

जल स्रोतांचे प्रभावी व्यवस्थापन व वर्धा जिल्ह्यातील शाश्वत शेतीची उत्पादकता

राधा रा. तिवारी

सहायक प्राध्यापक,

गो. से. वाणिज्य महाविद्यालय, वर्धा,

E-Mail: radhikatiwari744@gmail.com

योगेश ल. पतिंगे

सहयोगी प्राध्यापक,

गो.से.वाणिज्य महाविद्यालय, वर्धा,

E-Mail: yogeshpatinge81@gmail.com

गोषवारा :

जल स्रोतांचे प्रभावी व्यवस्थापन शाश्वत शेती साध्य करण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाचे आहे, विशेषतः वर्धा जिल्ह्यासारख्या भागांसाठी, जे अर्थिक स्थैर्यासाठी शेतीवर मोठ्या प्रमाणावर अवलंबून आहेत. या अभ्यासात वर्धा जिल्ह्यातील जल स्रोत व्यवस्थापनाची सध्याची स्थिती आणि त्याचा शेती उत्पादनक्षमतेवर होणारा परिणाम तपासण्यात आला आहे. स्थानिक शेतकऱ्यांकडून गोळा केलेल्या प्राथमिक डेटावर आधारित, ड्रिप सिंचन, स्प्रिंकलर प्रणाली आणि पारंपरिक जलसंधारण पद्धतींसारख्या विविध जल व्यवस्थापन तंत्रांची परिणामकारकता या संशोधनात स्पष्ट करण्यात आली आहे. या तंत्रांच्या आर्थिक व्यवहार्यतेचा आणि पर्यावरणीय संतुलन राखत पिकांच्या उत्पादनक्षमतेत सुधारणा घडविण्यात त्यांच्या भूमिकेचा अभ्यास करण्यात आला आहे. संशोधनातून असे दिसून आले की, जल स्रोत उपलब्धता आणि व्यवस्थापन पद्धतींवर आधारित उत्पादनक्षमतेत महत्त्वपूर्ण असमानता आहे. तसेच, या भागाच्या भौगोलिक व हवामानाशी सुसंगत अशा कमी खर्चिक जल व्यवस्थापन धोरणांची शिफारस या लेखात करण्यात आली आहे, ज्यामुळे दीर्घकालीन शेतीची शाश्वतता सुनिश्चित करता येईल. हे संशोधन जल स्रोत व्यवस्थापन आणि शेती उत्पादनक्षमता यांच्यातील संबंध समजून घेण्यास मदत करते, तसेच धोरणकर्ते, कृषी तज्ञ आणि अर्धशुष्क भागांमध्ये शाश्वत शेतीला प्रोत्साहन देणाऱ्या भागधारकांसाठी उपयुक्त सल्ला प्रदान करते.

बीज शब्द : जलस्रोत व्यवस्थापन, शाश्वत शेती, कृषी उत्पादकता, प्रभावी सिंचन तंत्र, पर्यावरणपूरक शेती

१. प्रस्तावना

भारतासारख्या कृषिप्रधान देशामध्ये शेती मुख्यत्वे नैसर्गिक जलस्रोतांवर आणि पर्जन्यमानावर अवलंबून आहे. तथापि, अलीकडील काळात हवामान बदल, अनियमित व अस्थिर पर्जन्यमान, भूजलपातळीतील सातत्यपूर्ण घट, वाढती लोकसंख्या आणि जलस्रोतांचा अकार्यक्षम वापर यांमुळे पाणीटंचाईची समस्या अधिक तीव्र होत चालली आहे. या पार्श्वभूमीवर जलस्रोतांचे प्रभावी व्यवस्थापन हे केवळ शेती उत्पादनवाढीसाठीच नव्हे, तर दीर्घकालीन शाश्वत विकासासाठीही अनिवार्य ठरते. शाश्वत शेती ही संकल्पना केवळ उत्पादन वाढीपुरती मर्यादित नसून ती पर्यावरणीय संतुलन, आर्थिक व्यवहार्यता आणि सामाजिक समावेशकता या तीन प्रमुख घटकांवर आधारित आहे. पाण्याचा विवेकपूर्ण व कार्यक्षम वापर केल्यास नैसर्गिक संसाधनांचा न्हास रोखता येतो, उत्पादन खर्च कमी करता येतो आणि शेतकऱ्यांचे उत्पन्न स्थिर ठेवण्यास मदत

होते. आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्रे जसे की ठिबक सिंचन, तुषार सिंचन, पाणी साठवण व संवर्धन तंत्रज्ञान यांचा योग्य अवलंब केल्यास जल कार्यक्षमता वाढून कृषी उत्पादकतेत लक्षणीय सुधारणा घडून येऊ शकते.

महाराष्ट्र राज्यातील विदर्भ विभाग हा प्रामुख्याने कोरडवाहू व अर्धशुष्क स्वरूपाचा असून येथे शेती मोठ्या प्रमाणावर मान्सूनवर अवलंबून आहे. विदर्भातील वर्धा जिल्हा हा कृषिप्रधान जिल्हा असून येथील बहुसंख्य लोकसंख्येचे जीवनमान शेतीवर आधारित आहे. जरी वर्धा, धाम, वणा व बोर या नद्यांचे अस्तित्व जिल्ह्यात असले, तरी अपुरे जलसंधारण, मर्यादित सिंचन सुविधा, भूजलाचे अतिउपसा आणि पारंपरिक सिंचन पद्धतींवरील अवलंबित्व यांमुळे शेतीसाठी उपलब्ध पाण्याचा पुरेसा व परिणामकारक उपयोग होत नाही. परिणामी, शेती उत्पादनक्षमता कमी राहते आणि शेतकऱ्यांची आर्थिक असुरक्षितता वाढते.

वर्धा जिल्ह्यात कापूस, सोयाबीन, तूर, गहू इत्यादी पिकांचे उत्पादन मोठ्या प्रमाणावर घेतले जाते. मात्र

बदलत्या हवामान परिस्थितीचा, अनियमित पावसाचा आणि पाणीटंचाईचा थेट परिणाम या पिकांच्या उत्पादकतेवर दिसून येतो. अशा परिस्थितीत जलस्रोतांचे वैज्ञानिक व नियोजनबद्ध व्यवस्थापन करणे, तसेच शेतकऱ्यांना अनुकूल व कमी खर्चिक जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब करण्यासाठी प्रोत्साहित करणे, ही काळाची गरज बनली आहे.

या संशोधनाचा मुख्य हेतू वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या सध्याच्या स्थितीचा अभ्यास करून त्याचा शाश्वत शेतीच्या उत्पादकतेवर होणारा परिणाम विश्लेषित करणे हा आहे. जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब केल्यामुळे शेती उत्पादन, नफा-तोटा गुणोत्तर, तसेच शेतकऱ्यांच्या आर्थिक स्थितीत होणारे बदल अभ्यासणे हे या संशोधनाचे केंद्रबिंदू आहेत. यासोबतच, आर्थिक अडथळे, पर्यावरणीय घटक आणि सामाजिक परिस्थिती यांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर कसा प्रभाव पडतो, याचाही सखोल अभ्यास या संशोधनात करण्यात आला आहे. या अभ्यासातून वर्धा जिल्ह्यासाठी जलस्रोत व्यवस्थापन व शाश्वत शेतीचा एक व्यवहार्य व अनुकरणीय नमुना समोर येईल, अशी अपेक्षा आहे. तसेच, या संशोधनाचे निष्कर्ष धोरणकर्ते, कृषी विस्तार अधिकारी, संशोधक आणि शेतकरी यांच्यासाठी उपयुक्त ठरून कोरडवाहू व अर्धशुष्क भागांमध्ये शाश्वत शेतीला चालना देण्यासाठी मार्गदर्शक ठरतील.

२. संदर्भ साहित्याचा आढावा

जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शाश्वत शेती यांमधील संबंधावर देशांतर्गत व आंतरराष्ट्रीय स्तरावर विविध अभ्यास करण्यात आले आहेत. या अभ्यासांमधून पाण्याच्या कार्यक्षम वापरामुळे कृषी उत्पादनक्षमता, आर्थिक लाभ आणि पर्यावरणीय शाश्वतता यांमध्ये लक्षणीय सुधारणा होते, हे स्पष्टपणे अधोरेखित करण्यात आले आहे.

Molden (1997) यांनी जल वापर आणि कृषी उत्पादकता यांमधील संबंधाचा सैद्धांतिक व अनुभवाधारित अभ्यास करताना “water productivity” ही संकल्पना मांडली. त्यांच्या अभ्यासानुसार, मर्यादित जलस्रोतांच्या परिस्थितीत पाण्याचा कार्यक्षम वापर केल्यास उत्पादन वाढवणे शक्य असून, जल व्यवस्थापन हे शेती विकासाचे केंद्रस्थानी

असले पाहिजे. हा अभ्यास जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या आर्थिक व पर्यावरणीय महत्त्वावर प्रकाश टाकतो.

Jalota, Sood, Vitale आणि Srinivasan (2007) यांनी भारतीय पंजाबमधील सिंचन व्यवस्थापनाचा अभ्यास करून असे निष्कर्ष मांडले की, कार्यक्षम सिंचन तंत्रांचा वापर केल्यास पिकांचे उत्पादन वाढते आणि पाण्याच्या वापराची कार्यक्षमता सुधारते. त्यांच्या संशोधनातून सूचित होते की, वैज्ञानिक सिंचन व्यवस्थापनामुळे केवळ उत्पादनातच नव्हे, तर शेतकऱ्यांच्या उत्पन्नातही वाढ होते. प्रस्तुत संशोधनातील निष्कर्ष या अभ्यासाशी सुसंगत आहेत.

Kampman (2007) यांनी भारतातील विविध राज्यांमध्ये कृषी उत्पादनासाठी वापरण्यात येणाऱ्या पाण्याचा “water footprint” अभ्यासला. या अभ्यासात असे आढळून आले की, पारंपारिक शेती पद्धतींमध्ये पाण्याचा अपव्यय मोठ्या प्रमाणावर होतो. जलस्रोतांचे नियोजनबद्ध व्यवस्थापन आणि पिकांच्या रचनेत बदल केल्यास पाणीटंचाईच्या समस्याला आळा घालता येऊ शकतो, असा निष्कर्ष त्यांनी काढला आहे.

Baishya इ. (2016) यांनी आसाममधील भात-आधारित शेती प्रणालीचा अभ्यास करून असे नमूद केले की, संसाधनांचा कार्यक्षम वापर आणि योग्य पाणी व्यवस्थापन केल्यास कृषी उत्पादकता व नफा दोन्ही वाढू शकतात. त्यांच्या अभ्यासात पाणी व्यवस्थापन हे शेतीतील शाश्वतता साध्य करण्याचे एक महत्त्वाचे साधन असल्याचे स्पष्ट होते.

Gathala इ. (2020) यांनी लघु शेतकऱ्यांसाठी शाश्वत शेतीच्या दृष्टीने जल, ऊर्जा आणि अन्न यांमधील परस्परसंबंधाचा अभ्यास केला. त्यांच्या संशोधनानुसार, सूक्ष्म सिंचन तंत्रांचा अवलंब केल्यास पर्यावरणीय फायदे मिळतात तसेच शेतकऱ्यांचे आर्थिक स्थैर्यही वाढते. हा अभ्यास शाश्वत शेतीसाठी एकात्मिक दृष्टिकोनाची गरज अधोरेखित करतो.

संयुक्त राष्ट्रांच्या *UN World Water Development Report (2023)* मध्येही जागतिक स्तरावर जलस्रोतांच्या मर्यादा आणि कृषी क्षेत्रातील वाढती पाण्याची मागणी यावर भर देण्यात आला आहे. या अहवालानुसार, भविष्यातील अन्नसुरक्षेसाठी जलस्रोतांचे शाश्वत व कार्यक्षम व्यवस्थापन,

विशेषतः अर्धशुष्क व कोरडवाहू प्रदेशांमध्ये अपरिहार्य आहे.

उपरोक्त संदर्भ साहित्याच्या आढाव्यातून असे स्पष्ट होते की, जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शेती उत्पादकता यांमधील सकारात्मक संबंधाबाबत व्यापक एकमत आढळते. तथापि, विदर्भातील वर्धा जिल्ह्यासारख्या अर्धशुष्क भागांवर केंद्रित अनुभवाधारित अभ्यास तुलनेने मर्यादित आहेत. त्यामुळे प्रस्तुत संशोधन हे विद्यमान साहित्यातील पोकळी भरून काढत असून, स्थानिक स्तरावर जल व्यवस्थापन व शाश्वत शेती यांमधील संबंधांचे शास्त्रीय विश्लेषण करण्याचा प्रयत्न करते.

३. अध्ययनाची उद्दिष्टे

प्रस्तुत संशोधनाचा मुख्य उद्देश वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शाश्वत शेतीची उत्पादकता यांमधील परस्परसंबंधाचे शास्त्रीय विश्लेषण करणे हा आहे. या व्यापक उद्देशाच्या अनुषंगाने पुढील विशिष्ट उद्दिष्टे निश्चित करण्यात आली आहेत :

1. वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या सध्याच्या स्थितीचा अभ्यास करणे.
2. जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या विविध तंत्रांचा शेती उत्पादनक्षमतेवर होणारा परिणाम विश्लेषित करणे.
3. शेतकऱ्यांच्या आर्थिक अडथळांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर होणारा प्रभाव अभ्यासणे.
4. पर्यावरणीय घटकांचा (पर्जन्यमान व जमिनीचा प्रकार) जल व्यवस्थापन तंत्रांच्या अवलंबावर होणारा परिणाम शोधणे.
5. वर्धा जिल्ह्यासाठी शाश्वत शेतीच्या दृष्टीने योग्य व व्यवहार्य जल व्यवस्थापन धोरणांची शिफारस करणे.

४. संशोधन पद्धती

प्रस्तुत अध्ययनात जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शाश्वत शेतीची उत्पादकता यांचा अभ्यास करण्यासाठी शास्त्रीय व नियोजनबद्ध संशोधन पद्धतीचा अवलंब करण्यात आला आहे. संशोधनाची रचना वर्णनात्मक (Descriptive) व विश्लेषणात्मक (Analytical) स्वरूपाची आहे. हे संशोधन अनुभवाधारित (Empirical) स्वरूपाचे असून, प्रत्यक्ष क्षेत्रीय सर्वेक्षणावर आधारित आहे. प्राथमिक माहितीच्या साहाय्याने शेतकऱ्यांच्या जल

व्यवस्थापन पद्धती, उत्पादनक्षमता व आर्थिक परिस्थितीचा अभ्यास करण्यात आला आहे.

या संशोधनासाठी महाराष्ट्र राज्यातील विदर्भ विभागातील वर्धा जिल्हा हे अभ्यास क्षेत्र म्हणून निवडण्यात आले आहे. हा जिल्हा कृषिप्रधान असून अनियमित पर्जन्यमान, पाणीटंचाई आणि कोरडवाहू शेतीची वैशिष्ट्ये येथे आढळतात. त्यामुळे जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या अभ्यासासाठी वर्धा जिल्हा प्रतिनिधिक ठरतो.

४.१ तथ्य संकलनाच्या पद्धती

(अ) प्राथमिक समंक : संशोधनासाठी प्राथमिक माहिती क्षेत्रीय सर्वेक्षण व थेट मुलाखती यांच्या माध्यमातून गोळा करण्यात आली आहे. यासाठी संरचित प्रश्नावली (Structured Questionnaire) तयार करून वर्धा जिल्ह्यातील विविध गावांमधील ५० शेतकऱ्यांकडून माहिती संकलित करण्यात आली. प्रश्नावलीत प्रामुख्याने, शेती पद्धती व पिकांची माहिती; वापरात असलेले जलस्रोत व सिंचन तंत्र; उत्पादन खर्च व उत्पन्न; जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यातील अडचणी; शासकीय योजना व अनुदानांविषयीची माहिती इत्यादी बाबींचा समावेश करण्यात आला.

(आ) द्वितीयक समंक : द्वितीयक माहिती विविध शासकीय अहवाल, संशोधन लेख, कृषी विभागाची प्रकाशने, मासिके, संकेतस्थळे व पूर्वीच्या संशोधन साहित्यामधून संकलित करण्यात आली आहे.

४.२ नमुना निवड पद्धती व तथ्य विश्लेषणाची साधने

प्रस्तुत संशोधनात साधी यादृच्छिक नमुना पद्धत (Simple Random Sampling) वापरण्यात आली आहे. विविध आकारांच्या शेतजमिनी असलेल्या शेतकऱ्यांचा समावेश करून नमुना अधिक प्रतिनिधिक ठेवण्याचा प्रयत्न करण्यात आला आहे. संकलित माहितीचे विश्लेषण करण्यासाठी, सरासरी (Mean) व मानक विचलन (Standard Deviation); साधी टी-चाचणी (Simple t-test); दोन स्वतंत्र नमुन्यांसाठी टी-चाचणी (Independent / Paired t-test); काय-स्क्वेअर चाचणी (Chi-Square Test) इत्यादी सांख्यिकीय साधनांचा उपयोग करण्यात आला आहे. या चाचण्यांच्या साहाय्याने जल व्यवस्थापन तंत्र व उत्पादनक्षमता, खर्च-लाभ गुणोत्तर, आर्थिक अडथळे व पर्यावरणीय घटक यांमधील संबंध तपासण्यात आले आहेत.

४.३ अभ्यासाची मर्यादा

- ◆ अभ्यास वर्धा जिल्ह्यापुरताच मर्यादित आहे.
- ◆ नमुना आकार तुलनेने मर्यादित (५० शेतकरी) आहे.
- ◆ प्रास निष्कर्ष संबंधित कालावधीतील परिस्थितीवर आधारित आहेत.

५. गृहीतके व चलांचे स्पष्टीकरण

प्रस्तुत संशोधनात वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शाश्वत शेतीची उत्पादकता यांमधील परस्परसंबंधांचा अभ्यास करण्यासाठी शास्त्रीय पद्धतीने गृहीतके (Hypotheses) मांडण्यात आली आहेत. गृहीतके ही संशोधनाच्या उद्दिष्टांशी सुसंगत असून त्यांची तपासणी सांख्यिकीय चाचण्यांच्या साहाय्याने करण्यात आली आहे. तसेच, संशोधनातील विविध चल (Variables) स्पष्टपणे निश्चित करून त्यांचे मोजमाप करण्यात आले आहे.

५.१ संशोधन गृहीतके

1. वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापनाच्या तंत्रांचा शेतीच्या उत्पादनक्षमतेवर कोणताही सांख्यिकीयदृष्ट्या महत्त्वपूर्ण परिणाम होत नाही.
(या गृहीतकाद्वारे आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्र (उदा. ठिबक, तुषार सिंचन) वापरणाऱ्या व न वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांच्या पिकनिहाय उत्पादनक्षमतेतील फरक तपासण्यात आला आहे.)
2. जल व्यवस्थापन पद्धतीचा शेतीतील खर्च-लाभ गुणोत्तरावर कोणताही महत्त्वपूर्ण परिणाम होत नाही.
(या गृहीतकाद्वारे पारंपारिक व आधुनिक जल व्यवस्थापन पद्धती वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांमध्ये नफा-तोटा गुणोत्तराच्या दृष्टीने असलेली तफावत विश्लेषित करण्यात आली आहे.)
3. शेतकऱ्यांच्या आर्थिक अडथळ्यांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर कोणताही परिणाम होत नाही. शेतकऱ्यांच्या आर्थिक अडथळ्यांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर लक्षणीय परिणाम होतो.
(या गृहीतकाद्वारे भांडवली उपलब्धता, कर्ज सुविधा, अनुदान आणि देखभाल खर्च यांसारख्या आर्थिक घटकांचा आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्याशी असलेला संबंध तपासण्यात आला आहे.)

4. पर्यावरणीय घटक (पर्जन्यमान व जमिनीचा प्रकार) जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर कोणताही परिणाम करत नाहीत.
(या गृहीतकाद्वारे भौगोलिक व नैसर्गिक घटक शेतकऱ्यांच्या जल व्यवस्थापन निर्णयांवर कसा प्रभाव टाकतात, याचा अभ्यास करण्यात आला आहे.)

५.२ संशोधनातील चलांचे स्पष्टीकरण

संशोधनाच्या उद्दिष्टांनुसार खालील प्रमुख चल निश्चित करण्यात आले आहेत :

(अ) अवलंबी चल (Dependent Variables)

1. **शेती उत्पादनक्षमता**
 - मोजमाप : एकर/हेक्टरमागे मिळणारे उत्पादन (क्विंटलमध्ये)
 - स्वरूप : परिमाणात्मक (Quantitative)
2. **खर्च-लाभ गुणोत्तर (Cost-Benefit Ratio)**
 - मोजमाप : एकूण उत्पन्न ÷ एकूण खर्च
 - स्वरूप : परिमाणात्मक
3. **जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब**
 - मोजमाप : बायनरी (1 = स्वीकार, 0 = अस्वीकार)
 - स्वरूप : गुणात्मक (Qualitative)

(आ) स्वतंत्र चल (Independent Variables)

1. **जल व्यवस्थापन पद्धतीचा प्रकार**
 - पारंपारिक / आधुनिक
 - स्वरूप : गुणात्मक
2. **आर्थिक अडथळा सूचकांक (Economic Constraint Index – ECI)**
 - श्रेणी : 0-3 (कमी), 4-6 (मध्यम), 7-10 (उच्च)
 - स्वरूप : परिमाणात्मक व श्रेणीबद्ध
3. **पर्जन्यमानाची पातळी**
 - निम्न / मध्यम / उच्च
 - स्वरूप : गुणात्मक
4. **जमिनीचा प्रकार**
 - वालुकामय / चिकणमाती
 - स्वरूप : गुणात्मक

(इ) नियंत्रित चल (Control Variables)

संशोधनातील परिणामांवर अनावश्यक प्रभाव टाळण्यासाठी खालील चल नियंत्रित ठेवण्यात आले आहेत :

- ◆ पिकाचा प्रकार

- ◆ शेतजमिनीचा आकार
- ◆ कृषी इनपुट्सचा वापर (बियाणे, खत, कीटकनाशके)
- ◆ शेतीचा अनुभव

५.३ संकल्पनात्मक चौकट (Conceptual Framework – वर्णनात्मक)

या संशोधनात असे गृहीत धरले आहे की जलस्रोत व्यवस्थापन पद्धती, आर्थिक अडथळे आणि पर्यावरणीय घटक हे स्वतंत्र चल असून ते थेट व अप्रत्यक्षपणे शेती उत्पादनक्षमता, नफा-तोटा गुणोत्तर आणि जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्याच्या निर्णयावर प्रभाव टाकतात.

६. तथ्य विश्लेषण व निर्वचन

प्रस्तुत विभागात वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापन व शाश्वत शेतीची उत्पादकता यांमधील परस्परसंबंधांचा अभ्यास करण्यासाठी संकलित केलेल्या प्राथमिक तथ्यांचे शास्त्रीय विश्लेषण करण्यात आले आहे.

तक्ता क्रमांक 1 : जल व्यवस्थापन तंत्र व शेतकरी सरासरी उत्पादन क्षमता (50 शेतकरी)

पिकाचा प्रकार	तंत्र स्वीकारलेले (n)	सरासरी उत्पादन (Mean ± SD)	तंत्र न स्वीकारलेले (n)	सरासरी उत्पादन (Mean ± SD)
कापूस	18	42.3 ± 2.1	18	29.4 ± 1.8
सोयाबीन	16	38.6 ± 1.9	16	27.8 ± 2.0
तूर	8	16.2 ± 1.4	8	11.1 ± 1.2
गहू	8	45.1 ± 2.3	8	33.6 ± 2.1
एकूण सरासरी	50	40.5 ± 3.2	50	29.8 ± 2.6

स्रोत : क्षेत्रीय सर्वेक्षण

सरासरी (Mean) व मानक विचलन (SD) यांच्या आधारे केलेल्या तुलनात्मक विश्लेषणातून असे दिसून येते की, जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारलेल्या शेतकऱ्यांची उत्पादनक्षमता सर्वच पिकांमध्ये तुलनेने अधिक आहे.

या फरकाची सांख्यिकीय खात्री करण्यासाठी Simple t-test वापरण्यात आली. प्राप्त t-मूल्य अत्यंत जास्त असून p-मूल्य 0.05 पेक्षा खूपच कमी असल्याचे आढळले.

सांख्यिकीय निष्कर्षांच्या आधारे शून्य गृहीतक (H₀₁) नाकारण्यात येते. यावरून असे स्पष्ट होते की, वर्धा जिल्ह्यात जलस्रोतांचे प्रभावी व वैज्ञानिक व्यवस्थापन केल्यास शेती उत्पादनक्षमतेत लक्षणीय वाढ होते.

संशोधनात मांडलेल्या प्रत्येक गृहीतकाची स्वतंत्रपणे सांख्यिकीय चाचणी करून त्यांचे निष्कर्ष तर्कसंगत पद्धतीने निर्वचित (Interpret) करण्यात आले आहेत. यामुळे संशोधन उद्दिष्टे आणि प्राप्त निष्कर्ष यांमधील सुसंगती स्पष्ट होते.

६.१ जल व्यवस्थापन तंत्र आणि शेती उत्पादनक्षमता

H₀₁- जल व्यवस्थापन तंत्रांचा शेती उत्पादनक्षमतेवर कोणताही लक्षणीय परिणाम होत नाही.

या गृहीतकाच्या तपासणीसाठी आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्र (ठिबक, तुषार सिंचन इ.) स्वीकारलेल्या व न स्वीकारलेल्या शेतकऱ्यांच्या पिकनिहाय सरासरी उत्पादनक्षमतेची तुलना करण्यात आली. कापूस, सोयाबीन, तूर आणि गहू या प्रमुख पिकांसाठी प्रति हेक्टर उत्पादनाचा विचार करण्यात आला.

आधुनिक सिंचन तंत्रामुळे पाण्याचा अपव्यय कमी होतो, पिकांना आवश्यक तेवढे पाणी योग्य वेळी मिळते आणि परिणामी उत्पादनात वाढ होते.

६.२ जल व्यवस्थापन पद्धती आणि खर्च-लाभ गुणोत्तर

H₀₂: जल व्यवस्थापन पद्धतीचा खर्च-लाभ गुणोत्तरावर कोणताही परिणाम होत नाही.

या गृहीतकाच्या परीक्षणासाठी पारंपारिक जल व्यवस्थापन पद्धती वापरणाऱ्या आणि आधुनिक पद्धती वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांच्या खर्च-लाभ गुणोत्तराची तुलना करण्यात

आली. प्रत्येक गटासाठी सरासरी खर्च-लाभ गुणोत्तर मोजण्यात आले. पारंपारिक पद्धती वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांचा सरासरी नफा तुलनेने कमी असल्याचे, तर आधुनिक जल व्यवस्थापन पद्धती वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांचा नफा अधिक असल्याचे आढळून आले.

पारंपरिक व आधुनिक जल स्रोत व्यवस्थापन पद्धतींचा उपयोग करणाऱ्या शेतकऱ्यांच्या खर्च-लाभ गुणोत्तराची तुलनात्मक माहिती पुढील तक्ता क्र. २ मध्ये दिली आहे. त्यानुसार-

गट अ : Mean Cost-Benefit Ratio: 1.44

गट ब : Mean Cost-Benefit Ratio: 2.38

तक्ता क्र.२ : पारंपरिक व आधुनिक जल स्रोत व्यवस्थापन पद्धतींचा उपयोग करणाऱ्या शेतकऱ्यांची माहिती

गट-अ		गट-ब	
पारंपरिक जल व्यवस्थापन पद्धती वापरणारे		आधुनिक जल व्यवस्थापन पद्धती वापरणारे	
खर्च-लाभ गुणोत्तर	शेतकऱ्यांची संख्या	खर्च-लाभ गुणोत्तर	शेतकऱ्यांची संख्या
1.2 – 1.3	12	2.1 – 2.2	10
1.4 – 1.5	24	2.3 – 2.4	22
1.6 – 1.7	14	2.5 – 2.6	18
एकूण	50	एकूण	50

स्रोत : क्षेत्रीय सर्वेक्षण

या फरकाची सांख्यिकीय तपासणी करण्यासाठी Independent Two-Sample t-test (t-statistic: 33.69; p-value: 1.21×10^{-55}) वापरण्यात आली. त्यानुसार प्राप्त t-मूल्य मोठे असून p-मूल्य 0.05 पेक्षा लक्षणीयरीत्या कमी आहे.

या निष्कर्षावरून शून्य गृहीतक (H_0) नाकारले जाते. याचा अर्थ असा की, जल व्यवस्थापन पद्धती शेतीतील आर्थिक कार्यक्षमतेवर थेट परिणाम करतात. आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्रे प्रारंभी खर्चिक वाटली तरी दीर्घकालीन दृष्टीने ती अधिक लाभदायक ठरतात आणि शेतकऱ्यांचे नफा-तोटा गुणोत्तर सुधारतात.

६.३ आर्थिक अडथळे आणि जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब

H_0 : आर्थिक अडथळ्यांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर कोणताही परिणाम होत नाही.

या गृहीतकाच्या तपासणीसाठी शेतकऱ्यांचा आर्थिक

अडथळा सूचकांक (Economic Constraint Index ECI) आणि जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्याचा निर्णय यामधील संबंध अभ्यासण्यात आला. शेतकऱ्यांना कमी, मध्यम व उच्च आर्थिक अडथळे अशा तीन श्रेणीमध्ये वर्गीकृत करण्यात आले. त्यानंतर जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारलेल्या व न स्वीकारलेल्या शेतकऱ्यांचे प्रमाण तपासण्यात आले.

तक्ता क्र.२ : आर्थिक अडथळा सूचकांक

निर्देशक घटक	गुणांकन (0-2)
भांडवली उपलब्धता	0-2
कर्ज उपलब्धता	0-2
सिंचन साधनांचा खर्च	0-2
शासकीय अनुदान उपलब्धता	0-2
देखभाल खर्च	0-2
एकूण सूचकांक	0-10

एकूण सूचकांक मूल्य जर - 0-3 : कमी अडथळे

| 4-6 : मध्यम अडथळे | 7-10 : उच्च अडथळे

तक्ता क्र. 4 : आर्थिक अडथळ्याची तीव्रता आणि जल स्रोत व्यवस्थापन तंत्रांचा स्वीकाराबाबत निर्णय

आर्थिक अडथळ्याचा सूचकांक	जल स्रोत व्यवस्थापन तंत्रांचा स्वीकार करणारे	जल स्रोत व्यवस्थापन तंत्रांचा स्वीकार न करणारे	एकूण
0-3	16	0	16
4-6	8	13	21
7-10	0	13	13
एकूण	24	26	50

स्रोत : क्षेत्रीय सर्वेक्षण

या दोन चलांमधील संबंध तपासण्यासाठी Chi-Square Test वापरण्यात आली. प्राप्त Chi-Square मूल्य उच्च असून p-मूल्य 0.05 पेक्षा कमी आहे.

या परिणामांवरून शून्य गृहीतक (H_{03}) नाकारले जाते. याचा अर्थ असा की, आर्थिक अडथळे हे जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यातील एक प्रमुख अडसर आहेत. कमी आर्थिक अडथळे असलेले शेतकरी आधुनिक तंत्रे अधिक प्रमाणात स्वीकारतात, तर जास्त अडथळे असलेले शेतकरी पारंपारिक पद्धतीवर अवलंबून राहतात.

६.४ पर्यावरणीय घटक आणि जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब

तक्ता 5 (A) : पर्जन्याची पातळी व जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकार

पर्जन्याची पातळी	तंत्र स्वीकारले (1)	तंत्र न स्वीकारले (0)	एकूण
निम्न	4	13	17
मध्यम	16	2	18
उच्च	13	2	15
एकूण	33	17	50

स्त्रोत : क्षेत्रीय सर्वेक्षण

तक्ता 5 (B) : जमिनीचा प्रकार व जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकार

मातीचा प्रकार	तंत्र स्वीकारले (1)	तंत्र न स्वीकारले (0)	एकूण
वालुकामय	7	13	20
चिकणमाती	26	4	30
एकूण	33	17	50

स्त्रोत : क्षेत्रीय सर्वेक्षण

H_{04} : पर्यावरणीय घटक जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर परिणाम करत नाहीत.

या गृहीतकाच्या परीक्षणासाठी पर्जन्यमानाची पातळी (निम्न, मध्यम, उच्च) आणि जमिनीचा प्रकार (वालुकामय, चिकणमाती) यांचा जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्याशी असलेला संबंध तपासण्यात आला. दोन्ही बाबतीत Chi-Square Test वापरण्यात आला. प्राप्त p-मूल्ये 0.05 पेक्षा कमी असल्याने दोन्ही घटकांचा लक्षणीय प्रभाव आढळून आला. या निष्कर्षावरून शून्य

गृहीतक (H_{04}) नाकारले जाते. पर्जन्यमानाची पातळी व जमिनीचा प्रकार हे शेतकऱ्यांच्या जल व्यवस्थापन निर्णयांवर प्रभाव टाकतात. विशेषतः मध्यम पर्जन्यमान व चिकणमाती असलेल्या भागांमध्ये आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब अधिक प्रमाणात आढळतो.

सर्व गृहीतकांच्या परीक्षणातून असे स्पष्ट होते की, जलस्रोत व्यवस्थापन, आर्थिक परिस्थिती आणि पर्यावरणीय घटक यांचा शाश्वत शेतीच्या उत्पादकतेवर आणि जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर थेट व परस्परसंबंधित प्रभाव आहे. त्यामुळे शाश्वत शेती साध्य करण्यासाठी केवळ तांत्रिक उपाय नव्हे, तर आर्थिक व पर्यावरणीय घटकांचा समन्वित विचार करणे अत्यावश्यक आहे.

७. चर्चा

प्रस्तुत संशोधनातील निष्कर्ष वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापन व शाश्वत शेतीची उत्पादकता यांमधील दृढ परस्परसंबंध स्पष्टपणे अधोरेखित करतात. आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब केल्यास उत्पादनक्षमता, आर्थिक कार्यक्षमता आणि संसाधनांचा शाश्वत वापर यांमध्ये लक्षणीय सुधारणा होते, हे या अभ्यासातून सिद्ध झाले आहे. हे निष्कर्ष विद्यमान साहित्यातील निरीक्षणांशी सुसंगत आहेत.

जल व्यवस्थापन तंत्र आणि उत्पादनक्षमता यांमधील सकारात्मक संबंधाबाबतचे निष्कर्ष Molden (1997) आणि Jalota इ. (2007) यांच्या अभ्यासांशी सुसंगत आहेत. त्यांनी कार्यक्षम सिंचनामुळे जल उत्पादकता वाढते व पीक उत्पादनात सुधारणा होते, असे निदर्शनास आणले आहे. प्रस्तुत अभ्यासातही ठिबक व तुषार सिंचन स्वीकारलेल्या शेतकऱ्यांची पिकनिहाय उत्पादनक्षमता पारंपारिक पद्धती वापरणाऱ्या शेतकऱ्यांच्या तुलनेत अधिक असल्याचे आढळून आले. यावरून जल वापराची अचूकता, योग्य वेळेचे सिंचन आणि पाण्याचा अपव्यय कमी होणे हे घटक उत्पादनवाढीस कारणीभूत ठरतात, हे स्पष्ट होते.

खर्च-लाभ गुणोत्तराच्या दृष्टीने आधुनिक जल व्यवस्थापन पद्धती अधिक लाभदायक ठरतात, हा निष्कर्षही विद्यमान साहित्याला पुष्टी देणारा आहे. Gathala इ. (2020) यांनी सूक्ष्म सिंचन तंत्रे दीर्घकालीन आर्थिक लाभ देतात, असे नमूद केले आहे. प्रस्तुत अभ्यासात प्रारंभीचा खर्च अधिक असला तरी उत्पादनवाढ, पाण्याची

बचत व आगत खर्चातील घट यामुळे एकूण नफा वाढतो, हे स्पष्ट झाले आहे. त्यामुळे अल्पकालीन खर्चाच्या दृष्टीने शेतकऱ्यांचा संकोच असला तरी दीर्घकालीन लाभ अधिक आहेत, हे अधोरेखित होते.

आर्थिक अडथळे आणि जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यातील संबंधाबाबतचे निष्कर्ष Kampman (2007) यांच्या निरीक्षणांशी सुसंगत आहेत. भांडवली मर्यादा, कर्जसुविधांची कमतरता, अनुदानांची अपुरी माहिती व देखभाल खर्च हे घटक शेतकऱ्यांच्या निर्णयक्षमतेवर परिणाम करतात. प्रस्तुत अभ्यासात कमी आर्थिक अडथळे असलेले शेतकरी आधुनिक तंत्रे अधिक प्रमाणात स्वीकारतात, तर जास्त अडथळे असलेले शेतकरी पारंपारिक पद्धतींवर अवलंबून राहतात. यावरून केवळ तांत्रिक नव्हे, तर आर्थिक हस्तक्षेपही तितकेच आवश्यक असल्याचे स्पष्ट होते.

पर्यावरणीय घटकांचा (पर्जन्यमान व जमिनीचा प्रकार) जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्यावर होणारा परिणाम हा निष्कर्षही महत्त्वाचा आहे. विद्यमान साहित्यामध्ये कृषी निर्णय हे स्थानिक भौगोलिक व हवामान परिस्थितीशी निगडित असल्याचे नमूद केले आहे. प्रस्तुत अभ्यासात मध्यम पर्जन्यमान व चिकणमाती असलेल्या भागांमध्ये आधुनिक जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब अधिक असल्याचे दिसून आले. यावरून “one-size-fits-all” धोरणाऐवजी क्षेत्रनिहाय धोरणांची आवश्यकता अधोरेखित होते.

एकूणच, या संशोधनातील निष्कर्ष विद्यमान साहित्यातील सिद्धांतांना अनुभवाधारित आधार देतात आणि वर्धा जिल्ह्यासारख्या अर्धशुष्क भागांमध्ये शाश्वत शेतीसाठी जल व्यवस्थापन हे केंद्रस्थानी असले पाहिजे, हे ठळकपणे अधोरेखित करतात.

८. निष्कर्ष व धोरणात्मक सूचना:

प्रस्तुत संशोधनातून वर्धा जिल्ह्यातील जलस्रोत व्यवस्थापन आणि शाश्वत शेतीची उत्पादकता यामधील घनिष्ठ व बहुआयामी संबंध स्पष्ट झाला आहे. आधुनिक व वैज्ञानिक जल व्यवस्थापन तंत्रांचा अवलंब केल्यास शेती उत्पादनक्षमता वाढते, खर्च-लाभ गुणोत्तर सुधारते आणि संसाधनांचा शाश्वत वापर सुनिश्चित होतो, हे या अभ्यासाचे प्रमुख निष्कर्ष आहेत. यासोबतच, आर्थिक अडथळे व पर्यावरणीय घटक हे जल व्यवस्थापन तंत्र स्वीकारण्याच्या

निर्णयात निर्णायक भूमिका बजावतात, हेही अधोरेखित झाले आहे.

अभ्यासातून असे निष्पन्न होते की, जलस्रोतांचे अकार्यक्षम व्यवस्थापन केवळ उत्पादनात घट घडवून आणत नाही, तर शेतकऱ्यांच्या आर्थिक असुरक्षिततेतही भर घालते. याउलट, सूक्ष्म सिंचन व पाणीसंवर्धन तंत्रांचा समन्वित वापर केल्यास दीर्घकालीन शाश्वत शेती साध्य होऊ शकते. त्यामुळे जल व्यवस्थापन हे तांत्रिक विषयापुरते मर्यादित न राहता आर्थिक, सामाजिक व पर्यावरणीय घटकांचा समावेश असलेले एकात्मिक धोरण असणे आवश्यक आहे.

धोरणात्मक सूचना:

1. **सूक्ष्म सिंचनासाठी लक्षित आर्थिक सहाय्य-** ठिबक व तुषार सिंचनासाठी अनुदाने, सुलभ कर्जसुविधा आणि व्याज सवलती, विशेषतः अल्प व मध्यम भूधारक शेतकऱ्यांसाठी वाढवाव्यात.
 2. **क्षेत्रनिहाय जल व्यवस्थापन धोरणे-** पर्जन्यमान, जमिनीचा प्रकार आणि पिकांची रचना लक्षात घेऊन स्थानिक गरजांनुसार जल व्यवस्थापन धोरणे तयार करावीत.
 3. **शेतकरी प्रशिक्षण व जागरूकता कार्यक्रम -** जल कार्यक्षमता, पाणीसंवर्धन तंत्रे आणि दीर्घकालीन आर्थिक लाभ यांविषयी कृषी विस्तार सेवांच्या माध्यमातून शेतकऱ्यांना प्रशिक्षण देण्यात यावे.
 4. **संस्थात्मक समन्वय बळकट करणे -** कृषी विभाग, जलसंपदा विभाग, बँका व कृषी विज्ञान केंद्रे (KVK) यांच्यात समन्वय साधून एकात्मिक अंमलबजावणी सुनिश्चित करावी.
 5. **शाश्वत शेतीसाठी दीर्घकालीन दृष्टीकोन -** जलस्रोत व्यवस्थापनाला हवामान बदल अनुकूलन (Climate Change Adaptation) धोरणांशी जोडून दीर्घकालीन कृषी शाश्वततेस प्राधान्य द्यावे.
- समारोपार्थ, वर्धा जिल्ह्यासारख्या अर्धशुष्क भागांमध्ये शाश्वत शेती साध्य करण्यासाठी जलस्रोतांचे प्रभावी व्यवस्थापन हा कळीचा घटक आहे. प्रस्तुत संशोधनाचे निष्कर्ष धोरणकर्ते, संशोधक आणि कृषी विकासाशी संबंधित संस्थांसाठी मार्गदर्शक ठरून इतर कोरडवाहू भागांमध्येही अनुकरणीय ठरू शकतात.

संदर्भ :

Baishya, A., Gogoi, B., Hazarika, J., Hazarika, J. P., Bora, A. S., Das, A. K., Borah, M., & Sutradhar, P. (2016). Maximizing system productivity and profitability through crop intensification and diversification with rice (*Oryza sativa*)-based cropping systems in acid soils of Assam. *Indian Journal of Agronomy*, 61(3), 274–280.

Gathala, M. K., Laing, A. M., Tiwari, T. P., Timsina, J., Islam, M. S., Chowdhury, A. K., & Gerard, B. (2020). Enabling smallholder farmers to sustainably improve their food–energy–water nexus while achieving environmental and economic benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109645. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109645>

Jalota, S. K., Sood, A., Vitale, J. D., & Srinivasan, R. (2007). Simulated crop yield response to irrigation water and economic analysis: Increasing irrigated water use efficiency in the Indian Punjab. *Agronomy*

Journal, 99(4), 1073–1084. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0190>

Kampman, D. A. (2007). *The water footprint of India: A study on water use in relation to the consumption of agricultural goods in Indian states* (Master's thesis). University of Twente, Enschede, The Netherlands.

Molden, D. (1997). *Accounting for water use and productivity* (SWIM Paper No. 1). International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.

United Nations World Water Assessment Programme. (2023). *United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water*. UNESCO Publishing.

Government of Maharashtra. (2023). *Agricultural and irrigation statistics of Maharashtra*. <https://www.maharashtra.gov.in>

Krishi Vigyan Kendra, Selsura, Wardha. (2022). *Annual agricultural extension report*. Indian Council of Agricultural Research (ICAR).
