

जलीय घोल से लिग्नाइट राख द्वारा फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण

अवधेश कुमार सिन्हा, स्मृति सिंह, आर इ मास्टो, रवि वर्मा, वी ए अंगुसेल्वी एवं एल सी राम

पर्यावरण प्रबंधन संभाग

सीएसआईआर- केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, डिगवाडीह परिसर, धनबाद 828 108 (झारखंड)

सारांश: कृषि एवं औद्योगिक विकास में फॉस्फोरस तत्व का महत्वपूर्ण योगदान है। लेकिन जल में इसकी प्रचुरता से प्रदूषण का खतरा होता है। इसलिए फॉस्फोरस पृथक्कीकरण के लिए एक ऐसी तकनीक के विकास की आवश्यकता है जो वातावरण प्रदूषण एवं पुनः चक्रण को कम कर सके या रोक सके। उड़न राख की उपलब्धता, सस्ता शोषक तथा क्षारीय गुणों के कारण इसका उपयोग जलीय उपचार और फॉस्फेट शोषक के रूप में कर सकते हैं। वर्तमान अध्ययन में लिग्नाइट राख को फॉस्फोरस अवशोषक के रूप में उपयोग में लाया गया है। राख से फॉस्फोरस पृथक्कीकरण तथा अवशोषण क्षमता (5 एवं 10g/100mL) को विभिन्न तापमान (28 एवं 50°C), ग्राह्य समय (5 एवं 30 मिनट) तथा विभिन्न सांद्रता के घोल 20, 50, 100, 150 एवं 200mg/L P पर अध्ययन किया गया। परीक्षण के अध्ययन से पाया गया कि 20mg/L घोल से फॉस्फोरस का शत प्रतिशत अवशोषण 10g राख द्वारा 28°C तापमान पर 30 मिनट ग्राह्य समय में किया जा सकता है। फॉस्फोरस की सांद्रता 200mg/L P घोल में बढ़ाने पर फॉस्फोरस पृथक्कीकरण 86.51% पाया गया। राख अवशोषक की मात्रा में वृद्धि फॉस्फोरस पृथक्कीकरण को भी प्रभावित करती है तथा औसतन फॉस्फोरस पृथक्कीकरण 5g राख पर 94.81% तथा 10g राख पर 97.5% पाया गया। प्राप्त आंकड़े फ्रिन्डलिक एवं लैंगमूर अधिशोषण समीकरण में प्रयुक्त किये गये तथा पाया गया कि लैंगमूर समीकरण में अधिकतम 5g उड़न राख 30 मिनट में समतुल्य ताप 28°C (40.98mg/kg) पर उच्चतम अधिशोषण पाया गया। उच्च अधिशोषण तापमान वृद्धि के साथ घटता है फिर भी संबद्ध बौंडिंग ऊर्जा से संबंधित तथ्यों के आधार 50°C पर वृद्धि हुई है। इन अध्ययनों से यह स्पष्ट है कि लिग्नाइट उड़न राख को फॉस्फोरस के पृथक्कीकरण के लिए सामान्य परिस्थितियों में सफलतापूर्वक उपयोग किया जा सकता है लेकिन दूसरे स्थिरांक जैसे ठोस-तरल अनुपात, उच्च वहन क्षमता आदि का विस्तारपूर्वक अध्ययन कर समन्वय स्थापित करना आवश्यक है।

Removal of phosphorus from aqueous solution using lignite fly ash

A K Sinha, Smriti Singh, R E Masto, Ravi Verma, V A Anguselvi & L C Ram

CSIR- Central Institute of Mining and Fuel Research, Digwadih Campus,

Dhanbad 828 108 (Jharkhand)

Abstract

Phosphorus (P) is an important element in making a major contribution to agriculture and industrial development. However, its release to surface waters leads to serious pollution. The development of technology for P removal offers the opportunity for abatement of environmental hazards and recycling. Fly ash is widely available and a cheap adsorbent and its alkaline properties make it interesting for use in waste water treatment through precipitation of phosphates. An attempt was made to study the P removal ability of lignite fly ash from Neyveli Lignite Corporation (Tamil Nadu). In order to determine the phosphate removal capacity of fly ash and the effect of adsorbent quantity (5 and 10g per 100mL), temperature (28 and 50°C), retention time (5 and 30 min) on P removal, sorption studies were conducted using phosphate solutions containing 20, 50, 100, 150 and 200 mg/L P. The results showed that the LFA was able to remove even 100% of 20 mg/L at 10g adsorbent with 30 min retention time at 28°C. The P removal capacity decreased with increase in P concentration, the removal was 86.51% at 200 mg/L P. The adsorbent quantity significantly influenced the P removal; the average removal was 94.81% at 5g and 97.5% at 10g. The data was also fitted into Langmuir and Freundlich adsorption equation. The Langmuir adsorption maximum was the highest for 5g fly ash-30 min equilibrium at 28°C (40.98 mg/kg). The adsorption maxima decreased with increase in temperature, however, the factor related to bonding energy has increased at 50°C. Altogether the study revealed that the LFA could be successfully used for instantaneous P removal at ambient condition, however other parameters like solid-liquid ratio, maximum carrying capacity, etc. need to be yet optimized.

प्रस्तावना

जलीय प्रवाह से फॉस्फेट का पृथक्कीकरण/निरूपण जल में घुलनशील फॉस्फेट को अघुलनशील ठोस में परिवर्तित करके किया जा सकता है। फिर ठोस पदार्थ को जल से तलछट या छनन द्वारा अलग किया जा सकता है। फॉस्फोरस को जैवीय उपचार पद्धति से भी अलग किया जा सकता है लेकिन इसकी क्षमता सीमित है क्योंकि माइक्रोब्स फॉस्फोरस को सेल/तन्तु संश्लेषण तथा ऊर्जा वहन में उपयोग करता है। इस कारण सिर्फ 10-30% ही फॉस्फोरस जैवोपचार विधि द्वारा पृथक् किया जा सकता है फिर भी कुछ घुलनशील यौगिक उपस्थित रह जाते हैं³। दूसरी पद्धति रासायनिक उपचार है, जैसे अपशोषण, रासायनिक अवक्षेपण, आयन विनिमय एवं विद्युतीय डायलिसिस, आदि।

फॉस्फोरस पृथक्कीकरण में अधिशोषण एवं रासायनिक अवक्षेपण विधि अधिकांशतः प्रयुक्त होती हैं^{2,4,5}। रासायनिक अवक्षेपण एक भौतिक-रासायनिक विधि है जिसमें डाइवेलेंट या ट्राइवेलेंट धातु यौगिक में संलग्न रहते हैं, जिससे अघुलनशील फॉस्फोरस धातु निष्छालन होकर तलछट में रह जाता है। इसके अतिरिक्त लौह एवं एल्युमिनियम के आयन उपयुक्त हैं जिसमें क्लोराइड या सल्फेट संयुक्त रहते हैं। चूना भी कैल्सियम फॉस्फेट के अवक्षेपण में उपयोग होता है¹⁰।

उड़न राख लौह-एल्युमिनियम-सिलिकेट विशिष्ट प्रकृति का मिश्रण है जो चूर्ण कोयला को ~1500°C पर दहन से प्राप्त होता है⁷। उड़न राख द्वारा अपशिष्ट जल के उपचार के अध्ययन से पता चलता है कि यह भारी धातुओं, फॉस्फोरस एवं जहरीले कार्बनिक यौगिक के पृथक्कीकरण के लिए एक अच्छा अवशोषक है^{14,17,18,28,29,30} (कैडमियम²⁺, सीसा²⁺, तांबा²⁺, क्रोमियम³⁺, जस्ता²⁺, निकिल²⁺, क्रोमियम⁶⁺, फॉस्फोरस^{3,2,22,15} एवं जहरीले कार्बनिक यौगिक^{21,23})। उड़न राख की प्रचुरता एवं इसके सस्ता अवशोषक तथा क्षारीय गुणों के कारण यह अपशिष्ट जल के उपचार से धातुओं एवं फॉस्फेट के छालन में उपयोग होता है^{19,20}। अन्य शोधकर्ताओं ने भी फॉस्फेट पृथक्कीकरण के लिए उड़न राख का उपयोग किया है जो अवशोषण या अवक्षेपण के घोलक में छालन पद्धति पर आधारित है^{2,4,5,22,24,31}। उड़न राख में अवस्थित चूना जल में विद्यमान फॉस्फेट के साथ मिलकर अघुलनशील लवण उत्पादित करता है, जिससे तलछट में जमा ठोस फॉस्फेट को जल से छनन द्वारा अलग किया जाता है।

बहुल मात्रा में फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण उसकी पूर्ण सांद्रता की डिग्री, पी एच, ग्राह्य समय, तापमान एवं प्रारंभिक फॉस्फेट सांद्रता पर निर्भर करता है। शोधकर्ताओं ने अपने अध्ययन में पाया है कि उड़न राख की मात्रा फॉस्फोरस के पृथक्कीकरण पर एक विशिष्ट प्रभाव डालती है तथा कैल्सियम आयन की संतुलित मात्रा

और pH >9 पर अधिकतम फॉस्फोरस पृथक् होता है¹⁵। दूसरे अध्ययन में पाया गया है कि pH की भी एक महत्वपूर्ण भूमिका होती है तथा pH 7 पर अधिकतम फॉस्फोरस पृथक् होता है⁶। घोलक में यदि फॉस्फोरस की सांद्रता अधिक हो तो फॉस्फेट अधिक पृथक् होता है। वर्तमान अध्ययन में जलीय घोल से फॉस्फोरस के पृथक्कीकरण में उड़न राख की क्षमता का विभिन्न तापमान, अवशोषण समय एवं विभिन्न मात्राओं पर विस्तृत अध्ययन किया गया है।

इस अध्ययन के लिए निवेली लिग्नाइट कॉरपोरेशन, तमिलनाडु, भारत से प्राप्त लिग्नाइट उड़न राख का प्रयोग हुआ है⁸। जिसका रासायनिक संगठन सिलिका-40.77%, एल्युमिना-11.04%, लौह ऑक्साइड-24.26%, कैल्सियम ऑक्साइड-17.62%, मैग्नीशियम ऑक्साइड-4.14%, फॉस्फोरस पेंटाऑक्साइड-0.10%, टिटानियम ऑक्साइड-0.66%, सल्फाइट-10.82% तथा क्षार-1.19% है। इसका स्थूल घनत्व, सख्रता, pH एवं चालकता क्रमशः 0.90mg/m³, 63.34% और 10.43, 4.25ds/m था। उड़न राख में बालू (20-200µm)-34.24% सिल्ट (2-20 µm)-61.81% एवं मृत्तिका (<2µm)-3.95% थे। XRD विश्लेषण के अनुसार क्वाटर्ज, एन्हाइड्राइट एवं हेमेटाइट घटते क्रम में पाये गये। लिग्नाइट उड़न राख में विशिष्ट रूप से एल्युमिनो सिलिकेट अधिक मात्रा में निहित है तथा कुछ दानेदार कण हैं जो कि X-ray को प्रभावित नहीं करते हैं।

सामग्री एवं विधि

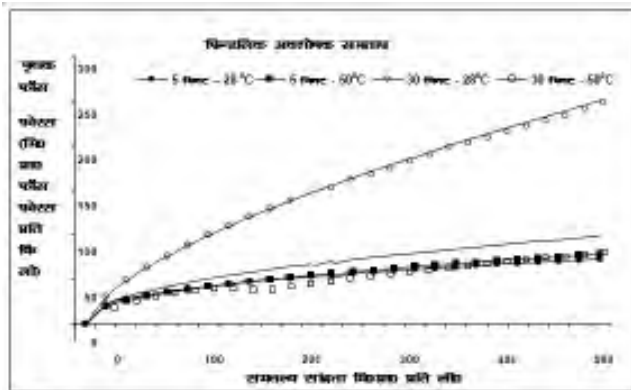
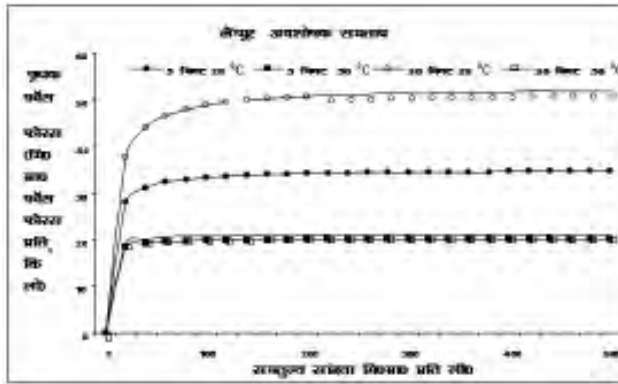
उड़न राख की फॉस्फेट पृथक्कीकरण की क्षमता का निर्धारण तथा शोषण मात्रा, तापमान, ग्राह्य समय एवं अधिशोषण पर प्रभाव के अध्ययन के लिए विभिन्न सांद्रता वाले फॉस्फेट घोल जैसे 20, 50, 100, 150 एवं 200mg/L फॉस्फोरस के घोलों पर अध्ययन किया गया। इसके लिए पोटेसियम डाई हाइड्रोजन आर्थो-फॉस्फेट (एनलेटिकल ग्रेड, मार्क) के साथ फॉस्फेट के विभिन्न सांद्रता वाले फॉस्फोरस के घोल तैयार किये गये। 5g तथा 10g उड़न राख के साथ 50mL फॉस्फेट घोल को 5 और 10 मिनट तक सामान्य तापमान 28±3°C तथा 50±3°C पर मिलाकर शेकिंग किया गया। इसके पश्चात् प्राप्त घोलों को छानकर साफ द्रव्य को लेकर फॉस्फेट का अभिलक्षणन किया गया। फॉस्फोरस शोषण की मात्रा का निर्धारण छालन में फॉस्फोरस की मात्रा को आरंभिक फॉस्फोरस की मात्रा में से घटाकर निर्धारित किया गया। फॉस्फोरस अधिशोषण तथा घोल में बचे फॉस्फोरस का निर्धारण कर ग्राफ प्लाट किया गया जिससे अधिशोषण समताप निकाला गया। समताप आंकड़े की व्याख्या फ्रिन्डलिक एवं लैंगमूर अधिशोषण समीकरण के अनुसार की गई। लैंगमूर समीकरण निम्नलिखित है।

$$C/x/m = (c/b) + (1+k. b) \quad \dots(1)$$

जहां C = संतुलित फॉस्फोरस सांद्रता $\mu\text{g}/\text{mL}$,
 x/m = प्रति ग्राम उड़न राख में फॉस्फोरस अधिशोषण μg ,
 b = उच्च फॉस्फोरस अधिशोषण,
 k = फॉस्फोरस बौंडिंग ऊर्जा से संबंधित स्थिरांक ।
 उसी परस्पर स्लोप के द्वारा फॉस्फोरस के उच्च अधिशोषण तथा k का निर्धारण स्लोप के हस्तक्षेप द्वारा किया गया ।
 फ्रिन्डलिक समीकरण :
 $\text{Log } S = \text{Log } K + n \text{ log } C$... (2)
 जहां S = फॉस्फोरस का मिट्टी में प्रति ग्राम अधिशोषण,
 K = अधिशोषण स्थिरांक μg फॉस्फोरस प्रति Kg
 $n = L$ स्थिरांक/Kg
 C = संतुलित फॉस्फोरस सांद्रता $\mu\text{g}/\text{mL}$.

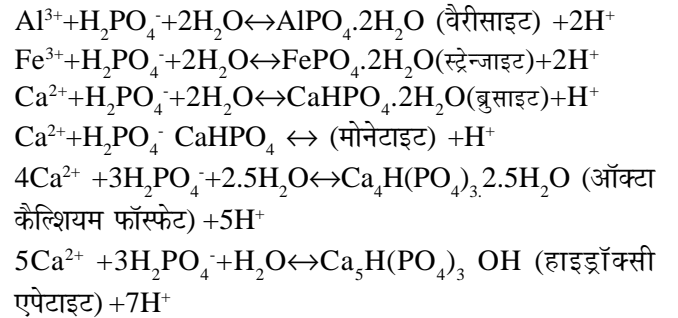
परिणाम एवं विवेचना
फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण

प्रत्येक प्रयोग में औसत फॉस्फोरस के पृथक्कीकरण को चित्र 1 में दर्शाया गया है। प्राप्त परिणाम से यह प्रतीत होता है कि 10g



चित्र 1 — ग्राफ द्वारा दर्शायी गयी आरंभिक सांद्रता का फॉस्फोरस पृथक्कीकरण पर लैंगमूर एवं फ्रिन्डलिक अधिशोषण समताप का अनुसरण

लिग्नाइट उड़न राख 30 मिनट अधिग्रहण समय के साथ 28°C तापमान पर 20mg/L फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण करने में पूर्णतः सक्षम है। फॉस्फोरस की सांद्रता बढ़ने के साथ उड़न राख की पृथक्कीकरण क्षमता घटती जाती है और 200mg/L फॉस्फोरस पर यह क्षमता घटकर 86.51% हो जाती है। 10g लिग्नाइट उड़न राख के योग से 97.5% फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण होता है जबकि 5g लिग्नाइट उड़न राख से यह केवल 94.81% ही होता है। उड़न राख में अतिरिक्त फॉस्फोरस का स्थिरीकरण अधुलनशील खनिजों जैसे वैरीसाइट, स्ट्रेन्जाइट, ब्रुसाइट, मोनेटाइट, ऑक्टा कैल्शियम फॉस्फेट, हाइड्रॉक्सी एपेटाइट का उड़न राख में विद्यमान एल्यूमिनियम, लोहा या कैल्शियम आयनों की फॉस्फोरिक अम्ल के साथ प्रतिक्रिया से होता है, जो नीचे दर्शाया गया है¹³।



इन खनिजों का बनना घोल में उपस्थित इनके आयनों तथा पी एच पर निर्भर करता है। यदि अल्प मात्रा में भी मैग्नेशियम उड़न राख में उपस्थित हो तो स्ट्रावाइट (MgNH_4PO_4) बनने की प्रबल संभावना हो जाती है²। इसके अलावा उड़न राख की सतहों पर भी धुलनशील फॉस्फोरस जमा हो सकता है¹⁶। अन्य शोधकर्ताओं ने भी खाद एवं मिट्टी में उपस्थित धुलनशील फॉस्फोरस (85 से 93%) को कम करने के लिए उड़न राख को सुधारकों के रूप में अध्ययन किया है^{12,9,16,11}।

फॉस्फेट शोषण के अभिलक्षण

सारणी 1 में फॉस्फोरस अवशोषण के स्थिरांक को दर्शाया गया है। फ्रिन्डलिक मॉडल (r^2 0.343 - 1.00) की अपेक्षा लैंगमूर मॉडल (r^2 0.768 - 0.99) में प्राप्त आंकड़े ज्यादा उपयुक्त हैं। यद्यपि फ्रिन्डलिक समीकरण प्रारम्भ में काल्पनिक है पर इसके अनुसार अवशोषण क्षमता संतृप्त सतह के बढ़ने के साथ क्रमानुसार घटती है जो कि वास्तविकता के समकक्ष है। लेकिन लैंगमूर समीकरण में अन्तर्निहित स्थिर बौंडिंग ऊर्जा वास्तविकता के समकक्ष नहीं है^{27,32,33,1}।

प्राप्त आंकड़ों को लैंगमूर समीकरण में प्रयुक्त करने पर यह दर्शाया गया है कि सामान्य तापमान पर 5g उड़न राख के लिए लैंगमूर स्थिरांक K_L (अधिकतम शोषण) का मान अपेक्षाकृत उच्च

सारणी 1 — उड़न राख में फॉस्फोरस की अवशोषण क्षमता

क्रम संख्या	उड़न राख मात्रा	शेकिंग समय एवं तापमान	लैंगमूर मॉडल			फ्रिन्डलिक मॉडल		
			r ²	K _L mg/kg	b L/mg	r ²	K _f mg/kg	n L/kg
1	5g	5 मिनट, 28°C	0.974	35.09	0.201	0.980	7.13	0.373
2		5 मिनट, 50°C	0.990	20.16	0.526	1.00	5.16	0.438
3		30 मिनट, 28°C	0.998	40.98	0.162	0.946	4.45	0.649
4	10g	30 मिनट, 50°C	0.988	21.14	0.524	0.999	5.45	0.466
5		5 मिनट, 28°C	0.997	36.23	0.600	0.997	9.60	0.387
6		5 मिनट, 50°C	0.768	23.75	0.254	0.908	5.47	0.392
7		30 मिनट, 28°C	0.999	35.46	1.50	0.979	10.16	0.338
8		30 मिनट, 50°C	0.998	19.53	6.09	0.343	5.79	0.309

(40.98mg/kg) है। 28°C और 50°C पर स्थिरांक K_L का औसतन मान 36.94 और 21.15 क्रमशः है जो दर्शाता है कि 50°C पर अवशोषण में 42.7% की कमी पायी गई। अवशोषक की मात्रा (5g-29.3 mg/kg बनाम 10g -28.7mg/kg) और संपर्क समय (5 मिनट-28.8 बनाम 10 मिनट-29.3mg/kg) का कोई महत्वपूर्ण प्रभाव नहीं मिला। लैंगमूर समीकरण में इ एफिनिटी इंडेक्स है और यह अवशोषक और अवशोषित के संबंध को दर्शाता है²⁶। b फॉस्फोरस के कमजोर या ढीले बंधन को दर्शाता है। 5g उड़न राख पर निम्न बौंड ऊर्जा (b=0.353 L/mg) पाया गया जबकि 10g उड़न राख पर (b=2.11 L/mg) है, इससे यह स्पष्ट है कि मृदा की अपेक्षा फॉस्फोरस का प्रक्षेपण उड़न राख में अवशोषण से ज्यादा होता है। संपर्क समय और तापमान बौंडिंग ऊर्जा को भी प्रभावित करता है। लम्बे संपर्क समय और उच्च तापमान पर b का मान उच्च पाया गया। फ्रिन्डलिक स्थिरांक n जो कि फॉस्फोरस अधिशोषण की दर से संबंधित है वह उड़न राख की मात्रा, संपर्क समय और तापमान से विरले ही प्रभावित होती है जबकि फ्रिन्डलिक गुणक K (अधिशोषण की मात्रा) अधिशोषक की मात्रा और निम्न ताप के लिए उच्च पाया गया।

उड़न राख/मृदा के घोल से फॉस्फोरस के विलुप्त होने के लिए अधिशोषण प्रतिक्रिया ही उत्तरदायी नहीं है बल्कि फॉस्फोरस स्थिरीकरण की वजह ठोस अवस्था में विभिन्न फॉस्फेट प्रक्षेपक के रूप में है। शोधकर्ताओं²⁵ ने दर्शाया है कि लैंगमूर समीकरण फॉस्फोरस के स्थिरीकरण में अधिशोषण और प्रक्षेपण प्रतिक्रियाओं में भिन्नता नहीं प्रकट करता है। शोध कार्यों से प्राप्त आंकड़ों और फ्रिन्डलिक व लैंगमूर समीकरण भी अधिशोषण प्रतिक्रिया को सत्यापित नहीं करते। फॉस्फेट पृथक्कीकरण के लिए छालन और अधिशोषण दोनों प्रतिक्रियाओं को

महत्वपूर्ण माना गया है। फिर भी लैंगमूर मॉडल अधिशोषण और प्रक्षेपण जैसी प्रतिक्रियाओं को नहीं मानता पर दोनों ही मॉडलों में उड़न राख पर अधिशोषण कम होता है।

उपसंहार

इस अध्ययन का परिणाम यह दर्शाता है कि उड़न राख जलीय घोल में निहित फॉस्फोरस के पृथक्कीकरण के लिए प्रभावी है। शत-प्रतिशत उच्च फॉस्फेट पृथक्कीकरण किया गया। उच्च तापमान पर फॉस्फोरस का पृथक्कीकरण घटता है। कम मात्रा में प्रयुक्त उड़न राख से फॉस्फोरस पृथक्कीकरण का परिणाम उत्साहवर्धक पाया गया।

आभार

लेखकगण सी आई एम एफ आर के निदेशक, डा. अम्बेन्दु सिन्हा के आभारी हैं जिन्होंने इस शोध-पत्र के प्रकाशन की अनुमति प्रदान करने की कृपा की है।

संदर्भ

- बेरा आर, सील ए, भट्टाचार्या पी, मुखोपाध्याय के एवं गिरि आर, फॉस्फेट जार्पशन डिजार्पशन कैरेक्टरस्टिक्स ऑफ सम फेरुगिनस सॉयल ऑफ ट्रापिकल रीजन इन इस्टर्न इंडिया, *एनवायरॉनमेंट जियोलॉजी*, **51** (2006) 399-07.
- अर्गलु ए एवं सलमान बी, फॉस्फोरस रिमूवल बाई फ़्लाई ऐश, *एनवायरॉनमेंटल इंटरनेशनल*, **24** (1998) 911.
- अके जी, किसकिंलर बी, कैकिसीए एवं डेनिस यू, फॉस्फोरस रिमूवल फ्रॉम वाटर बाई रेड मड यूजिंग क्रसपत्तो माइक्रोफिल्ट्रेशन, *वाटर रिसोर्स*, **32** (1998) 717-726.
- जॉन्सन एल एवं गुटासन जे पी, फॉस्फोरस रिमूवल यूजिंग ब्लास्ट फर्नेस स्लैग एंड ओपोका-मैकेनिज्म, *वाटर रिसोर्स*, **34** (2000) 259-265.
- एगी एन एम, स्ट्राइडम सी ए एवं पोगेटर जे एच, एन इनवेस्टिगेशन ऑफ फॉस्फेट आयन एडसोर्पशन फ्राम एक्यूअस सॉल्यूशन बाई फ़्लाई

- ऐश एंड स्लैग, सीमेंट एंड कंक्रीट रिसर्च, **30** (2006) 823-826.
6. ली बाई, लियु सी, लुआना जेड, प्रेग एक्स, जुआ सी, चेन जेड, जाग जेड फान जे एवं जिया जेड, फॉस्फोरस रिमूवल फ्रॉम एक्यूअस सॉल्यूशन यूजिंग रॉ एंड एक्टिवेटेड रेड मड एंड फ्लाई ऐश, *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल्स*, **137** (2006) 374-383.
 7. मैतिगोल्ड एस वी, राय डी, इरी एल ई एवं ऐंसवर्थ सी सी, जियोकेमिकल फेक्टर्स कंट्रोलिंग द मोबिलाइजेशन ऑफ इनऑर्गेनिक कंस्टिट्यूट्स फ्रॉम फासिल प्यूल कम्बश्चन रेसिड्यू, रिच्यू ऑफ द मेजर एलिमेंट, *जर्नल ऑफ एन्वायरॉनमेंटल क्वालिटी*, **19** (1990) 188-201.
 8. राम एल सी, श्रीवास्तव एन के, झा एस के, सिन्हा ए के, त्रिपाठी आर सी एवं मास्टो आर इ, मैनेजमेंट ऑफ लिग्नाइट फ्लाई ऐश, थ्रु इट्स बल्क यूज वाया बायोलॉजिकल एमंडमेंट्स फॉर इंप्रूविंग द फर्टिलिटी एंड क्रॉप प्रोडक्टिविटी ऑफ सॉयल, *एन्वायरॉनमेंटल मैनेजमेंट*, **40** (2007) 438-452.
 9. महतो एम के, मास्टो आर इ, सेल्वी वी ए, राम एल सी, श्रीवास्तव एन के, त्रिपाठी आर सी, झा एस के एवं सिन्हा ए के, फॉस्फोरस एडजोर्पशन, फिक्सेशन एंड फ्रैक्शन इन फ्लाई ऐश एमंडेड सॉयल, इन प्रोसिडिंग्स फ्लाई ऐश इंडिया, 2005, इंटरनेशनल कांग्रेस, 4-7 दिसंबर, एफ ए यू पी, टाइफैक, डी एस टी, नई दिल्ली, **12** (2005) XII 1-8.
 10. मोर्स जी के, ब्रेटएस डब्ल्यू, गय जे ए एवं लेस्तरू जे एन, रिच्यू फॉस्फोरस रिमूवल एंड रिकवरी टेक्नोलॉजी, द साइंस ऑफ द टोटल एन्वायरॉनमेंट, **212** (1998) 69-81.
 11. स्टायुट डब्ल्यू एल, यार्पले ए एन एवं पिनके एच वी, रिड्यूसिंग सॉयल फॉस्फोरस सॉल्यूबिलिटी विथ कोल कम्बश्चन बाइप्रोडक्ट, *जर्नल ऑफ एन्वायरॉनमेंटल क्वालिटी*, **27** (1998) 111-118.
 12. दाव टी एच, सिकोरा एल जे, हमसकी ए एवं चाने आर एल, मैन्चूर फॉस्फोरस स्ट्रेक्टिविलिटी एज एफेक्टेड बाइ एल्यूमिनियम एंड आयरन बाइप्रोडक्ट एंड एरोबिक कंपोस्टिंग, *जर्नल ऑफ एन्वायरॉनमेंटल क्वालिटी*, **30** (2001) 1693-1698.
 13. लिंडसे डब्ल्यू एल, केमिकल इक्विलिब्रियम इन सॉयल जोन, विली एंड संस इन. यू एस ए, (1979).
 14. विराधवन टी एवं राव ए जी, एडजोर्पशन ऑफ कैडमियम एंड क्रोमियम फ्रॉम वेस्ट वाटर बाइ फ्लाई ऐश, *जर्नल ऑफ एन्वायरॉनमेंटल साइंस हेल्थ*, **26**(5) (1991) 721-753.
 15. कैन एम बाइ एवं इल्डिज इ, फॉस्फोरस रिमूवल फ्रॉम वाटर बाई फ्लाई ऐश, फैक्टोरियल एक्सपेरिमेंटल डिजाइन, *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल*, **31** (2006) 165-170.
 16. एलरसीदी एम ए, बालीगर वी सी, कॉकैक आर एफ, परसौद एन एवं रिचे के डी, केमिकल कंपोजियन ऑफ लिचेट ऑफ डेयरी मैन्चोर मिक्सड विथ फ्लुडाइज्ड बेड कम्बश्चन रिसेड्यू, *जर्नल ऑफ एन्वायरॉनमेंटल क्वालिटी*, **28** (1999) 1243-1251.
 17. डिमाडोपोलस ई, लोनिदीस एस एवं सेकलारोपोलस जी पी, आर्सेनिक रिमूवल फ्रॉम एकवस सोल्यूशन बाई फ्लाई ऐश, *वाटर रिसोर्स*, **27** (1993) 1773-1777.
 18. गुप्ता जी एस, प्रसाद जी एवं सिंह वी एन, रिमूवल ऑफ क्रोम डाइ फ्रॉम एकवस सॉल्यूशन बाई मिक्सड एडजोर्पमेंट, फ्लाई ऐश एंड कोल वाटर रिसोर्स, **24** (1990) 45.
 19. चेन एक्स, राइट जे वी, कोंका जे एल एवं पुरंग एल एम, इफेक्ट ऑफ पी एच ऑन हेवी मेटल सोर्पशन ऑन मिनरल एपेटाइट, *एन्वायरॉनमेंटल साइंस टेक्नोलॉजी*, **31** (1997) 624-631.
 20. बोरनबीले वी, जिहाउ ए, सैरोक पी एवं डीपसेनार जी, स्टेवीलाइजेशन ऑफ हेवी मेटल कटेनिंग डस्ट बाइ रिएक्शन विथ फॉस्फोरिक एसिड, स्टडी ऑफ द रिएक्टिविटी आफ फ्लाई ऐश, *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल बी*, **116** (2004) 65-72.
 21. बटब्याल डी, साहू ए एवं चौधरी एस के, काइनेटिक एंड मेकनिज्म ऑफ रिमूवल ऑफ 2,4 डाइ मिथाइल फिनाल फ्रॉम एकवस सॉल्यूशन विथ कोल फ्लाई ऐश, *सेप. टेक्नाल*, **5** (1995) 179-186.
 22. डर्ब डी जी, एम एस गिमारस आर वैलेंसिया, फॉस्फेट इम्मोबिलाइजेशन यूजिंग एन एसिडिक टाइप एफ फ्लाई ऐश *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल*, **76** (2000) 217-236.
 23. के पी सी, जंग जे एच एवं हं टी एल, रिमूवल ऑफ क्लोरोफिनॉल फ्रॉम एकवस सॉल्यूशन बाइ फ्लाई ऐश, *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल*, **76** (2000) 237-249.
 24. मैट्रोपोलस इ, रोसी ए एम एवं कोस्टा ए एम, स्टडीज ऑन द मेकनिज्म ऑफ लेड इम्मोबिलाइजेशन बाइ हाइड्रॉक्सीएपेटाइट, *एन्वायरॉनमेंटल साइंस टेक्नोलॉजी*, **36** (2002) 1625-1629.
 25. वेथ जे ए एवं पोसितो जी, ऑन द यूज ऑफ द लैंगमूर इक्वेशन इन द इंटरप्रेटेशन ऑफ एडजोर्पशन फेनोमेना, सॉयल साइंस सोसायटी ऑफ अमेरिकन जर्नल, **41** (1977) 697.
 26. होलफोर्ड आइ सी आर, द कम्पेरेटिव सिग्निफिकेंस एंड यूटिलिटी ऑफ द फ्रिन्डलिक एंड लैंगमूर पैरामीटर्स फॉर कैरेक्टेराइजिंग सार्पशन एंड प्लांट एवेलिबिलिटी ऑफ फॉस्फेट इन सॉयल, *आस्ट्रेलियन जर्नल ऑफ सॉयल रिसर्च*, **20** (1982) 233-242.
 27. पोसितो जी, द ऑपरेशनल डेफिनीशन ऑफ द जीरो प्वाइंट ऑफ चार्ज इन सॉयल, *सॉयल साइंस सोसायटी ऑफ अमेरिकन जर्नल*, **51** (1981) 292-297.
 28. हेकेत वी, रिको पी, लेकर आइ एवं क्लोरे पी ली, रिमूवल ऑफ Cu^{2+} एंड Zn^{2+} इन एकवस सॉल्यूशन बाइ सार्पशन ऑन टू मिक्सड फ्लाई ऐश प्यूल, **80** (2001) 851-856.
 29. बैयात वी, कम्बाइंड रिमूवल ऑफ जिंक (II) एंड कैडमियम (II) फ्रॉम एकवस सॉल्यूशन बाइ एडसार्पशन ऑन टू हाई कैल्सियम टर्कीस फ्लाई ऐश वाटर, एयर, सॉयल पॉल्यूशन, **136** (2002) 69-92.
 30. गुप्ता जी, टोरेस एन, यूज ऑफ फ्लाई ऐश इन रिड्यूसिंग टॉक्सिसिटी ऑफ हेवी मेटल फ्रॉम वेस्ट वाटर इफल्युयेंट, *जर्नल ऑफ हैजार्डस मैटीरियल्स*, **57** (1998) 243-248.
 31. लेपर के वी, ट्रेना एस, गद्दाम जे पी एवं लोगन टी जे, केमिकल एंड मिनरोलॉजिकल कैरेक्टेराइजेशन ऑफ लेड इन ए कॅटेमिनेटेड सॉयल, रिएक्शन विथ सिंथेटिक एपेटाइट, *एन्वायरॉनमेंटल साइंस टेक्नोलॉजी*, **30** (1996) 3321-3326.
 32. संयाल एस के एवं डी दत्ता एस के, केमेस्ट्री ऑफ फॉस्फोरस ट्रांसफॉर्मेशन इन सॉयल, *एडवांस सॉयल साइंस*, **16** (1991) 1-120.
 33. साहा एस ए, दत्ता ए, संयाल एस के, फॉस्फेट सार्पशन डिस्सार्पशन कैरेक्टेरिस्टिक ऑफ सम एसिडिक सॉयल, *जर्नल ऑफ इंडियन सोसाइटी ऑफ सॉयल साइंस*, **47** (1999) 37-49.