

## पेयजल में फ्लोराइड की मात्रा कम करने में विद्युत अपघटन संयंत्र का योगदान तथा कार्यक्षमता

विजय जोशी  
वैज्ञानिक

सारिका पिंपलकर  
परियोजना सहायक

प्रकाश केलकर  
वैज्ञानिक

राष्ट्रीय पर्यावरण अभियांत्रिकी संस्थान, नागपुर - 440 020

### सारांश

भारत का ग्रामीण क्षेत्र पेयजल के लिए, मुख्यतः भूजल पर निर्भर है। वैज्ञानिक सिद्धान्त एवं मानक को दुर्लक्षित कर अंधाधुंध / अव्यवस्थित भूजल के उपयोग से हमारे सामने दो विवादास्पद विषय खड़े हुए हैं। पहला स्रोत की बहनशीलता (Sustainability) में कमी और दूसरा जल गुणवत्ता में गिरावट। पेयजल गुणवत्ता की सभी समस्याओं में फ्लोराइड जल प्रदूषण से स्वास्थ्य पर परिणाम की समस्या, पेयजल में फ्लोराइड की मात्रा अनुज्ञेय सीमा 1.5 मि.ग्राम/लीटर से ज्यादा होने के कारण 18 राज्यों में भू-पर्यावरणीय समस्याओं में प्रथम स्थान पर पायी गई है। अधिक फ्लोराइड की ग्राह्यता के लिए पेयजल ही मुख्य स्रोत पाया गया है। फ्लोराइड युक्त पानी का अधिक मात्रा में सेवन करने से दंतीय फ्लोरोसिस, अस्थी फ्लोरोसिस आदि परिणाम दिखाई देते हैं। भारत एक उष्णकटीबंध प्रदेश है। यहाँ ग्रामीण विभाग में जल सेवन की मात्रा कार्यप्रणाली के अनुसार 3-5 लीटर तक बदलती है। इसलिए अधिकतम फ्लोराइड सेवन का स्रोत पानी ही माना जाता है। इसके अलावा कई अन्य पदार्थ जैसे चाय, काला नमक, तंबाकू, सुपारी आदि में फ्लोराइड प्रचूर मात्रा में पाया जाता है। इनके अधिक सेवन से भी फ्लोराइड के दुष्परिणामों की संभावना होती है।

पेयजल में फ्लोराइड की मात्रा के नियंत्रण हेतु बहुत सी तकनीकियाँ खोजी गई हैं। इनमें नालगोंडा विधि तथा एकटीवेटेड अल्युमिना क्षेत्रपिरिक्षित और विस्तृत रूप से अभ्यासित तकनीकियाँ हैं। विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन (Electrolytic Defluoridation) एक नवीनतम पद्धति है। इस पद्धति में अल्युमिनियम धनाग्र (anode) का घुलन, सीधे विद्युत (Direct Current) से फ्लोराइड युक्त पानी में किया जाता है। प्रयोगशाला में पेयजल से 3-4 मि.ग्रा. /लीटर फ्लोराइड की अधिक मात्रा दूर करने हेतु विद्युतीय (इलेक्ट्रोलिटीक) पद्धति से बँच क्रिया का अध्ययन किया गया तथा प्रयोगशाला अध्ययन पर आधारित विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन संयंत्र डोंगरगाव में लगाया गया। यह संयंत्र पानी से फ्लोराइड की मात्रा 3.4-4.5 मि.ग्राम/लीटर से 1.00 मि.ग्राम/लीटर तक लाता है। इस लेख में इस विधि के बारे में विस्तृत वर्णन किया गया है।

## 1.0 प्रस्तावना

भारत का ग्रामीण क्षेत्र पेयजल के लिए मुख्यतः भूजल पर निर्भर है। ग्रामीण विभाग में भूजल का उपयोग प्रथमतः यह सोचकर हुआ कि भूजल पूर्ण रूप से सुरक्षित है तथा इसे किसी भी उपचार की आवश्यकता नहीं है। जमीन के अंदर होने के कारण यह पूर्ण रूप से निर्जंतुक है। इस सोच का सीधा असर निरन्तर भूजल की निकासी पर हो रहा है। सारे वैज्ञानिक नियमों को दूरलक्षित कर सतत निकासी के कारण पानी की बहनशीलता (सस्टेनेबिलिटी) में कमी और जलगुणवत्ता में गिरावट की समस्याएं सामने आ रही हैं। भूगर्भ की भूरूपतामक (जियेमारफोलाजिकल) परिस्थिति अनुसार पेयजल में फ्लोराइड, आर्सेनिक, लोह तथा लवनीयता (सेलीनिटी) जैसी समस्याएं प्रमुख रूप से दिखाई देती हैं। जल गुणवत्ता की समस्याओं में फ्लोराइड की मात्रा अनुज्ञेय सीमा 1.5 मि.ग्राम/लीटर से ज्यादा होने के कारण फ्लोराइड से जल प्रदूषण की समस्या, विषैली और भू-पर्यावरणीय समस्याओं में प्रथम स्थान पर भारत के अठारह राज्यों में पायी गई है। भारत ही नहीं अपितु 39 देश इस भूजल फ्लोराइड समस्या से पीड़ित हैं। युनीसेफ (UNICEF) के अध्ययनानुसार भारत में 213 जिलों में 25 लाख जनता भूजल में फ्लोराइड समस्या से पीड़ित है तथा 66 लाख जनता खतरे में है। भारतीय भूजल में फ्लोराइड की मात्रा 0.2 से 29 मि.ग्राम / लीटर तक पायी जाती है। परन्तु ज्यादातर स्रोत 3-5 के श्रेणी में पाये जाते हैं। प्रायः फ्लोराइड की ग्राह्यता पानी, हवा, खाद्य पदार्थ, दवाईयाँ, कांतिवर्धक और दंतमंजन से होती है। ग्रामीण क्षेत्रों में साधारणतः मौसम के अनुसार 3-5 लीटर तक पानी प्रतिदिन हर व्यक्ति अपनी कार्यप्रणाली के हिसाब से पीता है। यह पानी की मात्रा वातावरण के तापमान पर भी निर्भर है। 1986 से भारत सरकार द्वारा काफी प्रतिकार करने वाली और निवारक उपाय योजना फ्लोराइड की अधिक मात्रा नियंत्रण हेतु की गई है। इस योजना के अंतर्गत तीन नीतियाँ अपनाई गई हैं; जैसे-

1. फ्लोराइड सुरक्षित स्रोत की व्यवस्था
2. अधिक फ्लोराइड वाले स्रोत के लिए फ्लोराइड कम करने का संयंत्र तथा
3. निवारण

जब से यह ज्ञात हुआ है कि पेयजल में अधिक मात्रा में फ्लोराइड यह दंत फ्लोरोसिस का कारण है तब से इस विषय पर काफी संशोधन हुआ तथा अनेक विधियाँ खोज निकाली गईं। फ्लोराइड की अधिक मात्रा निवारण हेतु तरह-तरह की वस्तुएं तथा रसायन खोजने वाले बोर्ड पहले व्यक्ति थे। भारत में इस विषय पर सबसे पहले 1961 में नीरी नामक संस्था में काम शुरू हुआ और इस काम के दौरान मिट्टी, खनिज, 'विद्युतीय अणु विनिमय राल' (ion exchange resin) सक्रिय कार्बन, सल्फोनेटेड कोयला, सर्पिल खनिज, सक्रिय अल्युमिना और फिटकरी आदि का उपयोग फ्लोराइड निष्कासन के लिए किया गया। पेयजल फ्लोराइड नियंत्रण के मूल लेख में इन सभी चीजों की समीक्षा विवरण समाविष्ट किए गए हैं। इन सभी प्रौद्योगिकी विधियों में से सक्रिय अल्युमिना, फिटकरी प्रबन्ध (नालगोंडा विधि), यह विस्तृत रूप से संयंत्र तक अध्ययन की हुई क्षेत्र परिक्षित तकनीकियाँ / विधियाँ हैं। फ्लोराइड निष्कासन हेतु अल्युमिनियम मिश्रित पदार्थ बहुत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह प्रस्थापन (सक्रिय अल्युमिना) और सह-अवक्षेपन (नालगोंडा विधि) के नियमों पर आधारित है। इस लेख में 'विद्युत फ्लोराइड अपघटन' पर प्रयोगशाला अध्ययन और पायलट संयंत्र (Pilot plant) तक हुए अध्ययन का विस्तृत वर्णन किया गया है।



किया गया। दो घंटे के नियमित खंडकाल से जल - नमूना निकाला गया। मर्क उपकरण का उपयोग कर छनन किए हुए प्रक्रिया जल में बचा हुआ घुलित अल्युमिनियम का अनुमान लगाया गया। संयंत्र से कितना जल प्रक्रियाकृत हुआ तथा कितना फ्लोराइड जल में से कम हुआ है, इन सभी की नोंद संयंत्र स्थल पर स्नॉद-किताब- (थ्रू डट्ट) में रखी जाती है। प्रक्रिया में इस्तेमाल करने वाले अल्युमिनियम अपघटक को निरूपयोगी होने तक जल प्रक्रिया के उपयोग में लाया जाता है।

#### 4.0 संयंत्र का स्थान (स्थापना) और स्थान की विशिष्ट जानकारी

‘विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन संयंत्र’ डोंगरगाव के फ्लोराइड खदान क्षेत्र में अधिकृत रूप से निर्माण किया गया है। यह गांव समुद्र सतह (mean sea level) से 210 मीटर इतना ऊपर तथा  $20^{\circ} 10' 08''$  ऊँचाई और  $78^{\circ} 57' 09''$  लंबाई पर नागपुर से 110 कि.मी. दूर नागपुर-चंद्रपुर मार्ग पर डोंगरगाव में स्थित है। डोंगरगाव की फ्लोराइड खदान नागपुर क्षेत्र के “महाराष्ट्र राज्य खदान निगम (MSMC)” के नियंत्रण में है। डोंगरगाव के फ्लोराइड खदान क्षेत्र में 15-25 मीटर गहराई का बेधन कुआँ (bore well) यह एक मात्र पेयजल स्रोत है।

#### 5.0 विद्युत फ्लोराइड अपघटन संयंत्र की रचना

यह संयंत्र बँच क्रिया पर आधारित है और 5 लीटर प्रतिदिन प्रति कामगार के हिसाब से सौ कामगारों के लिए निर्मित किया गया है। डीफ्लोरिडेशन यूनिट में एक प्रतिकर्मी (Reactor) और आयातकार जल प्रक्रिया टंकी है। इस टंकी में दो अल्युमिनियम अपघटक के बीच में 1.5 से.मी. की दूरी रखी गई है। सीधी विद्युत शक्ति प्रदान क्षमता/संयंत्र से सीधी विद्युत शक्ति अल्युमिनियम अपघटकों में पहुँचाई जाती है, इस विद्युत संयंत्र की क्षमता 1-50 एम्पीयर और 1-60 वोल्ट्स है, विद्युत अपघटक क्रिया के दौरान लगने वाले जल प्रचलन के लिए 0.5 HP अश्वशक्ति का दमकल (पानी खींचने का संयंत्र) प्रतिकर्मी टंकी को जोड़ा गया है। डी.सी. प्रदान करने से पहले दमकल को शुरू करते हैं और डी.सी. संचय बंद करने के 5 मिनट बाद दमकल को बंद किया जाता है। विद्युत अपघटन प्रबन्ध के पश्चात प्रक्रिया जल 2.5 घंटे तक स्थिर होने दिया जाता है और उसके बाद प्रक्रियाकृत जल टंकी में स्थानांतरित किया जाता है। प्रक्रिया जल को नल द्वारा उपभोक्ता तक पहुँचाया जाता है। डी.सी. संचय अपने आप समय पर शुरू और बंद करने हेतु डी.सी. संचय को समय काल नियंत्रक भी लगाया गया है। संयंत्र की प्राचल रचना तालिका क्रमांक (1) और नक्शा आकृति क्रमांक (1) में दिखाया गया है। यह संयंत्र 15 एम्पीयर डी.सी. और 4-6 वोल्ट पर 90 मिनट के लिए काम करता है 90 मिनट बाद डी.सी. शक्ति संचय अपने आप बंद हो जाती है।

#### 6.0 परिणाम और परिचर्चा

अभ्यास काल के दौरान प्रयोगशाला में समय-समय पर (तैयार किए हुए) परखजल की जाँची जल गुणवत्ता तथा डोंगरगाव के बेधन कुएँ का प्रक्रिया पूर्व और फ्लोराइड अपघटन प्रक्रियाकृत जल की गुणवत्ता का वर्णन तालिका क्रमांक (2) में दिया गया है।

परखजल में pH 7.5 - 8.5 क्षारीयता 100-263 मि.ग्राम प्रति लीटर , ठोसपन 79-170 मि.ग्राम/लीटर और फ्लोराइड 3.0-4.0 मि.ग्राम प्रति लीटर पाया गया । डोंगरगाँव में बेधन कुएँ के अपरिष्कृत जल में 290-308 मि.ग्राम/लीटर क्षारियता नायट्रेट 5.2-11 मि.ग्राम/लीटर और क्लोराइड 148-180 मि.ग्राम/लीटर पाया गया 'भारतीय मानक ब्यूरो' (BIS) 10500, 1991 के अनुसार यह वांछित सीमा के भीतर है । सभी घुलित घन पदार्थ , सल्फेट और ठोसपन अनुक्रमें 690-890 मि.ग्राम/लीटर 310-375 मि.ग्राम/लीटर और 328-360 मि.ग्राम/लीटर प्रमाण में पाये गये जो भारतीय मानक ब्यूरो के अनुसार 10500, 1991, वांछित सीमा से ज्यादा तथा अनुज्ञेय सीमा के भीतर है । बेधन कुएँ के इस अपरिष्कृत जल में 3.5 -4.4 मि.ग्राम/लीटर फ्लोराइड मात्रा के कारण वह पीने के लिए अयोग्य था तथा इसे पीने योग्य बनाने के लिए परिष्कृत करना आवश्यक था । बेधन कुएँ की जल गुणवत्ता देखने पर पता चला कि उसमें सल्फेट तथा अल्कलिनिटी की मात्रा अधिक होने के कारण नालगोंडा तथा सक्रिय अल्युमिना विधि पर आधारित संयंत्र का लगाना उचित नहीं था तथा फ्लोराइड अपघटन संयंत्र ही सर्वतो परि उचित पर्याय था ।

4.0 मि.ग्राम/लीटर फ्लोराइड जल के साथ प्रयोगशाला अध्ययन में देखा गया कि बढ़ती विद्युत घनता और बढ़ते प्रक्रिया काल से फ्लोराइड का प्रमाण कम होता है । 0.075 एम्पियर प्रति वर्ग से.मी. विद्युत घनता के साथ 50 मिनट में 4.0 मि.ग्राम/लीटर से 0.1 मि.ग्राम/लीटर तक फ्लोराइड का प्रमाण कम किया जा सकता है । अगर 0.1 एम्पियर प्रति वर्ग से.मी. तक विद्युत घनता बढ़ाते हैं तो 0.06 मि.ग्राम/लीटर तक फ्लोराइड मात्रा 40 मिनट में ही प्राप्त किया जा सकता है आकृति क्रम (2) । 600 लीटर क्षमता के Pilot संयंत्र में प्रयोग के दौरान यह पाया गया है कि 1.0 मि.ग्राम/लीटर फ्लोराइड प्रमाण लाने हेतु रखी गयी विभिन्न विद्युत घनता जैसे 21 एम्पियर / वर्ग मीटर, 31 एम्पियर/वर्ग मीटर और 41 एम्पियर/वर्गमीटर के लिए अनुक्रमे 135 मिनट , 90 मिनट और 60 मिनट का काल जरूरी है आकृति क्रम (3) । एक बॅच में 21 एम्पियर/वर्गमीटर और 31 एम्पियर / वर्ग मीटर विद्युत घनता से 600 लीटर जल प्रक्रिया में 7.9 ग्राम अल्युमिनियम की खपत होती है । जब विद्युत घनता 31 एम्पियर/वर्ग मीटर से 41 एम्पियर/वर्गमीटर तक बढ़ा दी जाती है तब 6.1 ग्राम अल्युमिनियम, विद्युतग्र से विघटित होता है । काँच की नली में किये गए प्रक्रिया कीचड़ तल पर बैठने के अभ्यास में यह दिखाई दिया है कि 120 मिनट बाद 5 से.मी. , 30 से.मी. और 60 से.मी. ऊँचाई पर अनुक्रमे 0.6 , 0.4 और 0.4 NTU पंकीलपण आता है, आकृति (4) । भारतीय मानक ब्यूरो के अनुसार प्रक्रिया जल नमूना में 0.2 मि.ग्राम/लीटर अल्युमिनियम और अनुज्ञेय सीमा से निचले स्तर पर यानि 0.3 मि. ग्राम/लीटर है । सद्यपरिस्थिति में उपयोग किए जाने वाले 41 एम्पियर/वर्गमीटर सीधे विद्युत डी.सी. पुनवठा एकक (Supply) की काम करने की शैली अधिक सुधारने पर आधारित अभ्यास प्रगति पथ पर है । इसके अलावा सौर ऊर्जा का इस संयंत्र में उपयोग भी एक अभ्यास का विषय है ।

जब संयंत्र 90 मिनट के लिए 0.3 A/dcm<sup>2</sup> पर चलाया गया तब बेधन कुएँ के जल में 0.8-1.0 मिग्राम/लीटर फ्लोराइड मात्रा पायी गई और यह पाया गया कि विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन पश्चात पूर्ण ठोसपन 328-360 से 269-296 मिग्राम/लीटर तक कम होता है जो कि भारतीय मानक ब्यूरो के अनुसार अनुज्ञेय सीमा से कम है । पूर्ण ठोसपन के लिए 690-890 से 600-650 तक की गिरावट भी पायी गई ।

## 7.0 निष्कर्ष

‘ विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन ’ यह ऐसी पद्धति है, जिसमें कम देखरेख में फ्लोराइड सुरक्षित जल पाया जा सकता है। ज्यादा फ्लोराइड कम करने की प्रक्रिया में कम होने के साथ-साथ पूर्ण घुलित घनपदार्थ (TDS) भी कम होते हैं जिससे प्रक्रिया के पश्चात प्रक्रिया जल की गुणवत्ता बढ़ती है तथा इससे फ्लोराइड रहित जल की ग्राह्यता उपभोक्ताओं में बढ़ती है। 8-10 मि.ग्राम/लीटर फ्लोराइड युक्त पानी से फ्लोराइड दूर करने हेतु शोध कार्य प्रगति पर है।

## 8.0 स्वीकृति

अभ्यास के दौरान मिले मार्गदर्शन के लिए हम नीरी नागपुर के निदेशक डॉ. सुकुमार डिवोट्टा के बहुत आभारी हैं। ‘विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन’ संयंत्र स्थापित करने हेतु प्रयोगशाला में किए गए अध्ययन का बहुत योगदान है। नीरी उपकरण विभाग की कार्यशाला और उपकरण विभाग के अधिकारियों के सहयोग के लिए हम उन्हें धन्यवाद देते हैं। महाराष्ट्र राज्य खदान निगम (MSMC) के श्री धार्मिक, श्री गजबिये, श्री सोमलकर और श्री सोनकुसरे इन सभी सक्रिय अधिकारियों का संयंत्र स्थापित करने और संयंत्र के स्थान पर किए गए अभ्यास के लिए हम विशेष आभार मानते हैं। डोंगरगांव के फ्लोराइड खदान में स्थित संयंत्र की नियमित कार्यवाही के लिए हम खदान के अधिकारी श्री निर्वाण के भी बहुत आभारी हैं।

तालिका क्रम 1 : विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन संयंत्र की प्राचल रचना

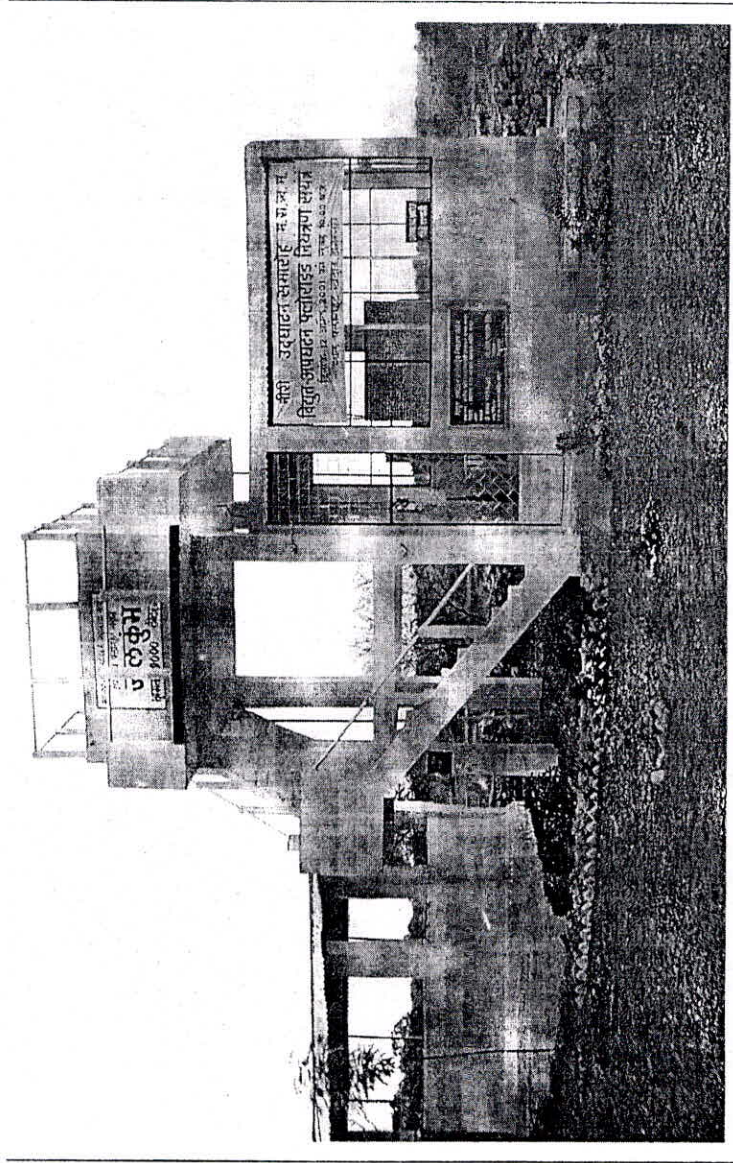
1.	क्षमता	600 लीटर
2.	कामगारों की संख्या	60-70
3.	प्रक्रिया टंकी	0.6×1.1×0.95 मीटर
4.	प्रक्रियाकृत जल टंकी	0.7×1.5×0.5 मीटर
5.	विद्युदग्र का प्रकार	अल्युमिनियम
6.	विद्युदग्र का आकार	60×40×0.2 से.मी.
7.	दो विद्युदग्र में रखा गया अंतर	2-3 से.मी.
8.	सीधे विद्युत शक्ति पुरवठा एकक	0.50 एम्पियर, 0-60 वोल्ट
9.	जल का परिभ्रमण दमकल	1/2 HP ( हार्स पावर)
10.	अपघटन क्रिया हेतु लगने वाला समय	90 मिनट
11.	विद्युत	25 एम्पियर
12.	तल पर कीचड़ में बैठने के लिए लगने वाला समय	2 घंटे
13.	अपरिष्कृत जल में स्थित फ्लोराइड मात्रा	3.5-4.4 मि.ग्रा./लीटर
14.	प्रक्रियाकृत जल फ्लोराइड मात्रा	<1 मि.ग्राम/लीटर
15.	प्रक्रिया का प्रकार	बॅच प्रक्रिया

तालिका क्रम 2 : डोंगरगाव के बेधन कुआँ जल की प्रक्रिया के पहले और प्रक्रिया के बाद की जल गुणवत्ता

अनु. क्र.	प्रचल	परख जल	बेधन कुआँ जल	
			अपरिष्कृत	प्रक्रियाकृत जल*
1.	पीएच (pH)	7.5 - 8.5	7.26 - 7.75	6.9 - 7.1
2.	पूर्ण घुलीय घनपदार्थ (Total Dissolved Solids)	90 - 280	690 - 890	600 - 650
3.	क्षारियता (Alkalinity), CaCO <sub>3</sub>	100 - 263	290 - 308	118 - 90
4.	पूर्ण ठोसपण (Total Hardness), CaCO <sub>3</sub>	79 - 170	328 - 360	267 - 296
5.	कैल्शियम ठोसपण (Calcium Hardness), CaCO <sub>3</sub>	-	220 - 296	190 - 210
6.	मैग्नेशियम ठोसपण (Magnesium Hardness)	-	84 - 116	65 - 77
7.	नायट्रेट (Nitrate), NO <sub>3</sub>	2 - 9	5.2 - 11	4.9 - 10.5
8.	सल्फेट (Sulphate), SO <sub>4</sub>	4 - 36	310 - 375	310 - 370
9.	क्लोराईड (Chloride), Cl	2 - 45	148 - 180	260 - 270
10.	फ्लोराईड (Fluoride), F	4	3.5 - 4.4	0.8 - 1.0

PH के अलावा सभी मुल्याकन मि.ग्राम/लीटर में हैं ।

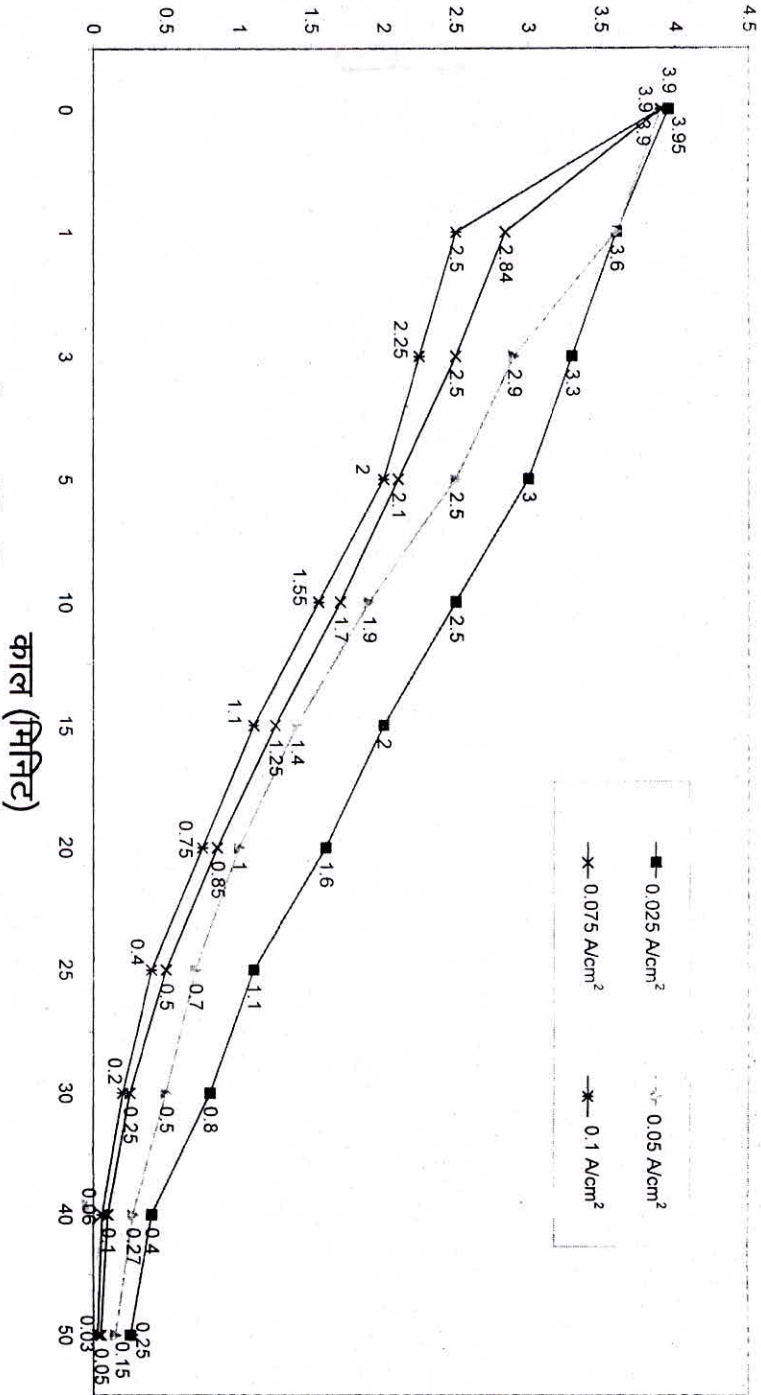
\* भारतीय मानक विभाग ( BIS ) 10500, 1991 के अनुसार अनुज्ञेय सीमा में है ।



आकृति 1 : विद्युतीय फ्लोराइड अपघटन (Electrolytic effluoridation ) संयंत्र ।

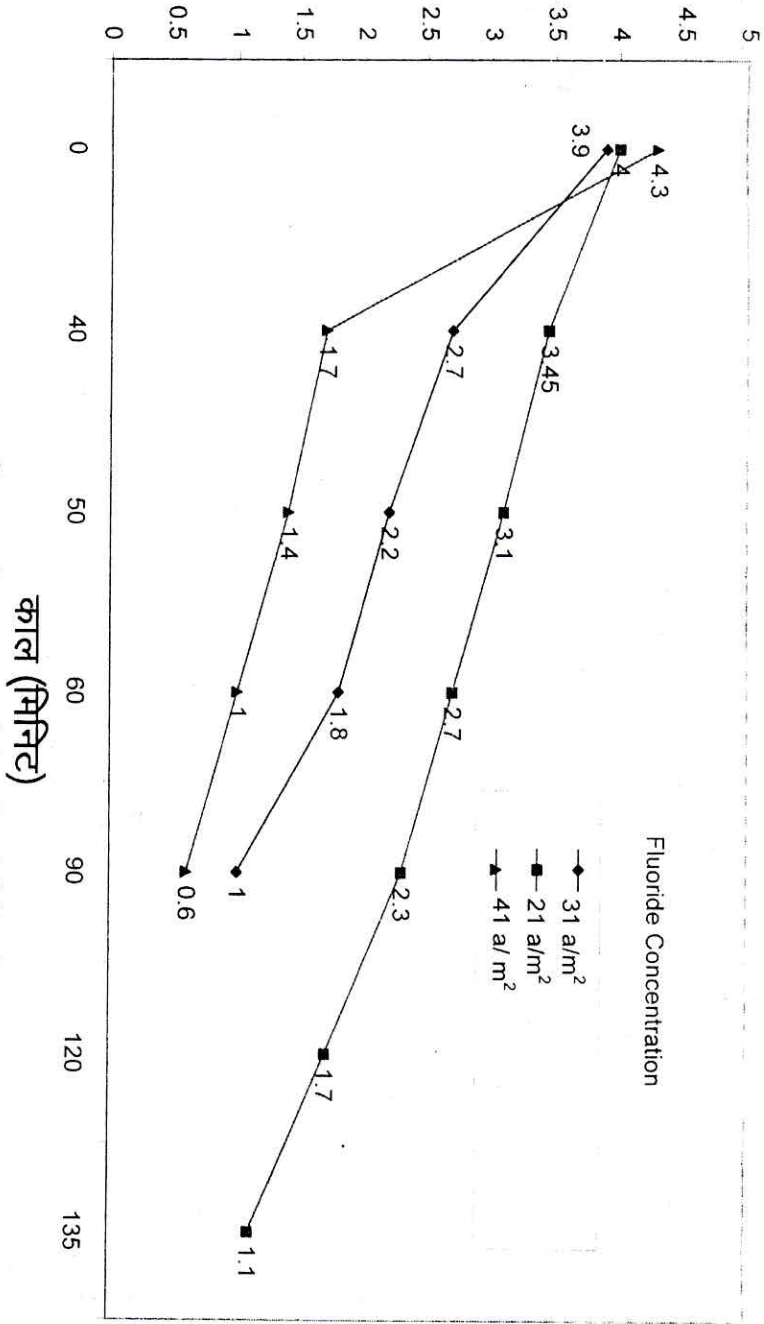


## शेष बचा हुआ फ्लोराईड (मि.ग्राम/लीटर)



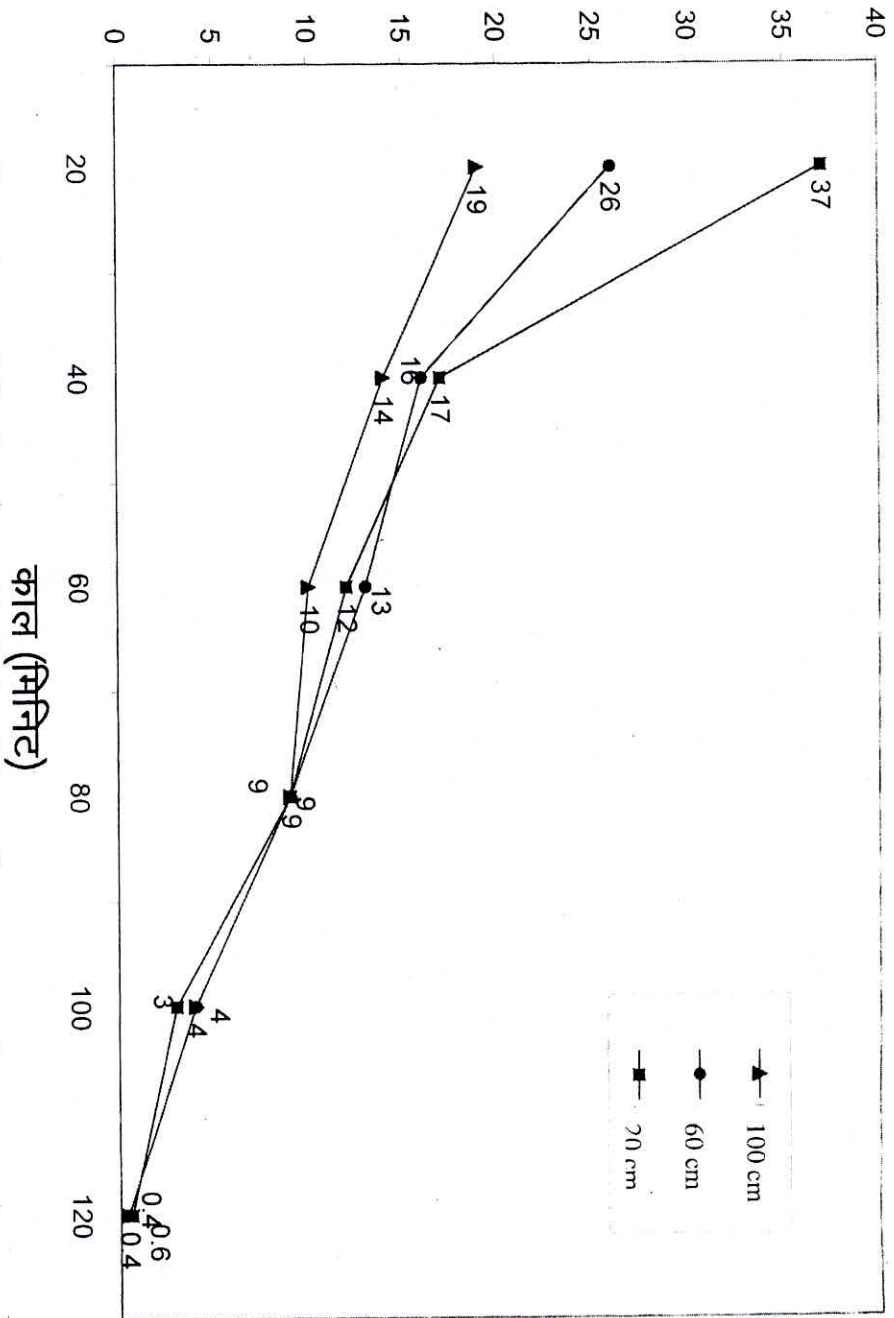
आकृति 2 : विभिन्न विद्युत धनता पर प्रयोगशाला में काल के साथ कम हुई फ्लोराईड की मात्रा

# फ्लोराईड (मि.ग्राम/लीटर)



आकृति 3 : फ्लोराईड प्रमाण लाने हेतु रखी गयी विभिन्न विद्युत घनता

## पकिलपण NTU



आकृति 4 : डोंगरगाव के विद्युतीय फ्लोराइड संयंत्र में कीचड़ बैठने का प्रक्रियाकृत जल पर किया गया अभ्यास ।

