निर्माण के क्षेत्र में जल की गुणवत्ता का महत्व

बीना आनंद, एस एन शर्मा एवं पंकज शर्मा

केंद्रीय मृदा एवं सामग्री अनुसंधानशाला, ओलोफ पाल्मे मार्ग, हौज़ ख़ास, नई दिल्ली –110016
Email: beenaanan@gmail-com

सारांश

निर्माण क्षेत्र में उपयोग होने वाली विभिन्न सामग्रियों में जल अत्यंत महत्वपूर्ण है। किन्तु फिर भी निर्माण क्षेत्र में लगे हुए अभियंता जल की गुणवत्ता के महत्व को नहीं जानते हैं। कंक्रीट व मोर्टार बनाने के लिए एक निश्चित मात्रा में जल का प्रयोग उनके विभिन्न अवयवों को आपस में मिलाने के लिए किया जाता है। प्रयोग किए गए जल की मात्रा व गुणवत्ता दोनों का ही प्रभाव कंक्रीट व मोर्टार की शक्ति पर पड़ता है। इसलिए निर्माण क्षेत्र में प्रयुक्त जल को IS: 456–2000 के मानदंडों पर खरा उतरना चाहिए। जब कंक्रीट का निरावरण उसके वातावरण में एक अच्छे ख़ासे समय के किए होता है, तब आक्रामक जल/वातावरण का प्रभाव पड़ने से कंक्रीट का क्षय होने लगता है। कंक्रीट की चिरस्थायित्वता पर भौतिक व रासायनिक दोनों ही कारकों का प्रभाव पड़ता है। प्रस्तुत लेख कंक्रीट संरचना पर खराब जल के प्रभाव व उनसे बचने के उपायों पर एक संक्षिप्त विवरणिका है।

Abstract

Water is one of the most important elements in construction but people still ignore its quality aspect. Water is required for preparation of mortar, mixing of cement concrete and for curing work etc. during construction work- Both the quality and quantity of water has much effect on the strength of mortar and cement concrete in construction work. The water used for mixing and curing purpose must fulfil the criteria as per the IS: 456-2000. Concrete deterioration generally takes place when it is exposed to weather, water or chemicals for a considerable period of time. Both physical as well as chemical factors affect the durability of concrete. Present paper deals with the impact of bad quality water on concrete and suggests some remedial measures to the concrete exposed to aggressive chemical environment.

1.0 परिचय

निर्माण क्षेत्र में उपयोग होने वाली विभिन्न सामग्रियों में जल अत्यंत महत्वपूर्ण है। किन्तु फिर भी निर्माण क्षेत्र में लगे हुए अभियंता जल की गुणवत्ता के महत्व को नहीं जानते हैं। अक्सर लोग ऐसा मानते हैं कि जो जल पीने योग्य है, वह निर्माण में प्रयोग करने लायक भी होगा। ऐसा देखा गया है कि कई बार निर्माण संरचनाएँ उतनी मज़बूती प्राप्त नहीं कर पातीं, जितनी उन्हें करनी चाहिए। प्रायः ऐसा निर्माण में प्रयुक्त खराब जल के कारण होता है। जल की खराब गुणवत्ता का प्रभाव निर्माण संरचनाओं पर अनेक प्रकार से पड़ता है। ऐसा जल में उपस्थित सल्फ़ेट, क्लोराइड, कार्बोनेट, बाई कार्बोनेट, कैल्शियम, मैग्नीशियम, अमोनियम आदि की मात्रा आधिक्य होने के कारण होता है जो की एक निर्धारित सीमा में होनी चाहिए। निर्धारित सीमा से कम या अधिक मात्रा में होने पर निर्माण संरचनाओं पर विपरीत प्रभाव पड़ता है। यह प्रभाव संरचनाओं पर निर्माण के समय से लेकर उनके संपूर्ण जीवन काल में कभी भी पड़ सकता है। कंक्रीट संरचनाओं के लिए जल जितना आवश्यक होता है, उतना ही नुकसानदायक भी।

साधारणतया कंक्रीट व मोर्टार बनाने के लिए एक निश्चित मात्रा में जल का प्रयोग उनके विभिन्न अवयवों को आपस में मिलाने के लिए किया जाता है । सीमेंट की जल के साथ होने वाली रासायनिक प्रक्रियाओं के कारण ही कैल्शियम सिलिकेट्स बनते हैं जो कि कंक्रीट व मोर्टार को मज़बूती प्रदान करते हैं। मूलतः निर्माण सामग्रियों का मिश्रण बनाने के साथ साथ जल का प्रयोग संरचनाओं की क्योरिंग करने के लिए भी होता है। संरचना की मज़बूती व दीर्घ–कालीन ड्यूराबिलिटी के लिए क्योरिंग अत्यधिक महत्वपूर्ण है। संरचना के निर्माण व क्योरिंग आदि के पश्चात यदि जल संरचना के संपर्क में आता है तो वह संरचना के लिए नुकसानदायक हो सकता है। कंक्रीट व मोर्टार का मिश्रण बनाते समय यदि जल का अधिक मात्रा में प्रयोग किया गया तो बनने वाली कंक्रीट व मोर्टार में सूखने पर दरारें पड़ जाती हैं और कंक्रीट व मोर्टार पोरस हो जाते हैं,

जिसके कारण उनकी मज़बूती कम हो जाती है और उन की पारगम्यता बढ़ जाती है। पारगम्यता बढ़ने के कारण जल आसानी से उसमें प्रवेश कर सकता है तथा कंक्रीट व मोर्टार पर जल में उपस्थित रसायनों के आक्रमण से ढाँचा क्षतिग्रस्त होने लगता है। यदि जल की गुणवत्ता ठीक नहीं है और उसमे सल्फ़ेट, क्लोराइड, कार्बोनेट, बाई कार्बोनेट, कैल्शियम, मैग्नीशियम, अमोनियुम आदि की मात्रा एक निर्धारित सीमा से कम या अधिक है तो यह आक्रमण कंक्रीट के लिए और भी घातक हो सकता है।

प्रस्तुत लेख कंक्रीट संरचना पर खराब जल के प्रभाव व उनसे बचने के उपायों पर एक संक्षिप्त विवरणिका है। जिसमें प्रचलित राष्ट्रीय व अंतराष्ट्रीय कोड व मानकों में वर्णित प्रावधानों के साथ साथ आवश्यक मापदंडों की चर्चा है। इसकी भालिभांति जानकारी निर्माण क्षेत्र में संलग्न कर्मियों व कार्यरत अभियंताओं के लिए अत्यधिक उपयोगी है। उनकी इस जानकारी से मज़बूत व चिरस्थायी संरचनाओं का निर्माण होगा एवं संरचनाओं की आयु भी बढ़ेगी। साथ ही क्षतिग्रस्त कंक्रीट संरचनाओं के जीर्णोधार व पुनर्निर्माण पर होने वाले खर्च में कमी होने के कारण राष्ट्रीय संपत्ति का नुकसान होने से बचाव के साथ साथ राष्ट्रीय कोष से प्रतिदिन होने वाले व्यय के बोझ में भी भारी कमी आएगी।

2.0 कंक्रीट का रासायनिक व लवणीय कम्पोज़ीशान तथा उसके हाईड्रेशन पदार्थ

कंक्रीट पर संभावित आक्रामक रासायनिक आक्रमण के प्रभाव को समझने हेतु सर्वप्रथम कंक्रीट की संरचना को समझना आवश्यक है। कंक्रीट में मूलतः निम्नलिखित विभिन्न अवयव विद्यमान होते हैं।

तालिका 1: कंक्रीट के विभिन्न अवयव

अवयव	विवरण	रिमार्क्स
सीमेंट	लाइम स्टोन का चूर्ण + क्ले शेल	
जल	यह कंक्रीट का मुख्य अवयव है जो कि सीमेंट के साथ हायड्रेशन प्रक्रिया के द्वारा कंक्रीट को सख्त व मज़बूत बनाता है।	जल की गुणवत्ता कंक्रीट की दीर्घकालीन ड्यूराबिलिटी के लिए महत्वपूर्ण है। ऐसा इसलिए भी है क्योंकि अच्छी कंक्रीट बनाने के लिए जल/कंक्रीट का सही अनुपात एक महत्वपूर्ण कारक है। अधिक जल मिलाने से कंक्रीट की मज़बूती कम हो जाती है, जबकि कम पानी मिलाने से कंक्रीट का मिश्रण ठीक से कार्य करने के योग्य नहीं रहता।
एग्ग्रीगेट्स	अधिकतर एग्ग्रीगेटस रासायनिक तौर पर अक्रिय, ठोस, छोटे–छोटे कंकर, पत्थर मिश्रित पदार्थ होते हैं जो सीमेंट के द्वारा आपस में जुड़े रहते हैं। वांछित कंक्रीट के गुणवत्ता के आधार पर एग्ग्रीगेट का चुनाव किया जाता है।	रासायनिक तौर पर सक्रिय एग्ग्रीगेटेस निम्नलिखित रासायनिक क्रिया कर सकते हैं: 1. एलकाली–सिलिका, तथा 2. एलकाली–कार्बोनेट क्रिया जिनका कि कंक्रीट पर विपरीत प्रभाव पड़ता है।
एडमिक्सचर	यह मुख्य अवयवों के अतिरिक्त वह पदार्थ होते हैं जो कि मिश्रण के मिलने के दौरान मिलाये जाते हैं। इनका चुनाव आवश्यकतानुसार कंक्रीट के मिश्रण की रासायनिक प्रक्रिया को प्रभावित करने तथा वातावरण के अनुसार कंक्रीट की इक्षित गुणवत्ता की प्राप्ति हेतु किया जाता है।	1. वायु एंट्रेनिग 2. सुपर प्लास्टीसाइज़ेर 3. रेटरडर 4. ऐक्सिलेरटर 5. मिनरल ऐडमिक्सचर 6. पिगमेंट

सामान्य पोर्टलंड सीमेंट (ओपीसी) का रासायनिक व लवणीय कोम्पोजीशन व उसकी हाईड्रेशन प्रक्रियाएँ निम्न प्रकार हैं।

तालिका 2: सीमेंट का रासायनिक कोम्पोजीशन

क्रम संख्या	पैरामीटर	कोम्पोज़ीशन (भार. %)
1	कैल्सियम ऑक्साइड, CaO	60–67
2	सिलिकॉन oxide, SiO_2	17–25
3	एल्युमिनियम ऑक्साइड, Al_2O_3	3–8
4	फेरिक ऑक्साइड, Fe_2O_3	0.5–6.0
5	मैग्नीशियम ऑक्साइड, MgO	0.1–5.5
6	सोडियम ऑक्साइड + पोटाशियम ऑक्साइड, $Na_2O + K_2O$	0.5–1.3
7	सुलफुरिक अन्हाइड्राइड, SO_3	1–3
8	अघुलनशील रेसिडुए, IR	4.0 max
9	क्लोराइड, Cl^-	0.05

तालिका 3: सीमेंट के विभिन्न फेज

क्र. सं.	फेज़	कार्य
1	ट्राई कैल्सियम सिलिकेट (50%), (Ca_3SiO_5 or $3CaO.SiO_2$), C_3S	➢ यह जल्दी से सख्यत हो जाता है तथा कंक्रीट को प्रारम्भिक सेट व मज़बूती प्रदान करता है। ➢ टोपीसी में इसकी % बढ़ोतरी अधिक हाईड्रेशन गर्मी के साथ–साथ जलदी ज्यादा मज़बूती प्रदान करती है।
2	डाईकैल्सियम सिलिकेट (25%), Ca_2SiO_4 or $2CaO.SiO_2$ C_2S	➢ यह धीरे–धीरे सख्त होता है। ➢ यह एक सप्ताह के बाद की मज़बूती को प्रभावित करता है।
3	ट्राई कैल्सियम अलूमीनेट (10%), $Ca_3Al_2O_6$ or $3CaO.Al_2O_3$ C_3A	➢ यह सीमेंट के अवयवों में सबसे पहले हाईड्रेट होता हाई तथा पहले कुछ दिनों में मज़बूती के विकास के लिए ज़िम्मेदार होता है। ➢ हाईड्रेशन की गर्मी बहुत ज़्यादा होती है। ➢ किन्तु सूखने पर इसका वोलुमीट्रिक श्रिंकेज बढ़ जाता है तथा यह सलफेट प्रतिरोधन के लिए प्रभावकारी नहीं है।

4	टेट्रा कैल्सियम अलुमिनों फेराइट 10%, $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ or $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ C_4AF	➢ यह किल्न के तापमान को कम करने के लिए सीमेंट में प्रयुक्त किया जाता है। ➢ यह शीघ्रता से हाईड्रेट होता हाई किन्तु बहुत कम मज़बूती प्रदान करता है। ➢ सीमेंट को ग्रे रंग प्रदान करता है।
5	जिप्सम 5%, $CaSO_4.2H_2O$	➢ सीमेंट के सख्त होने की दर को नियंत्रित करने में इसकी अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका है। यदि इसे नहीं मिलाया जाय तो सीमेंट पानी के मिलाते ही एकदम सेट हो जाएगा और उसे प्लेस करने का समय नहीं मिलेगा। ➢ सीमेंट बनाने में, क्लिंकर के ठन्ड़े होने के पश्चात अंतिम ग्राइन्ड़िग के दौरान इसकी एक सूक्ष्म मात्रा मिलाई जाती है

निम्नलिखित चार हाईड्रेशन के मुख्य पदार्थ हैं जो हाईड्रेशन प्रक्रिया के दौरान बनते हैं:

1. **कैल्शियम सिलिकेट हाइड्रेट** : हाईड्रेशन क्रिया का यह मुख्य पदार्थ है तथा कंक्रीट की मज़बूती का मुख्य स्रोत है। इसको छोटे रूप में इस प्रकार से लिखते हैं: "C–S–H"।
2. **कैल्शियम हाईड्रौकसाइड** : $Ca(OH)_2$: इसको छोटे रूप में इस प्रकार से लिखते हैं : "C-S-H" यह मुख्यतः एलाईट के हाईड्रेशन से बनता है।
3. **अलुमिना फेरिक ऑक्साइड ट्राई सुल्फेट फेज** : इसका सामान्य फार्मूला $[Ca_3(Al, Fe)(OH)_6 \cdot 12\ H_2O]_2 \cdot X_3 \cdot nH_2O$ जहाँ X ऋणात्मक आयन को रिप्रेसेंट करता है। एट्रिंजाइट इसका एक सामान्य उदाहरण है।
4. **अलुमिना फेरिक ऑक्साइड मोनो सुल्फेट फेज** : इसका सामान्य फार्मूला $[Ca_2(Al, Fe)(OH)_6] \cdot X \cdot nH_2O$ है जहाँ X ऋणात्मक आयन को रिप्रेसेंट करता है। सामान्यतः पोर्टलंड सीमेंट के हाईड्रेशन में हाईड्रौकसाइल, सुल्फेट तथा कार्बोनेट आयन शामिल होते हैं।

कैल्शियम सिलीकेट्स कंक्रीट को मज़बूती प्रदान करते हैं। पहले 7 दिनों की मज़बूती ट्राई– कैल्शियम –सिलीकेट प्रदान करता हाई। जब सीमेंट में पानी मिलाया जाता हाई तो ट्राई– कैल्शियम –सिलीकेट शीघ्रता से क्रिया करता है तथा कैल्शियम आयन व हाइडौक्साइड आयन बनाता है और काफी बड़ी मात्रा में गर्मी निकालता है। इस समय सीमेंट पेस्ट का पीएच लगभग 12 हो जाता है। जब पूरा पेस्ट कैल्शियम व हाइडौक्साइड आयन से संतृप्त हो जाता है तब कैल्शियम हाइडौक्साइड का क्रिस्टलाइज़ेशन आरंभ होता है तथा कैल्शियम –सिलिकेट–हाइड्रेट बनता है।

डाईकैल्सियम–सिलिकेट की पानी के साथ क्रिया ट्राई– कैल्शियम –सिलिकेट की तरह ही होती है तथा क्रिया के पदार्थ भी समान होते हैं, किन्तु यह क्रिया उसके मुकाबले बहुत धीमी गति से होती है। इस क्रिया में गर्मी भी बहुत कम मात्रा में निकलती है। यह कंक्रीट की बाद की मज़बूती के लिए ज़िम्मेदार होता है।

सीमेंट के अन्य पदार्थ जैसे कि **ट्राई– कैल्शियम –अलूमीनेट तथा टेट्रा– कैल्शियम अलुमिनों–फेराइट भी पानी के साथ क्रिया करते हैं किन्तु यह क्रियाएँ कंक्रीट को मज़बूती प्रदान नहीं करतीं** । सामान्यतः पहले कुछ दिनों में रासायनिक क्रियाओं की दर निम्न प्रकार रहती है:

ट्राई– कैल्शियम अलूमीनेट > ट्राई– कैल्शियम सिलीकेट > टेट्रा– कैल्शियम –अलुमिनों–फेराइट > डाईकैल्सियम–सिलिकेट.

कंक्रीट की मज़बूती उसके हाईड्रेशन क्रियाओं पर निर्भर करती है। यहाँ जल की मात्रा एक अहम भूमिका निभाती है। जल/सीमेंट का कम अनुपात कंक्रीट को अधिक मज़बूती प्रदान करता है।

3.0 कंक्रीट की चिरस्थायित्वता

मज़बूती के साथ साथ कंक्रीट की चिरस्थायित्वता का भी उतना ही महत्व है। ACI ने कंक्रीट की चिरस्थायित्वता को इस प्रकार परिभाषित किया है, कंक्रीट की संरचना का अपने वातावरण के विभिन्न प्रभावों जैसे कि मौसम का प्रभाव, रासायनिक आक्रमण आदि को सहते हुए संतोषजनक तरीके से अपनी इच्छित अभियांत्रिकी प्रॉपर्टीस को बनाए रखना व बिना किसी रख–रखाव के अपनी निर्धारित आयु पूरी करना ही कंक्रीट की चिरस्थायित्वता है।इसलिए कंक्रीट के विभिन्न अवयव उसकी एक्सपोज़र कंडीशन के हिसाब से उसी अनुपात में होने चाहिए। कंक्रीट की गुणवत्ता केवल उसके अवयवों पर ही निर्भर नहीं करती है, बल्कि विभिन्न कारकों जैसे कि अवयवों के बीच का मेल मिलाप, कंक्रीट की प्लेसिंग व क्योरिंग आदि पर भी निर्भर करती है। विभिन्न वातावरणीय कारक जैसे कि पानी का जमना व पिघलना, सल्फेट, अम्ल, आदि भी कंक्रीट की चिरस्थायित्वता को प्रभावित करते हैं, इसलिए इन सबका विशेष ध्यान संरचना के डिजाइन के समय ही रखना चाहिए तथा कंक्रीट के अवयवों का चुनाव उसी आधार पर करना चाहिए। भारतीय मानक IS:456 –2000 कंक्रीट की डिजाइन व चिरस्थायित्वता के विभिन्न पहलुओं पर विशेष महत्व देता है। इस कोड में कंक्रीट की चिरस्थायित्व्ता के लिए सभी जरूरी आवश्यकताओं का प्रावधान है।

3.1 कंक्रीट की चिरस्थायित्वता को प्रभावित करने वाले कारक

कंक्रीट के आस–पास नमी उसके क्षरण का एक सामान्य कारण है। जल के बिना कोई रासायनिक कारक कंक्रीट का क्षरण नहीं कर सकता क्योंकि रसायनिक प्रक्रियाएँ विलियन में होती हैं। केवल यांत्रिकी कारणों से क्षरण जल की अनुपस्थिति में हो सकता है। कंक्रीट के क्षरण के लिए ज़िम्मेदार मुख्य कारक निम्नलिखित हैं:

तालिका 4: कंक्रीट की चिरस्थायित्वता को प्रभावित करने वाले कारक

क्र. सं.	कारक			
	भौतिक प्रभाव व वातावरणीय कारक	रासायनिक व वातवारणीय कारक	आंतरिक कारक	जैविक कारक
1	**भौतिक प्रभाव:** **सिकुड्ना** **तापमान** **जमना व पिघलना** **नमी की उपस्थिति**	सल्फेट का आक्रमण अम्ल का आक्रमण मृदु जल का आक्रमण कार्बोनेशन क्लोराइड का आक्रमण कंक्रीट में उपस्थित लोहे का क्षरण एलकली–एग्ग्रेगेट क्रिया कार्बनिक पदार्थ	त्रुटि युक्त डिज़ाइन घटिया अवयव खराब निर्माण गुणवत्ता की देख–रेख का आभाव आग देख–रेख में कमी	सूक्ष्म जैविक ईंड्यूस्ड कारक
2	**यांत्रिकी प्रभाव**			
3	**आंतरिक तनाव**			

4.0 आक्रामक वातवारणीय आक्रमण से कंक्रीट की सुरक्षा

कुछ कारकों एवम अवस्थाओं का ध्यान रखने से आक्रामक वातवारणीय आक्रमण से कंक्रीट की सुरक्षा की जा सकती है। ऐसे बहुत तरीके मौजूद हैं जिनको अपना कर कंक्रीट को क्षरणीय पदार्थों के आक्रमण से बचाया जा सकता है। इनमें मुख्य है अच्छी गुणवत्ता वाले सीमेंट का प्रयोग करना। साधारणतः सही तरीके से बनी हुई कंक्रीट अपने वातावरण को बिना अधिक रख–रखाव के सहने की क्षमता रखती है। कंक्रीट को सुरक्षा प्रदान करने के दो मुख्य प्रकार निम्नलिखित हैं:

1. **पैसिव सुरक्षाः**
   - **कंक्रीट का सही कोम्पोज़ीशन, सल्फेट प्रतिरोधक सीमेंट, सही निर्माण व गुणवत्ता नियंत्रण ।**
   - **कंक्रीट की बाहरी सतह का उपचार**
   - **कोटिंग्स लगाना**

2. **एक्टिव सुरक्षाः**
   - **आक्रामक जल के ड्रेनेज को हटाना**
   - **आक्रामक जल को रासायनिक या जैविक तरीकों से उदासीन करना**

5.0 कंक्रीट पर जल की गुणवत्ता का प्रभाव

जल में उपस्थित घुलनशील अथवा ससपेंडेड रासायन सीमेंट की हाइड्रेशन क्रियाओं को प्रभावित करके कंक्रीट की सेटिंग, उसका सख्त होने व मज़बूत होने को प्रभावित कर सकते हैं। जल में उपस्थित अशुध्धियां एफ़्लोरोसेंस का कारण भी हो सकती हैं तथा अत्यधिक क्षरण करके कंक्रीट की **चिरस्थायित्वता को भी प्रभावित कर सकती हैं। हालांकि कंक्रीट का मिश्रण बनाने के लिए उपयोग होने वाले जल की गुणवत्ता का महत्व कंक्रीट की क्योरिंग में प्रयुक्त जल की तुलना से अधिक है किन्तु फिर भी** अशुद्धियों की अधिकतम मात्रा रेस्ट्रिक्टेड है। अग्ग्रीगेट्स को धोने के लिए प्रयुक्त जल में ऐसी अशुद्धियों नहीं होनी चाहिए जो उनपर नुकसानदायक सतह बना दें। जल में उपस्थित आक्रामक रसायन जैसे कि शक्कर, टैनिक अम्ल, तेल तथा सल्फेट आदि सीमेंट की हाईड्रेशन क्रियायों में हस्तक्षेप कर के कंक्रीट के सेटिंग समय को अधिक व उसकी मज़बूती को कम कर सकती हैं। जल में उपस्थित विभिन्न आक्रामक रासायनों का कंक्रीट पर प्रभाव निम्न प्रकार हैः

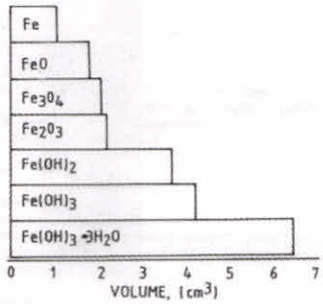
5.1 क्लोराइड

जल में उपस्थित क्लोराइड के अनेक लवण सीमेंट के मुक्त लाइम के साथ क्रिया करके कैल्शियम क्लोराइड बनाते हैं जो कि जल में शीघ्रता से घुलनशील होने के कारण जल के साथ बह जाता है और कंक्रीट को पोरस बना देता है। क्लोराइड के द्वारा होने वाली मुख्य क्षति कंक्रीट में उपयोग होने वाले लोहे का क्षरण है जिसके कारण कंक्रीट का एक्सपैन्शन हो हटा है तथा कंक्रीट टूट कर गिरने लगती है। लोहे के विद्युत–रासायनिक क्षरण में निम्नलिखित क्रियायें होती हैं (कोलन)

ऐनोडिक क्रियाः $Fe \quad Fe^{++} + 2\,e^{-}$

कैथोडिक क्रियाः $O_2 + 2H2\,O + 4\,e^{-} \quad 4(OH)^{-}$

ऐसा समझा जाता है लोहे के उपर एक पैसिव फिल्म बन जाती है जो कि कंक्रीट के बहुत उच्च pH के कारण उसको क्षरण से बचाती है। जब तक कंक्रीट का PH 12–13 के बीच रहता है तब तक पैसिव फिल्म स्थिर रहती है लेकिन यदि किसी कारण यह पैसिव फिल्म नष्ट हो जाए तो लोहे का क्षरण प्रारंभ हो जाता है। पैसिव फिल्म कार्बोनेश्न क्रिया या क्लोराइड आक्रमण के द्वारा नष्ट हो सकती है। ऑक्सीजन की उपस्थिति में लोहे के विभिन्न ऑक्साइडस बनते हैं जिनका आयतन लोहे की तुलना में अधिक होने के कारण कंक्रीट का एक्सपैनशन हो जाने से उसकी टूट–फूट आरंभ हो जाती है। लोहे की तुलना में उसके विभिन्न ऑक्साइड्स के आयतन का तुलनात्मक रूप से निम्न फोटो में प्रदर्शित किया गया हैः



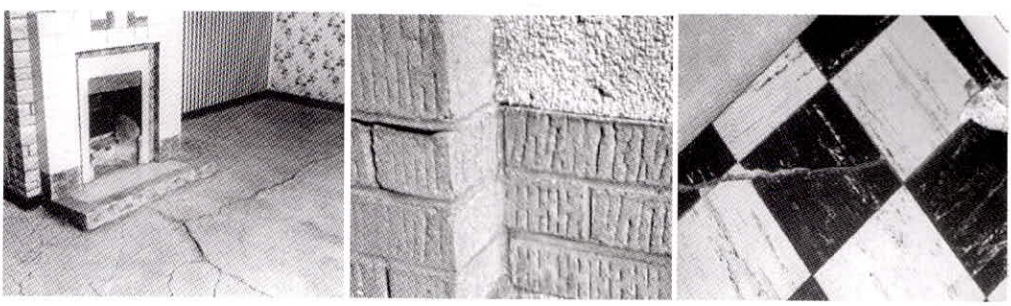
फोटो संख्या 1: लोहे व उसके विभिन्न ऑक्साइड्स का तुलनात्मक आयतन

5.2 सल्फेट

जल में सल्फेट की उपस्थिति निम्नलिखित अनेक कारणों से हो सकती है:

- समुद्री जल,
- कंक्रीट के निकट क्ले में सेलफाइड लवण का ऑक्सीडेशन
- सीवर में ऐनारोबिक बैक्टीरिया की क्रिया
- मैसनरी में इस्तेमाल ईटों में उपस्थित सल्फेट
- कार्बनिक पदार्थों का क्षरण आदि ।

जल में उपस्थित सल्फेट आयन जल की आक्रामकता के लिए जिम्मेदार होते हैं। सल्फेट आयन वाला जल कंक्रीट में गहराई में अन्दर तक आसानी से प्रवेश कर सकता है। भूमिगत जल में उपस्थित सल्फेट भी कंक्रीट को हानि पहुँचा सकता है। भूमिगत जल में सल्फेट की अधिक सांद्रता जल में उपस्थित मेगनीसियम व एलकली सल्फेट के कारण होती है। सल्फेट का आक्रमण कंक्रीट पर अन्दर और बाहर दोनों तरह से होता है। विलियन में उपस्थित सल्फेट कंक्रीट पर आक्रमण करता है तथा कंक्रीट का एक्सपैनशन, उसमें दरारें उत्पन्न होना व उसके फूलने का कारण होता है। इसका मुख्य कारण सीमेंट के लाइम और सल्फेट की क्रिया से बनने वाला जिप्स्म होता है। यह जिप्स्म और अधिक जल को सोख कर एक नया पदार्थ एट्रिनजाइट बनाता है। एट्रिनजाइट का आयतन बहुत अधिक होने के कारण यह कंक्रीट पर अंदर से दवाब डालता है, जिसके कारण कंक्रीट में तनाव उत्पन्न हो जाता है। एट्रिनजाइट की मात्रा बड़ने से कंक्रीट का एक्सपैनशन होता है तथा उसमें दरारें उत्पन्न हो जाती हैं और कंक्रीट फूल कर उखड़ने और टूटने लगता है। सल्फेट के आक्रमण से प्रभावित कुछ कंक्रीट संरचनायें निम्न फोटो में प्रदर्शित की गई हैं।



फोटो संख्या 2 : सल्फेट के आक्रमण से प्रभावित कंक्रीट संरचनाएं

सीमेंट पेस्ट पर सल्फेट की क्रिया निम्न प्रकार से होती है:

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4.10H_2O \rightarrow \underset{\text{(gypsum)}}{CaSO_4.2H_2O} + 2Na(OH)_2 + 8H_2O$$

$$4CaO.Al_2O_3.19H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 7H_2O \rightarrow \underset{\text{(ettringite)}}{3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.31H_2O}$$

5.3 अम्ल का प्रभाव

कंक्रीट अपने अत्यधिक क्षारीय व्यवहार के कारण अम्ल के आक्रमण के लिए बहुत ससेप्टिबिल होती है। जो पदार्थ जल में घुलने पर हाईड्रोजन आयन बनाते हैं, वो पादर्थ ही कंक्रीट पर अम्लीय आक्रमण के लिए जिम्मेदार होते हैं। प्राकृतिक जल में कार्बन डाईऑक्साइड, कार्बनिक अम्ल तथा अम्लीय लवणों की उपस्थिति उसे अम्लीय बना देती है। हाईड्रोजन सलफाइड व पाइराईट के ऑक्सीडेशन से सलफ्यूरस व सल्फ्यूरिक अम्ल भी बन कर जल को अम्लीय बना देते हैं। जल में उपस्थित हाईड्रोंजन आयन सीमेंट के साथ एक्सचेंज क्रिया करते हैं जिसके कारण कंक्रीट की जल के संपर्क वाली कर्बोनेट सतह घुलने लगती है। यह क्रिया लीचिंग की क्रिया को भी तेज कर देती है। जल में उपस्थित कार्बोनिक अम्ल कंक्रीट के बाइंडिंग तत्वों जैसे कैलसियम, एल्यूमिनियुम के लवणों को को घुलनशील लवणों में बदल देता है, तथा यह घुलनशील तत्व जल के साथ बह जाते हैं तथा कंक्रीट संरचना खोखली होकर कमज़ोर हो जाती है।

सलफ्यूरिक अम्ल बाकी सारे अम्लों से अधिक खतरनाक होता हाई क्योकि इसका कंक्रीट पर दोहरा आक्रमण होता है: पहले यह सीमेंट के $Ca(OH)_2$ के साथ मिलकर कम घुलनशील जिप्सम बनाता है जो कि कंक्रीट की दरारों को भर कर उसे थोड़ी सुरक्षा प्रदान करता है किन्तु जब यह आक्रमण काफ़ी लंबे समय तक होता रहता है तो कंक्रीट का लगातार जिप्सम बनने के कारण कंक्रीट का एक्स्पैन्शन होने से कंक्रीट का क्षरण होने लगता है। कंक्रीट पर सल्फ्यूरिक अम्ल का प्रभाव जल के पीएच पर निर्भर करता है।

बाकी अन्य अम्ल जैसे कि नाइट्रिक अम्ल, हाईड्रोक्लोरिक अम्ल, ऐसीटिक अम्ल, कार्बोनिक अम्ल आदि कंक्रीट के साथ क्रिया करके कैल्शियम के घुलनशील लवण बनाते हैं जो कि जल के साथ बह जाते हैं और कंक्रीट का क्षरण होता है।

5.4 हाईड्रोजन सल्फाइड

यह सीवेज के विघटन से बनता है। यह सीमेंट के मुक्त लाइम के साथ क्रिया करके कैलशियम सलफाइड बनाता है। कैलशियम सलफाइड का पुनः ऑक्सीडेशन होने के कारण कैलशियम सल्फेट बनता है जो कि कंक्रीट के क्षरण के लिए जिम्मेदार होता है।

5.5 एलकली कार्बोनेट व बाईकार्बोनेट

जल में उपस्थित एलकली कार्बोनेट व बाईकार्बोनेट की मात्रा कंक्रीट के सेट होने के समय तथा उसकी मज़बूती को विपरीत ढंग से प्रभावित करती है। सोडियम कार्बोनेट की उपस्थिति में कंक्रीट अतिशीघ्रता से सेट हो जाती है जबकि सोडियम बाईकार्बोनेट की उपस्थिति कंक्रीट के सेट होने के समय को कम या ज्यादा कर सकती है। जल में इनकी अधिक सांद्रता कंक्रीट की मज़बूती को कम कर सकती है।
यदि जल में कैलशियम बाईकार्बोनेट अथवा मुक्त कार्बन डाईऑक्साइड उपस्थित हैं तो वो कंक्रीट के लाइम को अपने साथ बहा ले जाता है जिसे लीचिंग कहते हैं। लीचिंग की क्रिया से कंक्रीट को शक्ति प्रदान करने वाले कैलशियम –सिलिकेट–हाईड्रेट का विघटन होना प्रारंभ हो जाता है और कंक्रीट का क्षरण होने लगता है।

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

(अघुलनशील)

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

(घुलनशील)

घुलनशील कैलशियम बाईकार्बोनेट जल के साथ बह जाता है, जिसे लीचिंग कहते हैं।

5.6 समुद्री जल का प्रभाव

समुद्री जल में घुले हुये लवणों की मात्रा बहुत अधिक होती है। इसका सामान्य क्मपोज़ीशन निम्न तालिका में प्रदर्शित किया गया है:

तालिका 5: समुद्री जल का सामान्य रासायनिक क्मपोज़ीशन

आयन	सांद्रता, $^{g}/_{Kg.}$
क्लोराइड	19.353
सोडियम	10.760
सेल्फेट	2.712
मैग्नीशियम	1.294
कैलशियम	0.413
पोटेशियम	0.387
बाईकार्बोनेट	0.142

समुद्री जल में कंक्रीट का क्षरण बर्फ के जमने और पिघलने, कंक्रीट में लगे लोहे के क्षरण के कारण तथा उपरोक्त रसायनों की अधिक मात्रा के कारण होने वाली रासायनिक क्रियाओं के कारण भी हो सकता है। क्योकि समुद्र में लहरों क वेग बहुत तेज़ होता है, इस कारण कंक्रीट का क्षरण इरोज़न के कारण भी होता है। समुद्र के जल में लवणों की अधिकता होने के कारण तथा बहुत से कारणों से कंक्रीट का कैपिलरी ऐक्शन बढ़ जाने के कारण व कंक्रीट में सोखे हुये जल के वाष्पीकरण से कंक्रीट पर लवणों का क्रिस्टिलाइजशन भी हो सकता है।

इसकी संभावना टाइडल ज़ोन व उसके उपर के ज़ोन में अधिक होती है। समुद्री जल के कंक्रीट में लगे लोहे पर आक्रमण को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जा सकता है:

आक्रामक (क्लोराइड के साथ): समुद्री वातावरण जहाँ कंक्रीट का समुद्री जल से सीधा संपर्क नहीं है। स्प्रे ज़ोन में जहाँ डि–आइसिंग लवणों का प्रयोग किया जाता है तथा जहाँ रिलेटिव आद्रता में काफ़ी बदलाव होता रहता है।

- **अधिक आक्रामक:** क्लोराइड का अधिक आक्रमण, (जहाँ स्प्लैश जल में क्लोराइड है), जल्दी–जल्दी कंक्रीट का भीगना और सूखना।
- **अत्यधिक आक्रामक:** क्लोराइड का अत्यधिक आक्रमण।

5.7 मृदु जल का प्रभाव

जिस पानी में कैलशियम व मैग्नीशियम आयनों की कमी होती है, उसे मृदु जल कहते हैं। प्राकृतिक झरनों, ग्लेशिएर, पिघली बर्फ, बारिश का पानी, पहाड़ी नदियों आदि के जल में कैलशियम व मैग्नीशियम आयन कम मात्रा में होने के कारण यह सब मृदु जल के स्त्रोत हैं। कंक्रीट का क्षरण केवल रसायनों की जल में अधिकता के कारण ही नहीं होता है, बल्कि उनकी कमी के कारण भी हो सकता है। मृदु जल की वजह से होने वाले कोरोज़न में कंक्रीट के मुक्त कैलशियम हाइड्रॉक्साइड की लीचिंग होने लगती है। एक बार प्रारंभ होने पर लीचिंग की प्रक्रिया लगातार होती रहती है तथा कंक्रीट का कैलशियम पानी में घुल कर बह जाने से कंक्रीट की मज़बूती कम होने लगती है।

6.0 अन्य अकार्बनिक तथा कार्बनिक पदार्थ व उनका प्रभाव

6.1 मैग्नीशियम आयन का प्रभाव

जल में मैग्नीशियम की उपस्थिति मैग्नीशियम सेल्फेट, मैग्नीशियम क्लोराइड या मैग्नीशियम बाईकार्बोनेट के रूप में होती है। मैग्नीशियम बाईकार्बोनेट के अतिरिक्त मैग्नीशियम के अन्य सभी लवण कंक्रीट के लिए कैल्शियम सल्फेट तथा सोडियम सल्फेट से भी अधिक हानिकारक होते हैं। जल के मैग्नीशियम तथा कंक्रीट के कैल्शियम के बीच बेस एक्सचेंज क्रिया होने से कंक्रीट का सारा कैल्शियम जल के मैग्नीशियम के द्वारा प्रतिस्थापित हो जाता है। क्योंकि कैल्शियम सिलीकेट्स कंक्रीट को मज़बूती प्रदान करते हैं, इसलिए जब मैग्नीशियम आयन के प्रभाव में कंक्रीट का कैल्शियम जल के मैग्नीशियम के द्वारा प्रतिस्थापित हो जाता है तब कंक्रीट की मज़बूती कम हो जाती है तथा जब तक यह प्रक्रिया चलती रहती है, कंक्रीट का लगातार क्षरण होता रहता है।

6.2 अमोनियम आयन का प्रभाव

नदियाँ के जल में कभी कभी घरेलू या औद्योगिक सीवेज के कारण अमोनियम लवणों का प्रदूषण हो जाता है। यहां भी मैग्नीशियम के समान बेस एक्सचेंज क्रिया होती है। कंक्रीट के कैल्शियम कार्बोनेट व कैल्शियम हाईड्रौक्साइड जल में उपस्थित अमोनियम आयन के साथ बेस एक्सचेंज क्रिया करके अधिक घुलनशील कैल्शियम क्लोराइड व अमोनियम कार्बोनेट बना देते हैं, जो जल के साथ कंक्रीट से बह जाते हैं और कंक्रीट को खोखला व कमज़ोर बना देते हैं।

6.3 नाइट्रेट व नाइट्राइट का प्रभाव

नाइट्रेट व नाइट्राइट का कंक्रीट पर प्रभाव मैग्नीशियम के प्रभाव जैसा ही है। यहां भी सीमेंट का लाइम अधिक घुलनशील कैल्शियम नाइट्रेट तथा सोडियम हाईड्रौक्साइड में बदल जाता है।

6.4 कार्बनिक पदार्थ

जल में उपस्थित एल्गी कंक्रीट को मज़बूती को बॉन्ड निर्माण अथवा अत्यधिक वायु एंट्रेनिग एजेंट की तरह कार्य करके प्रतिकूल प्रभावित करती है। शर्करा की उपस्थिति कंक्रीट के सेटिंग समय को कम कर देती है।

6.5 कार्बनिक अम्ल

अकार्बनिक अम्लों की ही तरह कार्बनिक अम्ल भी सीमेंट के मुक्त लाइम के साथ रासायनिक क्रिया करके कैल्शियम के घुलनशील लवण बनाते हैं जिसके कारण कंक्रीट का क्षरण होता है। क्योंकि कार्बनिक अम्ल जल में अकार्बनिक अम्लों की तुलना में कम घुलनशील होते हैं, इसलिए इनका प्रतिकूल प्रभाव भी कम होता है।

6.6 तेल

कच्चे तेल, ख़ासतौर से कच्चा सल्फर कंक्रीट के लिए अत्यधिक नुकसानदायक होता है। कंक्रीट में जितनी आसानी से इनका प्रवेश हो सकता है, उतना ही अधिक कंक्रीट पर इनका आक्रमण हो सकता है।

7.0 उदाहरण:

भारत ही नहीं बल्कि पूरे विश्व में अनेकों महत्वपूर्ण जल संसाधन परियोजनाएं आक्रामक जल के प्रभाव से प्रभावित होकर क्षतिग्रस्त हो रही हैं [1–4]। जिसके कारण उनकी देखरेख व मरम्मत पर अत्यधिक पैसा खर्च हो रहा है। इस प्रकार की उपयोगी व महत्वपूर्ण परियोजनाओं के निर्माण के समय ही प्रयुक्त होने वाले अन्य अवयवों की के साथ जल की गुणवत्ता की जाँच भी ठीक प्रकार से करनी चाहिये ताकि भविष्य में होने वाली परेशानियों के साथ साथ अतिरिक्त खर्चा भी बचा कर देश की अर्थव्यवस्था में भी योगदान किया जा सके।

8.0 कोड्स व प्रैक्टिसेस:

8.1 IS: 456–2000

तालिका 6 : IS: 456–2000 के अनुसार प्लेन व रिइन्फोर्स्ड कंक्रीट के लिए कंक्रीट के मिश्रण बनाने व उसकी क्यूरिंग के लिए जल की गुणवत्ता

क्र. सं.	पैरामीटर	IS: 456–2000 के अनुसार निर्धारित मात्रा
1	अम्लीयता: 100 मिली. जल के नमूना को उदासीन करने के लिए फिनौफ्थलीन इंडिकेटर की उपस्थिति में 0.02 N NaOH से टाइट्रेशन	5.0 मिली.

2	क्षारीयता: 100 मिली. जल के नमूना को उदासीन करने के लिए मिश्रित इंडिकेटर की उपस्थिति में 0.02 N H_2SO_4 से टाइट्रेशन	25 मिली.
3	पीएच	6 से कम नहीं
4	क्लोराइड, Cl^- मिग्र/ली	अधिकतम 2000 मिग्र/ली प्लेन कंक्रीट के लिए तथा अधिकतम 500 मिग्र/ली रिइन्फोर्स्ड कंक्रीट के लिए
5	सल्फेट, SO_4^{-2}, मिग्र/ली	400 मिग्र/ली
6	ससपेंडेड ठोस मिग्र/ली	2000 मिग्र/ली
7	अकार्बनिक ठोस मिग्र/ली	3000 मिग्र/ली
8	कार्बनिक ठोस , मिग्र/ली	200 मिग्र/ली

8.2 सल्फेट की आक्रामकता के लिए यूएसबीआर क्लासीफ़िकेशन(USBR classification)

तालिका 7 : सल्फेट की आक्रामकता

सेल्फेट का तुलनात्मक आक्रमण	जल में घुलनशील सल्फेट का मृदा में SO_3 के रूप में :	जल के नमूनों में SO_4 के रूप में मिग्र/ली सल्फेट की मात्रा
नगण्य	0.0 – 0.10	0 से 150
पौज़िटिव (1)	0.10 – 0.20	150 से 15,00
तीव्र (2)	0.20 – 2.00	15,00 से 10,000
अति तीव्र (3)	2.00 या अधिक	10,000 से अधिक

1. *टाइप II सीमेंट का प्रयोग करना चाहिए जिसमें C_3A की अधिकतम मात्रा 8% तक हो।*
2. *टाइप V सीमेंट का प्रयोग करना चाहिए जिसमें C3A की अधिकतम मात्रा 5 % तक हो अथवा ओपीसी व पोज़ोलाना का वो सही मिश्रण प्रयोग करना चाहिए जिसने कंक्रीट पर परीक्षणों के दौरान सल्फेट के प्रति प्रतिरोधकता दर्शाई हो।*
3. *टाइप V सीमेंट के साथ सही पोज़ोलाना का प्रयोग करना चाहिए जिसने कंक्रीट पर परीक्षणों के दौरान सल्फेट के प्रति प्रतिरोधकता में सुधार दर्शाया हो।*

8.3 फ्रेंच नेशनल स्टैनडर्ड P18–011, मई, 1985, pH, NH_4^+, Mg^{++}, SO_4^{-2} के कारण होने वाली जल की आक्रामकता का मूल्यांकन

तालिका 8 : आक्रामक तत्वों की सांद्रता व पीएच: स्थिर या बहता हुआ जल, तापमान, मौसम, सामान्य दाब आदि के साथ विलियन की आक्रामकता

आक्रमकता	A1	A2	A3	A4
आक्रामक तत्व	सांद्रता मिग्र/ली में			
सल्फेट (as SO_4^{--})	250–600	600–1500	1500–6000	> 6000
मैग्नीशियम (as Mg^{++})	100–300	300–1500	1500–3000	> 3000
पीएच	6–5–5–5	5–5–4–5	4–5–4–0	< 4.0
अमोनियम (as NH_4^+)	15–30	30–60	60–100	> 100
(1) समुद्री जल के लिए 3000 मिग्र/ली. सीमा निर्धारित की गई है।				
सुरक्षा के चरण	1	2	3	4

- यदि जल में अनेक आक्रामक तत्व एक साथ उपस्थित हैं तो जल की आक्रामकता को उस तत्व के आधार पर निर्धारित करना चाहिए जिसके पीएच की सान्द्रता आक्रामकता के उच्चतम डिग्री के अनुरूप हो।
- यदि आक्रामक तत्वों की सान्द्रता आक्रामकता की न्यूनतम डिग्री से कम है तो उस वातावरण को आक्रामक नहीं समझना चाहिए।(A_0)

तालिका 9 : वातावरणीय आक्रामकता की डिग्री तथा सुरक्षा के चरण

वातावरण	चिन्ह	सुरक्षा के उपाय	सुरक्षा के चरण
थोड़ा सा आक्रमाक	A_1	सुरक्षा के कोई विशेष उपाय नहीं चाहिए। कंक्रीट निर्धारित तरीके से बनी हुई, सघन व अच्छी गुणवत्ता वाली होनी	1
थोड़ा अधिक आक्रमाक	A_2	वातावरण की कंडिशन के हिसाब से कंक्रीट के कापोज़ीशन में बदलाव करना चाहिए। (सीमेंट का अनुपात व प्रकार, जल/सीमेंट का अनुपात, क्यूरिंग, आदि)	2
अधिक आक्रमाक	A_3	वातावरण की कंडिशन के हिसाब से कंक्रीट के कापोज़ीशन में बदलाव करना चाहिए। (सीमेंट का अनुपात व प्रकार, जल/सीमेंट का अनुपात, क्यूरिंग, आदि)	3
बहुत अधिक आक्रमाक	A_4	बाहरी व आंतरिक सुरक्ष की आवश्यकता	4

8.4 बड़े बाँधों के लिए अंतर्राष्ट्रीय कमीशन (ICOLD) बुलेटिन संख्या 71, "बाँधों की कंक्रीट का विशेष आक्रमाक जल से एक्स्पोजर–गाइडलाइन्स तथा रिकोमेंडेशन, *1989* मृदु जल की आक्रामकता का आकलन करने के लिए।

सांद्रता या लैनजिलियेर इंडेक्स निम्न फार्मूले से निकाला जाता है:

$$\mathbf{LI = pH + Log\ C + Log\ A + 0.025 - 0.011 > ^{1/2} - 12.30}$$

जहाँ :

LI = लैनजिलियेर इंडेक्स
pH = पीएच मान
C = कैल्शियम कठोरता $CaCO_3$ (मिग्र/ली.) के रूप में
A = क्षारीयता (मिथाइलऔरेंजइंडिकेटर) $CaCO_3$ (मिग्र/ली.) के रूप में
T = डिग्री सेल्सियस में तापमान (0 से 25 डिग्री)
S = कुल घुले हुये ठोस (मिग्र/ली) जहाँ S < 1000 मिग्र/ली

लैनजिलियेर इंडेक्स की ऋणात्मक वैल्यू जल की आक्रामकता को इंगित करती है। यदि वैल्यू –1.5 से ज्यादा है तो जल बहुत अधिक आक्रमाक है और कंक्रीट पर उसका विपरीत प्रभाव पड़ेगा। यदि **लैनजिलियेर इंडेक्स** की वैल्यू पॉज़िटिव है तो यह कहा जा सकता है कि कैल्शियम का जमाव हो सकता है।

9.0 निष्कर्ष:

कंक्रीट मिश्रण मिलाने व क्यूरिंग में प्रयोग होने वाले जल का उपलिखित पैरामीटरस के लिए रासायनिक विश्लेषण करना अत्यंत आवश्यक है। इन पैरामीटरस के साथ साथ, प्रयोग होने वाले जल को उपर्युक्त के लिए उपयोगी घोषित करने से पहले जल के साथ कंक्रीट का सेटिंग समय तथा कम्प्रेसिव स्ट्रेन्थ का विश्लेषण करना भी आवश्यक होना चाइए।

संदर्भ:

1. बीना आनंद, स। न। शर्मा, र। प। पाठक व पंकज शर्मा, "बांध की कंक्रीट पर मृदु जल का प्रभाव "इंटेरनेशनल जर्नल ऑफ एमेर्जिंग टेक्नोलॉजी एंड ऍडवांस्ड इंजीनियरिंग, वोलुम 5, इशू 3, मार्च 2015।

2. बीना आनंद, पंकज शर्मा व डा एस एन शर्मा, "एक तापीय विद्युत गृह के आसपास के क्षेत्र में गोबिंद बल्लभ पंत सागर के जल की दीर्घकालीन निगरानी", इंटरनेशनल जर्नल ऑफ इन्नोवेटिव रिसर्च तथा डेवलपमेंट, जनवरी 2014, वॉल्यूम 3, इशू 1।
3. बीना आनंद व डा एस एन शर्मा, "जलीय संरचनाओं पर होने वाली जल–संबंधी समस्याएँ व उनका पुनर्वास–केस का अध्ययन", इंटरनेशनल बुक ऑन "जलक्षेत्र का सतत विकास के लिए प्रबंध "आइएसबीएन 93-83083-82-4, जून 2014
4. बीना आनंद, डा एस एन शर्मा, व मुरारी रत्नम, "एक रासायनिक कारखाने के तलछट तथा अपशिष्टों के रिहन्द बांध उत्तर प्रदेश के जल की गुणवत्ता पर पड़ने वाले प्रभाव की दीर्घकालीन अध्ययन", "वॉटर एंड एनवाइरमेंट" आइएसबीएन 978-93-84935-25-2, जनवरी 31,2015