

रेशे के पीछे का परिश्रम : भारत की कपास अर्थव्यवस्था में श्रम बोझ, स्वचालन और रोबोटिक्स के अवसर



चेतन एम. बडगुजर¹, मृत्युंजय पधियारी², और लोरी डंकन

¹जैवतंत्र अभियांत्रिकी विभाग, टेनेसी विश्वविद्यालय, नॉक्सविल, संयुक्त राज्य अमेरिका — 37996

²कृषि अभियांत्रिकी विभाग, असम विश्वविद्यालय, सिलचर, भारत — 788011

परिचय:

कपास, एक प्रमुख नकदी फसल होने के कारण, भारत में प्रायः 'सफेद सोना' कहलाती है। यह एक राष्ट्र को वस्त्र प्रदान करती है, \$222 बिलियन के वस्त्र उद्योग को गति देती है, और 60 लाख से अधिक किसानों की आजीविका को संबल देती है। भारत कपास उत्पादन में एक वैश्विक महाशक्ति के रूप में स्थापित है — वर्ष 2023-24 में 12.4 मिलियन हेक्टेयर में कपास की खेती के साथ यह विश्व में सर्वाधिक कपास क्षेत्रफल धारक और मात्रा की दृष्टि से दूसरा सबसे बड़ा उत्पादक देश है (तालिका 1)। फिर भी, इतने वैश्विक महत्व के बावजूद, कपास की कहानी



तालिका 1: विश्व के शीर्ष पाँच कपास उत्पादक देशों का वर्ष 2023-2024 के लिए तुलनात्मक अवलोकन।

देश	क्षेत्रफल (हजार हेक्टेयर)	उत्पादन (मिलियन मीट्रिक टन)	औसत उपज (कि.ग्रा./हेक्टेयर)	कटाईयंत्रिकरण स्तर
चीन	2872	5.60	1950	मध्यम (२75-80%)
भारत	12469	5.50	441	निम्न (२2-4%)
ब्राज़िल	1930	3.56	1845	उच्च (90-100%)
संयुक्त राज्य अमेरिका	2859	2.63	921	उच्च (100%)
पाकिस्तान	2370	1.35	570	निम्न (2-4%)



पंजाब कृषि विश्वविद्यालय, भारत द्वारा विकसित कपास हार्वेस्टर (मिश्रा एवं अन्य, 2021)



कपास चुनाई मशीन, शक्तिमान एगो इंक., राजकोट, भारत

चित्र 1: भारतीय परिस्थितियों के लिए विकसित कपास हार्वेस्टर के दो उदाहरण।

में प्रायः उन लोगों की कठोर वास्तविकता को नजरअंदाज कर दिया जाता है जो इसे चुनते हैं। भारत में कपास की लगभग सारी चुनाई आज भी हाथों से की जाती है। प्रत्येक सफेद टिंडा मानव चुनकारों के हाथों से गुजरता है, जो चिलचिलाती धूप में घंटों काम करते हैं। इस कार्य में बार-बार झुकना, टिंडे तोड़ना, उन्हें संग्रहीत करना और भारी बोझ उठाकर चलना शामिल है, जिससे यह कार्य शारीरिक रूप से अत्यंत थकाऊ तथा सामाजिक व आर्थिक दृष्टि से भी बोझिल हो जाता है। यह लेख भारत की कपास चुनाई के पीछे छिपे पसीने पर प्रकाश डालता है और श्रम संबंधी चुनौतियों, यंत्रिकृत समाधानों तथा इस बात की पड़ताल करता है कि उभरता हुआ स्वचालन और रोबोटिक्स किस प्रकार कपास के भविष्य को नए सिरे से परिभाषित कर सकता है।

भारत में कपास की चुनाई: एक हस्त-श्रम की लंबी दौड़

संयुक्त राज्य अमेरिका, ब्राज़िल और चीन के विपरीत, जहाँ यांत्रिक हार्वेस्टर परिदृश्य पर हावी हैं, भारत में कपास की चुनाई लगभग पूरी

तरह हाथों से की जाती है। हस्त-श्रम पर यह निर्भरता कई कारकों के संयोजन से उत्पन्न होती है, जिनमें छोटी और बिखरी हुई जोतें, विविध रोपण पद्धतियाँ, मशीनरी की उच्च लागत, और कपास की ऐसी किस्में शामिल हैं जो हमेशा यांत्रिक चुनाई के अनुकूल नहीं होतीं। ये चुनौतियाँ किसानों के पास मानव श्रम पर निर्भर रहने के अलावा कोई विकल्प नहीं छोड़तीं।

एक अनुभवी वयस्क प्रतिदिन केवल 15-20 किलोग्राम बीज कपास ही चुन सकता है, और यह अनुमान लगाया गया है कि कपास की चुनाई में प्रति हेक्टेयर लगभग 500 मानव-घंटे की आवश्यकता होती है। इसे परिप्रेक्ष्य में समझें तो — वर्ष 2024 में भारत के 12.4 मिलियन हेक्टेयर कपास की चुनाई के लिए (500 मानव-घंटे/हेक्टेयर की दर से) लगभग 6 अरब मानव-घंटों की आवश्यकता होगी। यह संयुक्त राज्य अमेरिका से बिल्कुल विपरीत स्थिति है, जहाँ लाखों हेक्टेयर में 100% कपास की कटाई मशीनों द्वारा की जाती है — यह तथ्य यंत्रिकरण में विशाल अंतर और भारत के खेत मजदूरों पर पड़ने वाले भारी बोझ को स्पष्ट रूप से रेखांकित

करता है।

इस कठिन श्रम के पीछे के चेहरे मुख्यतः महिलाएँ, बच्चे और प्रवासी परिवार हैं। ये श्रमिक प्रायः अनौपचारिक या आकस्मिक व्यवस्थाओं के तहत काम करते हैं, जहाँ दैनिक आय अक्सर लगभग 200-300 की निम्न सीमा में रहती है, हालाँकि कई राज्यों में औपचारिक न्यूनतम मजदूरी दरें इससे अधिक हैं। महिलाओं और बच्चों को प्रायः मजदूरी असमानता का सामना करना पड़ता है — वे समान कार्य के लिए पुरुषों की तुलना में कम कमाते हैं। श्रमिकों पर शारीरिक प्रभाव गंभीर होता है, जिसमें लगातार झुकने और दोहराव वाली गतिविधियों से दीर्घकालिक मांसपेशी-कंकाल तनाव, धूल और रेशे साँस में जाने से श्वसन संबंधी समस्याएँ, तथा धूप में लंबे घंटों काम करने से थकावट शामिल हैं। तात्कालिक शारीरिक बोझ से परे, हस्त-श्रम पर निर्भरता गरीबी के एक ऐसे चक्र को बनाए रखती है जो प्रायः बच्चों की शिक्षा तक पहुँच को प्रभावित करता है और इन समुदायों में सामाजिक-आर्थिक गतिशीलता को बाधित करता है। औद्योगिक श्रमिकों के विपरीत, हाथ से कपास चुनने वाले श्रमिकों को अक्सर बुनियादी स्वास्थ्य सुरक्षा उपलब्ध नहीं होती, जिससे वे दीर्घकालिक बीमारियों और स्वास्थ्य में निरंतर गिरावट के प्रति असुरक्षित रह जाते हैं।

भारत में यंत्रिकरण पिछड़ा क्यों है ?

यदि कपास की चुनाई इतनी थकाऊ है, तो भारत मशीनों की ओर क्यों नहीं बढ़ा? हाथ से चुनाई की निरंतरता को कई परस्पर संबंधित कारक स्पष्ट करते हैं। पहला, भारत में औसत खेत का आकार दो हेक्टेयर से कम है, जिससे अमेरिकी शैली के बड़े हार्वेस्टर बिखरी हुई जोतों

पर अव्यावहारिक हो जाते हैं। दूसरा, भारतीय कपास की किस्में प्रायः असमान रूप से पकती हैं, जिसके लिए चुनाई के कई दौर आवश्यक होते हैं और मशीनें इसे कुशलतापूर्वक करने में असमर्थ रहती हैं। तीसरा, छोटे आकार के हार्वेस्टर भी अधिकांश छोटे किसानों के लिए अत्यधिक महंगे हैं — यह चुनौती सरकारी सब्सिडी और सहायक वित्तीय तंत्र की सीमित उपलब्धता या पहुँच से और भी जटिल हो जाती है। ऐतिहासिक रूप से, नीतिगत ढाँचे छोटी और बिखरी हुई जोतों में यंत्रिकरण को प्रभावी ढंग से बढ़ावा देने में संघर्ष करते रहे हैं। भविष्य की नीतिगत विचारों में उपयुक्त प्रौद्योगिकियों को अपनाने के लिए लक्षित सब्सिडी, ऋण सुविधाएँ और जागरूकता अभियान शामिल हो सकते हैं। अंततः, कपास की चुनाई लाखों ग्रामीण रोजगारों को आधार देती है; यंत्रिकरण की ओर किसी भी अचानक बदलाव से कमजोर वर्गों के विस्थापन का खतरा है, जो इसे राजनीतिक और सामाजिक दृष्टि से संवेदनशील बनाता है। हालाँकि भारतीय परिस्थितियों के अनुरूप एक नई, अनुकूलित हार्वेस्टर प्रणाली विकसित की जा रही है (चित्र 1), फिर भी इसका व्यापक अनुग्रहण एक चुनौती बनी हुई है।

स्वचालन और रोबोटिक्स: चुनाई के लिए एक नई सुबह ?

जैसे-जैसे भारत अपने कृषि क्षेत्र को आधुनिक बनाने का प्रयास कर रहा है, कपास की चुनाई स्वचालन नवाचार के लिए एक प्रमुख उम्मीदवार के रूप में उभर रही है। हालाँकि, कपास के लिए समाधान भारत की कृषि संरचनाओं और उत्पादन वास्तविकताओं के अनुरूप विशिष्ट रूप से तैयार किए जाने आवश्यक हैं। इसके लिए ऐसी रोबोटिक प्रणालियों के विकास की आवश्यकता है जो चयनात्मक चुनाई में सक्षम हों — जो भारत की असमान रूप से पकने वाली कपास किस्मों के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है। हाल ही में, कृषि रोबोटिक्स ने फसल उत्पादन में पर्याप्त ध्यान आकर्षित किया है, और दीर्घकाल में कपास भी इस प्रवृत्ति से लाभान्वित हो सकती है। कंप्यूटर विज्ञान से सुसज्जित प्रयोगात्मक रोबोटिक भुजाओं का परीक्षण किया जा रहा है, जो खुले टिंडों की पहचान कर उन्हें चयनात्मक रूप से तोड़ सकती हैं, यह दृष्टिकोण भारत



चित्र 2: संयुक्त राज्य अमेरिका और भारत में रोबोटिक हार्वेस्टर पर जारी अनुसंधान प्रयासों के उदाहरण।

की असमान रूप से पकने वाली कपास के लिए विशेष रूप से उपयुक्त है। हालाँकि ये प्रौद्योगिकियाँ अभी भी प्रारंभिक चरण में हैं, फिर भी इनमें चुनाई को एक अधिक सटीक और कम श्रम-गहन प्रक्रिया में बदलने की संभावना है। वर्तमान में, हालाँकि, अधिकांश रोबोटिक चुनाई यंत्र या भुजाएँ अनुसंधान एवं विकास के चरण में ही हैं, और क्षेत्र में तैनाती योग्य प्रणाली बनने से पहले इन्हें अभी लंबा सफर तय करना है।

रोबोटिक भुजा-प्रकार का चुनाई यंत्र अनुसंधान एवं विकास में बहुत सामान्य है, क्योंकि यह मानव हाथ से चुनाई की क्रिया की नकल करता है। एक रोबोटिक कपास भुजा, सेंसर, कंप्यूटर विज्ञान और सटीक यांत्रिक गति को संयोजित करके चुनाई को स्वचालित करती है। कैमरे और सेंसर पहले पौधों को स्कैन करते हैं और पके कपास के टिंडों का पता लगाते हैं। इस दृश्य डेटा को फिर एल्गोरिदम द्वारा संसाधित किया जाता है, जो यह तय करता है कि कौन सा

टिंडा चुना जाए और पौधे को नुकसान पहुँचाए बिना उस तक पहुँचने का सर्वोत्तम मार्ग क्या होगा। रोबोटिक भुजा फैलती है और उसका अंत-प्रभावक, जो प्रायः एक सक्शन उपकरण या मृदु गिपर होता है — कपास को तोड़ लेता है। चुनी गई रुई एक संग्रह डिब्बे में स्थानांतरित हो जाती है, जबकि प्रणाली सटीकता बनाए रखने के लिए सेंसर फीडबैक के माध्यम से निरंतर अद्यतन होती रहती है। यह चयनात्मक और स्वचालित दृष्टिकोण श्रम संबंधी चुनौतियों को हल करने की संभावना दर्शाता है।

भारत में कई आशाजनक पायलट परियोजनाएँ स्थानीयकृत समाधानों की संभावना को प्रदर्शित कर रही हैं। भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान जैसी संस्थाओं और जी.आर.ओ.बो.मैक. (<http://www.grobomac.com/>) जैसे स्टार्टअप द्वारा विकसित प्रोटोटाइप विविध क्षेत्र परिस्थितियों में परीक्षण के दौर से गुजर रहे हैं (चित्र 2)। इन परीक्षणों में चुनाई दक्षता,

फसल क्षति दर और विभिन्न पौध संरचनाओं के प्रति अनुकूलनशीलता जैसे प्रमुख प्रदर्शन मानकों का मूल्यांकन किया जा रहा है। प्रारंभिक परिणाम उत्साहजनक होते हुए भी सुधार के क्षेत्रों को उजागर करते हैं — विशेष रूप से छोटे खेतों में व्यापक तैनाती के लिए गति, लागत-प्रभावशीलता और मजबूती के संदर्भ में।

इन आशाजनक प्रोटोटाइपों के बावजूद, आज तक किसी भी रोबोटिक कपास हार्वेस्टर का सफलतापूर्वक व्यावसायीकरण नहीं हो सका है। रोबोट नेविगेशन, टिंडा पहचान, अंत-प्रभावक के प्रकार, तथा सटीक भुजा संचालन और नियंत्रण जैसे प्रमुख घटक अनुसंधान के केंद्र बिंदु बने हुए हैं। संयुक्त राज्य अमेरिका में, जॉर्जिया विश्वविद्यालय और क्लेम्सन विश्वविद्यालय जैसी संस्थाएँ भी सक्रिय रूप से छोटे, एकल-पंक्ति रोबोटिक प्लेटफार्मों पर शोध कर रही हैं। जबकि प्रारंभिक प्रयोगशाला-से-क्षेत्र परीक्षण संभावनाएँ दर्शाते हैं, वर्तमान प्रणालियाँ प्रायः बड़े पैमाने पर व्यावसायिक उपयोग के लिए बहुत धीमी और अकुशल हैं, जो इन प्रौद्योगिकियों के व्यापक प्रसार से पूर्व और अधिक विकास की आवश्यकता को रेखांकित करती हैं।

निष्कर्ष: रेशे के पीछे के श्रम को कम करना

भारत का कपास उत्पादन आधुनिक कृषि के विरोधाभास को उजागर करता है: एक वैश्विक रूप से महत्वपूर्ण वस्तु, जो अभी भी कठिन और पुरातन श्रम परिस्थितियों में उत्पादित की जा रही है। अर्थव्यवस्था के लिए इसके महत्व के बावजूद, चुनाई लगभग पूरी तरह से हस्त-श्रम पर निर्भर है, जो प्रतिवर्ष अरबों श्रम-घंटों की माँग करती है और भारी शारीरिक एवं सामाजिक कीमत वसूलती है।

हालाँकि स्वचालन और रोबोटिक्स कोई रामबाण उपाय नहीं हैं, फिर भी वे महत्वपूर्ण प्रगति का मार्ग प्रशस्त करते हैं। रोबोटिक भुजाओं, टिंडा पहचान और नेविगेशन प्रणालियों में हालिया प्रगति — यद्यपि अभी भी काफी हद तक प्रयोगात्मक है — श्रम की कठिनाई को कम करने, दक्षता में सुधार करने



और श्रम को गरिमा प्रदान करने की क्षमता दर्शाती है। जी.आर.ओ.बो.मैक. जैसे स्टार्टअप भारतीय संदर्भ के अनुरूप समाधानों की दिशा में प्रारंभिक कदम दर्शाते हैं, लेकिन सामर्थ्य, दक्षता और विस्तारशीलता की चुनौतियाँ बनी हुई हैं।

भारत के कपास क्षेत्र के लिए आगे का रास्ता एक समग्र दृष्टिकोण की माँग करता है जो केवल तकनीकी सफलताओं से परे जाए। इसके लिए ऐसी मशीनें और रोबोट बनाने की आवश्यकता है जो छोटे किसानों के लिए सस्ती और उपयोग में आसान हों, साथ ही साझा स्वामित्व और प्रशिक्षण कार्यक्रमों का हिस्सा भी हों। यह व्यापक रणनीति यह सुनिश्चित करने के लिए अत्यावश्यक है कि महिलाएँ और प्रवासी श्रमिक — जो वर्तमान में हस्त-चुनाई का सबसे अधिक बोझ वहन करते हैं — विस्थापित न हों, बल्कि एक विकासशील कृषि परिदृश्य में उच्च-मूल्य की भूमिकाओं में पुनः स्थापित हों। नीति-निर्माताओं, अनुसंधान संस्थाओं और उद्योग जगत के नेताओं को नवोन्मेषी प्रोटोटाइप और व्यापक, क्षेत्र-तैयार एवं सामाजिक रूप से न्यायसंगत समाधानों के

बीच की खाई को पाटने के लिए सहयोगात्मक रूप से कार्य करना होगा।

अंततः, भारत की कपास अर्थव्यवस्था का दीर्घकालिक दृष्टिकोण वह है जहाँ प्रौद्योगिकी सतत विकास और सामाजिक समानता के लिए एक सक्षमकर्ता के रूप में कार्य करे। उन्नत रोबोटिक्स और स्वचालन को सोच-समझकर एकीकृत करके, भारत न केवल अपनी उत्पादकता और वैश्विक प्रतिस्पर्धात्मकता को बढ़ा सकता है, बल्कि अपने कृषि कार्यबल पर शारीरिक बोझ को भी काफी हद तक कम कर सकता है। यह परिवर्तन भारत की कपास की कहानी को संघर्ष से नवाचार, बेहतर आजीविका और लाखों किसानों व मजदूरों के लिए एक सम्मानजनक भविष्य की ओर ले जाने का वादा करता है।

