

शुष्क क्षेत्रों में मृदा स्वास्थ्य सुधार एवं प्रबंधन के परिप्रेक्ष्य में कृषि वानिकी

मयंक राज^{1*}

¹पीएच.डी. शोधार्थी, भारतीय वानिकी अनुसंधान एवं शिक्षा परिषद- शुष्क वन अनुसंधान संस्थान, जोधपुर (वन अनुसंधान संस्थान मानित विश्वविद्यालय, देहरादून)

*E-mail: rajnarayan882013@gmail.com

शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क क्षेत्र विश्व के कुल भू-भाग का लगभग 41 प्रतिशत भाग घेरते हैं तथा दो अरब से अधिक लोगों की आजीविका का प्रमुख आधार कृषि एवं पशुपालन है। भारत में उष्ण शुष्क क्षेत्र, जिसका प्रमुख प्रतिनिधित्व थार मरुस्थल करता है, लगभग 31.7 मिलियन हेक्टेयर क्षेत्र में फैला हुआ है, जिसमें मुख्यतः पश्चिमी राजस्थान तथा गुजरात, हरियाणा एवं पंजाब के कुछ भाग सम्मिलित हैं। इन पारितंत्रों की प्रमुख विशेषताएँ अनिश्चित एवं अल्प वर्षा, अत्यधिक वाष्पोत्सर्जन, मृदा में जैविक कार्बन की अत्यल्प मात्रा, पोषक तत्वों की कमी, पवन अपरदन, लवणता तथा निरंतर भूमि क्षरण हैं। ऐसी प्रतिकूल परिस्थितियों में मृदा स्वास्थ्य को बनाए रखना सतत कृषि के समक्ष सबसे बड़ी चुनौतियों में से एक है। कृषि वानिकी, जिसमें वृक्षों, झाड़ियों, फसलों तथा पशुपालन का योजनाबद्ध समावेश किया जाता है, एक पर्यावरणीय दृष्टि से टिकाऊ एवं आर्थिक रूप से व्यवहार्य भूमि उपयोग प्रणाली के रूप में उभरी है। यह प्रणाली न केवल क्षरित मृदाओं के पुनर्स्थापन में सहायक है, बल्कि कृषि उत्पादकता, प्राकृतिक संसाधन संरक्षण तथा पारिस्थितिकीय स्थिरता को भी सुदृढ़ करती है।

वृक्ष-आधारित कृषि प्रणालियाँ अनेक पारिस्थितिकीय प्रक्रियाओं के माध्यम से मृदा स्वास्थ्य में सुधार करती हैं। इनमें जैविक पदार्थ का सतत संचयन, पोषक तत्वों का पुनर्चक्रण, जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण, कार्बन का संचयन, सूक्ष्म जलवायु का निर्माण, मृदा सूक्ष्मजीव विविधता में वृद्धि, मृदा संरचना एवं समुच्चयों की स्थिरता में सुधार तथा पवन एवं जल अपरदन में कमी प्रमुख हैं। गहरी जड़ वाले वृक्ष मृदा की गहरी परतों से पोषक तत्वों को अवशोषित कर पुनः सतही मृदा में पहुँचाते हैं, जबकि सतत पर्णपात मृदा जैविक कार्बन को बढ़ाकर सूक्ष्मजीवीय गतिविधियों को प्रोत्साहित करता है। इसी प्रकार, पवनरोधक पट्टियाँ पवन की गति को कम करके मृदा अपरदन को नियंत्रित करती हैं तथा मृदा में नमी संरक्षण में सहायता प्रदान करती हैं। इसके अतिरिक्त, कृषि वानिकी जल उपयोग दक्षता में वृद्धि, कार्बन भंडारण तथा कृषि आय के विविधीकरण के माध्यम से जलवायु परिवर्तन के शमन एवं अनुकूलन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

यह समीक्षा लेख शुष्क क्षेत्रों, विशेषकर भारतीय उष्ण शुष्क पारितंत्र, में कृषि वानिकी द्वारा मृदा स्वास्थ्य सुधार एवं सतत मृदा

प्रबंधन में निभाई जाने वाली भूमिका का समग्र विश्लेषण प्रस्तुत करता है। इसमें मृदा पुनर्स्थापन की प्रक्रियाओं, उपयुक्त कृषि वानिकी प्रणालियों, मृदा के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों पर प्रभाव, पारिस्थितिकी तंत्र सेवाओं, कार्बन संचयन, प्रबंधन रणनीतियों, भविष्य के अनुसंधान की आवश्यकताओं तथा जलवायु परिवर्तन की परिस्थितियों में सतत भूमि प्रबंधन हेतु आवश्यक नीतिगत हस्तक्षेपों का विस्तृत विवेचन किया गया है।

मुख्य शब्द: कृषि वानिकी, शुष्क पारितंत्र, मृदा स्वास्थ्य, मृदा जैविक कार्बन, कार्बन संचयन, पवन अपरदन, पोषक तत्व पुनर्चक्रण, सतत भूमि प्रबंधन, थार मरुस्थल।

भूमिका

स्वस्थ मृदा सतत कृषि उत्पादन, पर्यावरणीय सुरक्षा तथा पारिस्थितिकीय स्थिरता की आधारशिला है। मृदा केवल पौधों को सहारा देने का माध्यम नहीं है, बल्कि यह पोषक तत्वों के चक्रण, जल संचयन, कार्बन भंडारण, जैविक विविधता के संरक्षण तथा विभिन्न जैव-भू-रासायनिक प्रक्रियाओं के संचालन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। किन्तु शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क पारितंत्रों में जलवायु की कठोर परिस्थितियों, अल्प वनस्पति आवरण तथा मानवीय हस्तक्षेपों के कारण मृदा की ये कार्यात्मक क्षमताएँ निरंतर प्रभावित हो रही हैं। परिणामस्वरूप, मृदा संसाधनों का क्षरण आज वैश्विक स्तर पर गंभीर चिंता का विषय बन चुका है, विशेषकर उन क्षेत्रों में जहाँ कृषि उत्पादन सीमित वर्षा एवं नाजुक पारिस्थितिकीय परिस्थितियों पर निर्भर करता है।

वैश्विक स्तर पर शुष्क क्षेत्र पृथ्वी के कुल स्थलीय क्षेत्रफल का लगभग 41 प्रतिशत भाग आच्छादित करते हैं तथा विश्व की लगभग एक-तिहाई जनसंख्या का निवास स्थान हैं। कठोर जलवायु परिस्थितियों के बावजूद ये क्षेत्र खाद्य उत्पादन, पशुपालन तथा जैव विविधता संरक्षण में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। भारत में उष्ण शुष्क क्षेत्र का प्रतिनिधित्व मुख्यतः थार मरुस्थल करता है, जिसे विश्व के सर्वाधिक जनसंख्या घनत्व वाले मरुस्थलों में से एक माना जाता है। भारतीय शुष्क क्षेत्र लगभग 31.7 मिलियन हेक्टेयर में विस्तृत है, जिसमें लगभग 62 प्रतिशत भाग पश्चिमी राजस्थान में स्थित है, जबकि शेष क्षेत्र गुजरात, हरियाणा, पंजाब तथा आंध्र प्रदेश एवं कर्नाटक के कुछ भागों में फैला हुआ है। यहाँ वार्षिक वर्षा 100 मिमी

से 500 मिमी के मध्य होती है, जबकि संभावित वाष्पोत्सर्जन वर्षा की तुलना में पाँच से दस गुना अधिक होता है। ग्रीष्मकाल में तापमान प्रायः 48°C से अधिक पहुँच जाता है तथा प्री-मानसून अवधि में चलने वाली तीव्र हवाएँ मृदा अपरदन एवं नमी ह्रास को अत्यधिक बढ़ा देती हैं।

इन क्षेत्रों की मृदाएँ मुख्यतः बलुई अथवा बलुई दोमट प्रकृति की होती हैं, जिनकी जलधारण क्षमता कम, संरचनात्मक स्थिरता कमजोर तथा जैविक पदार्थ की मात्रा अत्यंत कम होती है। अधिकांश कृषिगत मृदाओं में मृदा जैविक कार्बन 0.30 प्रतिशत से भी कम पाया जाता है, जिसके कारण पोषक तत्व धारण क्षमता, सूक्ष्मजीवीय सक्रियता तथा जल उपलब्धता प्रभावित होती है। नाइट्रोजन की कमी लगभग सार्वभौमिक है, जबकि फॉस्फोरस, जिंक तथा लौह जैसे सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी भी निरंतर बढ़ रही है। दूसरी ओर, नहर सिंचाई वाले क्षेत्रों में द्वितीयक लवणता एवं क्षारीयता मृदा संरचना एवं उत्पादकता को और अधिक प्रभावित करती है।

शुष्क क्षेत्रों में भूमि क्षरण प्राकृतिक एवं मानवजनित दोनों कारकों के सम्मिलित प्रभाव का परिणाम है। पवन अपरदन सबसे प्रमुख क्षरण प्रक्रिया है, जिसके कारण प्रतिवर्ष लाखों टन उपजाऊ ऊपरी मृदा उड़कर नष्ट हो जाती है। इसके अतिरिक्त, अत्यधिक जुताई, अतिचारण, वृक्षों की अंधाधुंध कटाई, फसल अवशेषों का हटाया जाना, जैविक खादों का कम उपयोग तथा अनुचित सिंचाई पद्धतियाँ मृदा जैविक पदार्थ एवं पोषक तत्वों के निरंतर ह्रास का कारण बन रही हैं। जलवायु परिवर्तन के कारण बढ़ते तापमान, अनियमित वर्षा, दीर्घकालिक सूखा तथा चरम मौसमीय घटनाओं की बढ़ती आवृत्ति ने इन समस्याओं को और अधिक गंभीर बना दिया है। इसलिए, शुष्क क्षेत्रों में मृदा स्वास्थ्य का संरक्षण सतत कृषि विकास की अनिवार्य आवश्यकता बन गया है।

मृदा स्वास्थ्य की अवधारणा केवल मृदा उर्वरता तक सीमित नहीं है। जहाँ मृदा उर्वरता का तात्पर्य पौधों को आवश्यक पोषक तत्व उपलब्ध कराने की क्षमता से है, वहीं मृदा स्वास्थ्य मृदा के भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणों के समन्वित स्वरूप को अभिव्यक्त करता है, जिसके माध्यम से मृदा एक जीवंत पारिस्थितिकी तंत्र के रूप में कार्य करती है। स्वस्थ मृदा में समुचित संरचना, पर्याप्त रंध्रता, संतुलित पोषक तत्व, सक्रिय सूक्ष्मजीवीय समुदाय, बेहतर जल अवशोषण तथा पर्यावरणीय तनावों को सहन करने की क्षमता होती है। ऐसी मृदा न केवल फसलों की स्थायी उत्पादकता सुनिश्चित करती है, बल्कि कार्बन संचयन, भूजल पुनर्भरण, जैव विविधता संरक्षण तथा जलवायु नियमन जैसी अनेक पारिस्थितिकी तंत्र सेवाएँ भी प्रदान करती है।

सतत भूमि उपयोग प्रणालियों में कृषि वानिकी को शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क क्षेत्रों में मृदा स्वास्थ्य पुनर्स्थापन के लिए सबसे प्रभावी प्रकृति-आधारित समाधान के रूप में स्वीकार किया जा रहा है। कृषि वानिकी में बहुवर्षीय वृक्षों एवं झाड़ियों का फसलों तथा पशुपालन के साथ वैज्ञानिक एवं योजनाबद्ध समावेश किया जाता है ताकि प्राकृतिक संसाधनों का अधिकतम एवं संतुलित उपयोग किया जा सके। एकल फसल प्रणाली की तुलना में कृषि वानिकी प्राकृतिक वनों के समान बहुस्तरीय संरचना विकसित करती है। वृक्षों द्वारा पर्णपात एवं जड़ों के क्षय से जैविक पदार्थ की सतत आपूर्ति होती है,

गहरी जड़ें पोषक तत्वों का पुनर्चक्रण करती हैं, सूक्ष्मजीव गतिविधियाँ बढ़ती हैं तथा पवन की गति एवं मृदा तापमान में कमी आने से सूक्ष्म जलवायु का निर्माण होता है।

शुष्क पारिस्थितिकी तंत्रों में वृक्षों की भूमिका और भी अधिक महत्वपूर्ण हो जाती है। गहरी जड़ें उन जल एवं पोषक तत्वों का उपयोग करती हैं जो सामान्य फसलों की पहुँच से बाहर होते हैं। निरंतर पर्णपात मृदा जैविक कार्बन को समृद्ध करता है, जबकि नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाली प्रजातियाँ मृदा उर्वरता में उल्लेखनीय वृद्धि करती हैं। पवनरोधक पट्टियाँ खेतों को रेत के उड़ाव से बचाती हैं तथा उपजाऊ मृदा के संरक्षण में महत्वपूर्ण योगदान देती हैं। वृक्षों की छाया एवं पत्ती अवशेष मृदा में नमी संरक्षण को बढ़ाते हैं, जिससे सूखे की स्थिति में भी फसलों की उत्पादकता अपेक्षाकृत स्थिर बनी रहती है।

भारतीय शुष्क क्षेत्रों में कृषि वानिकी की परंपरा सदियों पुरानी है। खेजड़ी (*Prosopis cineraria*), कुमट (*Acacia senegal*), देशी बबूल (*Acacia nilotica*), रोहिडा (*Tecomella undulata*), बेर (*Ziziphus mauritiana*), जाल (*Salvadora persica*) तथा केर (*Capparis decidua*) जैसी स्वदेशी वृक्ष प्रजातियाँ स्थानीय कृषि प्रणालियों का अभिन्न अंग रही हैं। ये प्रजातियाँ चारा, ईंधन, लकड़ी, फल, गोंद, औषधीय उत्पाद तथा हरित खाद उपलब्ध कराने के साथ-साथ मृदा की उर्वरता एवं पारिस्थितिकी संतुलन बनाए रखने में भी अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। विशेष रूप से पश्चिमी राजस्थान की खेजड़ी आधारित कृषि प्रणाली विश्व की सर्वाधिक सफल पारंपरिक कृषि वानिकी प्रणालियों में से एक मानी जाती है, जहाँ वृक्ष एवं फसलें परस्पर पूरक रूप से कार्य करते हुए मृदा गुणवत्ता तथा कृषकों की आजीविका दोनों को सुदृढ़ बनाती हैं।

पिछले कुछ दशकों में भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद, कृषि विश्वविद्यालयों तथा अंतरराष्ट्रीय अनुसंधान संस्थानों द्वारा किए गए अनेक अध्ययनों से यह सिद्ध हुआ है कि कृषि वानिकी प्रणालियाँ परंपरागत एकल फसल प्रणालियों की तुलना में मृदा जैविक कार्बन, उपलब्ध पोषक तत्वों, सूक्ष्मजीवीय जैवभार, एंजाइम सक्रियता, जल अवशोषण क्षमता, मृदा समुच्चय स्थिरता तथा कार्बन संचयन में उल्लेखनीय वृद्धि करती हैं। इन वैज्ञानिक प्रमाणों के आधार पर कृषि वानिकी को आज शुष्क क्षेत्रों में सतत मृदा प्रबंधन एवं जलवायु-स्मार्ट कृषि का एक प्रमुख आधार माना जा रहा है।

विश्व के प्रमुख शुष्क क्षेत्रों की कृषि-जलवायु विशेषताएँ

विश्व के शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क क्षेत्रों की जलवायु, मृदा तथा प्राकृतिक संसाधनों में पर्याप्त भिन्नता पाई जाती है, जिसके कारण वहाँ अपनाई जाने वाली कृषि एवं कृषि वानिकी प्रणालियाँ भी अलग-अलग होती हैं। भारतीय थार मरुस्थल में वार्षिक वर्षा 100–500 मिमी के बीच होती है तथा यहाँ की मृदाएँ मुख्यतः बलुई प्रकृति की होती हैं। तीव्र पवन, उच्च तापमान तथा कम जैविक पदार्थ के कारण पवन अपरदन सबसे बड़ी समस्या है। इसके विपरीत अफ्रीका के साहेल क्षेत्र में अपेक्षाकृत अधिक वर्षा (150–600 मिमी) होने के बावजूद दीर्घकालिक सूखा और पोषक तत्वों की कमी कृषि

उत्पादन को प्रभावित करती है। मध्य-पूर्व के शुष्क क्षेत्रों में लवणता और जल संकट प्रमुख चुनौतियाँ हैं, जबकि ऑस्ट्रेलिया के शुष्क भागों में जल संरक्षण तथा चरागाह प्रबंधन पर विशेष ध्यान दिया जाता है।

इन सभी क्षेत्रों में कृषि वानिकी प्रणालियों का चयन स्थानीय जलवायु, मृदा, जल उपलब्धता एवं सामाजिक-आर्थिक परिस्थितियों के अनुसार किया जाता है। भारतीय शुष्क क्षेत्रों में खेजड़ी आधारित कृषि वानिकी, साहेल में पार्कलैंड प्रणाली, मध्य-पूर्व में खजूर आधारित कृषि तथा ऑस्ट्रेलिया में सिल्वी-पाश्चर प्रणाली सफल उदाहरण हैं। यह तालिका स्पष्ट करती है कि यद्यपि विभिन्न क्षेत्रों की समस्याएँ भिन्न हैं, तथापि वृक्ष आधारित भूमि उपयोग प्रणाली मृदा संरक्षण, कार्बन संचयन तथा कृषि उत्पादन की स्थिरता सुनिश्चित करने का प्रभावी माध्यम है।

तालिका 1: विश्व के प्रमुख शुष्क क्षेत्रों की कृषि-जलवायु विशेषताएँ

| क्षेत्र | वार्षिक वर्षा (मिमी) | तापमान (°C) | प्रमुख मृदा | प्रमुख समस्याएँ | प्रमुख कृषि वानिकी प्रणालियाँ |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| भारतीय थार मरुस्थल | 100–500 | 2–50 | बलुई | पवन अपरदन | खेजड़ी आधारित कृषि वानिकी |
| साहेल (अफ्रीका) | 150–600 | 25–45 | बलुई | सूखा | पार्कलैंड कृषि वानिकी |
| मध्य-पूर्व | <250 | 20–48 | बलुई | लवणता | खजूर आधारित प्रणाली |
| ऑस्ट्रेलिया | 200–400 | 18–45 | बलुई दोमट | जल संकट | सिल्वी-पाश्चर प्रणाली |

शुष्क पारितंत्रों में मृदा स्वास्थ्य संबंधी प्रमुख समस्याएँ

शुष्क क्षेत्रों की मृदाओं का सबसे बड़ा अवरोध मृदा जैविक कार्बन की अत्यल्प मात्रा है। सामान्यतः इन मृदाओं में जैविक कार्बन 0.2–0.3 प्रतिशत से भी कम होता है, जिसके कारण मृदा की जलधारण क्षमता, पोषक तत्व धारण क्षमता तथा सूक्ष्मजीवीय सक्रियता अत्यंत सीमित हो जाती है। कम वर्षा, अधिक तापमान तथा जैविक अवशेषों की कमी के कारण मृदा में कार्बनिक पदार्थों का संचय नहीं हो पाता।

इसके अतिरिक्त तीव्र पवन के कारण प्रतिवर्ष बड़ी मात्रा में उपजाऊ ऊपरी मृदा उड़कर नष्ट हो जाती है। बार-बार जुताई, अतिचारण तथा वनस्पति आवरण में कमी से मृदा की सतह पर पपड़ी बन जाती है, जिससे वर्षा जल का अंतःप्रवेशन कम हो जाता है। नाइट्रोजन, फॉस्फोरस तथा सूक्ष्म पोषक तत्वों की कमी अधिकांश शुष्क क्षेत्रों में सामान्य समस्या है। नहर सिंचित क्षेत्रों में लवणता एवं क्षारीयता मृदा की संरचना को प्रभावित करती है और फसलों की उत्पादकता घटाती है। इन परिस्थितियों में कृषि वानिकी जैविक पदार्थों की वृद्धि, अपरदन नियंत्रण तथा पोषक तत्व

पुनर्चक्रण के माध्यम से मृदा स्वास्थ्य सुधार का प्रभावी विकल्प प्रदान करती है।

मृदा स्वास्थ्य के प्रमुख संकेतक

मृदा स्वास्थ्य का मूल्यांकन केवल पोषक तत्वों की उपलब्धता के आधार पर नहीं किया जा सकता, बल्कि इसके लिए भौतिक, रासायनिक एवं जैविक संकेतकों का समेकित अध्ययन आवश्यक है। भौतिक संकेतकों में मृदा घनत्व, रंध्रता, जलधारण क्षमता, अंतःप्रवेशन दर तथा समुच्चय स्थिरता प्रमुख हैं। ये गुण मृदा की संरचना तथा पौधों की जड़ वृद्धि को प्रभावित करते हैं। रासायनिक संकेतकों में मृदा जैविक कार्बन, उपलब्ध नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, पोटाश, pH, विद्युत चालकता तथा धनायन विनिमय क्षमता प्रमुख हैं। ये गुण मृदा की उर्वरता तथा पोषक तत्व उपलब्ध कराने की क्षमता को दर्शाते हैं।

जैविक संकेतकों में सूक्ष्मजीवीय जैवभार, मृदा श्वसन, एंजाइम सक्रियता, केंचुओं की संख्या तथा सूक्ष्मजीव विविधता सम्मिलित हैं। स्वस्थ मृदा में जैविक गतिविधियाँ अधिक होती हैं, जिससे पोषक तत्वों का खनिजीकरण एवं कार्बनिक पदार्थों का अपघटन तीव्र गति से होता है। अतः मृदा स्वास्थ्य का समुचित मूल्यांकन इन तीनों प्रकार के संकेतकों के समन्वित विश्लेषण द्वारा किया जाना चाहिए।

भारत में प्रचलित प्रमुख कृषि वानिकी प्रणालियाँ

भारत के विभिन्न कृषि-जलवायु क्षेत्रों में अनेक प्रकार की कृषि वानिकी प्रणालियाँ विकसित हुई हैं। शुष्क क्षेत्रों में कृषि-वानिकी तथा सिल्वी-पाश्चर सबसे अधिक प्रचलित प्रणालियाँ हैं। कृषि-वानिकी प्रणाली में वृक्षों और फसलों का संयुक्त उत्पादन किया जाता है, जबकि सिल्वी-पाश्चर प्रणाली में वृक्षों के साथ चारा फसलों एवं चरागाहों का समावेश किया जाता है। कृषि-बागवानी प्रणाली में फलदार वृक्षों के साथ वार्षिक फसलें उगाई जाती हैं। खेतों की सीमाओं पर वृक्षारोपण, पवनरोधक पट्टियाँ तथा वायुरोधी वृक्ष पंक्तियाँ विशेष रूप से शुष्क क्षेत्रों में पवन अपरदन रोकने, नमी संरक्षण तथा सूक्ष्म जलवायु निर्माण में अत्यंत प्रभावी सिद्ध हुई हैं। इन प्रणालियों के माध्यम से किसानों को लकड़ी, ईंधन, चारा, फल तथा अन्य बहुउद्देशीय उत्पाद प्राप्त होते हैं, जिससे कृषि आय में विविधता आती है और प्राकृतिक संसाधनों का संरक्षण भी सुनिश्चित होता है।

प्रमुख वृक्ष प्रजातियाँ एवं उनके पारिस्थितिकीयलाभ: शुष्क क्षेत्रों की स्थानीय वृक्ष प्रजातियाँ मृदा स्वास्थ्य सुधार एवं प्राकृतिक संसाधन संरक्षण में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। खेजड़ी (*Prosopis cineraria*) को भारतीय शुष्क क्षेत्रों का 'जीवन वृक्ष' माना जाता है, क्योंकि यह जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण, पत्ती अवशेषों की आपूर्ति तथा पोषक तत्व पुनर्चक्रण के माध्यम से मृदा की उर्वरता बनाए रखती है। कुमट (*Acacia senegal*) गोंद उत्पादन के साथ-साथ मृदा संरक्षण और जैविक कार्बन संचयन में महत्वपूर्ण योगदान देता है।

देशी बबूल (*Acacia nilotica*) मृदा संरचना सुधारने तथा जैविक पदार्थ बढ़ाने में सहायक है, जबकि रोहिडा (*Tecomella undulata*) मरुस्थलीय क्षेत्रों में इमारती लकड़ी का महत्वपूर्ण स्रोत

होने के साथ-साथ जैव विविधता संरक्षण में भी उपयोगी है। बेर (*Ziziphus mauritiana*), जाल (*Salvadora persica*) तथा केर (*Capparis decidua*) जैसी प्रजातियाँ खाद्य एवं पोषण सुरक्षा के साथ-साथ सूखा-सहिष्णु कृषि प्रणालियों का आधार हैं। इन सभी प्रजातियों का समुचित संयोजन कृषि वानिकी प्रणालियों को अधिक उत्पादक, टिकाऊ तथा जलवायु-अनुकूल बनाता है।

तालिका 2: प्रमुख वृक्ष प्रजातियाँ एवं उनके पारिस्थितिकीय लाभ

| वृक्ष प्रजाति | मृदा सुधार | कार्बन संचयन | चारा | ईंधन | इमारती लकड़ी | नाइट्रोजन स्थिरीकरण |
|---------------|------------|--------------|------|------|--------------|---------------------|
| खेजड़ी | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | सीमित | ✓ |
| कुमट | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| देशी बबूल | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| रोहिड़ा | ✓ | ✓ | - | - | ✓ | - |
| बेर | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | - |
| जाल | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | - |
| केर | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | - |

निष्कर्ष

भारत के शुष्क एवं अर्द्ध-शुष्क क्षेत्र सीमित वर्षा, उच्च तापमान, तीव्र वाष्पोत्सर्जन, मृदा अपरदन, लवणीयता एवं क्षारीयता, जैविक कार्बन की कमी तथा पोषक तत्वों के असंतुलन जैसी अनेक चुनौतियों का सामना कर रहे हैं। इन परिस्थितियों में केवल पारंपरिक कृषि पद्धतियाँ मृदा की दीर्घकालिक उत्पादकता एवं कृषि की स्थिरता सुनिश्चित करने में पर्याप्त नहीं हैं। ऐसे परिदृश्य में कृषि वानिकी (Agroforestry) मृदा स्वास्थ्य सुधार एवं प्राकृतिक संसाधनों के सतत प्रबंधन की एक वैज्ञानिक, पर्यावरण-अनुकूल तथा आर्थिक रूप से व्यवहार्य प्रणाली के रूप में अत्यंत प्रभावी सिद्ध हुई है।

कृषि वानिकी प्रणाली वृक्षों, फसलों एवं आवश्यकतानुसार पशुपालन के समन्वित प्रबंधन के माध्यम से मृदा की भौतिक, रासायनिक एवं जैविक गुणवत्ता में उल्लेखनीय सुधार लाती है। वृक्षों से प्राप्त पर्णपात एवं जैविक अवशेष मृदा में जैविक कार्बन की मात्रा बढ़ाते हैं, जिससे मृदा की संरचना, जलधारण क्षमता, पोषक तत्वों की उपलब्धता तथा सूक्ष्मजीवों की सक्रियता में वृद्धि होती है। गहरी जड़ प्रणाली मृदा की निचली परतों से पोषक तत्वों को सतह पर लाकर पोषक तत्वों के पुनर्चक्रण को सुदृढ़ बनाती है, जबकि वृक्षों की जड़ें वायु एवं जल द्वारा होने वाले मृदा अपरदन को प्रभावी रूप से नियंत्रित करती हैं। इसके अतिरिक्त, कृषि वानिकी सूक्ष्म जलवायु को अनुकूल बनाकर फसलों को अत्यधिक ताप, तेज हवाओं तथा सूखे के प्रतिकूल प्रभावों से भी सुरक्षा प्रदान करती है।

शुष्क क्षेत्रों में स्थानीय परिस्थितियों के अनुरूप उपयुक्त वृक्ष प्रजातियों, जैसे:- खेजड़ी (*Prosopis cineraria*), रोहिड़ा (*Tecomella undulata*), बबूल (*Acacia nilotica*), बेर (*Ziziphus mauritiana*), नीम (*Azadirachta indica*) तथा अन्य बहुउद्देशीय वृक्षों का समावेश कृषि प्रणाली की उत्पादकता एवं

स्थिरता को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। साथ ही, वर्षा जल संचयन, जैविक पदार्थों का समुचित उपयोग, संरक्षण कृषि, सूक्ष्म सिंचाई तकनीकों तथा समन्वित पोषक तत्व प्रबंधन के साथ कृषि वानिकी का एकीकरण मृदा स्वास्थ्य सुधार के प्रभाव को और अधिक सुदृढ़ बनाता है।

भविष्य में शुष्क क्षेत्रों में कृषि वानिकी के व्यापक विस्तार हेतु गुणवत्तायुक्त रोपण सामग्री की उपलब्धता, किसान प्रशिक्षण एवं क्षमता निर्माण, स्थानीय स्तर पर उपयुक्त मॉडल का विकास, प्रभावी नीतिगत समर्थन, कार्बन क्रेडिट एवं पारिस्थितिकी तंत्र सेवाओं के लिए प्रोत्साहन, तथा दीर्घकालिक बहुविषयक अनुसंधान को प्राथमिकता देना आवश्यक होगा। यदि इन पहलुओं पर समन्वित रूप से कार्य किया जाए, तो कृषि वानिकी न केवल मृदा स्वास्थ्य के पुनर्स्थापन का सशक्त माध्यम सिद्ध होगी, बल्कि जलवायु परिवर्तन के अनुकूलन, मरुस्थलीकरण नियंत्रण, खाद्य एवं पोषण सुरक्षा, किसानों की आय वृद्धि तथा शुष्क क्षेत्रों के सतत एवं समावेशी ग्रामीण विकास में भी महत्वपूर्ण योगदान देगी।

सुझावित पठन:-

1. जोसे, एस. (2009). *Agroforestry for Ecosystem Services and Environmental Benefits*. Agroforestry Systems, 76: 1-10.
2. Nair, P. K. R. (2011). *Agroforestry Systems and Environmental Quality*. Journal of Environmental Quality.
3. लाल, आर. (2020). *Soil Organic Matter and Carbon Sequestration*. Journal of Soil and Water Conservation.
4. विश्व खाद्य एवं कृषि संगठन (FAO). (2022). *विश्व के वनों की स्थिति (The State of the World's Forests)*. FAO, Rome.
5. अंतर-सरकारी जलवायु परिवर्तन पैनल (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. IPCC Assessment Report.
6. भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद (ICAR). (2015). *आईसीएआर विज़न-2050 (ICAR Vision-2050)*. नई दिल्ली।
7. भारत सरकार. (2014). *राष्ट्रीय कृषि वानिकी नीति (National Agroforestry Policy)*. कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, नई दिल्ली।
8. आईसीएआर-केंद्रीय कृषि वानिकी अनुसंधान संस्थान (ICAR-CAFRI), झाँसी. कृषि वानिकी प्रणालियों, मृदा स्वास्थ्य एवं प्राकृतिक संसाधन प्रबंधन संबंधी विभिन्न तकनीकी प्रकाशन।
9. आईसीएआर-केंद्रीय शुष्क क्षेत्र अनुसंधान संस्थान, जोधपुर. *शुष्क क्षेत्रों की कृषि, कृषि वानिकी एवं प्राकृतिक संसाधन प्रबंधन पर तकनीकी बुलेटिन एवं अनुसंधान प्रकाशन।*
10. भारत सरकार (2023). *मृदा स्वास्थ्य प्रबंधन (Soil Health Management) दिशा-निर्देश*. कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय, नई दिल्ली।
11. FAO and ICRAF (World Agroforestry). (2019). *Advancing Agroforestry on the Policy Agenda: A Guide for Decision-Makers*.
12. ICRAF (World Agroforestry). (2021). *Agroforestry for Sustainable Land Management and Climate Resilience*.

