शोधामृत
(कला, मानविकी और सामाजिक विज्ञान की सहकर्मी समीक्षित, मूल्यांकित, त्रैमासिक शोध पत्रिका)

ISSN : 3048-9296 (Online)
3049-2890 (Print)
IIFS Impact Factor-4.0
Vol.-3; issue-1 (Jan.-March) 2026
Page No- 341-348
DOI : 10.71037/Shodhaamrit.v3i1.45
©2026 Shodhaamrit
https://shodhaamrit.gyanvividha.com

Author's :

Vishawdeep singh
Assistant Professor,
(Geography), SGN. Khalsa PG. College, Sri Ganganagar.

Corresponding Author :

Vishawdeep singh
Assistant Professor,
(Geography), SGN. Khalsa PG. College, Sri Ganganagar.

थार मरुस्थल में मरुस्थलीकरण की प्रवृत्ति एवं पर्यावरणीय प्रभाव

शोध सारांश (Abstract) : प्रस्तुत शोध पत्र भारतीय उपमहाद्वीप के उत्तर-पश्चिमी शुष्क भू-भाग (थार मरुस्थल) में मरुस्थलीकरण (Desertification) की ऐतिहासिक व समकालीन प्रवृत्तियों, स्थानिक विस्तार प्रारूप और उसके बहुआयामी पर्यावरणीय प्रभावों का एक समग्र एवं समालोचनात्मक विश्लेषण प्रस्तुत करता है। इसरो के अंतरिक्ष अनुप्रयोग केंद्र (ISRO-SAC) द्वारा प्रकाशित 'डेजर्टिफिकेशन एंड लैंड डिग्रेडेशन एटलस' तथा केंद्रीय शुष्क क्षेत्र अनुसंधान संस्थान (CAZRI, जोधपुर) के नवीनतम अनुसंधानों के साक्ष्यों के आधार पर यह प्रमाणित होता है कि राजस्थान के पश्चिमी शुष्क अंचल का 60% से अधिक भाग विभिन्न स्तरों के भूमि अवक्रमण (Land Degradation) से ग्रसित है। वायु अपरदन, जलजमाव एवं लवणीकरण (Salinization), वनस्पति आवरण का ह्रास तथा भूजल का अनियंत्रित दोहन इसके प्रमुख चालक हैं। विशेष रूप से इंदिरा गांधी नहर परियोजना (IGNP) कमान क्षेत्र में उत्पन्न पारिस्थितिकीय विरोधाभास-जहाँ एक ओर हरियाली का विस्तार हुआ है, वहीं दूसरी ओर 'सेम' और मृदा क्षारीयता ने गंभीर संकट खड़ा किया है-का विस्तृत विश्लेषण किया गया है। अध्ययन में सुदूर संवेदन (RS), भौगोलिक सूचना तंत्र (GIS), वानिकी प्रबंधन तथा समुदाय-आधारित पारिस्थितिक रणनीतियों के माध्यम से मरुस्थलीकरण को नियंत्रित करने और भूमि अवक्रमण तटस्थता (Land Degradation Neutrality - LDN) के लक्ष्यों को प्राप्त करने हेतु एक व्यावहारिक नीतिगत रूपरेखा प्रस्तावित की गई है।

मुख्य शब्द (Keywords) : थार मरुस्थल, मरुस्थलीकरण, वायु अपरदन, CAZRI, IGNP कमान क्षेत्र, लवणीकरण (Salinization), रिमोट सेंसिंग एवं जीआईएस, पारिस्थितिकीय असंतुलन, बालुका स्तूप स्थिरीकरण, भूमि अवक्रमण तटस्थता (LDN)।

1. प्रस्तावना एवं सैद्धांतिक पृष्ठभूमि (Introduction & Theoretical Background) : मरुस्थलीकरण आधुनिक युग की सर्वाधिक गंभीर वैश्विक पर्यावरणीय व सामाजिक-आर्थिक आपदाओं में से एक है। संयुक्त राष्ट्र मरुस्थलीकरण रोकथाम अभिसमय (UNCCD) के अनुच्छेद 1 के अनुसार, "मरुस्थलीकरण से तात्पर्य शुष्क, अर्ध-शुष्क

तथा शुष्क-उपआर्द्र क्षेत्रों में जलवायुकी विविधताओं और मानवजनित क्रियाकलापों सहित विभिन्न कारकों के परिणामस्वरूप होने वाले भूमि अवक्रमण (Land Degradation) से है।" यह केवल मरुस्थल की सीमाओं का आगे बढ़ना मात्र नहीं है, बल्कि उपजाऊ भूमि की जैविक, पारिस्थितिक और आर्थिक उत्पादकता के निरंतर क्षरण की एक त्रि-आयामी प्रक्रिया है।

ग्रेट इंडियन डेजर्ट (थार मरुस्थल) विश्व का सातवाँ सबसे बड़ा और सर्वाधिक विशिष्ट मरुस्थलीय पारिस्थितिकी तंत्र है। वैश्विक स्तर पर जहाँ सहारा, कालाहारी या अटाकामा जैसे मरुस्थल अत्यंत विरल आबादी वाले क्षेत्र हैं, वहीं थार मरुस्थल विश्व का "सर्वाधिक सघन आबादी वाला मरुस्थल" (Densely Populated Desert) है, जिसका औसत जनघनत्व लगभग 83 व्यक्ति प्रति वर्ग किलोमीटर है। इसके अतिरिक्त, इस क्षेत्र में प्रति हेक्टेयर पशुधन घनत्व भी अन्य वैश्विक मरुस्थलों की तुलना में अप्रत्याशित रूप से उच्च है। उच्च जैविक दबाव, अत्यधिक मौसमी संवेदनशीलता और नाजुक प्राकृतिक संसाधनों के कारण थार में भूमि अवक्रमण की गति तीव्र एवं जटिल रही है।

मरुस्थलीकरण की सैद्धांतिक व्याख्या में विद्वानों ने इसे दो प्रमुख दृष्टिकोणों से देखा है: पहला, प्राकृतिक जलवायुकी दृष्टिकोण (Natural-Climatic Approach), जो दीर्घकालिक शुष्कता, वर्षा की अनिश्चितता और अत्यधिक तापमान को प्राथमिक मानता है; तथा दूसरा, मानवजनित दृष्टिकोण (Anthropocentric Approach), जिसके अनुसार अनियंत्रित चराई, दोषपूर्ण कृषि प्रणालियाँ, वनोन्मूलन और जल संसाधनों का अविवेकपूर्ण दोहन इस प्रक्रिया को विस्फोटक गति प्रदान करते हैं। थार मरुस्थल में ये दोनों कारक परस्पर अंतर-क्रिया करते हुए एक जटिल 'पारिस्थितिकीय दुष्चक्र' (Ecological Vicious Cycle) का निर्माण करते हैं।

2. अध्ययन क्षेत्र का भौगोलिक एवं भू-आकृतिक स्वरूप (Geographical & Geomorphological Profile) : थार मरुस्थल भारतीय उपमहाद्वीप के उत्तर-पश्चिम में लगभग 2,38,254 वर्ग किलोमीटर क्षेत्र में फैला हुआ है, जिसका लगभग 85% भाग भारत में और 15% भाग पाकिस्तान में स्थित है। भारत के भीतर इसका 61.8% भाग अकेले राजस्थान राज्य में (लगभग 1,75,000 वर्ग किमी) विस्तृत है, जबकि शेष भाग गुजरात (कच्छ क्षेत्र), पंजाब और हरियाणा के दक्षिणी जिलों में फैला हुआ है।

2.1 जलवायुक एवं जलवैज्ञानिक विशेषताएँ : अध्ययन क्षेत्र की जलवायु शुष्क से अति-शुष्क प्रकार की है। समूचे क्षेत्र को 25 सेमी की समवर्षा रेखा (Isohyet) दो प्रमुख उप-भागों में विभाजित करती है-पश्चिमी शुष्क मरुस्थलीय प्रदेश (मरुस्थली) और पूर्वी अर्ध-शुष्क संक्रमण क्षेत्र (राजस्थान बांगर)। यहाँ वार्षिक वर्षा का वितरण अत्यधिक विषम है; जैसलमेर के पश्चिमी छोर पर औसत वार्षिक वर्षा मात्र 100 मिमी से कम होती है, जबकि पूर्व में अरावली के निकट यह 400-450 मिमी तक पहुँचती है। वर्षा के दिनों की संख्या वर्ष में औसतन 10 से 20 दिन ही होती है। ग्रीष्म ऋतु में दैनिक तापमान 48°C से 50°C तक बढ़ जाता है, जबकि शीतकाल में विकिरण शीतलन (Radiational Cooling) के कारण पारा हिमांक बिंदु (0°C) के निकट आ जाता है। संभाव्य वाष्पीकरण-वाष्पोत्सर्जन (PET) 1500 मिमी से 2000 मिमी के बीच रहता है, जो वार्षिक वर्षा से कई गुना अधिक है।

2.2 भू-आकृतिक एवं मृदा वर्गीकरण : भू-आकृतिक दृष्टि से थार मरुस्थल चतुर्थक कल्प (Quaternary Era) के अवसादों, प्राचीन नदी घाटियों (यथा विलुप्त सरस्वती नदी प्रणाली) और वायु-निर्मित (Aeolian) स्थलरूपों का मिश्रण है। भू-आकृति को निम्नलिखित चार प्रमुख वर्गों में विभाजित किया गया है:

- **विशाल गतिशील एवं स्थिर बालुका स्तूप (Dune Fields):** बरखान (Barchans), अनुदैर्ध्य (Longitudinal/Seif), अनुप्रस्थ (Transverse), और पैराबोलिक बालुका स्तूप, जो जैसलमेर, बाड़मेर और बीकानेर में प्रभावी हैं।

- **पथरीला मरुस्थल (हम्मादा / Hamada) एवं चट्टानी मैदान:** जैसलमेर, बाड़मेर और पोकरण के आसपास का विस्तृत चट्टानी क्षेत्र जहाँ वायु अपघर्षण तीव्र होता है।
- **जलोढ़ व अर्ध-शुष्क मैदानी भाग (Alluvial/Transitional Plains):** लूनी बेसिन (गोडवाड़ प्रदेश) तथा शेखावाटी का आंतरिक जलप्रवाह क्षेत्र।
- **लवणीय गर्त (Saline Depressions/Playas):** सांभर, डीडवाना, पचपदरा, लूणकरणसर, बाप और कावोध जैसी प्राकृतिक प्लाया झीलें।

अमेरिकी मृदा वर्गीकरण (USDA Soil Taxonomy) के अनुसार थार की मृदा को मुख्यतः एरिडिसोल्स (Aridisols) और एन्टीसोल्स (Entisols) वर्गों में रखा गया है। यह मृदा बलुई, अत्यधिक पारगम्य (Permeable), जल धारण की न्यून क्षमता वाली और जैव-कार्बनिक पदार्थों (Organic Matter < 0.2%) से हीन होती है।

3. शोध पद्धति एवं डेटा स्त्रोत (Methodology & Data Sources) : प्रस्तुत शोध में बहु-विषयक (Multidisciplinary) तथा स्थानिक-कालिक विश्लेषणात्मक पद्धति का अवलंबन किया गया है। डेटा संकलन और विश्लेषण को तीन प्रमुख चरणों में निष्पादित किया गया है:

1. रिमोट सेंसिंग एवं उपग्रह डेटा (Satellite Data Analysis): इसरो (ISRO SAC, अहमदाबाद) द्वारा रिसोर्ससैट-2 (Resourcesat-2 AWIFS/LISS-III) और लैंडसैट उपग्रहों के बहु-कालिक (Multi-temporal) संवेदक आंकड़ों से तैयार मरुस्थलीकरण एटलस (2003-05, 2011-13 एवं 2018-21 संस्करण) का तुलनात्मक अध्ययन।

2. संस्थानिक शोध एवं क्षेत्रीय सर्वेक्षण डेटा: केंद्रीय शुष्क क्षेत्र अनुसंधान संस्थान (ICAR-CAZRI), भारतीय वन सर्वेक्षण (FSI, देहरादून), राजस्थान भूजल विभाग, और राष्ट्रीय जल विकास एजेंसी के प्रामाणिक तकनीकी प्रतिवेदन का समेकन।

3. स्थानिक संकेतक मॉडल: भूमि अवक्रमण की गंभीरता का आकलन करने हेतु चार प्रमुख भौगोलिक सूचकांकों - सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI), मृदा लवणता सूचकांक (SI), भू-जल तालिका गहराई (GWTD), और वायु अपरदन संवेदनशीलता सूचकांक (WESI) - का सह-संबंधी विश्लेषण।

तालिका 1: राजस्थान के पश्चिमी जिलों में मरुस्थलीकरण एवं भूमि अवक्रमण की स्थानिक स्थिति (ISRO SAC डेटा आधारित)

जिला	कुल भौगोलिक क्षेत्रफल (हे.)	अवक्रमित / मरुस्थलीकृत क्षेत्र (%)	प्रमुख अवक्रमण प्रक्रिया (Primary Process)	गंभीरता की श्रेणी (Severity Level)
जैसलमेर	38,40,100	92.4%	तीव्र वायु अपरदन, गतिशील बालुका स्तूप विस्तार	अति गंभीर (Critical)
बाड़मेर	28,38,700	84.6%	वायु अपरदन, अतिचारण जनित वनस्पति ह्रास	अति गंभीर (Critical)
बीकानेर	27,24,400	78.2%	वायु अपरदन, IGNP कमान में लवणीकरण/सेम	गंभीर (High)
जोधपुर	22,85,000	68.5%	भूजल दोहन, वायु अपरदन, शहरी फैलाव व खनन	मध्यम से उच्च (Moderate-High)

नागौर	17,71,800	59.3%	मृदा लवणीकरण, वनस्पति विनाश, जल अपरदन	मध्यम (Moderate)
श्रीगंगानगर / हनुमानगढ़	20,63,400	48.7%	जलजमाव (Waterlogging), मृदा क्षारीयता, सिल्ट जमाव	मध्यम (स्थानिक गंभीर)
चूरू	16,83,000	72.1%	बालू स्थानांतरण, तापीय विषमता जनित ह्रास	गंभीर (High)
जालौर / पाली	22,98,200	52.4%	औद्योगिक अपशिष्ट क्षरण, जल अपरदन, लवणीकरण	मध्यम (Moderate)

4. थार में मरुस्थलीकरण की समकालीन प्रवृत्तियाँ (Contemporary Trends of Desertification) : विगत तीन दशकों के स्थानिक आंकड़ों का सूक्ष्म विश्लेषण यह दर्शाता है कि थार मरुस्थल में मरुस्थलीकरण की प्रवृत्ति अब केवल "रेगिस्तान के आगे बढ़ने" तक सीमित नहीं है, बल्कि यह एक बहु-आयामी स्थानिक रूपांतरण बन चुकी है:

4.1 वायु अपरदन एवं बालुका स्तूपों का पुनर्सक्रियण (Wind Erosion & Dune Reactivation)

वायु अपरदन थार में भूमि अवक्रमण का सबसे बड़ा एकल कारक है, जो कुल अवक्रमित भूमि के लगभग 70% से अधिक भाग के लिए उत्तरदायी है। शुष्क ग्रीष्मकाल (मई-जून) में 40 से 60 किमी / घंटा की गति से चलने वाली दक्षिण-पश्चिमी हवाएँ असंगठित रेतीली मृदा की ऊपरी उपजाऊ परत को उड़ा ले जाती हैं। उपग्रह डेटा से पता चलता है कि पूर्व में स्थिर हो चुके वनस्पति-युक्त बालू के टीले अवैज्ञानिक जुताई, ट्रैक्टरों के अनियंत्रित उपयोग और अत्यधिक चराई के कारण पुनः 'सक्रिय एवं गतिशील' (Active & Shifting Dunes) हो रहे हैं, जिससे राष्ट्रीय राजमार्ग, रेलवे ट्रैक और नहरी प्रणालियों के अवरुद्ध होने का खतरा बढ़ गया है।

4.2 अरावली की विखंडित श्रृंखला और मरुस्थल का पूर्वी विस्तार (Aravalli Gaps and Eastward Extension) : अरावली पर्वतमाला ऐतिहासिक रूप से थार मरुस्थल की पूर्वी सीमा पर एक प्राकृतिक पारिस्थितिकीय दीवार (Ecological Barrier) के रूप में कार्य करती रही है। किंतु अनियंत्रित और अवैध खनन, अंधाधुंध वन कटाई और ढांचागत विकास के कारण अरावली पहाड़ियों में लगभग 12 प्रमुख भौगोलिक रिक्तियाँ (Aravalli Gaps) बन चुकी हैं (यथा सांभर गैप, सिंहना-खेतड़ी गैप, दांता-रामगढ़ गैप)। इन अंतरालों से होकर मरुस्थलीय बालू के कण हवा द्वारा पूर्वी राजस्थान के उपजाऊ मैदानों (जयपुर, दौसा, अलवर, भरतपुर) तथा हरियाणा, पंजाब और दिल्ली-एनसीआर की ओर निरंतर स्थानांतरित हो रहे हैं, जिसे वैज्ञानिक मरुस्थल का 'पूर्वी विसर्पण' (Eastward Creeping of Thar) कहते हैं।

4.3 नहरी सिंचित क्षेत्रों में 'जलजमाव और लवणीकरण' का विरोधाभास (Waterlogging and Salinization Paradox) : इंदिरा गांधी नहर परियोजना (IGNP) ने मरुस्थल के एक बड़े हिस्से को हरित पट्टी में परिवर्तित किया है, किंतु इसके जलवैज्ञानिक दुष्प्रभावों ने एक नई प्रकार की मरुस्थलीकरण प्रक्रिया को जन्म दिया है। पश्चिमी राजस्थान के भू-गर्भ में 5 से 15 मीटर की गहराई पर प्राकृतिक रूप से 'जिप्सिफेरस एवं अभेद्य हार्डपैन' (Impervious Hardpan of Gypsum/Clay) मौजूद है। जब खेतों में अत्यधिक जल से सतही सिंचाई (Flood Irrigation) की जाती है, तो पानी रिसकर नीचे नहीं जा पाता। परिणामस्वरूप भू-जल स्तर प्रतिवर्ष 0.8 से 1.2 मीटर की दर से ऊपर उठ रहा है। जब यह जल सतह से 1-2 मीटर नीचे आ जाता है, तो तीव्र सौर विकिरण के कारण केशिकत्व क्रिया (Capillary Action) द्वारा भूमिगत लवण सतह पर आ जाते हैं, जिससे उपजाऊ कृषि भूमि बंजर सफेद लवणीय परतों ('रेह' या 'कल्लड़') में तब्दील हो जाती है।

केस स्टडी: IGNP चरण-I एवं II में 'सेम' (Waterlogging) एवं लवणीकरण का संकट
श्रीगंगानगर, हनुमानगढ़, बीकानेर के लूणकरणसर तथा जैसलमेर के मोहनगढ़ बेल्ट में लगभग 1.8 लाख हेक्टेयर सिंचित कमान क्षेत्र गंभीर जलजमाव ('सेम') से प्रभावित हो चुका है। खेतों में 2 से 3 फीट तक लवणीय जल स्थायी रुप से भर जाने के कारण पारंपरिक कपास, गेहूं और ग्वार की खेती ठप हो गई है। कई आबाद गाँवों के मकानों की नींव में लवण-युक्त सीलन आने से ढांचागत पतन हुआ है, जिससे स्थानीय कृषकों का 'पारिस्थितिकीय विस्थापन' (Ecological Migration) दर्ज किया गया है।

5. मरुस्थलीकरण के प्रमुख प्रेरक कारक / चालक (Driving Forces of Desertification)

5.1 प्राकृतिक एवं जलवायु परिवर्तन जनित कारक

- **चरम तापीय एवं वर्षा विषमता:** वैश्विक जलवायु परिवर्तन के चलते थार में वर्षा के प्रारुप में विसंगतियाँ बढ़ी हैं। जहाँ एक ओर सूखे की आवृत्ति में वृद्धि हुई है, वहीं लघु अवधि में अत्यधिक तीव्र वर्षा (Cloudburst-like events/Flash Floods) की घटनाओं से मृदा का सतही क्षरण (Sheet Erosion) बढ़ा है।
- **उच्च वाष्पीकरण-वाष्पोत्सर्जन घाटा (High ET Deficit):** अत्यधिक शुष्कता के कारण पौधों के लिए उपलब्ध नमी की मात्रा न्यूनतम हो जाती है, जिससे प्राकृतिक वानस्पतिक पुनर्जनन (Regeneration) अवरुद्ध होता है।

5.2 मानवजनित एवं सामाजिक-आर्थिक कारक

- **पशुधन का भारी दबाव एवं अनियंत्रित अतिचारण:** राजस्थान में 5.68 करोड़ से अधिक पशुधन है। थार के सीमित चरागाहों, ओरण (Orans पवित्र वन) और गोचर भूमियों की वहन क्षमता (Carrying Capacity) समाप्तप्राय हो गई है। भेड़ों और बकरियों द्वारा पौधों के आधार और जड़ों तक को चर लिए जाने से रेतीली मृदा का प्राकृतिक बंधन ढीला हो जाता है।
- **गंभीर भू-जल दोहन (Over-Exploitation of Groundwater):** अत्यधिक नलकूपों की स्थापना से शुष्क क्षेत्रों में जल स्तर 150 से 200 मीटर तक गहरा हो गया है। केंद्रीय भूजल बोर्ड (CGWB) के अनुसार, पश्चिमी राजस्थान के 80% से अधिक ब्लॉक 'अति-दोहित' (Over-exploited / Dark Zones) घोषित हो चुके हैं। लवणीय भू-जल के निरंतर छिड़काव से खेतों की उर्वरता नष्ट हो रही है।
- **पारंपरिक फसल चक्र का त्याग:** शुष्क जलवायु के अनुकूल पारंपरिक शुष्क फसलों (बाजरा, मोठ, ग्वार, तिल) के स्थान पर उच्च जल-खपत वाली नकदी फसलों (यथा मूंगफली, जीरा, इसबगोल, धान) की ओर अंधाधुंध झुकाव ने भूमिगत जल और मृदा स्वास्थ्य का भारी नुकसान किया है।
- **ओपन-कास्ट खनन एवं ढांचागत दबाव:** जैसलमेर व बाड़मेर में तेल व प्राकृतिक गैस अन्वेषण, बीकानेर-नागौर में लिग्नाइट, चूना पत्थर, मुल्तानी मिट्टी और जिप्सम का खुला खनन भूमि को विखंडित और मरुस्थलीकृत बना रहा है।

पारिस्थितिकीय अपरिवर्तनीयता बिंदु (Ecological Tipping Point): थार मरुस्थल की रेतीली मृदा में ऊपरी 5 सेमी की परत में ही अधिकांश सूक्ष्म-पोषक तत्व (Micronutrients) और कार्बनिक तत्व संचित होते हैं। यदि एक बार तीव्र वायु प्रवाह से यह परत उड़ जाती है, तो प्राकृतिक रूप से इसके पुनर्निर्माण में 100 से 300 वर्ष का समय लगता है।

6. मरुस्थलीकरण के बहुआयामी पर्यावरणीय प्रभाव (Environmental Consequences) : थार मरुस्थल में मरुस्थलीकरण की सतत प्रक्रिया ने न केवल स्थानीय पर्यावरण को क्षति पहुँचाई है, बल्कि इसका प्रभाव क्षेत्रीय और राष्ट्रीय पारिस्थितिक संतुलन पर भी दृष्टिगोचर हो रहा है:

6.1 मृदा क्षरण एवं पोषक तत्वों का ह्रास : वायु और जल अपरदन के संयुक्त प्रभाव से मृदा में ऑर्गेनिक कार्बन का स्तर गिरकर 0.1% से भी नीचे पहुँच गया है। सूक्ष्म-पोषक तत्वों (यथा जिंक, आयरन, कॉपर, मैंगनीज) की

भारी कमी से फसलों की उत्पादकता में प्रति दशक 12-18% की गिरावट दर्ज की गई है। इसके अतिरिक्त, लवणीय मृदा में सोडियम अवशोषण अनुपात (SAR) बढ़ने से मृदा की संरचना पूरी तरह नष्ट हो जाती है।

6.2 स्थानीय जैव-विविधता एवं शुष्क आवासों का विनाश : थार मरुस्थल की विशिष्ट स्थानिक वनस्पतियाँ, जो सदियों से इस जलवायु के अनुकूलित थीं, तेजी से लुप्त हो रही हैं:

- **खेजड़ी (Prosopis cineraria):** 'मरुकल्पवृक्ष' कही जाने वाली खेजड़ी के वृक्षों में गैनोडर्मा कवक (Ganoderma lucidum) और अकांथोफोरस कीटों के प्रकोप के साथ-साथ गिरते भूजल स्तर के कारण व्यापक मृत्यु-दर (Mortality) देखी गई है।
- **रोहिड़ा (Tecomella undulata):** 'मरुस्थल का सागवान' अपनी कीमती लकड़ी के लिए अत्यधिक अवैध कटाई के कारण संकटग्रस्त हो चुका है।
- **सेवन घास (Lasiurus scindicus):** यह पौष्टिक घास बालू के टीलों को बांधने का प्रमुख कार्य करती थी, जिसका प्राकृतिक क्षेत्र नहरी कृषि विस्तार के कारण 60% तक सिकुड़ गया है।
- **वन्यजीव संकट:** प्राकृतिक घास के मैदानों (Grasslands) के विनाश के कारण राजस्थान का राज्य पक्षी-ग्रेट इंडियन बस्टर्ड (गोडावण/Ardeotis nigriceps)-विलुप्ति के कगार पर पहुँच चुका है, जिसकी संख्या अब 150 से भी कम बची है। चिंकारा, मरु बिल्ली (Desert Cat), और मरु लोमड़ी के आवास भी विखंडित हुए हैं।

6.3 सूक्ष्म जलवायु परिवर्तन एवं धूल भरी आंधियों (Dust Storms) में उग्रता : वनस्पति आवरण घटने और वायुमंडलीय तापन से थार क्षेत्र में चलने वाली धूल भरी आंधियों (Andhi/Dust Storms) की तीव्रता और एरोसोल सांद्रता (Aerosol Optical Depth - AOD) में अप्रत्याशित वृद्धि हुई है। ये धूल के गुबार सिंधु-गंगा के मैदानी भागों तक फैलकर पूरे उत्तर भारत के वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) को गंभीर रूप से प्रदूषित करते हैं और हिमालयी हिमनदों पर जमा होकर उनके पिघलने की दर को बढ़ाते हैं।

6.4 जल संकट एवं पारंपरिक जल प्रणालियों का पतन : भूमि अवक्रमण और आधुनिक पाइपलाइनों पर अत्यधिक निर्भरता के कारण थार की अनूठी पारंपरिक वर्षा जल संचयन प्रणालियाँ-जैसे टांका (Tanka), खड़ीन (Khadin), बेरी/कुईं (Beri), टोबा और जोहड़-उपेक्षित होकर गाद (Silt) से भर रही हैं, जिससे ग्रामीण बस्तियों की जल आत्मनिर्भरता समाप्त हो रही है।

तालिका 2: मरुस्थलीकरण के प्रमुख चालकों और उनके पर्यावरणीय प्रभावों का सह-संबंध

मरुस्थलीकरण का चालक	प्रत्यक्ष भौतिक प्रभाव	पारिस्थितिकीय परिणाम	दीर्घकालिक सामाजिक-आर्थिक प्रभाव
अतिचारण (Overgrazing)	प्राकृतिक घास आवरण का विनाश	मृदा बंधन का टूटना, वायु अपरदन में 3 गुना वृद्धि	पशु आहार संकट, पारंपरिक पशुपालक समुदायों का पलायन
अत्यधिक नहरी सिंचाई	जिप्सम हार्डपैन के ऊपर जलभराव	केशिकत्व द्वारा सतही लवणीकरण (सेम)	हजारों हेक्टेयर उपजाऊ भूमि का बंजर होना, कृषि आय में क्षति
भूजल का अति-दोहन	जल तालिका का 150m+ गिरना	वनस्पति की सूखी जड़ें, गहरे जल में फ्लोराइड व लवणता वृद्धि	पेयजल संकट, दंत एवं अस्थि फ्लोरोसिस की महामारी
अरावली में खनन व वन विनाश	पहाड़ी ढलानों का विखंडित होना, दरों का खुलना	मरुस्थलीय रेत का पूर्वी उपजाऊ मैदानों में स्थानांतरण	कृषि उत्पादकता ह्रास, राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र में धूल प्रदूषण

7. मरुस्थलीकरण नियंत्रण एवं पारिस्थितिक पुनरुद्धार की रणनीतियाँ (Mitigation & Restoration Strategies) : थार मरुस्थल में मरुस्थलीकरण की जटिल चुनौती से निपटने के लिए एक बहु-स्तरीय, वैज्ञानिक और समुदाय समेकित दृष्टिकोण अनिवार्य है। प्रमुख रणनीतियों को निम्नलिखित वर्गों में क्रियान्वित किया जाना चाहिए:

7.1 बालुका स्तूप स्थिरीकरण एवं शुष्क वानिकी (Sand Dune Stabilization & Forestry)

केंद्रीय शुष्क क्षेत्र अनुसंधान संस्थान (CAZRI, जोधपुर) द्वारा विकसित त्रि-चरणीय तकनीक को व्यापक स्तर पर लागू किया जाना आवश्यक है:

1. सूक्ष्म वायु अवरोधक निर्माण (Micro-Windbreaks / Checkerboarding): स्थानांतरित टीलों पर स्थानीय झाड़ियों यथा सीणिया (Crotalaria burhia), खींप (Leptadenia pyrotechnica) और मूरठ से हवा की दिशा के लंबवत 5x5 मीटर की चेकरबोर्ड जाली बनाना।

2. घास बीजारोपण: इन ग्रिडों के भीतर सेवन (Lasiurus scindicus), धामण (Cenchrus ciliaris) जैसी गहरी जड़ों वाली घासों के बीजों का प्रत्यारोपण।

3. अनुकूलित काष्ठीय वृक्षारोपण: देशज शुष्क सहिष्णु वृक्षों जैसे खेजड़ी (Prosopis cineraria), कुमठ (Acacia senegal), रोहिड़ा (Tecomella undulata), और केर (Capparis decidua) का सघन रोपण।

7.2 शेल्टर बेल्ट एवं हरित दीवार का निर्माण (Shelterbelts & Green Wall Concept) : अफ्रीका की 'ग्रेट ग्रीन वॉल' की तर्ज पर गुजरात के पोरबंदर से लेकर राजस्थान और हरियाणा होते हुए दिल्ली-पानीपत तक अरावली पर्वतमाला के समानांतर 1400 किमी लंबी और 5 किमी चौड़ी "अरावली ग्रीन वॉल" (Aravalli Green Wall Project) का निर्माण युद्धस्तर पर किया जाना चाहिए ताकि मरुस्थल के पूर्वी विसर्पण को स्थायी रूप से रोका जा सके। इसके साथ ही कृषि फार्मों के किनारों पर तीन-पंक्ति शेल्टरबेल्ट (हवा की गति मंदक वृक्ष पंक्ति) लगाए जाने चाहिए।

7.3 जल प्रबंधन एवं कृषि प्रणाली में सुधार

- **सूक्ष्म सिंचाई अनिवार्याकरण:** IGNP द्वितीय चरण और नर्मदा कमान क्षेत्रों में खुले प्रवाह वाली सिंचाई (Flood Irrigation) को पूर्णतः प्रतिबंधित कर शत-प्रतिशत स्प्रिंकलर (फव्वारा) एवं ड्रिप (टपकन) सिंचाई को अनिवार्य किया जाए।
- **लवणीकरण भूमि का बायो-ड्रेनेज (Bio-Drainage):** जलजमाव ('सेम') वाले क्षेत्रों में अत्यधिक जल अवशोषित करने वाले वृक्षों (जैसे Eucalyptus camaldulensis एवं Tamarix aphylla) का रोपण तथा जिप्सम आधारित मृदा सुधारक उपचार।
- **पारंपरिक जल संचयन का पुनरुद्धार:** 'मुख्यमंत्री जल स्वावलंबन योजना' व कैच द रेन अभियानों के तहत प्रत्येक मरुस्थलीय ढाणी में पारंपरिक टांका निर्माण, खड़ीन प्रणाली और आगोर (Catchment) का वैज्ञानिक जीर्णोद्धार।

7.4 नीतिगत नियमन एवं सामुदायिक सहभागिता (Policy & Community Involvement)

- **ओरण एवं गोचर भूमि का वैधानिक संरक्षण:** पश्चिमी राजस्थान के हजारों हेक्टेयर 'ओरण' (सामुदायिक संरक्षित देव-वन) को 'सामुदायिक वन अधिकार' (CFR) और जैव विविधता विरासत स्थल के रूप में पंजीकृत कर अतिक्रमण व खनन से मुक्त रखा जाए।
- **बिश्नोई पारिस्थितिक मॉडल का संस्थागत उपयोग:** वृक्ष एवं वन्यजीव संरक्षण में बिश्नोई समुदाय के 29 नियमों की समृद्ध परंपरा और स्थानीय पारिस्थितिक ज्ञान (Traditional Ecological Knowledge TEK) को राज्य मरुस्थलीकरण कार्य योजना में समाहित किया जाए।

- **भूमि अवक्रमण तटस्थता (LDN Targets):** भारत सरकार के 2030 तक 2.6 करोड़ हेक्टेयर अवक्रमित भूमि को पुनः उपजाऊ बनाने के बॉन चैलेंज (Bonn Challenge) संकल्प में थार क्षेत्र को सर्वोच्च प्राथमिकता प्रदान की जाए।

8. निष्कर्ष एवं भविष्य की नीतिगत दिशा (Conclusion & Policy Directives) : थार मरुस्थल में मरुस्थलीकरण केवल एक पर्यावरणीय या भौगोलिक समस्या मात्र नहीं है, बल्कि यह उत्तर-पश्चिमी भारत की खाद्य सुरक्षा, जल संप्रभुता, जैव-विविधता और लाखों मरु-निवासियों के जीवन की गुणवत्ता से जुड़ा एक अस्तित्वगत संकट है। उपग्रह आंकड़ों और वैज्ञानिक अध्ययनों से यह निर्विवाद रूप से सिद्ध होता है कि थार में मरुस्थलीकरण की प्रवृत्ति में मानवजनित हस्तक्षेपों की भूमिका प्राकृतिक शुष्कता से कहीं अधिक विनाशकारी सिद्ध हो रही है।

अतः भविष्य की नीतियों को केवल 'मरुस्थल के विकास' पर केंद्रित न करके 'मरुस्थलीय पारिस्थितिकी तंत्र के संधारणीय संरक्षण' पर केंद्रित करना होगा। आधुनिक अंतरिक्ष तकनीकों (GIS-RS आधारित पूर्व चेतावनी तंत्र), काजरी (CAZRI) के कृषि-वानिकी अनुसंधानों तथा स्थानीय समुदायों के सदियों पुराने जल व वन संरक्षण के पारंपरिक ज्ञान के सामंजस्यपूर्ण समन्वय से ही थार मरुस्थल में भूमि क्षरण को रोककर एक सतत, लचीले और समृद्ध शुष्क पारिस्थितिकी तंत्र का निर्माण संभव हो सकेगा।

9. संदर्भ ग्रंथ सूची (References) :

1. CAZRI (2023). Combating Land Degradation and Desertification in Arid Zone of India: Research Highlights and Technological Interventions. ICAR-Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur, Rajasthan, pp. 1-142.
2. ISRO-SAC (2021). Desertification and Land Degradation Atlas of India (Based on Multi-temporal IRS AWIFS Data). Space Applications Centre, Indian Space Research Organisation, Ahmedabad, pp. 45-88.
3. UNCCD (2022). Global Land Outlook (2nd Edition): Land Restoration for Recovery and Resilience. United Nations Convention to Combat Desertification, Secretariat, Bonn, Germany.
4. Kar, A., Moharana, P. C., & Raina, P. (2019). Desertification and its Control in the Thar Desert of India: A Review. Journal of the Geological Society of India, 94(5), 481-492.
5. Singh, S., & Rathore, N. S. (2020). Environmental Degradation and Climate Change Impacts in Western Rajasthan. Geographical Review of India, 82(3), 215-231.
6. Forest Survey of India (FSI, 2021). India State of Forest Report (ISFR 2021). Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of India, Dehradun.
7. Central Ground Water Board (CGWB, 2022). Dynamic Ground Water Resources of Rajasthan. Ministry of Jal Shakti, Department of Water Resources, Government of India, Jaipur.
8. Bhandari, M. M. (2018). Flora of the Indian Desert. Scientific Publishers, Jodhpur, Revised Edition.
9. Sharma, K. D., & Joshi, D. C. (2021). Hydrological and Edaphic Consequences of Canal Irrigation in Desert Ecosystems: A Case Study of Indira Gandhi Nahar Project. Arid Land Research and Management, 35(2), 121-139.
10. Roy, P. D., & Sinha, R. (2017). Late Quaternary Environmental and Climate Changes in the Thar Desert: A Review of Geomorphological and Geochemical Proxies. Earth-Science Reviews, 171, 23-41.