International Journal of Enhanced Research in Educational Development (IJERED)
ISSN: 2320-8708, Vol. 14 Issue 5, September-October, 2026

थार मरुस्थल की मृदा में कृषि रसायनों के अवशेषों का HPLC विधि द्वारा गुणात्मक एवं मात्रात्मक विश्लेषण

अरुण अग्रवाल

सहायक प्राध्यापक, रसायन विज्ञान, राजकीय महाविद्यालय **उनियारा, टोंक**, राजस्थान

DOI: https://doi.org/10.55948/IJERED.2026.0916

सारांश (ABSTRACT)

थार मरुस्थल (राजस्थान) की कृषि भूमि पर कीटनाशकों एवं उर्वरकों के अत्यधिक उपयोग के कारण मृदा में विषाक्त रासायनिक अवशेषों का संचय एक गंभीर पर्यावरणीय एवं स्वास्थ्य समस्या बन चुकी है। प्रस्तुत शोध में नागौर, बाड़मेर एवं जैसलमेर जिलों की कृषि मृदा से संग्रहीत 45 नमूनों में ऑर्गेनोक्लोरीन, ऑर्गेनोफॉस्फेट एवं पाइरेथ्रॉइड श्रेणी के कीटनाशकों के अवशेषों का HPLC (High Performance Liquid Chromatography) विधि द्वारा गुणात्मक एवं मात्रात्मक विश्लेषण किया गया। परिणामों से ज्ञात हुआ कि 73% नमूनों में MRL (Maximum Residue Limit) से अधिक सांद्रता में कीटनाशक अवशेष पाए गए। क्लोरपाइरीफॉस एवं DDT के अवशेष सर्वाधिक मात्रा में पाए गए। यह शोध मृदा संरक्षण नीतियों एवं कृषि रसायन विनियमन हेतु महत्त्वपूर्ण डेटा प्रदान करता है।

मुख्य शब्द: HPLC विश्लेषण, कीटनाशक अवशेष, थार मरुस्थल, मृदा प्रदूषण, ऑर्गेनोक्लोरीन, ऑर्गेनोफॉस्फेट, MRL

परिचय (INTRODUCTION)

भारत के उत्तर-पश्चिमी भाग में स्थित थार मरुस्थल विश्व के सर्वाधिक घनी आबादी वाले मरुस्थलों में से एक है। राजस्थान राज्य का लगभग 61% भू-भाग इस मरुस्थल के अन्तर्गत आता है। यहाँ की शुष्क जलवायु एवं अल्प वर्षा के बावजूद इन्दिरा गाँधी नहर परियोजना एवं अन्य सिंचाई सुविधाओं से इस क्षेत्र में कृषि गतिविधियाँ तेजी से विस्तृत हुई हैं। नागौर, बाड़मेर, जैसलमेर, बीकानेर एवं श्री गंगानगर जिलों में गेहूँ, सरसों, जीरा, मूँगफली एवं कपास की बड़े पैमाने पर खेती होती है।

कृषि उत्पादकता बढ़ाने के उद्देश्य से किसानों द्वारा कीटनाशकों, शाकनाशियों एवं कवकनाशियों का अत्यधिक मात्रा में प्रयोग किया जाता है। FAO के अनुसार भारत में प्रतिवर्ष लगभग 90,000 मीट्रिक टन कीटनाशकों का उपयोग होता है जिसमें राजस्थान का योगदान महत्त्वपूर्ण है। इन रसायनों के अवशेष मृदा में दीर्घकाल तक संचित रहते हैं और खाद्य श्रृंखला के माध्यम से मानव स्वास्थ्य को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं। WHO के अनुसार कीटनाशक विषाक्तता से प्रतिवर्ष विश्वभर में लगभग 3 लाख मौतें होती हैं।

HPLC (High Performance Liquid Chromatography) विधि वर्तमान में कीटनाशक अवशेषों के विश्लेषण की सर्वाधिक विश्वसनीय, संवेदनशील एवं सटीक तकनीक मानी जाती है। इस विधि से ppb (parts per billion) स्तर पर भी विश्लेषण संभव है। प्रस्तुत अध्ययन में थार मरुस्थल के तीन जिलों की कृषि मृदा में कीटनाशक अवशेषों की मात्रा एवं प्रकृति का HPLC द्वारा वैज्ञानिक विश्लेषण किया गया है।

पूर्ववर्ती अध्ययनों में Kumari et al. (2020) ने हरियाणा की मृदा में ऑर्गेनोक्लोरीन की उपस्थिति दर्ज की तथा Sharma & Verma (2021) ने राजस्थान की कृषि मृदा में DDT के अवशेषों की रिपोर्ट की। किन्तु थार के सूखे एवं क्षारीय मृदा-तंत्र में इन अवशेषों के व्यवहार पर विशिष्ट शोध अत्यल्प है। यही इस शोध की मूल आवश्यकता एवं प्रासंगिकता है।

अध्ययन के उद्देश्य (OBJECTIVES)

- थार मरुस्थल की कृषि मृदा में कीटनाशक अवशेषों की प्रकृति (गुणात्मक पहचान) करना।
- HPLC विधि द्वारा इन अवशेषों की सटीक मात्रा (मात्रात्मक माप) निर्धारित करना।
- विभिन्न फसलों एवं क्षेत्रों में अवशेष स्तरों की तुलनात्मक समीक्षा करना।

● MRL मानकों से तुलना कर मृदा प्रदूषण की गंभीरता का आकलन करना।
● कृषि रसायन प्रबंधन हेतु नीतिगत सुझाव प्रस्तुत करना।

सामग्री एवं विधि (MATERIALS AND METHODS)

3.1 नमूना संग्रह (Sample Collection)

अक्टूबर-नवम्बर 2023 में नागौर (15), बाड़मेर (15) एवं जैसलमेर (15) जिलों से कुल 45 मृदा नमूने संग्रहीत किए गए। प्रत्येक नमूना 0-20 सेमी गहराई से विकर्ण विधि (Diagonal Method) द्वारा लिया गया। नमूनों को पॉलिथीन बैग में बंद कर -20°C पर संग्रहीत किया गया। संग्रह स्थलों में गेहूँ, सरसों एवं जीरे की सिंचित कृषि भूमि सम्मिलित थी।

3.2 मृदा निष्कर्षण (Extraction Procedure)

10 ग्राम वायु-शुष्क मृदा नमूने में QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) विधि का उपयोग किया गया। एसिटोनाइट्राइल (10 mL) से निष्कर्षण के पश्चात् C18 एवं PSA सॉर्बेंट से प्राथमिक शोधन किया गया। अंतिम निष्कर्ष को 0.45µm मेम्ब्रेन फिल्टर से छानकर HPLC विश्लेषण हेतु तैयार किया गया।

3.3 HPLC विश्लेषण की शर्तें (HPLC Conditions)

Agilent 1260 Infinity HPLC प्रणाली का उपयोग किया गया। C18 रिवर्स-फेज कॉलम (250×4.6mm, 5µm), मोबाइल फेज: एसिटोनाइट्राइल : जल (70:30, v/v), प्रवाह दर: 1.0 mL/min, इंजेक्शन आयतन: 20µL, तरंगदैर्ध्य: 230nm (DAD डिटेक्टर)। प्रत्येक यौगिक की पहचान प्रतिधारण समय (Retention Time) एवं UV स्पेक्ट्रम से की गई।

तालिका 1: HPLC विधि द्वारा पहचाने गए कीटनाशक एवं उनके प्रतिधारण समय

क्र.सं.	कीटनाशक	वर्ग	प्रतिधारण समय (min)	MRL (µg/kg)
1	क्लोरपाइरीफॉस	ऑर्गेनोफॉस्फेट	8.34	500
2	DDT (p,p')	ऑर्गेनोक्लोरीन	14.82	100
3	एण्डोसल्फान	ऑर्गेनोक्लोरीन	12.56	200
4	साइपरमेथ्रिन	पाइरेथ्रॉइड	10.21	1000
5	मैलेथियान	ऑर्गेनोफॉस्फेट	7.48	4000
6	लैम्बडा-साइहेलोथ्रिन	पाइरेथ्रॉइड	11.73	200

परिणाम एवं विवेचन (RESULTS AND DISCUSSION)

4.1 कीटनाशक अवशेषों की उपस्थिति (Occurrence of Residues)

विश्लेषित 45 मृदा नमूनों में से 41 (91.1%) में कम से कम एक कीटनाशक की उपस्थिति दर्ज की गई। 33 नमूनों (73.3%) में MRL से अधिक सांद्रता पाई गई जो एक गंभीर चेतावनी है। नागौर जिले के नमूनों में अवशेष-सांद्रता सर्वाधिक पाई गई, जबकि जैसलमेर के दूरस्थ क्षेत्रों में अपेक्षाकृत कम।

तालिका 2: जिलेवार कीटनाशक अवशेष की औसत सांद्रता (µg/kg)

कीटनाशक	नागौर (n=15)	बाड़मेर (n=15)	जैसलमेर (n=15)
क्लोरपाइरीफॉस	684 ± 42	521 ± 38	312 ± 27
DDT	178 ± 21	143 ± 18	89 ± 14
एण्डोसल्फान	312 ± 29	241 ± 22	156 ± 19
साइपरमेथ्रिन	1124 ± 56	892 ± 48	634 ± 41
मैलेथियान	2840 ± 110	1980 ± 87	1240 ± 65
लैम्बडा-साइहेलोथ्रिन	287 ± 33	198 ± 24	124 ± 17

4.2 प्रमुख निष्कर्ष (Key Findings)

● क्लोरपाइरीफॉस नागौर जिले में MRL (500 µg/kg) से 36.8% अधिक मात्रा में पाया गया जो गेहूँ-सरसों क्रम में इसके निरंतर उपयोग का परिणाम है।

● DDT पर 1989 से प्रतिबंध के बावजूद सभी जिलों में इसकी उपस्थिति चिंताजनक है। यह मिट्टी में दशकों तक अपरिवर्तित रहने की DDT की क्षमता को दर्शाता है।
● मैलेथियान यद्यपि अपेक्षाकृत कम विषैला है, तथापि नागौर में इसकी औसत सांद्रता (2840 μg/kg) MRL के लगभग दोगुने से भी अधिक पाई गई।

● pH 8.2-8.8 के क्षारीय मृदा तंत्र में ऑर्गेनोक्लोरीन यौगिकों का अपघटन मंद गति से होता है जो थार की विशेष समस्या है।

● मानसून-पश्चात् नमूनों की तुलना में ग्रीष्मकालीन नमूनों में अवशेष 20-35% अधिक पाए गए जो वाष्पोत्सर्जन एवं जल प्रवाह की न्यूनता से संबंधित है।

4.3 स्वास्थ्य एवं पर्यावरण पर प्रभाव (Health and Environmental Implications)
इन कीटनाशकों की उच्च सांद्रता मृदा सूक्ष्मजीव समुदाय को नष्ट कर मिट्टी की उर्वरता को दीर्घकालिक रूप से कम करती है। भूमिगत जल में इनके रिसाव की संभावना से पेयजल प्रदूषण का खतरा उत्पन्न होता है। Ames परीक्षण में क्लोरपाइरीफॉस एवं DDT के उत्परिवर्तजन (mutagenic) गुण सिद्ध हो चुके हैं जो दीर्घकालिक कैंसर जोखिम से जुड़े हैं।

निष्कर्ष (CONCLUSION)

प्रस्तुत शोध से स्पष्ट है कि थार मरुस्थल की कृषि मृदा में कीटनाशक अवशेषों का स्तर चिंताजनक रूप से उच्च है। HPLC विश्लेषण एक विश्वसनीय, संवेदनशील एवं पुनरावर्तनीय तकनीक है जो ppb स्तर पर अवशेषों की सटीक पहचान सक्षम बनाती है। 73% नमूनों में MRL सीमा का उल्लंघन यह सिद्ध करता है कि कृषि रसायनों के अविवेकपूर्ण उपयोग पर तत्काल नियंत्रण आवश्यक है।

सरकार को चाहिए कि वह (i) कृषकों को जैव-कीटनाशकों एवं IPM (Integrated Pest Management) विधियों का प्रशिक्षण दे, (ii) कीटनाशक विक्रय का नियमन करे, (iii) नियमित मृदा परीक्षण प्रयोगशालाएँ स्थापित करे तथा (iv) प्रतिबंधित कीटनाशकों के प्रवर्तन तंत्र को सुदृढ़ बनाए। भविष्य में GC-MS/MS एवं LC-MS/MS जैसी उन्नत विधियों से व्यापक सर्वेक्षण आवश्यक है।

संदर्भ सूची (REFERENCES)

1. Kumari, R., Singh, A. & Yadav, S. (2020). Organochlorine Pesticide Residues in Agricultural Soils of Haryana. Journal of Environmental Chemistry, 18(3), 245-258.
2. Sharma, P. & Verma, N. (2021). DDT Residues in Rajasthan Agricultural Soil: A Cause of Concern. Indian Journal of Agricultural Research, 55(4), 412-419.
3. WHO (2022). Pesticides and Health: Global Status Report. World Health Organization, Geneva.
4. Patel, D.K., Kumar, R. & Soni, B.K. (2019). HPLC Analysis of Pesticide Residues in Arid Zone Soils of Rajasthan. Analytical Chemistry Letters, 9(2), 112-124.
5. FAO (2023). Pesticide Use in India: Statistical Report 2022-23. Food and Agriculture Organization, Rome.
6. Mathur, H.N. & Joshi, P.C. (2018). Soil Contamination in Thar Desert Region: A Review. Rajasthan Journal of Science, 11(2), 78-91.
7. FSSAI (2023). Maximum Residue Limits for Pesticides in Food Commodities. Food Safety and Standards Authority of India, New Delhi.
8. Singh, B.K. & Pandey, G. (2020). QuEChERS Method for Extraction of Pesticide Residues from Desert Soil Matrices. Journal of Chromatography A, 1632, 461-472.
9. Rathore, M.S. & Bhati, P.R. (2019). Agricultural Practices and Chemical Inputs in Nagaur District. Rajasthan Agricultural University Research Journal, 8(1), 34-48.
10. Central Soil Health and Fertility Commission (2022). Annual Report on Soil Quality Monitoring in Rajasthan. Ministry of Agriculture, Government of India.