

मृदा संघनन मापने के उपकरण- तकनीकें, प्रगति और अनुप्रयोग



अभिशेक पटेल¹ विशाल बेक्टर² दिलवर सिंह परिहार³ अमित कुमार⁴
 1आईसीएआर— केंद्रीय कृषि अभियांत्रिकी संस्थान, मोपाल
 2,3एफएमपीई विभाग, पंजाब कृषि विश्वविद्यालय, लुधियाना
 4पीएचडी स्कॉलर, एफएमपीई विभाग, केसीआईटी, केरल कृषि विश्वविद्यालय, केरल
 अनुरूप लेखक: abhishekatpatel2910@gmail.com

सार

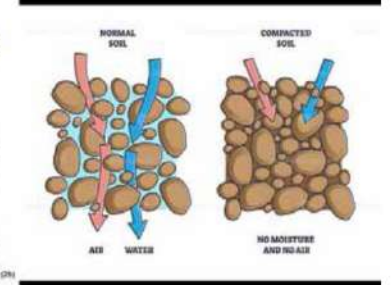
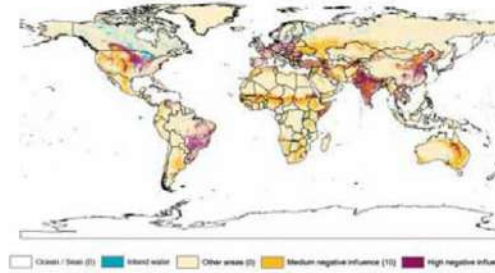
खेती और जमीन की देखभाल में मिट्टी का संघनन एक बड़ी समस्या है। यह वास्तव में मृदा स्वास्थ्य को प्रभावित करके अच्छी फसल और पर्यावरण की देखभाल सुनिश्चित करता है। इस समीक्षा पत्र का उद्देश्य मृदा संघनन से संबंधित कारणों, प्रभावों और शमन रणनीतियों का गहन विश्लेषण प्रदान करना है। यह उपलब्ध साहित्य का संश्लेषण करता है और आधुनिक कृषि में इस गंभीर चुनौती के समाधान के महत्व पर प्रकाश डालता है। स्थानिक रूप से परिवर्तनशील मृदा संघनन प्रायः कई क्षेत्रों में अरसंगत विकास स्थितियों का कारण बनता है। संघनन से संबंधित कुछ राज्य और व्यावहारिक गुणों (जैसे, मिट्टी की ताकत, जल सामग्री, वायु पारगम्यता) के भू-संदर्भित मानचित्र प्राप्त करने के लिए विभिन्न मृदा संघनन सेंसर सिस्टम स्थापित किए गए हैं। यह प्रकाशन विभिन्न प्रोटोटाइप सेंसरों को वर्गीकृत करता है, और मृदा यांत्रिकी के दृष्टिकोण से वैकल्पिक माप अवधारणाओं की समीक्षा करता है। अधिकांश चर्चा लुनिया भर में विकसित विविध मृदा शक्ति सेंसरों को समर्पित है। अनुवर्ती विश्लेषण के माध्यम से, स्थानीय संघनन घटनाओं के साइट-विशिष्ट नियंत्रण को लागू करते हुए, मिट्टी संघनन सेंसर प्रणालियों की भविष्य की प्रयोज्यता में सुधार करने में सक्षम विकल्प के रूप में सेंसर संलयन की अवधारणा पर बल दिया गया है। इसमें मिट्टी प्रतिरोध, शंकु कोण और प्रवेश प्रतिरोध, प्रवेश प्रतिरोध और जड़ वृद्धि पर एसपीआर का प्रभाव भी शामिल था।

परिचय

भारत में, कुल भौगोलिक क्षेत्र 329 एमएचए है, सकल फसल क्षेत्र 198.9 एमएचए है और फसल तीव्रता 140.5 प्रतिशत है। जिसमें से 141.6 एमएचए शुद्ध बोया गया क्षेत्र है। शुद्ध सिंचित क्षेत्र 63.6 एमएचए है। पंजाब का कुल भौगोलिक क्षेत्रफल 5.03 मिलियन हेक्टेयर है

जिसमें से 4.1 मिलियन हेक्टेयर क्षेत्र में खेती होती है (पटेल एवं अन्य, 2023)। सकल फसल क्षेत्र 7.9 मिलियन हेक्टेयर है और फसल सघनता 204 प्रतिशत है। पंजाब का शुद्ध सिंचित क्षेत्र 4.07 मिलियन हेक्टेयर (अप्रैल 2019) है। सघन खेती उच्च फसल गहनता प्राप्त करने का मुख्य कारण है। चित्र 1 ए से

यह पता चला कि विश्व मानचित्र पर संघनन के विभिन्न स्तर दिखाई देते हैं। वहीं भारत भी मृदा संघनन से अत्यधिक प्रभावित है। मिट्टी का संघनन संरक्षा को कम करके, हवा, पानी, पोषक तत्वों की आवाजाही और जड़ प्रवेश में बाधा उत्पन्न करके मिट्टी की उत्पादन क्षमता को काफी कमजोर कर सकता है (किंराच एवं



चित्र 1. एन-वमें मिट्टी के संघनन को स्थिति, और बी) संकुचित और गैर-संकुचित मिट्टी पर मिट्टी के कणों की व्यवस्था

अन्य 2007) (चित्र 1वी)।

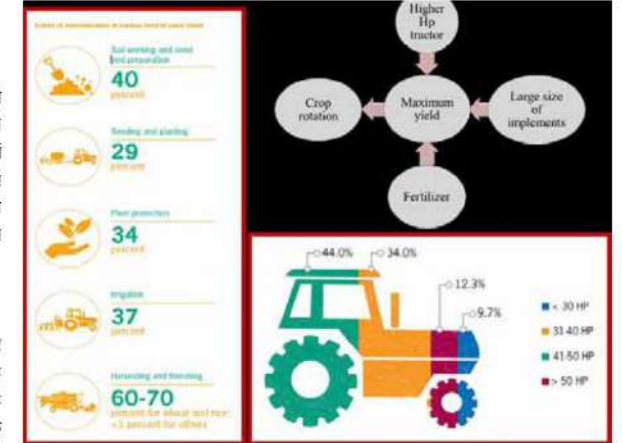
मृदा संघनन के कारण:

मिट्टी के संघनन के कारण और बीज बोने से लेकर फसल की कटाई तक सम्मिलित विभिन्न क्षेत्र संचालन प्रथाओं का प्रतिशत चित्र 2 में प्रस्तुत है। जबकि किसानों द्वारा ट्रैक्टर हॉर्स पावर के अलग-अलग प्रतिशत को अपनाने से मशीनरी का भारी वजन होता है जो मिट्टी संघनन की समस्या पैदा करता है।

मृदा संघनन को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारक

आम तौर पर, मिट्टी के शीर्ष 24 इंच के भीतर संघनन एक समस्या है (मकैल 2004)। सतह "हल परत" में होने वाले संघनन को सतह संघनन कहा जाता है, जबकि हल परत के नीचे की सतह भार के परिणाम स्वरूप होने वाले संघनन को उपमृदा संघनन (रिड्डी 2016) कहा जाता है। कई वर्षों तक विशेष रूप से एल-ब्लेड वाले रोटरी हलों के अत्यधिक और लंबे समय तक उपयोग से मिट्टी संकुचित हो गई और ऊपरी मिट्टी में कठोर पैन का निर्माण हुआ, जो फसल की वृद्धि और उत्पादन को प्रभावित करता है (सिंह एवं अन्य, 2015)। मृदा संघनन वह प्रक्रिया है, जिसके माध्यम से मिट्टी के कणों के मध्य रिक्त स्थान को कम और एक-दूसरे के निकट संपर्क में पुनः व्यवस्थित हो जाते हैं, जिससे शोक घनत्व बढ़ जाता है।

गैर-शहरीकृत वातावरण में पांच प्रकार के मिट्टी



चित्र 2: मिट्टी के संघनन के विभिन्न कारण

संघनन की पहचान की गई है (सूर 2006) (1) सतह से नीचे की ओर सामान्य संघनन बाहरी मार के कारण, मिट्टी का ढहना, संरचनात्मक रूप से अस्थिर मिट्टी में कठोर संदृष्टि (2) एक निश्चित गहराई पर सीमित संकुचित परतें, जो उपकरणों द्वारा और उनकी कार्यशील गहराई के नीचे टायरों द्वारा बनती हैं (3) अत्यधिक सतह भार द्वारा लगाए गए तनाव से उप-मिट्टी का एक-दूसरे के निकट संपर्क में पुनः व्यवस्थित हो जाते हैं, जिससे शोक घनत्व बढ़ जाता है।

मृदा संघनन निर्धारित करने की विधियाँ

संघनन का पता लगाने के मात्रात्मक विधियों में व्यावसायिक रूप से उपलब्ध शंकु पेनेट्रोमीटर के साथ प्रवेश प्रतिरोध को मापना और अन्य विधियों से मिट्टी के थोक घनत्व द्वारा मापा जाता है। मिट्टी संघनन माप के लिए उपयोग किए जाने वाले विभिन्न प्रकार के शंकु पेनेट्रोमीटर चित्र 5 में दिखाए गए हैं। इनमें रिग-प्रकार के पेनेट्रोमीटर, स्थान ट्रेकिंग और स्क्रीन पर ग्राफिकल प्रतिनिधित्व के लिए जीपीएस से लैस हाथ से संचालित डिजिटल पेनेट्रोमीटर और ट्रैक्टर हाइड्रोलिक-संचालित मिट्टी शंकु सम्मिलित है। मृदा डेटा की वास्तविक समय निष्पत्ति और एक व्यापक भू-स्थानिक मानचित्र

के विकास के लिए पेनेट्रोमीटर को एक कंप्यूटर प्रणाली के साथ एकीकृत किया गया है।

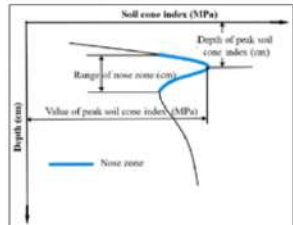
विभिन्न माप उपकरण और उनके मानक अमेरिकन सोसायटी अफ एग्रिकल्चरल एंड बायोलॉजिकल इंजीनियर्स (एएसएई 2006)

1. नरम मिट्टी के लिए शंकु का आधार क्षेत्रफल 323 मिमी², 20.27 मिमी आधार व्यास और 15.88 मिमी जांच यंत्रव्यास
2. कठोर मिट्टी के लिए शंकु का आधार क्षेत्रफल 130 मिमी², 12.83 मिमी आधार व्यास और 19.53 मिमी जांच यंत्रव्यास

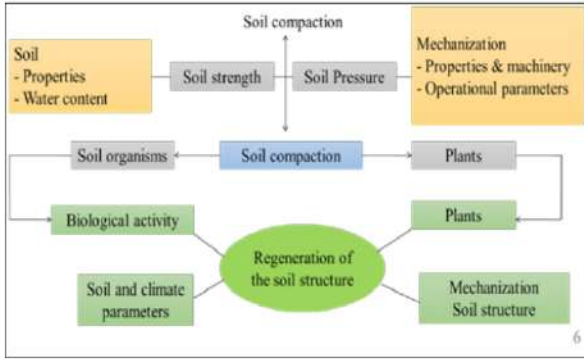
कोन (शंकु) पेनेट्रोमीटर

पेनेट्रोमीटर नामक उपकरण एस्पिआर मूल्यों का ऑकलन करने के लिए एक उपयुक्त उपाय है। एक पेनेट्रोमीटर में एक शंकु टिप (लोबी और मॉरिसन 2002) के साथ एक रॉड या शाफ्ट होती है। आम तौर पर, मिट्टी के शीर्ष 24 इंच के भीतर संचनन एक समस्या है। संचनन का पता लगाने के मातात्मक विधियों में व्यावसायिक रूप से उपलब्ध शंकु पेनेट्रोमीटर के साथ प्रवेश प्रतिरोध को मापना और अन्य विधियों में मिट्टी के थोक घनत्व को मापा जाता है (हनबासम 2004)।

कई शोधकर्ताओं ने विभिन्न जटिल डिजाइन अकारणाओं द्वारा पेनेट्रोमीटर के उपयोग को सरल बनाने का प्रयास किया है। एंडरसन एट अल. (1980), ने डिजिटल डेटा रिकॉर्डिंग सिस्टम के साथ हाथ से धकेंलने वाला पेनेट्रोमीटर बनाया। हुक और जेसन (1986) ने हाइड्रोलिक सिलेडर के साथ रिकॉर्डिंग कोन पेनेट्रोमीटर विकसित



चित्र 4: मिट्टी के शंकु सूचकांक का पैठन बनाम मिट्टी की गहराई



चित्र 3: मृदा संचनन को प्रभावित करने वाले कारक

किया। ट्रैक्टर चालित मृदा शंकु पेनेट्रोमीटर (एएससीपी) पर विभिन्न संशोधन चित्र 6 में प्रस्तुत किए गए हैं जैसे कि ए) मल्टी रो पेनेट्रोमीटर, बी) एससीपी शियरोमीटर, सी) ट्रैक्टर के हिच पर स्थापित हाइड्रॉलिक से संचालित पेनेट्रोमीटर, और डी) डीजेल पेनेट्रोमीटर चलते-फिरते मिट्टी का प्रतिरोध मापने के लिए।

हथ से संचालित मैन्युअल कोन पेनेट्रोमीटर

ऑफ-रोड वाहन गतिशीलता का मूल्यांकन करने के लिए एक शंकु पेनेट्रोमीटर विकसित किया गया है। प्रवेश द्वार में 30 के शीर्ष कोण और 1.61 सेमी² के आधार क्षेत्र के साथ एक गोलाकार शंकु को 0.95 सेमी व्यास के 91.4 सेमी लंबे ग्रेजुएटेड शाफ्ट पर लगाया गया था। प्रवेश प्रतिरोध को इंगित करने के लिए डायल गेज के साथ एक प्रोविंग रिग और शाफ्ट के शीर्ष पर एक हैंडल लगाया गया था। (ओकेंलो 1991)।

हथ से संचालित रिकॉर्डिंग कोन पेनेट्रोमीटर

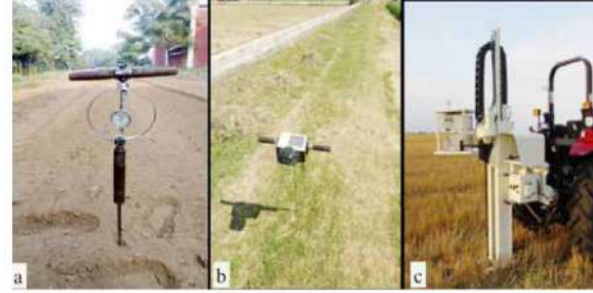
प्रथेरे एवं अन्य (1970) ने एक इलेक्ट्रॉनिक हाथ से संचालित रिकॉर्डिंग पेनेट्रोमीटर विकसित किया था। 0.2-इंच वर्गाकार आधार क्षेत्र और 30-डिग्री टिप वाले एक शंकु का उपयोग किया गया था। बल को मापने के लिए, शंकु और शाफ्ट को एक लोड सेल से जोड़ा गया था, जो हैंडल से जुड़े एक मजबूत हाउसिंग में

लगाया गया था। बल को एक अनबाउंड स्ट्रेन गेज लोड सेल द्वारा मापा गया था, जो कि पेनेट्रोमीटर हैंडल से सम्बद्ध शंकु पर लगाए गए बल के समानुपाती था। रिकॉर्डिंग के लिए मूलभूत दो बार X-Y रिकॉर्डर का उपयोग किया गया।

कुमार व अन्य (2012) ने बिना जुताई और पारंपरिक जुताई में मिट्टी की बनावट, नमी की मात्रा और थोक घनत्व के संबंध में मृदा शंकु सूचकांक का अध्ययन किया और उन्होंने पाया कि सीआई मिट्टी की गहराई, सरचना सम्बन्धी मापदंडों, थोक घनत्व के साथ निम्न होता है। नमी की मात्रा, परिणामों से पता चला कि बिना जुताई और पारंपरिक जुताई दोनों के लिए, सीआई का मान मिट्टी के अंश में वृद्धि के साथ घटता है, और मिट्टी के रेत और गाद अंश में वृद्धि के साथ बढ़ता है। इसी प्रकार, उच्च थोक घनत्व भी मिट्टी की गहराई के साथ उच्च सीआई अधिक मूल्य प्राप्त होता है, जबकि उच्च नमी सीआई को कम करती है।

ट्रैक्टर चालित शंकु पेनेट्रोमीटर

रेपर एव अन्य (2001) ने मोटे तौर पर और कुशलतापूर्वक पंक्ति में मिट्टी प्रोफाइल की ताकत का पता लगाने के लिए एक ट्रैक्टर माउंटेड मल्टीपल प्रोब सायल कोन पेनेट्रोमीटर (एमपीएससीपी) विकसित किया। शंकु



चित्र 5: पेनेट्रोमीटर प्रकार ए) रिंग प्रकार, बी) मलहको नियंत्रक प्रकार और सी) ट्रैक्टर संचालित मृदा शंकु पेनेट्रोमीटर

पेनेट्रोमीटर जांच टिप और शाफ्ट को एएसएई मानक के अनुसार डिजाइन किया गया था। इसे हाइड्रॉलिक रूप से विनियमित किया गया और 1.2 मीटर तक की पंक्ति रिकॉर्ड में संचलन किया गया, शंकु सूचकांक को खोजने के लिए उन्हेने पंक्ति में पांच जांचे की। शंकु सूचकांक को प्रत्येक लोड सेल द्वारा मापा गया था और इसकी अधिकतम क्षमता मिट्टी के कठोर भागलगभग 7 एमपीए पाई गयी।

टेकिन एवं अन्य (2008) ने 3डी मैपिंग और मिट्टी संचनन की सेंसिंग के लिए एक अध्ययन किया। उनके अध्ययन का मुख्य उद्देश्य मिट्टी की विभिन्न गहराई औरसोटाई के लिए 2डी/3डी मृदा संचनन मानचित्र विकसित करना था। कृषि ट्रैक्टर में, पेनेट्रोमीटर को तीन-बिंदु हिच प्रणाली की सहायता से लगाया गया था। अध्ययन में प्रयुक्त पेनेट्रोमीटर का शंकु टिप कोण 30 है और शंक्वाकार आधार व्यास 2.54 मिमी है। सम्मिलन दर 30 मिमी प्रति सेकेंड थी और इसमें 500 किलोग्राम लोड सेल का उपयोग किया गयाथा।

टोपकी एवं अन्य (2010) ने एक अध्ययन किया जो एक पेनेट्रोमीटर के डिजाइन पर केंद्रित था। येजीपीएस (ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम) आधारित डेटा अधिग्रहण सॉफ्टवेयर की सहायता से सेंसिटीव मिट्टी के प्रतिरोध को तुरंत माप सकता है। शंकु टिप का कोण 30 है और यह लोड सेल के साथ जांच से जुड़ा हुआ है। डिजाइन किए गए शंक्वाकार आकार के टिप का सतह

क्षेत्र 706.5 मिमी² है। एस टाइप लोड सेल के साथ एकीकृत पेनेट्रोमीटर प्रणाली का कुल वजन 310 किलोग्राम था।

शंकु कोण और प्रवेश प्रतिरोध के बीच संबंध

कृषि में एस्पिआर मान प्राप्त करने के लिए उपयोग किए जाने वाले पेनेट्रोमीटर में अलग-अलग शंकु कोण होते हैं, जो आमतौर पर 300 से 600 तक हो सकते हैं। पेनेट्रोमीटर के उपयोग के लिए एएसएई ने शंकु कोण 300 कामानक निर्धारित किया है। यह मानकीकरण इस तथ्य के कारण है कि एस्पिआर मान शंकु कोण पर निर्भर करते हैं (ब्रिटफोर्ड 1986)। इस लेखक का कहना है कि 300 के शंकु कोण बढ़े या निचले कोणों के संबंध में न्यूनतम एस्पिआर मान निर्धारित करते हैं। हालाँकि, छोटे व्यास (लगभग 4 मिमी) से जुड़े 600 के शंकु कोणों से प्राप्त रीडिंग ने पौधे की जड़ वृद्धि (सेराफिम एवं अन्य 2008) के साथ बेहतर सहसंबंध प्रदर्शित किया है।

जड़ वृद्धि और प्रवेश प्रतिरोध के बीच संबंध

एस्पिआर, वातन, तापमान और जल सामग्री मिट्टी के भौतिक कारक हैं जो सीधे फसल की वृद्धि, विकास और उपज को प्रभावित करते हैं। एस्पिआर मूल्य सीधे पौधे की जड़ के विकास को प्रभावित करते हैं, जब एस्पिआर मान 2 एमपीए (कॉलारेस एवं अन्य 2006) तक पहुँचता है तो मिट्टी की पानी की मात्रा को संदर्भ के रूप में उपयोग किया जाता है। हालाँकि,

जड़ वृद्धि के लिए एस्पिआर सीमित मूल्यों में अंतर है, क्योंकि वे अध्ययन की गई पौधों की प्रजातियों पर निर्भर करते हैं। कपास की फसल के लिए, जब एस्पिआर मान 3.5 एमपीए (सेक एट अल 2003) तक पहुँच गया तो जड़ की वृद्धि प्रतिबंधित हो गई। बीन्स के लिए, यह प्रतिबंध 3 एमपीए (कैसर एवं अन्य, 2009) के निकट एस्पिआर मूल्यों पर हुआ। सोयाबीन के पौधों की वृद्धि भी प्रभावित हुई, जब वॉ आहारित और सिंचित दोनों प्रणालियों में एस्पिआर मान 1.30 और 1.64 एमपीए (ब्यूटलर एवं अन्य, 2007) के बीच रहा।

मृदा संचनन के कारण:

1. भारी मशीनरी: कृषि क्षेत्रों पर ट्रैक्टर, कंबाइन और हार्वेस्टर जैसी भारी मशीनरी का संचालन मिट्टी पर पर्याप्त दबाव डाल सकता है, जिससे संचनन हो सकता है। अनुचित टायर मुद्रास्फीति, अत्यधिक भारी पहिया, और एक ही क्षेत्र से बार-बार गुजरना संचनन को बढ़ा सकता है।
2. अत्यधिक चराई: चरागाह भूमि पर पशुओं द्वारा लगातार चराई मिट्टी के संचनन में योगदान कर सकती है। लगातार रौंदने और खुरों के प्रभाव के परिणामस्वरूप मिट्टी के कण दब जाते हैं, छिद्रों की जगह कम हो जाती है और मिट्टी के आवश्यक कार्यों में बाधा आती है।
3. प्राकृतिक कारक: भारी वर्षा जैसी प्राकृतिक घटनाएँ, जिसके कारण जलभराव की स्थिति पैदा होती है, और जमने और पिघलने के चक्र से मिट्टी के कणों के साथ अधिक निकटता से पुनर्व्यवस्थित हो जाते हैं जो मिट्टी के संचनन में योगदान कर सकते हैं।
4. अनुपयुक्त टायर मुद्रास्फीति: गलत टायर मुद्रास्फीति मिट्टी संचनन में महत्वपूर्ण योगदान दे सकती है। कम फुलाए गए टायर एक छोटे सतह क्षेत्र पर वजन केंद्रित करते हैं, जिससे मिट्टी का दबाव और संचनन बढ़ता है। दूसरी ओर, अत्यधिक फुलाए गए टायर टायर की झटके और कपन को अवशोषित करने की क्षमता को कम कर देते हैं, जिससे मिट्टी में अधि

क बल संयारित होता है।

मृदा संघनन के प्रभाव

मृदा संघनन मृदा स्वास्थ्य, खेती और पर्यावरण के लिए समस्यारूप उत्पन्न करता है। इसके द्वारा लाए गए कुछ मुख्य विषय यहाँ दिए गए हैं:

1. जड़ों का विकास सघन मिट्टी से पौधों की जड़ों का गहराई तक बढ़ना कठिन हो जाता है। इसका अर्थ है कि पौधों को पर्याप्त पानी, पोषक तत्व और हवा नहीं मिल पाती है, जिससे उनकी वृद्धि कम हो जाती है।

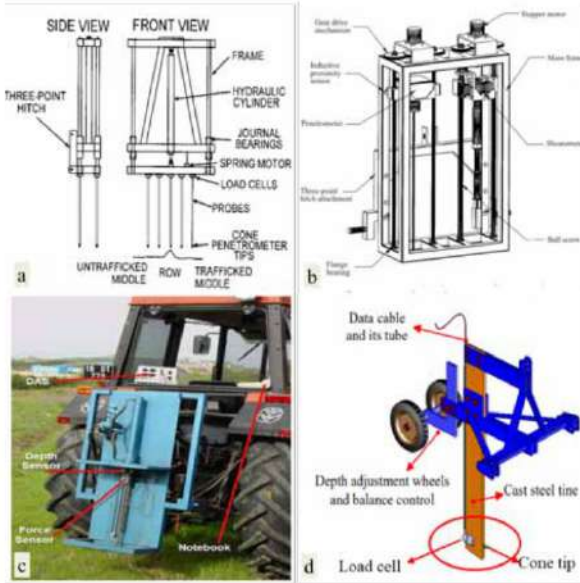
2. मिट्टी की सख्ता में कमी: संकुचित मिट्टी पानी को अच्छी तरह से धारण नहीं कर पाती है। इससे बहुत अधिक बारिश होने पर बाढ़ आ जाती है और कटाव हो जाता है। इससे मिट्टी का क्षरण भी होता है।

3. मिट्टी की टूटन: सघन मिट्टी के निर्माण के तरीके को तोड़ देता है, जिससे यह उखड़ जाती है। यह पानी को सोखने से रोकता है और उसके प्रवाह को बढ़ाता है।

4. मिट्टी का वातन में कमी: संकुचित मिट्टी में कणों के बीच जगह कम हो जाती है, जिससे हवा अंदर नहीं जा पाती। यह मिट्टी में रहने वाले जीवों और पौधों की जड़ों के लिए बुरा है, क्योंकि उन्हें स्वस्थ रहने के लिए हवा की आवश्यकता होती है।

5. मिट्टी का बहाव: जमी हुई मिट्टी पानी द्वारा आसानी से बह जाती है। इसका मतलब यह है कि हम मिट्टी की ऊपरी परत केसाथ-साथ पोषक तत्वों और पौधों को बढ़ने में सहायक महत्वपूर्ण सामग्री की भी खो देते हैं।

6. पोषक तत्वों का असंतुलन: सघन मिट्टी में पोषक तत्वों के संतुलन को अस्त-व्यस्त कर देता है। इससे पौधों के लिए भूमि से आवश्यक भोजन प्राप्त करना कठिन हो जाता है और उनका विकास बाधित और उत्पादन कम हो जाता है।



चित्र 6: ट्रैक्टर चालित मृदा-संकुचन के विभिन्न संयोजन

- 7. जलभराव: सघन मिट्टी अच्छी तरह से जल निकास नहीं कर पाती है, इसलिए यह गीली स्पंज की तरह हो जाती है। इससे पौधों की जड़ें न ट होती हैं वे बीमार हो जाते हैं और
- 8. मिट्टी की जैविक गतिविधि में गिरावट: संकुचित मिट्टी में सहायक कीटों और छोटे



चित्र 7: मिट्टी के संघनन के कारण होने वाले प्रभावों का दृश्य। (a) मिट्टी के संघनन के लिए ट्रैक्टर का उपयोग। (b) संघनित मिट्टी में पशु चराने का दृश्य। (c) संघनित मिट्टी में फसल की पंक्तियाँ। (d) ट्रैक्टर पर संयोजित मिट्टी संवेदनकर्ता का दृश्य।

जीवों के लिए जगह नहीं मिलती है। ये जीव मिट्टी को स्वस्थ रखने के लिए महत्वपूर्ण हैं, इसलिए उनकी अनुपस्थिति पौधों के विकास को प्रभावित करती है।

भविष्य की दिशाएँ और अनुसंधान आवश्यकताएँ

मिट्टी के भौतिक गुणों और सघनन से उनके संबंध की जाँच से मृदा सघनन तंत्र को बेहतर समझाविकसित करना। विभिन्न प्रकार की मिट्टी और गहराई पर सघनन प्रक्रियाओं की विशेषताएँ का अध्ययन। मिट्टी की संरचना और कार्यप्रणाली पर सघनन के प्रभाव का आँकलन। गैर-विनाशकारी और वास्तविक समय मिट्टी

सघनन निरीक्षण जैसी नवीन माप तकनीकों का विकास। रिमोट सेंसिंग, भू-स्थानिक प्रौद्योगिकियों और सेंसर नेटवर्क का एकीकरण तथासटीक और कुशल सघनन मूल्यांकन के लिए उभरती प्रौद्योगिकियों की खोज।

निष्कर्ष

यह पत्र मृदा सघनन का गहन विश्लेषण प्रस्तुत करता है, जिसमें इसके स्रोत, प्रभाव, मूल्यांकन विधियाँ और शमन उपाय सम्मिलित हैं। मिट्टी के स्वास्थ्य को बनाए रखने और दीर्घकालिक उत्पादकता सुनिश्चित करने के लिए और टिकाऊ कृषि पद्धतियों को लागू करने सघनन के संकट को कम करनेके महत्व पर

बल देता है। इस रिपोर्ट का उद्देश्य इस विशय के बारे में जागरूकता और ज्ञान बढ़ाकर कृषि प्रणालियों और पर्यावरण पर मिट्टी के सघनन के हानिकारक प्रभावों को कम करना तथा व्यावहारिक उपायों विकसित करना है। विभिन्न अध्ययनों के आधार पर यह निष्कर्ष निकाला गया कि 30 मिमी/सेकेंड सम्मिलन गति और 300 शंबवाकार कोण कृषि मिट्टी में मृदा सघनन निर्धारण के लिए सबसे उपयुक्त है। यह लेख मृदा यांत्रिकी के परिष्कृत से वैकल्पिक माप अवधारणाओं की पड़ताल करता है और विभिन्न प्रोटोटाइप सेंसरों को वर्गीकृत करता है। अग्रिम काश घर्षा केकेन्द में विश्व स्तर पर निर्मित मृदा शक्ति सेंसरों का एक विविध परिवार है।

सन्दर्भ:

Anderson, G., Pidgeon, J. D., Spencer, H. B., & Parks, R. (1980). A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *Journal of soil science*, 31(2), 279-296.

Anonymous. (2019) *Handbook of Agriculture 2019*. Punjab Agriculture University, Ludhiana, India.

ASABE (2006a) American society of agricultural and biological engineers. Soil cone penetrometer. Saint Joseph, pp 902-04.

ASABE (2006b). S358. 2n 'moisture measurementn' forages. ASABE Standards, 608, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI.

Beutler A N, Centurion J F and Silva A P (2007) Comparison of plentimeters in the evaluation of the compaction of Oxisols. *Agri Eng Jaboticabal* 27: 146-51.

Carrara, M., Castrignano, A., Comparetti, A., Febo, P., & Orlando, S. (2007). Mapping of penetrometer resistance in relation to tractor traffic using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 142(3-4), 294-307.

Collares, G. L., Reinert, D. J., Reichert, J. M., & Kaiser, D. R. (2006). Soil physical quality on black beans yield in an Alfisol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 1663-1674.

Kaiser D R, Reinert D J, Reichert J M, Collares G L and Kunz M (2009) Optimum water range in the profile explored by bean roots in an Oxisol under different levels of compaction. *Braz J Soil Sci* 33: 845-55.

Kumar V (2012) *Design and development of tractor operated soil cone penetrometer*. M Tech Thesis Indian Institute of Technology Kharagpur, Deptt. of Agricultural and Food Engg.

Muckel G B (2004) Understanding soil risks and hazards using soil survey to identify areas with risks and hazards to human life and property USDA, pp 1-96.

Okello, A. (1991). A review of soil strength measurement techniques for prediction of terrain vehicle performance. *Journal of agricultural engineering research*, 50, 129-155.

Patel, A., Bector, V., Singh, M., Singh, S. K., & Singh, D. (2023) Characterizing of sandy loam soil electrical conductivity and cone Index relationship at varying depths in Punjab region. *International Journal of Environment and Climate Change* 13(9) 2323-2331

Prather, O. C., Hendrick, J. G., & Schafer, R. L. (1970). An electronic hand-operated recording penetrometer. *Transactions of the ASAE*, 13(3), 385-0386.

Raper R L, Washington B H and Jarrell J D (2001) A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer *ASAE* 15: 287-90.

Reddy, P. P. (2016). *Sustainable intensification of crop production* (pp. 143-154). Singapore: Springer.

Roque C G, Centurion J F, Alencar G V, Beutler A N, Pereira G T and Andrioli I (2003) Comparison of two penetrometers in the evaluation of resistance to penetration of a Red Latosol under different uses. *Acta Scientiarum Agronomy* 25: 53-57.

Serafim M E, Vitorino A C T, Souza C M A, Prado E D, Venturin J C and Yamamoto N T (2008) Development of an electro mechanical bench penetrometer. *J Agri Sci* 17: 61-65.

Singh, H., Singh, K., Singh, M., Bector, V., & Sharma, K. (2015). Field evaluation of tractor mounted soil sensor for measurement of electrical conductivity and soil insertion/compaction force.

Spoor, G. (2006). Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management*, 22(2), 113-122.

Tekin, Y., Kul, B., & Okursoy, R. (2008). Sensing and 3D mapping of soil compaction. *Sensors*, 8(5), 3447-3459.

Topacki, M., Unal, I., Canakci, M., Celik, H. K., & Karayel, D. (2010). Design of a horizontal penetrometer for measuring on-the-go soil resistance. *Sensors*, 10(10), 9337-9348.