Online ISSN: 3107 - 7676
IJMR 2025; 1(1): 53-57
2025 January – Fabruary
www.allmultiresearchjournal.com

Received: 06-01-2025
Accepted: 03-02-2025
Published: 20-02-2025

नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों में मशीन लर्निंग के अनुप्रयोग: वर्तमान रुझान और भविष्य की संभावनाएं

डॉ. राजेश कुमार
कंप्यूटर साइंस और इंजीनियरिंग विभाग, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, दिल्ली, भारत

Corresponding Author; **डॉ. राजेश कुमार**

सारांश
नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों में मशीन लर्निंग तकनीकों का एकीकरण ऊर्जा क्षेत्र में एक क्रांतिकारी परिवर्तन ला रहा है। यह अध्ययन सौर, पवन, और अन्य नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों में मशीन लर्निंग के वर्तमान अनुप्रयोगों और भविष्य की संभावनाओं की व्यापक समीक्षा प्रस्तुत करता है। अनुसंधान निष्कर्ष बताते हैं कि मशीन लर्निंग एल्गोरिदम ऊर्जा पूर्वानुमान की सटीकता में 15-30% सुधार, ऊर्जा भंडारण की दक्षता में 20-25% वृद्धि, और ग्रिड स्थिरता में महत्वपूर्ण सुधार प्रदान कर सकते हैं। मुख्य चुनौतियों में डेटा की गुणवत्ता, कम्प्यूटेशनल जटिलता, और तकनीकी विशेषज्ञता की कमी शामिल हैं। यह अध्ययन भविष्य में कृत्रिम बुद्धिमत्ता और नवीकरणीय ऊर्जा के एकीकरण के लिए नई दिशाओं की सिफारिश करता है।

कूट शब्द : बुद्धिमत्ता, कम्प्यूटेशनल जटिलता, विशेषज्ञता

प्रस्तावना

21वीं सदी में जलवायु परिवर्तन और ऊर्जा सुरक्षा की चुनौतियों के कारण नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों का महत्व तेजी से बढ़ रहा है। वैश्विक ऊर्जा उत्पादन में नवीकरणीय स्रोतों की हिस्सेदारी 2020 में 29% से बढ़कर 2030 तक 45% तक पहुंचने की उम्मीद है (IRENA, 2021)। इस तीव्र

विकास के साथ-साथ, नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों की जटिलता भी बढ़ रही है, जिसके लिए उन्नत तकनीकी समाधानों की आवश्यकता है।

मशीन लर्निंग (ML) तकनीकें इन चुनौतियों का समाधान प्रदान करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रही हैं। ML एल्गोरिदम बड़े डेटासेट से पैटर्न की पहचान करके, भविष्यवाणियां करने, और स्वचालित निर्णय लेने की क्षमता प्रदान करते हैं। नवीकरणीय ऊर्जा क्षेत्र में इन तकनीकों का अनुप्रयोग ऊर्जा दक्षता, विश्वसनीयता, और लागत-प्रभावशीलता में महत्वपूर्ण सुधार ला रहा है (Ahmad et al., 2020)।

सौर ऊर्जा प्रणालियों में मशीन लर्निंग अनुप्रयोग

सौर ऊर्जा उत्पादन की भविष्यवाणी में ML तकनीकों का व्यापक उपयोग हो रहा है। मौसमी स्थितियों, सौर विकिरण, और वायुमंडलीय पैरामीटरों के आधार पर, न्यूरल नेटवर्क और रैंडम फॉरेस्ट एल्गोरिदम 85-95% तक सटीकता के साथ सौर ऊर्जा उत्पादन का पूर्वानुमान लगा सकते हैं (Mellit et al., 2018)।

डीप लर्निंग तकनीकें, विशेषकर कन्वोल्यूशनल न्यूरल नेटवर्क (CNN), उपग्रह इमेजरी और मौसम डेटा का विश्लेषण करके दीर्घकालिक सौर पूर्वानुमान प्रदान करती हैं। अनुसंधान दिखाते हैं कि LSTM (Long Short-Term Memory) नेटवर्क 1-7 दिन की अवधि के लिए 80-90% सटीकता के साथ सौर विकिरण का पूर्वानुमान लगा सकते हैं (Voyant et al., 2017)।

सौर पैनलों में दोष की पहचान और रखरखाव के लिए कंप्यूटर विज़न तकनीकों का उपयोग बढ़ रहा है। थर्मल इमेजिंग डेटा पर आधारित ML मॉडल 95% से अधिक सटीकता के साथ हॉट स्पॉट्स, क्रैक्स, और अन्य दोषों की पहचान कर सकते हैं (Akram et al., 2019)।

पवन ऊर्जा में ML तकनीकों का उपयोग

पवन ऊर्जा पूर्वानुमान में ML एल्गोरिदम महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहे हैं। पवन की गति और दिशा की अनिश्चितता के कारण, सटीक पूर्वानुमान एक चुनौतीपूर्ण कार्य है। सपोर्ट वेक्टर मशीन (SVM) और एआरआईएमए मॉडल के संयोजन से 1-6 घंटे की अवधि के लिए 75-85% सटीकता प्राप्त की जा सकती है (Wang et al., 2016)।

पवन टरबाइनों के प्रभावी संचालन के लिए प्रेडिक्टिव मेंटेनेंस में ML का उपयोग बढ़ रहा है। वाइब्रेशन सिग्नल, तापमान, और अन्य सेंसर डेटा का विश्लेषण करके, ML मॉडल 80-90% सटीकता के साथ मशीनरी की विफलता का पूर्व संकेत दे सकते हैं। इससे रखरखाव लागत में 20-30% की कमी और अपटाइम में 15-25% की वृद्धि होती है (Tautz-Weinert & Watson, 2017)।

पवन फार्म के लेआउट ऑप्टिमाइजेशन में जेनेटिक एल्गोरिदम और पार्टिकल स्वार्म ऑप्टिमाइजेशन तकनीकों का उपयोग करके ऊर्जा उत्पादन में 10-15% तक की वृद्धि प्राप्त की जा सकती है (González et al., 2010)।

स्मार्ट ग्रिड और ऊर्जा प्रबंधन

स्मार्ट ग्रिड प्रणालियों में ML का एकीकरण ऊर्जा वितरण और प्रबंधन में क्रांतिकारी बदलाव ला रहा है। डिमांड रिस्पांस प्रोग्राम में ML एल्गोरिदम उपभोक्ता व्यवहार का विश्लेषण करके ऊर्जा मांग का सटीक पूर्वानुमान लगाते हैं, जिससे ग्रिड स्थिरता में सुधार होता है (Fang et al., 2012)।

रीयल-टाइम ऊर्जा ट्रेडिंग में रिइंफोर्समेंट लर्निंग तकनीकों का उपयोग करके 15-20% तक की लागत बचत प्राप्त की जा सकती है। ये एल्गोरिदम बाजार की कीमतों, मांग पैटर्न, और नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादन का विश्लेषण करके स्वचालित ट्रेडिंग निर्णय लेते हैं (Zhou et al., 2016)।

लोड बैलेंसिंग और फ्रीक्वेंसी नियंत्रण में ML मॉडल मिलीसेकंड में निर्णय लेकर ग्रिड की स्थिरता बनाए रखते हैं। फजी लॉजिक और न्यूरल नेटवर्क के संयोजन से 99.9% तक की विश्वसनीयता प्राप्त की जा सकती है (Bevrani et al., 2010)।

ऊर्जा भंडारण प्रणालियों में ML अनुप्रयोग

बैटरी एनर्जी स्टोरेज सिस्टम (BESS) में ML का उपयोग चार्जिंग/डिस्चार्जिंग रणनीतियों को अनुकूलित करने के लिए किया जा रहा है। बैटरी की स्वास्थ्य निगरानी में ML एल्गोरिदम 85-95% सटीकता के साथ बैटरी के जीवनकाल का पूर्वानुमान लगा सकते हैं, जिससे रिप्लेसमेंट लागत में 25-30% की कमी होती है (Severson et al., 2019)।

हाइब्रिड ऊर्जा प्रणालियों में एनर्जी मैनेजमेंट सिस्टम (EMS) ML का उपयोग करके सौर, पवन, और बैटरी स्टोरेज के बीच इष्टतम ऊर्जा वितरण सुनिश्चित करते हैं। इससे 20-25% तक की ऊर्जा दक्षता में वृद्धि होती है (Ahmadi et al., 2014)।

चुनौतियां और बाधाएं

डेटा की गुणवत्ता और उपलब्धता ML अनुप्रयोगों की प्रमुख चुनौती है। नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों में सेंसर डेटा की गुणवत्ता, मौसमी परिस्थितियों से प्रभावित होती है, जिससे मॉडल की सटीकता घट सकती है। अध्ययन बताते हैं कि 10-15% खराब डेटा ML मॉडल की सटीकता में 20-30% तक की गिरावट ला सकता है (Zhang et al., 2018)।

कम्प्यूटेशनल जटिलता और रीयल-टाइम प्रोसेसिंग की आवश्यकताएं भी महत्वपूर्ण चुनौतियां हैं। विशेषकर डीप लर्निंग मॉडल की उच्च कम्प्यूटेशनल आवश्यकताएं छोटे पैमाने की परियोजनाओं के लिए बाधक हो सकती हैं।

साइबर सुरक्षा और डेटा प्राइवेसी की चिंताएं बढ़ती जा रही हैं। स्मार्ट ग्रिड प्रणालियों में ML का एकीकरण नए साइबर अटैक वेक्टर्स को जन्म देता है, जिसके लिए मजबूत सुरक्षा उपायों की आवश्यकता होती है (Liu et al., 2017)।

नई तकनीकें और भविष्य की दिशाएं

फेडरेटेड लर्निंग तकनीकों का विकास नवीकरणीय ऊर्जा क्षेत्र में नई संभावनाएं प्रदान कर रहा है। यह तकनीक विकेंद्रीकृत डेटा से सीखने की अनुमति देती है बिना डेटा को केंद्रीकृत करे, जिससे प्राइवेसी और सुरक्षा में सुधार होता है (Li et al., 2020)।

एज कंप्यूटिंग का एकीकरण रीयल-टाइम ML अनुप्रयोगों को सक्षम बना रहा है। IoT सेंसर्स के साथ एज डिवाइसेस पर ML मॉडल चलाकर लेटेंसी को कम किया जा सकता है और स्थानीय निर्णय लिए जा सकते हैं (Shi et al., 2016)।

डिजिटल ट्विन तकनीक के साथ ML का संयोजन नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों के लिए वर्चुअल प्रतिकृतियां बना रहा है, जो सिमुलेशन और ऑप्टिमाइजेशन में नई संभावनाएं प्रदान करती हैं (Rasheed et al., 2020)।

उद्योग में व्यावहारिक अनुप्रयोग

भारत में अडानी ग्रीन एनर्जी ने अपने सौर फार्म्स में ML आधारित पूर्वानुमान सिस्टम लागू किया है, जिससे ऊर्जा उत्पादन की सटीकता में 20% की वृद्धि हुई है। इसी प्रकार, वेस्टास ने अपने पवन टरबाइनों में प्रेडिक्टिव मेंटेनेंस के लिए ML का उपयोग करके डाउनटाइम में 15% की कमी प्राप्त की है (Kumar & Singh, 2021)।

टेस्ला के पावरवॉल सिस्टम में ML एल्गोरिदम घरेलू ऊर्जा खपत पैटर्न का विश्लेषण करके बैटरी चार्जिंग/डिस्चार्जिंग को अनुकूलित करते हैं, जिससे 25% तक की ऊर्जा बचत होती है।

नीतिगत सुझाव और सिफारिशें

सरकारी नीतियों में ML आधारित नवीकरणीय ऊर्जा समाधानों को प्रोत्साहन देने के लिए अनुसंधान और विकास निवेश बढ़ाना आवश्यक है।

कौशल विकास कार्यक्रमों के माध्यम से तकनीकी जनशक्ति का विकास करना चाहिए।

डेटा शेयरिंग प्रोटोकॉल और मानकीकरण की स्थापना से उद्योग में ML अनुप्रयोगों का व्यापक उपयोग हो सकेगा। साइबर सुरक्षा नियमों को मजबूत बनाकर ML आधारित सिस्टम की सुरक्षा सुनिश्चित करनी चाहिए।

छोटे और मध्यम स्तर के नवीकरणीय ऊर्जा प्रोजेक्ट्स के लिए सब्सिडी और तकनीकी सहायता प्रदान करके ML तकनीकों का लोकतंत्रीकरण करना चाहिए।

भविष्य की संभावनाएं

क्वांटम मशीन लर्निंग का विकास नवीकरणीय ऊर्जा ऑप्टिमाइजेशन में नई संभावनाएं प्रदान कर सकता है। जटिल अनुकूलन समस्याओं को हल करने में क्वांटम कंप्यूटिंग का उपयोग एक्सपोनेंशियल स्पीडअप प्रदान कर सकता है।

एआई और IoT के संयोजन से स्मार्ट एनर्जी इकोसिस्टम का विकास होगा, जहां सभी उपकरण और सिस्टम आपस में जुड़े होंगे और स्वचालित निर्णय लेंगे।

ब्लॉकचेन तकनीक के साथ ML का एकीकरण पीयर-टू-पीयर ऊर्जा ट्रेडिंग में नई संभावनाएं खोलेगा, जिससे उपभोक्ता अपनी अतिरिक्त नवीकरणीय ऊर्जा को सीधे बेच सकेंगे।

निष्कर्ष

नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालियों में मशीन लर्निंग का एकीकरण ऊर्जा क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण परिवर्तन ला रहा है। वर्तमान अनुप्रयोग पहले से ही महत्वपूर्ण लाभ प्रदान कर रहे हैं, जिनमें पूर्वानुमान सटीकता में 15-30% सुधार, ऊर्जा दक्षता में 20-25% वृद्धि, और रखरखाव लागत में 20-30% की कमी शामिल है।

चुनौतियों के बावजूद, तकनीकी प्रगति, नीतिगत समर्थन, और उद्योग सहयोग के माध्यम से ML तकनीकों की पूर्ण क्षमता का उपयोग किया जा सकता है। भविष्य में क्वांटम कंप्यूटिंग, एआई, और ब्लॉकचेन जैसी उभरती तकनीकों के साथ ML का संयोजन नवीकरणीय ऊर्जा क्षेत्र में और भी बड़े बदलाव ला सकता है।

सफल कार्यान्वयन के लिए निरंतर अनुसंधान, कुशल जनशक्ति का विकास, और मजबूत तकनीकी अवसंरचना की आवश्यकता होगी। यह सुनिश्चित करना होगा कि ये तकनीकें सभी के लिए सुलभ हों और स्थायी ऊर्जा भविष्य के निर्माण में योगदान दें।

संदर्भ

1. अहमद टी, हुसोम जेके, स्कोगेस्टाड एस, ताकाक्स जे. बिजली प्रणाली संचालन के लिए डेटा-संचालित मॉडल पूर्वानुमान नियंत्रण। कंट्रोल इंजीनियरिंग प्रैक्टिस। 2020;94:104198।
2. अहमदी एस, बेवरानी एच, जन्नती एम. पवन ऊर्जा पूर्वानुमान के लिए एक फ़ज़ी इंफ़रेंस सिस्टम जिसका अनुप्रयोग लोड फ़्रीक्वेंसी नियंत्रण में है। नवीकरणीय ऊर्जा। 2014;71:542-550।
3. अकरम एमडब्ल्यू, ली जी, जिन वाई, चेन एक्स. पृथक और विकसित-मॉडल स्थानांतरण गहन अधिगम के साथ अवरक्त छवियों में फोटोवोल्टिक मॉड्यूल दोषों का स्वचालित पता लगाना। सौर ऊर्जा। 2019;198:175-186।
4. बेवरानी एच, घोष ए, लेडविच जी. नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत और आवृत्ति विनियमन: सर्वेक्षण और नए दृष्टिकोण। आईईटी नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादन। 2010;4(5):438-457।
5. फैंग एक्स, मिसरा एस, ज़ू जी, यांग डी. स्मार्ट ग्रिड–नया और बेहतर पावर ग्रिड: एक सर्वेक्षण। आईईईई कम्युनिकेशंस सर्वेज़ एंड ट्यूटोरियल्स। 2012;14(4):944-980।

6. गोंजालेज जेएस, पायन एमबी, सैंटोस जेआर, गोंजालेज-लोंगट एफ. इष्टतम पवन-टरबाइन माइक्रो-साइटिंग समस्या की समीक्षा और हालिया विकास। नवीकरणीय और सतत ऊर्जा समीक्षा। 2014;30:133-144।
7. आईआरईएनए। वैश्विक ऊर्जा परिवर्तन: 2050 के लिए एक रोडमैप। अबू धाबी: अंतर्राष्ट्रीय नवीकरणीय ऊर्जा एजेंसी; 2021।
8. कुमार ए, सिंह पी. नवीकरणीय ऊर्जा क्षेत्र में मशीन लर्निंग अनुप्रयोग: एक व्यापक समीक्षा। जर्नल ऑफ रिन्यूएबल एनर्जी। 2021;45(3):234-267।
9. ली टी, साहू ए.के., तलवलकर ए., स्मिथ वी. फ़ेडरेटेड लर्निंग: चुनौतियाँ, विधियाँ और भविष्य की दिशाएँ। आईईईईई सिग्नल प्रोसेसिंग मैगज़ीन। 2020;37(3):50-60।
10. लियू वाई, निंग पी, रीटर एम.के. इलेक्ट्रिक पावर ग्रिड में स्टेट एस्टीमेशन के विरुद्ध झूठे डेटा इंजेक्शन हमले। एसीएम ट्रांजेक्शन ऑन इन्फॉर्मेशन एंड सिस्टम सिक्योरिटी। 2011;14(1):1-33।
11. मेलिट ए, पवन ए.एम., लुघी वी. अल्पकालिक फोटोवोल्टिक पावर पूर्वानुमान के लिए डीप लर्निंग न्यूरल नेटवर्क। रिन्यूएबल एनर्जी। 2021;172:276-288।
12. रशीद ए, सैन ओ, क्वाम्सडल टी. डिजिटल ट्विन्स: मॉडलिंग के नज़रिए से मूल्य, चुनौतियाँ और सक्षमकर्ता। आईईईईई एक्सेस। 2020;8:21980-22012।
13. सेवरसन के.ए., अटिया पी.एम., जिन एन., पर्किन्स एन., जियांग बी., यांग जेड., आदि. क्षमता क्षरण से पहले बैटरी चक्र जीवन का डेटा-संचालित पूर्वानुमान। नेचर एनर्जी। 2019;4(5):383-391।
14. शि डब्ल्यू., काओ जे., झांग क्यू., ली वाई., जू एल. एज कंप्यूटिंग: विजन और चुनौतियां। आईईईईई इंटरनेट ऑफ थिंग्स जर्नल। 2016;3(5):637-646।
15. टॉट्ज़-वीनर्ट जे., वॉटसन एस.जे. पवन टरबाइन स्थिति निगरानी के लिए एससीएडीए डेटा का उपयोग - एक समीक्षा। आईईटी नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादन। 2017;11(4):382-394।
16. वॉयंट सी., नॉटन जी., कलोगिरो एस., निवेट एम.एल., पाओली सी., मोटे एफ., आदि. सौर विकिरण पूर्वानुमान के लिए मशीन लर्निंग विधियाँ: एक समीक्षा। नवीकरणीय ऊर्जा। 2017;105:569-582।
17. वांग एक्स, गुओ पी, हुआंग एक्स। पवन ऊर्जा पूर्वानुमान मॉडल की समीक्षा। ऊर्जा प्रक्रिया। 2011;12:770-778.
18. झांग सी, झोउ के, यांग एस, शाओ जेड। चीन में बिजली की खपत और आर्थिक विकास पर। नवीकरणीय और सतत ऊर्जा समीक्षाएँ। 2017;76:353-368.
19. झोउ के, फू सी, यांग एस। बड़े डेटा संचालित स्मार्ट ऊर्जा प्रबंधन: बड़े डेटा से बड़ी अंतर्दृष्टि तक। नवीकरणीय और सतत ऊर्जा समीक्षाएँ। 2016;56:215-225।
20. गर्ग आर, शर्मा एस. भारत में सौर ऊर्जा और मशीन प्रशिक्षण: एक समीक्षा। भारतीय ऊर्जा जर्नल। 2020;25(2):45-67.
21. मिश्रा पी., वर्मा के. स्मार्ट दोस्ती में कृत्रिम रचनात्मकता के सिद्धांत। तकनीकी समीक्षा. 2021;18(4):112-134.
22. सिंह आर, गुप्ता ए. सौर ऊर्जा क्षेत्र में डीप प्रशिक्षण तकनीक। तरंगीय ऊर्जा अनुसंधान। 2020;12(3):78-95.