारांश निम्नलिखित है[29-40]:

(I) सतही अथवा खुली कोयला खदानों में आग के रोकथाम एवं नियंत्रण की तकनीकः

(क) खाई काटना और अज्वलनशील पदार्थ से भरना : इस विधि का उपयोग जमीन से बहुत कम गहराई वाले कोयला के स्तरों में लगी आग को आगे बढ़ने से रोकने के लिए किया जाता है। इसमें आग प्रभावित कोयला के स्तर को शेष अप्रभावित कोयला के स्तर के भाग से खाई काटकर अलग किया जाता है। इसके लिए प्रभावित कोयले के स्तर के गहराई से ज्यादा गहरी खाई जो कि प्रभावित अग्रभाग (बर्निंग फ्रंट) से कुछ दूरी पर खाई खोदी जाती है। खाई को मिट्टी, बालू या अन्य अज्वलनशील पदार्थ से भर दिया जाता है, जोकि आग को अप्रभावित कोयले के स्तर मे नहीं जाने देते हैं।

(ख) आवरण (ब्लंकेटिंग): इस विधि का उपयोग भी जमीनी या जमीन से कम गहराई वाले कोयला के स्तरों लगी को रोकने के लिए किया जाता है। इसमें प्रभावित भाग के ऊपर मिट्टी या अन्य अज्वलनशील पदार्थ का आवरण (ब्लंकेटिंग) करके ऑक्सीजन/हवा के कोयला के संसर्ग को विच्छेदित किया जाता है। हालांकि उच्च तापमान पर यह विधि उपयोगी साबित नहीं होती है, क्योकि उच्च तापमान के कारण आवरित (ब्लंकेटेड) भाग में दरार (क्रेक) हो जाता है और ऑक्सीजन/हवा के कोयला के संसर्ग पुनः स्थापित हो जाता है और आग नियंत्रित नहीं हो पाती है।

(ग) खोदकर निकालना (डिगिंग आउट): जमीन से बहुत कम गहराई वाले कोयला के स्तरों अथवा खुली खदानों में लगी आग कोशोवेल अथवा अन्य खोदने वाली भारी मशीनों (डिगिंग एच.ई. एम.एम.) के प्रयोग से प्रभावित भाग को काट कर हटा लिया जाता है। इस विधि में आग प्रभावित कोयला के स्तर को ठंडा करने के लिए पानी का भी किया छिड़काव अग्नि प्रभावित भाग पर किया जाता है तथा ठंडा करने के उपरांत उत्पादित कोयले को वहाँ से हटा लिया जाता है।

(घ) पानी के कुहाशा (वॉटर मिस्ट) का प्रयोग : जमीन से बहुत कम गहराई वाले कोयला के स्तरों अथवा खुली खदानों में लगी आग में इस विधि का उपयोग, आग प्रभावित कोयला के स्तर को ठंडा करने के लिए किया जाता है। इसमें बहुछिद्र वाले नोजेल से पानी अथवा आग बुझाने वाले रसायन मिश्रित पानी का छिड़काव अग्नि प्रभावित भाग पर आग को नियंत्रित अथवा ठंडा करने के लिए किया जाता है। यह विधि कम तापमान वाले अग्नि प्रभावित कोयला स्तर को नियंत्रित करने के लिए ही प्रभावी है।

(ङ) आग से लड़ने वाले रसायन का प्रयोग : जमीनी अथवा खुली खदानों में कोयला के स्तरों में लगी आग को बुझाने के लिए रसायन मिश्रित पानी का छिड़काव अग्नि प्रभावित भाग पर आग को नियंत्रित अथवा ठंडा करने के लिए किया जाता है। लगातार रसायन मिश्रित पानी का छिड़काव से अग्नि प्रभावित कोयला एवं निकट की परत ठंडी हो जाती है और आग नियंत्रित हो जाती है। उच्च तापमान के आग पर रसायन मिश्रित पानी के प्रयोग से पानी से निकलने वाली विस्फोटक गैस का विस्फोट होने की संभावना भी नगण्य रहती है। अतः यह विधि उच्च तापमान वाली कोयला की आग को नियंत्रित करने की अच्छी तकनीक है।

(च) सीलेंट का उपयोग/सतह कोटिंग (आवरण) : जमीनी अथवा खुली खदानों में कोयले के स्तरों में विभिन्न प्रकार के रसायन मिश्रित सीलेंट का छिड़काव करने से कोयला और हवा का संपर्क होने से रोकता है। जिससे कोयले-ऑक्सीजन के बीच ऑक्सीकरण की क्रिया नहीं हो पाती है और कोयले में स्वतः दहन नहीं हो पाता है। यह विधि खुली खदानों के अनुप्रयुक्त एक्स्पोसेंड कोल बेंच, कोल भंडारण (कोल-स्टैक), इत्यादि में बहुत उपयोगी है।

(II) भूमिगत कोयला खदानों में आग की रोकथाम एवं नियंत्रण तकनीक

(क) अग्नि प्रभावित भाग को अलग करके रिसाव बंद करना (सीलिंग थ्रू आइसोलेशन स्टॉपिंग) : इस विधि का उपयोग भूमिगत कोयला खदानों में आग पर नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। अगर आग पर काबू पाना संभव नहीं हो तो फिर उस जगह को अलग (आइसोलेट) करने के लिए आइसोलेशन स्टॉपिंग (ईंट की दीवार) का निर्माण करके सील किया जाता है। सीलिंग के उपरांत ऑक्सीजन/हवा के रिसाव को बंद करके उक्त अग्नि प्रभावित भाग लीक प्रूफ किया जाता है। ऑक्सीजन/हवा नहीं मिलने के कारण आग स्वतः कम होकर कुछ दिनों/महीनों में बुझ जाती है। हालांकि इस विधि से भूमिगत आग को काबू करने में समय ज्यादा लगता है तथा प्रभावित भाग मे पूरी तरह से हवा का रिसाव बंद नहीं होने के स्थिति में आग और तेज बढ़ने की संभावना बनी रहती है।

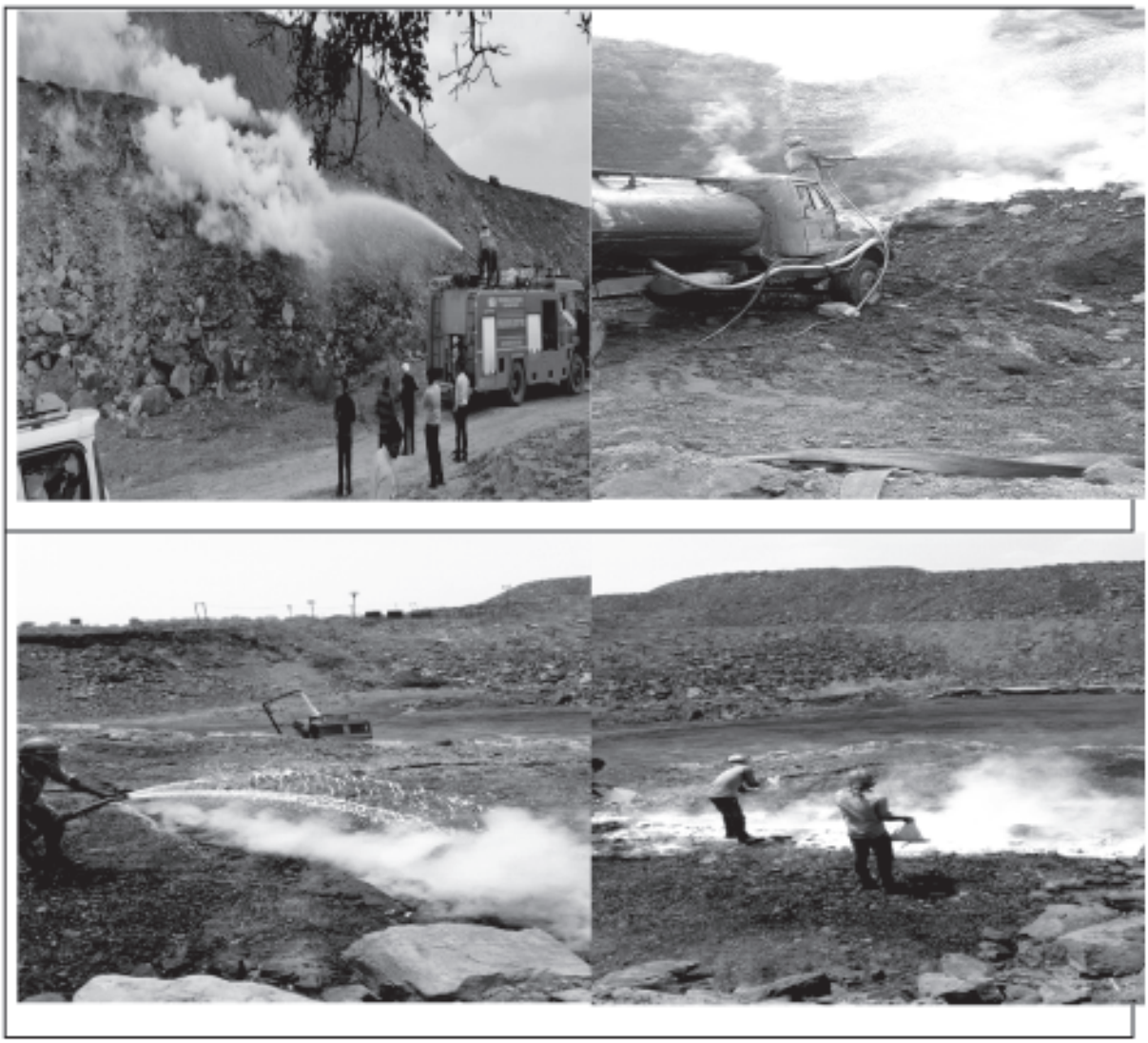
(ख) आग क्षेत्रों के अलगाव के लिए कठिन फोम (हार्ड फोम आइसोलेशन स्टॉपिंग) : इस विधि का भी उपयोग भूमिगत कोयला खदानों में आग पर नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। अग्नि प्रभावित जगह को ऑक्सीजन/हवा के संपर्क से अलग (आइसोलेट) करने के लिए हार्ड फोम (रसायन एवं फ्लाई-ऐश मिश्रित झाग) आइसोलेशन स्टॉपिंग का निर्माण करके सील किया जाता है। ऑक्सीजन/हवा नहीं मिलने के कारण आग स्वतः कम होकर कुछ दिनों/महीनों में बुझ जाती है।

(ग) उड़न-धूल (फ्लाई-ऐश) या बालू की भराई : इस विधि का भी उपयोग भूमिगत कोयला खदानों में आग पर नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। इस विधि में अग्नि प्रभावित जगह को फ्लाई-ऐश अथवा बालू मिश्रित पानी से भर दिया जाता है, जिससे अग्नि प्रभावित भाग से हवा का संसर्ग टूट जाता है और आग बुझ जाती है। यह तकनीक सस्ती, असान एवं भारत में बहुत ही प्रचलित है।

(घ) वेंटिलेशन कक्ष (वेंटिलेशन चेम्बर) द्वारा वायु-संचारकों नियंत्रित करना : इस विधि का भी उपयोग भूमिगत कोयला खदानों में आग पर नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। इस विधि में आग पर काबू के लिए अग्नि प्रभावित जगह को अलग (आइसोलेट) करने के लिए आइसोलेशन स्टॉपिंग (ईंट/पत्थर या कंक्रीट की दीवार) का निर्माण करके सील किया जाता है। आइसोलेशन स्टॉपिंग के साथ ही वेंटिलेशन कक्ष (वेंटिलेशन चंबर) निर्माण करके वायु-संचार को नियंत्रित किया जाता है, जिससे आग प्रभावित भाग एवं अन्य बाहरी भाग के हवा के दबाव को बराबर (एकुलाइज) किया जाता है। जिससे प्रभावित भाग में हवा का रिसाव बंद हो जाता है और आग धीरे-धीरे हवा/ऑक्सीजन के अभाव में कम होकर नियंत्रित अथवा खत्म हो जाती है।

(ड) निष्क्रिय गैसों की भराई में प्रयोग : भूमिगत कोयला खदानों में आग नियंत्रित करने के लिए विभिन्न प्रकार की निष्क्रिय गैसों का प्रयोग यथा नाइट्रोजन गैस (N_2), कार्बन डाइऑक्साइड गैस (CO_2) और फ्लू-गैस का प्रयोग किया जाता है। उपयुक्त निष्क्रिय गैसों के अनुप्रयोग के द्वारा अग्नि से ऑक्सीजन के स्रोत को काटने तथा प्रभावित भाग का तापमान को ठंडा करने के लिए किया जाता है। निष्क्रिय गैसों के प्रयोग से अग्नि क्षेत्रों की तेजी से रोकथाम (रिकवरी) करने में मदद मिलती है तथा प्रभावित वातावरण में उपस्थित ज्वलनशील गैस-विस्फोट के खतरे को काफी कम करता है। हालांकि, पारंपरिक प्रत्यक्ष अग्निशमन विधियों की तुलना में यह विधि आम तौर अधिक महंगी है। गैस इंजेक्शन विधियों के साथ मुख्य कठिनाई यह है कि अल्प सूचना पर प्रभावित जगह (अंडरग्राउंड साइट) पर बड़ी मात्रा में गैस प्रदान करने के लिए उपयुक्त प्रौद्योगिकी की सीमित उपलब्धता रही है।

(च) रासायनिक फोम का प्रयोग : रासायनिक फोम का प्रयोग आग बुझाने के लिए होता आया है क्योंकि यह आग से ऑक्सीजन का संपर्क बहुत आसानी से काटता है और यह शीतलक (कूलेंट) की तरह व्यवहार करता है। भूमिगत कोयला खदानों के आग को नियंत्रित करने के लिए भी रासायनिक फोम और नाइट्रोजन गैस



चित्र 4 – कोयला खदान में आग की रोकथाम और नियंत्रण के विभिन्न उपाय

को साथ-साथ उपयोग करना बहुत ही ज्यादा लाभदायक होता है। पारंपरिक अग्निशमन विधियों की तुलना में इस प्रौद्योगिकी के प्रयोग से अग्नि प्रभावित क्षेत्रों को तेजी से रोकथाम (रिकवरी) करने मे अधिक प्रभावशाली होती है। हालांकि, पारंपरिक प्रत्यक्ष अग्निशमन विधियों की तुलना में यह विधि आमतौर पर अधिक महंगी है।

निष्कर्ष

भारतीय अर्थव्यवस्था को अधिक तेजी से बढ़ने के लिए कोयला खनन उद्योग का अहम् योगदान है और भविष्य में भी बना रहेगा। भारत के कोयला खदानों में लगी आग, राष्ट्र के लिए एक गंभीर आर्थिक, सामाजिक, पर्यावरणीय एवं तकनीकी समस्या है। कोयला खदानों में लगी आग के कारण भारी मात्रा में कोयला भंडार का नुकसान राष्ट्र के लिए बहुत बड़ा आर्थिक बोझ है। साथ ही साथ कोयला के जलने से उत्सर्जित गैसों के कारण स्थानीय स्तर पर और विश्व स्तर पर भी पर्यावरण प्रभावित हो रही है। कोयला खदानों की आग के कारण आस-पास के इलाकों में रहने वाले लोगों के लिए सुरक्षा और स्वास्थ्य संबंधी नुकसान तथा वनों और पारिस्थितिकी तंत्र के लिए भी खतरनाक स्थिति बनी हुई है। आग के कारण, खदानों में खनन कार्य में कार्यरत खनिकों की सुरक्षा एवं उत्पादकता भी प्रभावित होती है।

खदान की आग की जाँच, नियंत्रण और रोकथाम के उपलब्ध तकनीकों के बावजूद भी यह समस्या अभी भी गंभीर बनी हुई है। संघीय और स्थानीय सरकारों, वैज्ञानिक और विनियामक

संस्थाओं तथा खनन से जुड़े उद्योगों को संगठित एवं संयुक्त प्रयास करने की आवश्यकता है ताकि मौजूदा आग की समस्या का सुरक्षित और प्रभावी प्रबंधन किया जा सके।

अतः कोयला खदानों की आग की समस्या को सम्पूर्ण रूप से खत्म करने का एक ही उपाय यह है कि उपलब्ध तकनीकों के द्वारा इसे नियंत्रण में लाकर इसकी सम्पूर्ण रूप से रोकथाम की जाए। तभी इस समस्या का समाधान संभव है तथा इससे होने वाले बुरे प्रभावों से बचा जा सकता है।

आभार

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

संदर्भ

1. 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. The Year at a Glance, Annual report- 2019-20, Ministry of coal, Government of India,http://coal.nic.in/sites/upload_files/coal/files/coalupload/chap1AnnualReport1920en.pdf
3. Ministry of Coal, Government of India, Coal Production and Supply Report, 2019; www.coal.nic.in
4. Pandey J, Kumar D, Singh V K & Mohalik N K, Environmental and Socio-economic impacts of fire in Jharia coalfield: An appraisal, *Current Science Journal*, 10 May 2016, 1639-1650.
5. Sinha A & Singh V K, 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, 42-66.
6. Stracher G B & Taylor P T, Coal fire burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe. *Int. J. Coal Geol*., 2004, 59, 7-17.
7. Walker S, Uncontrolled fire in coal and coal wastes: International Energy Agency Report, London, CCC/16, 1999, p. 72.
8. Prakash A & Gupta R P, Surface fire in Jharia coalfield, India - their distribution and estimation of area and temperature from TM data, *Int. J. Remote Sensing*, 1999, **20**, 1935-1946.
9. Pandey J, Mishra R K, Khalkho A, Singh R V K & Singh V K "Thermography Technique- A versatile tool for Assessment and Monitoring of Coal Mine Fire, Jharia Coalfield (JCF)", Minetech Journal (CMPDIL), **32** (3) September 2011, pp. 33-41.
10. Banerjee, S C, 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.
11. Kim A G, Greenhouse gases generated in underground coal mine fires, Rev. Eng. Geol., XVIII, 1-13.
12. Mishra R K, Pandey J, Chaudhary S K, Khalkho A & Singh V K, Estimation of air pollution concentration over Jharia coalfield based on satellite imagery of atmospheric aerosol", *International Journal of Geomatics and Geosciences*, **2**(3) January 2012, pp. 723-729.
13. IPCC (2006), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (eds Eggleston, S. et al.), Institute for Global Environmental Strategy (IGES), vol. 4.
14. Gervet B, Coal fire emission contributes to global warming. Renewable Energy Research Group, Division of Architecture and Infrastructure, Luleå University of Technology, Sweden, SE-97187.
15. Singh T N, Impact of coal mining on greenhouse gases and their role in global warming, *Indian J. Ecol.*, **10**(4), 27-33.
16. Finkelman, R B, Potential health impacts of burning coal beds and waste banks, Int. J. Coal Geol., **59**, 19-24.
17. Khanna A A, Governance in coal mining: issues and challenges. TERI-NFA Working Paper 9, The Energy and Resources Institute, New Delhi, August 2013.

18. Priyadarshi N, Effects of mining on environment in the state of Jharkhand, India - mining has caused severe damage to the land resources, 2010; http://www.ismenvis.nic.in.

19. Pal A K, Jain M K & Paul, B, Jharia coal field: a retrospection,MINENVIS, June-September 2011, no. 69-70, pp. 1-6.

20. Directorate General of Mines Safety, a Statutory Body Under the Ministry of Labour and Employment, Government of India (Mines Act-1952, CMR-1957, Circulars); www.dgms.gov.in

21. Pandey J, Kumar D, Mohalik N K, Mishra R K, Khalkho A & Singh V K, "Managing coal mine fire for workplace safety: Case Study", *Minetech Journal* (CMPDIL), **33**(4), December 2012, pp. 33-44.

22. Ram N, Mohalik N K, Pandey J, Barnwal R P & Singh V K, Application of Information Technology for Assessment and control of coal mine fire" *Minetech Journal* , (CMPDIL) Jan-June 2006, **27**(6), pp 56-60.

23. Pandey J, Mishra R K, Khalkho A, Singh R V K & Singh V K, "Thermography Technique- A versatile tool for Assessment and Monitoring of Coal Mine Fire, Jharia Coalfield (JCF)", , *Minetech Journal* (CMPDIL), **32**(3), September 2011, pp. 33-41.

24. Mohalik N K, Singh V K, Pandey J & Singh R V K, "Proper Sampling of mine gases, analysis and interpretation-A prerequisite for assessment of sealed off fire area" *Journal of Mines*, *metals and fuels* **54**(10) 11,Oct-Nov-2006, Pages-210-217.

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

26. Mishra R K, Pandey JK, Pandey J, Kumar S & Roy PNS, 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), 181-195

27. Mishra R K, Roy PNS Pandey Singh V K, & Pandey J K, Detection and delineation of coal mine fire in Jharia coal field, India using geophysical approach: A case study.

28. Pandey J, Kumar D, Mishra R K, Mohalik, N K, Khalkho A & Singh V K, Application of thermography technique for assessment and monitoring of coal mine fire: A Special Reference to Jharia coalfield, Jharkhand, India", *International Journal of Advance Remote Sensing and GIS*, **2**(1), Article ID-93, July 2013, pp.138-147.

29. Kaiser FM Ghosh C, Inhibition of auto-oxidation of coal and prevention of leakage with sealants, *J Mines Met Fuels* **3**(1), pp. 283-286.

30. Tripathi D D Controlling underground coal mine fires: achievements and challenges. In: Proceedings, first international mine environment and ventilation symposium, Indian school of mines Dhanbad, India, pp 423-426.

31. Ahmad I, Sahay N, Verma NK, Singh VK (2006) Optimisation of Inhibitor concentration to prevent spontaneous heating in coal for technoeconomic benefits: a case study. IE(I) J-MN 86:27-31.

32. Bannister WW, Chen C-C, Euaphantantasate N (2001) Anomalous effects of water in fire fighting increased fire intensities by Azeotropic distillation effects. University of Massachusetts, Lowels, published in holon option technical working conference 24-26,April 2001, pp 435-432.

33. Evseev V, New methods for the prevention of spontaneous fires in underground coal mines. In: Proceedings, 21st international conference of safety in mines research institutes, Sydney, October 21-25 1985, pp 481-483.

34. Smith AC, Miron Y & Lazzara CP (1988), Inhibition of spontaneous combustion of coal. USBM RI-9196, pp 1-15.

35. Reimers GW & Franke DF (1991), Effect of additives on pyrite oxidation. USBM RI-9353,pp 1-13.

36. Tripathi D D, New approaches for increasing the incubation period of spontaneous combustion of coal in an underground mine panel. Fire Technology (2008), **44** 423-426.

37. Mohalik N K, Singh V K, Pandey,J., Singh R V K, "Proper Sampling of mine gases, analysis and interpretation -A prerequisite for assessment of sealed

off fire area " Journal of Mines, metals and fuels **54**(10), 11,Oct-Nov-2006, Pages-210-217.

38. Mohalik N K, Singh R V K, Pandey J & SinghV K, "Application of Nitrogen as Preventive and controlling Sub- surface fire-Indian Context". Journal of Scientific and Industrial Research, Vol-64, Pages-273-280, April-2005.
39. Singh R V K, Mohalik N K, Sural G, Pandey J, Barnwal R P & Singh V K, "Application of preventive & control measures from occurrences of spontaneous heating in blasting gallery panel of GDK No. 10 incline coal mine, Ramagundam", *Minetech Journal* (CMPDIL), **24**(2-3), P. 23-30, March-June, 2003.
40. CSIR-CIMFR, Project Reports, (2020), "Various Study Report on prevention and control of surface and subsurface coal mine fire prepared by Mine Fire Division, CSIR-Central Institute of Mining and Fuel Research, Barwa Road, Dhanbad, Jharkhand.