

एग्रीवोल्टैक्स: एक ही भूमि पर ऊर्जा और कृषि उत्पादन का टिकाऊ समाधान

*ओमकार गुप्ता एवं राहुल ताराचंद रामटेके

कृषि अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञान महाविद्यालय, वसंतराव नाइक मराठवाड़ा कृषि विद्यापीठ, परभणी, महाराष्ट्र

*संवादी लेखक का ईमेल पता: omkargupta9876@gmail.com

आज दुनिया पानी की कमी, जलवायु परिवर्तन, ऊर्जा संकट और कृषि योग्य भूमि के घटते क्षेत्र जैसी चुनौतियों से जूझ रही है। बढ़ती जनसंख्या के लिए पर्याप्त खाद्य उत्पादन आवश्यक है, वहीं उद्योगों और शहरों को ऊर्जा की भी उतनी ही जरूरत है। ऐसी परिस्थितियों में एक ही भूमि पर खाद्य उत्पादन और ऊर्जा उत्पादन दोनों को साथ में संचालित करना आज की सबसे बड़ी आवश्यकता बन गया है। इसी आवश्यकता को पूरा करती है - एग्रीवोल्टैक्स (Agrivoltaics)। एग्रीवोल्टैक्स एक ऐसी प्रणाली है जिसमें कृषि भूमि पर सौर पैनलों को इस प्रकार स्थापित किया जाता है कि भूमि पर खेती भी जारी रहे और ऊपर लगे पैनल बिजली भी पैदा करते रहें। यह न सिर्फ भूमि उपयोग दक्षता बढ़ाता है, बल्कि पर्यावरण संरक्षण, किसानों की आय में वृद्धि और ऊर्जा आत्मनिर्भरता जैसे अनेक लाभ भी प्रदान करता है।

एग्रीवोल्टैक्स क्या है और इसकी शुरुआत कब हुई?

एग्रीवोल्टैक्स शब्द दो शब्दों - *Agriculture* और *Photovoltaics* के संयोजन से बना है। इसकी अवधारणा सबसे पहले वर्ष 1981 में जर्मनी के वैज्ञानिक एडोल्फ गॉटजबर्गर (Adolf Goetzberger) और उनकी टीम ने प्रस्तुत की थी। उनका विचार था कि कृषि भूमि को दो भागों में विभाजित करने के बजाय, उसे "dual-use" यानी दोहरे उपयोग के रूप में प्रयोग किया जाए। इस तकनीक में खेतों के ऊपर या खेत के आसपास सोलर पैनल स्थापित किए जाते हैं, जिससे किसान फसल उत्पादन के साथ-साथ स्वच्छ ऊर्जा भी उत्पन्न कर सकते हैं। इससे किसानों को दोहरी आय - फसल और बिजली - दोनों से लाभ मिलता है। खेत में पैनलों द्वारा बनने वाली आंशिक छाया फसलों के तापमान को नियंत्रित करती है, मिट्टी से होने वाले वाष्पीकरण को कम करती है और पानी की बचत में मदद करती है, जिससे यह तकनीक जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों से निपटने के लिए एक प्रभावी विकल्प बनती है।

1990 के दशक में यूरोप के देशों - विशेष रूप से जर्मनी और फ्रांस में इसके व्यावहारिक प्रयोग प्रारंभ हुए। 2010 के बाद इस प्रणाली का विकास तेजी से बढ़ा और अनेक देशों ने इसे बड़े पैमाने पर अपनाना शुरू किया। भारत में एग्रीवोल्टैक्स का वास्तविक विकास 2014-2016 के बाद तेज हुआ, जब ICAR, MNRE और विभिन्न कृषि विश्वविद्यालयों ने पायलट प्रोजेक्ट और अनुसंधान प्रारंभ किए। वर्तमान समय में राजस्थान, गुजरात और पंजाब जैसे राज्यों में एग्रीवोल्टैक्स मॉडल तेजी से विकसित हो रहे हैं। इस प्रकार एग्रीवोल्टैक्स न सिर्फ खेती और ऊर्जा के बीच संतुलन बनाता है, बल्कि स्थायी कृषि और स्वच्छ ऊर्जा उत्पादन की दिशा में एक महत्वपूर्ण कदम भी है।



वसंतराव नाइक मराठवाड़ा कृषि विद्यापीठ परभणी के अंतर्गत विकसित एग्रीवोल्टैक्स प्रणाली

एग्रीवोल्टैक्स क्यों जरूरी है?

एग्रीवोल्टैक्स आज के समय में इसलिए जरूरी है क्योंकि यह खेती और ऊर्जा—दोनों क्षेत्रों की समस्याओं को एक साथ हल करने की क्षमता रखता है। बढ़ती जनसंख्या, सीमित कृषि भूमि, जलवायु परिवर्तन, बढ़ती ऊर्जा मांग और किसानों की आय में अस्थिरता जैसे मुद्दों के बीच एग्रीवोल्टैक्स एक टिकाऊ और प्रभावी समाधान प्रदान करता है।

- (क) **भूमि की कमी:** यह खेती योग्य भूमि की कमी को दूर करता है। आमतौर पर सौर ऊर्जा संयंत्रों के लिए बड़े भूभाग की आवश्यकता होती है, जिससे कृषि भूमि का उपयोग कम हो सकता है। एग्रीवोल्टैक्स इस समस्या को हल करते हुए एक ही भूमि से फसल और बिजली दोनों उत्पन्न करने की सुविधा देता है, जिससे भूमि की उत्पादकता दोगुनी हो जाती है।
- (ख) **जलवायु परिवर्तन:** एग्रीवोल्टैक्स जलवायु परिवर्तन के प्रभाव को कम करने में सहायक है। सोलर पैनलों से बनने वाली हल्की छाया फसलों को अत्यधिक तापमान, गर्म हवाओं और हीटवेव से बचाती है। इससे मिट्टी की नमी बनी रहती है, पानी का वाष्पीकरण कम होता है, और सिंचाई की आवश्यकता घटती है। यह तकनीक पानी की बचत में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।
- (ग) **ग्रामीण क्षेत्रों में ऊर्जा की कमी:** ग्रामीण किसानों को सिंचाई के लिए ऊर्जा की जरूरत होती है। एग्रीवोल्टैक्स उन्हें ऊर्जा और कृषिदोनों का समाधान प्रदान करता है।—
- (घ) **स्वच्छ ऊर्जा:** यह स्वच्छ और नवीकरणीय ऊर्जा उत्पन्न करता है, जिससे जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता घटती है। बढ़ते प्रदूषण और ऊर्जा संकट के समय में एग्रीवोल्टैक्स पर्यावरण के अनुकूल स्थिर ऊर्जा आपूर्ति सुनिश्चित करता है।
- (ङ) **आय बढ़ाने में मदद:** यह किसानों की आय बढ़ाने में मदद करता है। पारंपरिक खेती पर मौसम और बाजार मूल्य का बड़ा असर पड़ता है, जबकि एग्रीवोल्टैक्स से किसान बिजली उत्पादन से अतिरिक्त आय प्राप्त कर सकते हैं। इससे उनकी आर्थिक स्थिति मजबूत होती है और खेती एक लाभप्रद व्यवसाय बनती है।

एग्रीवोल्टैक्स तकनीक कैसे काम करती है?

एग्रीवोल्टैक्स मुख्य रूप से फोटावोल्टैक्स (PV) तकनीक और कृषि प्रबंधन को संतुलित रूप से मिलाकर काम करती है। सबसे पहले, खेत में सोलर पैनलों को जमीन से एक निश्चित ऊँचाई पर लगाया जाता है ताकि नीचे फसल उगने के लिए पर्याप्त जगह और रोशनी मिल सके। पैनलों की दिशा, ऊँचाई और झुकाव इस तरह तय किए जाते हैं कि फसल को आंशिक रोशनी मिले और पैनलों को अधिकतम सूर्य प्रकाश प्राप्त हो। सूर्य का प्रकाश पैनलों पर गिरते ही फोटावोल्टैक्स सेल्स बिजली बनाना शुरू कर देते हैं और यह बिजली इन्वर्टर के माध्यम से AC में बदलकर खेत में उपयोग की जा सकती है या ग्रिड में भेजी जा सकती है।

सोलर पैनलों से बनने वाली हल्की छाया खेत की फसलों को अत्यधिक धूप और तापमान से बचाती है। इससे मिट्टी की नमी ज्यादा देर तक बनी रहती है और पानी का वाष्पीकरण कम होता है, जिससे सिंचाई की आवश्यकता घट जाती है। कई फसलों को आंशिक छाया लाभ पहुँचाती है, जैसे सब्जियाँ, चारा फसलें, दालें आदि। वहीं पैनलों और फसलों के बीच उचित दूरी और लेआउट इस तरह तय किया जाता है कि मशीनरी का संचालन, जुताई, कटाई और रखरखाव आसानी से हो सके। फसल जितनी बढ़ती जाती है, उस पर पड़ने वाली छाया और रोशनी का संतुलन बदलता है, इसलिए कई आधुनिक एग्रीवोल्टैक्स सिस्टम में ट्रैकिंग पैनल भी लगाए जाते हैं जो सूरज की दिशा के अनुसार अपना कोण बदलकर ऊर्जा उत्पादन को बढ़ाते हैं और फसल पर उचित छाया भी बनाए रखते हैं। इस तरह एग्रीवोल्टैक्स तकनीक खेत की उत्पादकता, पानी की बचत और स्वच्छ ऊर्जा उत्पादन को एक साथ बढ़ाती है। यह किसानों के लिए दोहरा लाभ—फसल और बिजली—प्रदान करती है तथा जलवायु परिवर्तन की स्थिति में खेती को अधिक टिकाऊ बनाती है।

एग्रीवोल्टैक्स का कृषि पर प्रभाव

(क) **फसल उपज में वृद्धि:** एग्रीवोल्टैक्स के तहत फसलें आंशिक छाया में उगती हैं, जिससे:

- पौधे अत्यधिक गर्मी से सुरक्षित रहते हैं।
- प्रकाश संश्लेषण संतुलित रहता है।

- मिट्टी में नमी अधिक समय तक बनी रहती है।

कई शोधों के अनुसार:

- फसल उपज 10–20% तक बढ़ सकती है।
- पत्तेदार सब्जियों में 30% तक वृद्धि संभव।
- गर्म क्षेत्रों में गेहूँ-दालों की पैदावार स्थिर रहती है।

(ख) पानी की बचत: एग्रीवोल्टैक्स के तहत पानी की बचत 30–50% तक होती है क्योंकि:

- धूप कम पड़ती है।
- भूमि ठंडी रहती है।
- वाष्पन-उत्सर्जन में कमी आती है।

(ग) मिट्टी का स्वास्थ्य बेहतर होता है

- मिट्टी में जैविक कार्बन बढ़ता है।
- लाभकारी सूक्ष्मजीव सक्रिय होते हैं।
- मिट्टी का कटाव 40% तक कम पाया गया।

(घ) फसलें जलवायु-सहिष्णु बनती हैं

- तापमान 3–5°C तक कम पाया गया।
- गर्म हवा से पौधों का झुलसना रुकता है।
- पाले से होने वाले नुकसान में कमी पायी गई।

ऊर्जा उत्पादन पर प्रभाव

एग्रीवोल्टैक्स प्रणाली का ऊर्जा उत्पादन पर कुल मिलाकर सकारात्मक प्रभाव पड़ता है। चूँकि सोलर पैनल खेतों के ऊपर लगाए जाते हैं, इसलिए नीचे मौजूद फसलें और मिट्टी वातावरण को ठंडा बनाए रखती हैं, जिससे पैनलों का तापमान कम रहता है। ज्ञात है कि सोलर पैनल अधिक गर्म होने पर अपनी क्षमता खोते हैं, इसलिए एग्रीवोल्टैक्स में कम तापमान के कारण उनकी दक्षता बढ़ जाती है और ऊर्जा उत्पादन सामान्य पैनल की तुलना में 5–10% तक बढ़ सकता है। इसके अलावा पैनलों की ऊँचाई, दूरी और झुकाव को इस प्रकार निर्धारित किया जाता है कि उन्हें अधिकतम सूर्यप्रकाश मिले, जबकि फसल को भी उपयुक्त रोशनी और आंशिक छाया प्राप्त हो सके। कुछ उन्नत एग्रीवोल्टैक्स सिस्टम में ट्रैकिंग तकनीक का उपयोग किया जाता है, जो पैनलों को सूरज की दिशा के अनुसार घुमाकर 15–25% तक अधिक ऊर्जा उत्पन्न करने में सक्षम होते हैं। हालाँकि ऊँचे ढाँचे और आवश्यक अंतर ना होने के कारण कभी-कभी 2–5% तक मामूली ऊर्जा हानि हो सकती है, लेकिन कुल मिलाकर बेहतर डिजाइन होने पर एग्रीवोल्टैक्स में ऊर्जा उत्पादन पारंपरिक सोलर प्लांट की तुलना में अक्सर अधिक ही रहता है।

आर्थिक लाभ

एग्रीवोल्टैक्स का सबसे बड़ा और सीधा प्रभाव किसानों को मिलने वाला आर्थिक लाभ है। यह प्रणाली एक ही जमीन से दो स्रोत—फसल और बिजली—से आय प्राप्त करने का अवसर देती है, जिससे किसान की कुल कमाई में उल्लेखनीय वृद्धि होती है। पारंपरिक खेती में आय केवल फसल पर निर्भर रहती है, जो मौसम, बाज़ार मूल्य और उत्पादन में उतार-चढ़ाव के कारण अस्थिर होती है। लेकिन एग्रीवोल्टैक्स में बिजली उत्पादन एक स्थिर, दीर्घकालिक और भरोसेमंद आय का स्रोत बन जाता है। किसान उत्पन्न बिजली को अपने खेत में उपयोग कर बिजली बिल बचा सकते हैं या अतिरिक्त बिजली को ग्रिड में बेचकर नियमित आय प्राप्त कर सकते हैं। इसके अलावा, एग्रीवोल्टैक्स पानी की बचत करता है, मिट्टी की नमी बनाए रखता है और गर्मी से होने वाले नुकसान को कम करता है, जिससे फसलों का उत्पादन स्थिर और कई मामलों में बढ़ जाता है। जब फसल की पैदावार स्थिर रहती है तो किसान की आय भी अधिक सुरक्षित हो जाती है। पैनलों की छाया से सब्जी, चारा और कई दालों के उत्पादन में वृद्धि देखी गई है, जिससे किसान अतिरिक्त लाभ कमा सकते हैं।

आर्थिक दृष्टि से एक बड़ा फायदा यह भी है कि एग्रीवोल्टैक्स जमीन के मूल्य को बढ़ा देता है, क्योंकि उसी जमीन से ऊर्जा उत्पादन होता है और उस पर उच्चस्तरीय ढाँचा स्थापित होता है। कई योजनाओं के तहत सरकार सोलर सिस्टम के लिए सब्सिडी, प्रोत्साहन राशि और बिजली खरीद समझौते (PPA) भी प्रदान करती है, जिससे

स्थापना लागत काफी कम हो जाती है और किसान को तेजी से लाभ मिलने लगता है। इन योजनाओं में भारत सरकार द्वारा चलाई गई PM-KUSUM योजना तथा PLI (Production-Linked Incentive) योजना प्रमुख हैं।

किन फसलों में एग्रीवोल्टैक्स सबसे लाभकारी?

एग्रीवोल्टैक्स उन फसलों में सबसे अधिक लाभकारी पाया गया है जो आंशिक छाया में अच्छी तरह बढ़ती हैं और अत्यधिक धूप या तापमान के प्रति संवेदनशील होती हैं। ऐसी फसलें एग्रीवोल्टैक्स सिस्टम के तहत अधिक उत्पादन देती हैं, पानी की बचत करती हैं और गर्मी से होने वाले नुकसान से सुरक्षित रहती हैं। नीचे कुछ प्रमुख फसलें दी गई हैं जिनमें एग्रीवोल्टैक्स सबसे अधिक लाभदायक सिद्ध हुआ है:

सबसे पहले, सब्जी फसलें जैसे टमाटर, बैंगन, मिर्च, गोभी, फूलगोभी, ब्रोकली, सलाद पत्ता, पालक, मेथी और लेट्यूस एग्रीवोल्टैक्स मॉडल में काफी अच्छा प्रदर्शन करती हैं। इन फसलों को आंशिक छाया से लाभ मिलता है और अधिक तापमान में इनकी वृद्धि प्रभावित होती है, जिसे सोलर पैनलों की हल्की छाया नियंत्रित करती है। इसके अलावा चारा फसलें जैसे बरसीम, अलफाल्फा, नेपियर घास, लोबिया और मक्का-चारा एग्रीवोल्टैक्स के तहत उच्च जैव-भौतिक उत्पादन देती हैं। इन फसलों को मध्यम रोशनी की आवश्यकता होती है और छाया में भी ये तेजी से बढ़ती हैं। औषधीय और सुगंधित फसलें—जैसे एलोवेरा, तुलसी, लेमनग्रास, पुदीना और स्टीविया—भी आंशिक छाया में अच्छी तरह पनपती हैं, जिससे ये एग्रीवोल्टैक्स के लिए उपयुक्त बनती हैं। कुल मिलाकर, वे फसलें जिनका विकास छाया-सहनशीलता पर आधारित है और जिन्हें अत्यधिक धूप हानि पहुँचाती है, एग्रीवोल्टैक्स मॉडल में सबसे अधिक लाभ देती हैं।

निष्कर्ष

एग्रीवोल्टैक्स आज की वैश्विक चुनौतियों—जैसे कृषि भूमि की कमी, जलवायु परिवर्तन, ऊर्जा संकट, जल संरक्षण और किसानों की आय—का एक समग्र और टिकाऊ समाधान प्रदान करता है। यह प्रणाली एक ही भूमि पर खाद्य और स्वच्छ ऊर्जा उत्पादन को संभव बनाकर भूमि उपयोग दक्षता को बढ़ाती है और पर्यावरण पर सकारात्मक प्रभाव डालती है। अनुसंधानों से यह स्पष्ट हुआ है कि एग्रीवोल्टैक्स न केवल फसल उपज, मिट्टी की नमी, जैव विविधता और जल संरक्षण को बढ़ाता है, बल्कि पौधों को गर्मी एवं सूखे के तनाव से भी बचाता है। दूसरी ओर, सौर पैनलों का ठंडा रहना ऊर्जा उत्पादन को अधिक दक्ष बनाता है, जिससे किसानों को अतिरिक्त आय और ऊर्जा आत्मनिर्भरता प्राप्त होती है। हालांकि प्रारंभिक लागत, तकनीकी ज्ञान और नीतिगत अस्पष्टताएँ अभी भी चुनौतियाँ हैं, परन्तु उचित सरकारी समर्थन, आधुनिक तकनीकों का एकीकरण, फसल-विशिष्ट डिज़ाइन और व्यापक प्रशिक्षण कार्यक्रमों के साथ एग्रीवोल्टैक्स बड़े पैमाने पर अपनाया जा सकता है। समग्र रूप से, यह प्रणाली भविष्य की कृषि और ऊर्जा संरचना का केंद्र बनकर सतत विकास लक्ष्यों को हासिल करने में महत्वपूर्ण योगदान दे सकती है।