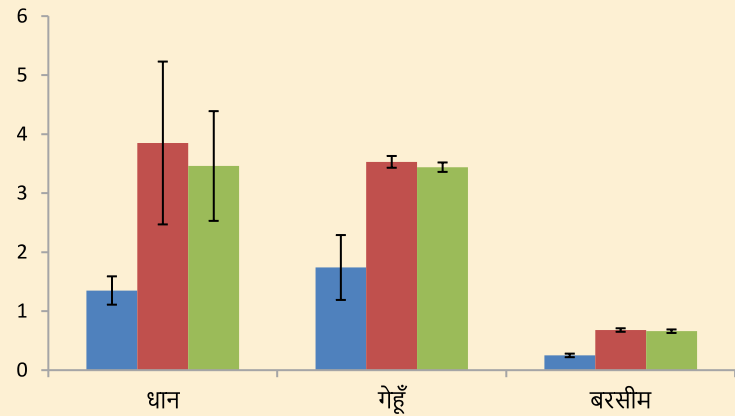


तालिका 4. क्षारीय मृदा सुधार के दौरान/उपरांत पोशक तत्व प्रबंधन का विवरण

पोशक तत्व	मात्रा	प्रयोग का समय	टिप्पणी
नाइट्रोजन	संस्तुत मात्रा का 125 प्रतिशत प्रारंभिक 3-4 वर्षों के दौरान	विभाजित खुराक की एक तिहाई मात्रा बिजाई के समय, बिजाई के 21 व 45 दिन बाद	कम मृदा जैविक कार्बन तथा सूक्ष्म जैविक क्रियाओं की क्षतिपूर्ति हेतु
फॉस्फोरस	प्रारंभिक 3-4 वर्षों के दौरान फॉस्फोरस उर्वरक की कोई आवश्यकता नहीं	-	क्षारीय मृदा में उच्च ऑक्सिड फॉस्फोरस होता है, अतः सुपोषण व अनावश्यक खर्चा न करें
जिंक	40 कि.ग्रा. जिंक सल्फेट प्रारंभिक 3-4 वर्षों के दौरान	बिजाई के समय मृदा अनुप्रयोग	फसल की बाद की अवस्था में मृदा परीक्षण आधारित उपयोग की सिफारिश की जाती है

*गोबर की खाद या शहरी अपशिष्ट खाद के 10.0 टन प्रति हेक्टेयर के प्रयोग से संशोधन की प्रभावकारिता में सुधार होता है।

■ नियंत्रण ■ 50 जीआर जिप्सम ■ एफजीडीजी 50 जीआर



चित्र 3: क्षारीय मृदा सुधार के बाद फसल का प्रदर्शन

किया गया था। 2021-2023 के दौरान मृदा सुधार का अध्ययन तीन राज्यों, हरियाणा (सीतामई और पुंड्रक, करनाल), उत्तर प्रदेश (चिरकिहित, आजमगढ़ और मार्शनगर, उन्नाव) और पंजाब (पाट्टी झुंगियान, पटियाला) में किसानों के खेतों पर नियंत्रित परिस्थितियों में किया गया था। एक वर्ष के अध्ययन के बाद नियंत्रण की तुलना में एफजीडीजी के प्रयोग से धान, गेहूँ और बरसीम की उपज में क्रमशः 2.9, 2.0 और 2.7 गुणा वृद्धि हुई।

मृदा सुधार की लागत

मृदा सुधार की लागत आवश्यक संशोधन की मात्रा और गुणवत्ता पर निर्भर करती है। आवश्यक संशोधन की मात्रा मिट्टी की ईएसपी, सुधार की गहराई और फसल की क्षार सहनशीलता पर भी निर्भर करती है। एफजीडीजी (90 प्रतिशत शुद्धता) का उपयोग करके क्षारीय मिट्टी के सुधार के लिए रु 65000 प्रति हेक्टेयर (फैक्ट्री गेट कीमत रु 1.2 प्रति किलोग्राम, परिवहन रु 1.0 प्रति किलोग्राम को ध्यान में रखते हुए) पूंजी निवेश की आवश्यकता है। एफजीडीजी खनिज जिप्सम से 1.3 गुना कम

भारी है और क्षेत्र अनुप्रयोग शुल्क खनिज जिप्सम से 1.3 गुना कम होगा।

आर्थिक साध्यता

पूंजी की 12 प्रतिशत अवसर लागत मानकर आर्थिक व्यवहार्यता विश्लेषण से पता चला कि लाभ-लागत अनुपात 0.92 से 1.90 (तालिका 5) तक पाया गया। लागत वापसी की अवधि करीब 2.7 वर्ष आंकी गयी।

तालिका 5. एफजीडी जिप्सम आधारित क्षारीय मृदा सुधार का लागत-लाभ अनुपात

उपचार	धान-गेहूँ			धान-बरसीम		
	प्रथम वर्ष	द्वितीय वर्ष	तृतीय वर्ष	प्रथम वर्ष	द्वितीय वर्ष	तृतीय वर्ष
नियंत्रण	0.54	0.53	0.47	0.59	0.56	0.48
50 जीआर जिप्सम	0.73	1.12	1.70	0.78	1.25	1.90
फजीडीजी 50 जीआर	0.92	1.12	1.70	1.00	1.25	1.90

50 जीआर: परीक्षण की गई जिप्सम आवश्यकता का 50 प्रतिशत



भविष्य के दृष्टिकोण

लगभग 3.77 मिलियन हेक्टेयर क्षारीय भूमि को खेती के अंतर्गत लाने के लिए भूमि सुधार कार्यक्रम की सफलता वैकल्पिक सुधार रणनीति पर निर्भर करेगी। निम्न गुणवत्ता के जल से सिंचाई के तहत नए क्षेत्रों में क्षारीयता के विकास के कारण यह आवश्यकता और भी बढ़ने की आशंका है। चक्रीय अर्थव्यवस्था सुनिश्चित करने के लिए एफजीडी जिप्सम को खनन जिप्सम के विकल्प के रूप में सुरक्षित रूप से उपयोग किया जा सकता है।

आभारोक्ति : इस अध्ययन के लिए वित्तीय सहयोग प्रदान करने के लिए एनटीपीसी लिमिटेड, विंध्याचल भारत का आभार व्यक्त करते हैं।



वसुधैव कुटुम्बकम्
ONE EARTH • ONE FAMILY • ONE FUTURE

डिजाइन एवं तकनीकी सहयोग युद्धवीर सिंह अहलावत

अधिक जानकारी के लिए कृपया संपर्क करें
निदेशक

भाकृअनुप-केन्द्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान

करनाल-132001, हरियाणा

ई-मेल: director.cssri@icar.gov.in

वेबसाइट: www.cssri.res.in

उद्धरण: सुन्धा पी., राय ए.के., बसक एन., मुखोपाध्याय, आर., चंद्रा पी., पटेल एस., कुमार एस., बेदवाल, एस., सक्सेना, एस.के., परिहार, एस.एस., शर्मा, पी. सी., यादव, आर.के. चौधरी, एस.के. 2024. फ्लू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम (एफजीडीजी) द्वारा क्षारीय भूमि सुधार. तकनीकी फोल्डर 2024/2, भाकृअनुप-केन्द्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान, करनाल।

फ्लू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम (एफजीडीजी) द्वारा क्षारीय भूमि सुधार



भाकृअनुप-केन्द्रीय मृदा लवणता अनुसंधान संस्थान

करनाल (हरियाणा)

राष्ट्रीय ताप विद्युत निगम

विंध्याचल, सिंगरौली (मध्य प्रदेश)

मिट्टी की क्षारीयता एक गंभीर भूमि क्षरण है और दुनिया भर के शुष्क और अर्धशुष्क क्षेत्रों में फसल उत्पादन और आजीविका सुरक्षा को प्रभावित करती है। भारत में, लगभग 6.73 मिलियन हेक्टेयर भूमि अलग-अलग स्तर की लवणता और क्षारीयता से प्रभावित है। लवण प्रभावित क्षेत्र का 50 प्रतिशत (3.77 मिलियन हेक्टेयर) से अधिक हिस्सा क्षारीय है। अधिक आरएससी एवं उच्च एसएआर के पानी से सिंचाई के कारण मिट्टी की क्षारीयता का क्षेत्र और बढ़ सकता है। क्षारीय मिट्टी, जिसे 'ऊसर मिट्टी' भी कहा जाता है, इस मिट्टी में विनिमय योग्य एवं मिट्टी के संतृप्त घोल में कैल्शियम (Ca²⁺) और मैग्नीशियम (Mg²⁺) के सापेक्ष सोडियम (Na⁺) का अनुपात अधिक होता है। ऐसी मृदा में ईएसपी (ESP) 15% से अधिक, पीएच > 8.2 और परिवर्तनशील ईसीई होती है तथा मिट्टी में अधिक फैलाव और मृदा रंध्र की कमी के कारण पानी एवं वायु का आदान-प्रदान कम होता है। क्षारीयता के कारण कार्बनिक पदार्थों की अधिक हानि होती है। उच्च क्षारीय जल-विश्लेषण, और Na⁺ की विषाक्त उपस्थिति के साथ Ca²⁺ का CaCO₃ के रूप में परिवर्तित होने से मृदा में विषाक्तता और पोषण संबंधी कमी बढ़ जाती है।



जिप्सम प्रौद्योगिकी के समक्ष चुनौतियाँ

जिप्सम का उपयोग पौधों को पोषक तत्व प्रदान करने, मिट्टी के भौतिक और रासायनिक गुणों में सुधार करने और फसल उत्पादकता बढ़ाने (सीएसएसआरआई विजन 2030) के लिए कृषि में किया जाता रहा है। भारत ने 2022 में अनुमानित 4.3 मिलियन मीट्रिक टन जिप्सम का उत्पादन किया (स्टेटिस्टा, 2023) है। शीर्ष 15 सेमी मिट्टी की परत के सुधार के लिए 12–15 टन प्रति हेक्टेयर जिप्सम (50 प्रतिशत की सामान्य सिफारिश) को ध्यान में रखते हुए, देश को 70 प्रतिशत शुद्धता का 32–45 मिलियन टन से अधिक जिप्सम (खननधउपोत्पाद मूल) की आवश्यकता है। खराब गुणवत्ता के जल से सिंचाई के कारण नए क्षेत्रों में क्षारीयता उत्पन्न होने के साथ जिप्सम आवश्यकता और भी बढ़ सकती है। बढ़ती मांग, खनन से जुड़ी पर्यावरणीय चिंतन और देश में जिप्सम की निम्न गुणवत्ता के कारण क्षारीय भूमि सुधार के लिए नए संशोधन और प्रौद्योगिकी का विकास आवश्यक हो गया है।

पलू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम (एफजीडीजी): वैकल्पिक पुनर्गृहण तत्व

क्षारीय भूमि सुधार कार्यक्रम मृदा विनिमय क्षेत्र से Na⁺ को प्रतिस्थापित करने के लिए कम लागत के Ca²⁺ स्रोत पर निर्भर करता है। अच्छी

गुणवत्ता के जिप्सम (>70 प्रतिशत शुद्धता) की घटती उपलब्धता के कारण क्षारीय भूमि सुधार के लक्ष्यों को पूरा करना एक बड़ी चुनौती है। इसलिए, प्रभावी भूमि सुधार के लिए उपोत्पाद जिप्सम का उपयोग करने के लिए शोध प्रणाली विकसित की गई है।

पलू गैस डिसल्फराइजेशन जिप्सम (एफजीडीजी) कोयले से चलने वाले बिजली उत्पादन संयंत्रों में दहन गैसों (सल्फर डाइऑक्साइड) पर चूने के घोल से स्प्रे करके उप-उत्पाद के रूप में संश्लेषित जिप्सम उत्पन्न होता है (तालिका 1)। यह जिप्सम क्षारीय मिट्टी सुधार के लिए Ca²⁺ का एक उत्कृष्ट स्रोत पाया गया है। इसका कृषि में उपयोग जिप्सम की चक्रीय अर्थव्यवस्था को भी बढ़ावा देगा। वर्तमान में, तीन ताप विद्युत संयंत्र: महात्मा गांधी थर्मल पावर प्रोजेक्ट, हरियाणा, विंध्याचल थर्मल पावर स्टेशन, मध्य प्रदेश और उडुपी पावर प्लांट, तालिका 1. एफजीडी जिप्सम का निरूपण

प्राचल	मात्रक	मान
पीएच (pH _{1:2})		8.77
विद्युत् चालकता (EC _{1:2})	डेसी सिमेंस प्रति मीटर	4.95
कैल्शियम कार्बोनेट नमी की मात्रा	प्रतिशत	15-17.0
शुद्धता		> 90%
कैल्शियम (Ca)	(ग्राम प्रति किलोग्राम)	272.7
मैग्नीशियम (Mg)		8.8
अल्युमीनियम (Al)		1726.7
कोबाल्ट (Co)		1.53
लोहा (Fe)	(मिलीग्राम प्रति किलोग्राम)	2540.0
मैंगनीज (Mn)		71.9
गिल्ट (Ni)		7.1
जस्ता (Zn)		24.3

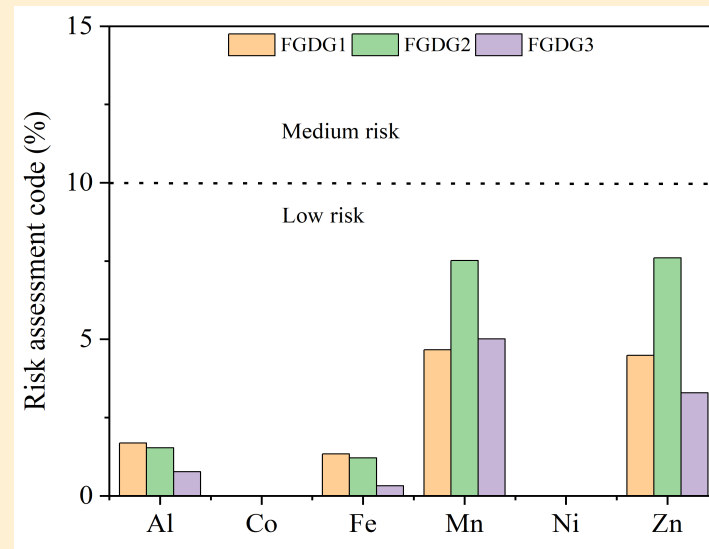
कर्नाटक ने पलू गैस डिसल्फराइजेशन (एफजीडी) प्रणाली स्थापित की है। ताप विद्युत संयंत्रों की सभी 448 इकाइयों में एफजीडी प्रणाली की स्थापना के बाद एफजीडीजी का उत्पादन लगभग 10–14 मिलियन मीट्रिक टन प्रति वर्ष होने की उम्मीद है; https://cpcb.nic.in/uploads/hwmd/Guidelines_HW_5 पीडीएफ, थर्मल पावर प्लांटों में एफजीडी जिप्सम की स्थापना के उप-उत्पाद के रूप में जिप्सम के उपयोग के लिए व्यवहार्यता और स्वीकार्यता पर टास्क फोर्स रिपोर्ट, 2022)।

एफजीडी जिप्सम का इको-टॉक्सिकोलॉजिकल मूल्यांकन

एफजीडी जिप्सम में मौजूद सभी भारी धातुओं मैंगनीज, लोहा, जस्ता का जोखिम मूल्यांकन कोड (आरएसी) विश्लेषण का स्तर 1.2–7.47 तक निम्न पर्यावरण-विषाक्तता को दर्शाता है (चित्र 1)। क्षारीय मृदा सुधार के लिए एफजीडीजी अनुप्रयोग के आधार पर संदूषण कारक की गणना 0.0–0.35 की सीमा में थी, जो एफजीडीजी अनुप्रयोग से कोई हानि नहीं होने का संकेत देती है। मृदा सुधार के लिए एफजीडीजी के प्रयोग के बाद हानिकारक धातु का भू-संचय मान (आईजीओ<1) बहुत निम्न पाया गया (तालिका 2)।

प्रौद्योगिकी का विवरण

क्षारीय मिट्टी के सुधार में Ca²⁺ की आपूर्ति शामिल है, जो विनिमय क्षेत्र



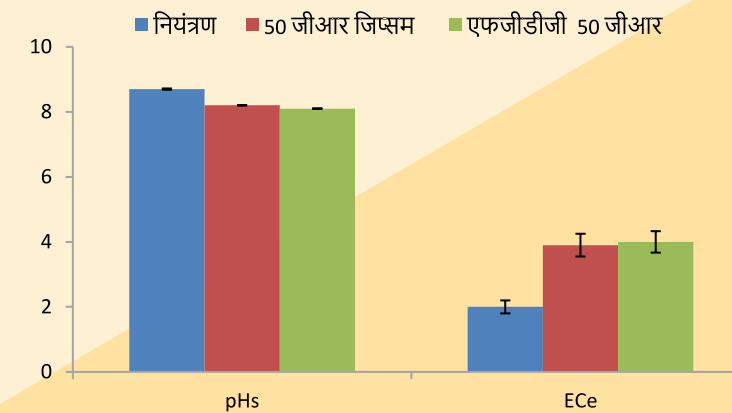
चित्र 1. एफजीडी जिप्सम में भारी धातुओं का जोखिम मूल्यांकन कोड

तालिका 2. एफजीडीजी नमूनों में तत्वों के संदूषण कारक (C_i) और भू-संचय सूचकांक (I_{geo}) मान

तत्व	संदूषण कारक (C _i)	भू-संचय मान (I _{geo})
अल्युमीनियम (Al)	0.0001	-14.1 से -13.8
लोहा (Fe)	0.0003	-12.2 से -12.1
मैंगनीज (Mn)	0.0005–0.0006	-11.5 से -11.4
गिल्ट (Ni)	0.002	-9.9 से -9.9
जस्ता (Zn)	0.33–0.35	-10.0 से -9.9
कोबाल्ट (Co)	0.14–0.17	-11.2 से -11.0

से Na⁺ को प्रतिस्थापित करती है और मिट्टी की क्षारीयता (NaHCO₃/NaHCO₃) को निष्प्रभाव करती है। एफजीडी जिप्सम का उपयोग करके क्षारीय मिट्टी को पुनः सुधारने के लिए निम्नलिखित कार्यप्रणाली का पालन करें:

- लवण प्रभावित क्षेत्रों से 0–15 सेमी गहराई से मिट्टी के नमूने एकत्र कर मृदा परीक्षण प्रयोगशाला से मिट्टी के पीएच और जिप्सम की आवश्यकता का परीक्षण करें।
- भूमि सुधार प्रक्रिया के दौरान मृदा में उपस्थित लवणों के उचित निष्कासन के लिए खेत के चारों ओर मजबूत मेड़ बनाते हुए भूखंड को उचित रूप से समतल करें। सिंचाई और जल निकासी प्रणालियों के साथ खेत के लेआउट की तैयारी गर्मियों की शुरुआत से पहले पूरी की जानी चाहिए।
- 50 प्रतिशत जिप्सम आवश्यकता के अनुसार एफजीडी जिप्सम की वास्तविक मात्रा का आकलन परीक्षण प्रयोगशाला द्वारा सुझाई गई शुद्धता कारक (लगभग 0.90–0.95) के अनुसार किया जाता है।
- एफजीडी जिप्सम को 7 सेमी ऊपरी मिट्टी की परत के भीतर अच्छी तरह मिश्रित करके समान रूप से खेत में फैलाया जाता है, इसके बाद मिट्टी विनिमय स्थलों पर आयनिक प्रतिक्रियाओं के लिए 15–20 दिनों के लिए खेत की सिंचाई की जाती है और Na⁺ निचली गहराई में जाने से मिट्टी के पीएच में कमी आती है और मिट्टी के भौतिक-रासायनिक गुणों में सुधार होता है (चित्र 2)।



चित्र 2. एफजीडी जिप्सम अनुप्रयोग के बाद मृदा पीएचएस और ईसीई (डेसीसीमेंस प्रति मीटर) में परिवर्तन

तालिका 3. क्षारीयता सहनशील प्रजातियाँ

फसल	प्रजातियाँ
धान	सीएसआर 30, सीएसआर 36, सीएसआर 56
गेहूँ	केआरएल 19, केआरएल 210, केआरएल 213
सरसों	सीएस 52, सीएस 54, सीएस 56
चना	करनाल चना 1
ढेंचा	सीएसडी 123, सीएसडी 137

- इसके बाद खेत में धान की लवण सहनशील प्रजाति (सीएसआर-36 या सीएसआर-56) का रोपण किया जाता है। धान की 3–4 सप्ताह की पौध को कददूकस खेत में रोपित किया जाता है, जिसमें प्रत्येक हिल में 3 से 4 पौधे, एक दूसरी हिल से 15 से 20 सेंमी. की दूरी रखनी चाहिए। जलमग्न अवस्था में प्रथम माह के दौरान फसल वृद्धि पर नजर रखी जाती है, तत्पश्चात् सामान्य फसल प्रबंधन क्रियाएं अपनायी जाती है।
- सुधार प्रक्रिया के दौरान बेहतर उपज के लिए रबी के मौसम में गेहूँ या बरसीम की अनुशासित किस्मों को उगाना चाहिए (तालिका 3)। 3–4 वर्षों के बाद सामान्य फसल ली जा सकती है।
- इन मिट्टी में कार्बनिक पदार्थ और नाइट्रोजन की आपूर्ति के लिए गर्मियों के दौरान लवण-सहिष्णु ढेंचा की हरी खाद उगाई जानी चाहिए।
- रबी मौसम की फसल में प्रारंभिक स्थापना चरण के दौरान जलभराव के कारण फसल के पीलेपन से बचने के लिए हल्की सिंचाई करनी चाहिए।
- पोषक तत्वों की कमी के कारण होने वाले तनाव से बचने के लिए उचित पोषक तत्व प्रबंधन कार्यक्रम का पालन किया जाना चाहिए (तालिका 4)।

क्षारीय मिट्टी में एफजीडी जिप्सम की अनुक्रिया

50 प्रतिशत जीआर के समतुल्य आधार पर एफजीडी जिप्सम का उपयोग करके विभिन्न मिट्टी पारिस्थितिकी में क्षारीय मिट्टी का सुधार