

ऊर्जा मीटर तकनीक का विकास और स्मार्ट मीटर का मूल्यांकन

ऋषिराज मीणा , अभियांत्रिकी अधिकारी

मदुला जैन, अभियांत्रिकी अधिकारी

हैदर हय्यान , अभियांत्रिकी अधिकारी

^{1,2,3} केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान, ऊर्जा मीटर प्रयोगशाला, आरटीएल-नोएडा, भारत

ईमेल आईडी : rishiraj@cpri.in

I. सारांश

ऊर्जा मीटर आधुनिक बिजली वितरण प्रणाली का एक अभिन्न हिस्सा हैं और ये उपभोक्ताओं की विद्युत खपत को मापने, बिलिंग करने और ऊर्जा प्रबंधन में सहायक होते हैं [1]। पारंपरिक यांत्रिक और इलेक्ट्रॉनिक बिजली मीटर से लेकर आधुनिक स्मार्ट मीटरों तक ऊर्जा मीटर तकनीक ने एक लंबी और महत्वपूर्ण विकास यात्रा तय की है [6]। प्रारंभिक यांत्रिक मीटरों ने केवल खपत मापन की सरल विधि प्रदान की, जबकि इलेक्ट्रॉनिक मीटरों ने सटीकता, डेटा रिकॉर्डिंग और बहु-टैरिफ प्रणाली का अवसर उपलब्ध कराया [2]। इसके बाद स्मार्ट मीटरों का आगमन हुआ, जिन्होंने रियल-टाइम निगरानी, दूरस्थ डेटा ट्रांसमिशन, ऊर्जा चोरी रोकथाम, लोड मैनेजमेंट और स्मार्ट ग्रिड इंटीग्रेशन जैसी उन्नत सुविधाएँ प्रस्तुत कीं [1], [5]।

इस तकनीकी लेख में ऊर्जा मीटरों के ऐतिहासिक विकास, उनके तकनीकी परिवर्तन और विभिन्न प्रकार के मीटरों इलेक्ट्रोमैकेनिकल, डिजिटल और स्मार्ट के कार्य, लाभ और सीमाओं का गहन विश्लेषण किया गया है [1], [6]। इसके अतिरिक्त, स्मार्ट मीटरों के मूल्यांकन में उनके सटीकता, विश्वसनीयता, डेटा प्रबंधन क्षमता, नेटवर्क निर्भरता और उपभोक्ता स्वीकृति जैसे महत्वपूर्ण पहलुओं की समीक्षा शामिल है [3], [4], [5]।

अंततः, भारत में स्मार्ट मीटरों के क्रियान्वयन से जुड़ी चुनौतियाँ जैसे डेटा गोपनीयता, साइबर सुरक्षा, नेटवर्क अवसंरचना, रखरखाव, उपभोक्ता जागरूकता और नीति निर्माण पर भी चर्चा की गई है [3], [4]। साथ ही, भविष्य की संभावनाएँ और सुधार के सुझाव दिए गए हैं, जो स्मार्ट मीटरिंग प्रणाली को अधिक प्रभावी, विश्वसनीय और टिकाऊ बनाने में सहायक होंगे [1], [5]। इस प्रकार, यह शोध-पत्र ऊर्जा मीटर तकनीक के विकास,

स्मार्ट मीटर के कार्य और उनके मूल्यांकन के लिए एक व्यापक और व्यावहारिक मार्गदर्शन प्रदान करता है।

कीवर्ड: ऊर्जा मीटर; इलेक्ट्रॉनिक मीटर; स्मार्ट मीटर; रियल-टाइम निगरानी; डेटा प्रबंधन; स्मार्ट ग्रिड; सटीकता; साइबर सुरक्षा

II. परिचय

बिजली मीटर वह यंत्र है जो उपभोक्ता द्वारा उपयोग की गई विद्युत ऊर्जा को मापता है [1]। समय के साथ मीटरिंग तकनीक में निरंतर विकास हुआ है, जिससे ऊर्जा मापन की सटीकता और विश्वसनीयता में उल्लेखनीय सुधार हुए हैं [6]।

शुरुआत में उपयोग किए जाने वाले मीटर पूर्णतः यांत्रिक थे। इनमें घूमने वाली डिस्क, गियर तथा अन्य चलायमान भागों के माध्यम से ऊर्जा की खपत निर्धारित की जाती थी। यद्यपि ये मीटर सरल और लंबे समय तक उपयोग योग्य थे, परंतु यांत्रिक घिसावट, धूल, नमी, तापमान परिवर्तन और कंपन जैसी परिस्थितियों के कारण इनमें त्रुटियाँ उत्पन्न हो जाती थीं [6]।

इसके बाद ऐसे मीटर विकसित हुए जो विद्युत धारा और वोल्टेज का नमूना लेकर ऊर्जा की गणना करते थे [2]। इन इलेक्ट्रॉनिक मीटरों ने यांत्रिक भागों पर निर्भरता समाप्त कर दी, जिसके परिणामस्वरूप मापन अधिक सटीक, स्थिर और दीर्घकाल तक विश्वसनीय हो गया [2]। साथ ही, इनमें खपत से संबंधित घटनाओं का रिकॉर्ड रखने और छेड़छाड़ का पता लगाने जैसी सुविधाएँ भी उपलब्ध हो गईं।

समय के साथ विद्युत वितरण प्रणाली अधिक जटिल होती गई, उपभोक्ताओं की संख्या बढ़ती गई और वास्तविक समय पर जानकारी प्राप्त करने की आवश्यकता भी महत्वपूर्ण हो गई। ऐसी परिस्थितियों में पारंपरिक इलेक्ट्रॉनिक मीटर पर्याप्त नहीं रहे। इसी पृष्ठभूमि में आधुनिक स्मार्ट मीटरों का विकास हुआ, जो न केवल ऊर्जा की खपत मापते हैं, बल्कि डेटा संचार, वास्तविक समय पर निगरानी, लोड प्रबंधन तथा स्मार्ट विद्युत ग्रिड की आवश्यकताओं को पूरा करने की क्षमता भी रखते हैं।

III. ऊर्जा मीटरों का विकास

ऊर्जा मीटर की मूलभूत आवश्यकताओं में समय के साथ ऊर्जा मीटरिंग तकनीक में उल्लेखनीय परिवर्तन हुए हैं प्रारंभिक यांत्रिक मीटरों से डिजिटल और स्मार्ट मीटरिंग समाधान तक। तकनीकी प्रगति, मापन की सटीकता, रियल-टाइम निगरानी और स्मार्ट ग्रिड के एकीकरण ने इस विकास को दिशा प्रदान की है [1],[6]।

1. यांत्रिक वॉट-घंटा मीटर

यांत्रिक अथवा प्रेरण (इंडक्शन) प्रकार के मीटर विद्युत ऊर्जा मापन की प्रारंभिक तकनीकों में से एक रहे हैं। इन मीटरों का कार्य सिद्धांत धारा एवं विभव कुंडलियों द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्रों पर आधारित होता है, जिनके प्रभाव से एल्युमिनियम चक्र घूर्णन करता है। चक्र की घूर्णन गति उपभोग की जा रही विद्युत शक्ति के समानुपाती होती है, जबकि कुल घूर्णनों की संख्या कुल ऊर्जा उपभोग को किलोवाट-घंटा (kWh) के रूप में निरूपित करती है। यद्यपि ये मीटर प्रारंभिक विद्युत मापन आवश्यकताओं के लिए उपयुक्त थे, तथापि चलायमान अवयवों के घिसाव के कारण समय के साथ इनकी मापन सटीकता में कमी आ जाती थी। इसके अतिरिक्त, धूल, आर्द्रता, तापमान परिवर्तन तथा कंपन जैसी पर्यावरणीय परिस्थितियाँ इनके कार्य निष्पादन को प्रभावित करती थीं। साथ ही, इनमें आंकड़ा संचयन, विश्लेषण तथा दूरस्थ पठन जैसी आधुनिक सुविधाओं का अभाव था। इन मीटरों को आसानी से धीमा किया जा सकता था। विद्युत ऊर्जा की बढ़ती खपत, विस्तारित वितरण तंत्र तथा उपभोक्ताओं की संख्या में वृद्धि के साथ इन मीटरों की सीमाएँ स्पष्ट होती चली गईं।

2. इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा मीटर

इलेक्ट्रॉनिक्स एवं डिजिटल प्रौद्योगिकी के विकास के साथ ऊर्जा मापन के क्षेत्र में अगला महत्वपूर्ण चरण इलेक्ट्रॉनिक मीटरों के रूप में सामने आया [2]। इन मीटरों में वोल्टेज तथा धारा के नमूने लेकर उन्हें डिजिटल रूप में परिवर्तित किया जाता है, जिससे मापन प्रक्रिया अधिक विश्वसनीय बनती है। एनालॉग-टू-डिजिटल कन्वर्टर के उपयोग से मापन की स्थिरता एवं सटीकता में उल्लेखनीय सुधार हुआ [2]। यांत्रिक भागों के अभाव के कारण इन मीटरों में घिसावट की समस्या नहीं होती, जिससे दीर्घकालीन स्थिरता एवं उच्च सटीकता सुनिश्चित होती है। इसके अतिरिक्त, इनमें घटना अभिलेखन (इवेंट लॉगिंग), छेड़छाड़ पहचान (टैपर डिटेक्शन) तथा भार प्रोफाइलिंग (लोड प्रोफाइलिंग) जैसी उन्नत सुविधाएँ उपलब्ध होती हैं। कुछ इलेक्ट्रॉनिक मीटर मॉडलों में दूरस्थ मीटर-पठन की क्षमता भी विद्यमान होती है, जिससे मैनुअल पठन की आवश्यकता में कमी आती है [2]। तथापि, पारंपरिक इलेक्ट्रॉनिक मीटर उभरती हुई विद्युत ग्रिड आवश्यकताओं जैसे वास्तविक-समय निगरानी, द्वि-दिशात्मक संचार, डिमांड रिस्पॉन्स, बड़े पैमाने पर आंकड़ा विश्लेषण और उपभोक्ताओं की सक्रिय सहभागिता को भी पूर्ण रूप से संतुष्ट करने में सक्षम नहीं हैं [6]।

3. स्मार्ट ऊर्जा मीटर

स्मार्ट मीटर आधुनिक ऊर्जा मीटरिंग प्रौद्योगिकी का सर्वाधिक उन्नत स्वरूप हैं, जिनमें मापन, आंकड़ा प्रसंस्करण तथा संचार क्षमताओं का एकीकृत रूप से समावेश किया गया है [1]। ये मीटर जीएसएम (वैश्विक प्रणाली मोबाइल संचार हेतु), जीपीआरएस (सामान्य पैकेट रेडियो सेवा), आरएफ मेष (रेडियो आवृत्ति जाल तंत्र), एनबी-आईओटी (संकीर्ण-बैंड इंटरनेट ऑफ थिंग्स तंत्र) तथा 4जी/5जी (चौथी एवं पाँचवीं पीढ़ी का मोबाइल संचार तंत्र) जैसे संचार मॉड्यूल से सुसज्जित होते हैं, जिनके माध्यम से विद्युत उपभोग से संबंधित आंकड़े स्वतः ही विद्युत वितरण कंपनी के सर्वर तक प्रेषित किए जाते हैं [1], [5]। स्मार्ट मीटरों में 15-30 मिनट के अंतराल पर ऊर्जा खपत आंकड़ों का स्वचालित अभिलेखन, दूरस्थ निगरानी, निदान (डायग्नोस्टिक्स) तथा स्वचालित मीटर पठन (एमआर/एमआई) जैसी उन्नत कार्यात्मकताएँ उपलब्ध होती हैं। इसके अतिरिक्त, प्रीपेड मीटरिंग, उपभोक्ताओं के लिए वास्तविक-समय ऊर्जा खपत

जानकारी, मोबाइल अथवा वेब-आधारित इंटरफेस, विद्युत चोरी एवं छेड़छाड़ पहचान, ओवर-वोल्टेज/अंडर-वोल्टेज चेतावनी तथा दूरस्थ कनेक्शन/डिसकनेक्शन की सुविधाएँ भी इनमें सम्मिलित होती हैं [4], [5]। स्मार्ट ग्रिड प्रणाली में स्मार्ट मीटरों की भूमिका अत्यंत महत्वपूर्ण है, क्योंकि ये मांग एवं आपूर्ति के वास्तविक-समय संतुलन को संभव बनाते हैं, आउटलेज पहचान एवं सेवा बहाली की प्रक्रिया को तीव्र करते हैं, तथा लोड पूर्वानुमान एवं ऊर्जा प्रबंधन हेतु उन्नत विश्लेषणात्मक क्षमताएँ प्रदान करते हैं। साथ ही, ये उपभोक्ता सहभागिता एवं प्रणालीगत पारदर्शिता में उल्लेखनीय सुधार लाते हैं। इस प्रकार, यांत्रिक मीटरों से लेकर इलेक्ट्रॉनिक तथा अंततः स्मार्ट मीटरों तक के तकनीकी विकास ने विद्युत वितरण प्रणाली में सटीकता, विश्वसनीयता तथा आंकड़ा-संचार क्षमताओं को निरंतर सुदृढ़ किया है, जिससे आधुनिक स्मार्ट ग्रिड की आधारशिला सशक्त हुई है [1], [5], [6]।

स्मार्ट मीटर की कार्यात्मक आवश्यकताएँ

स्मार्ट मीटर का कार्य संचालन डिजिटल मापन, प्रदर्शन तथा संचार इकाइयों के समन्वय पर आधारित होता है। इसमें मापन इकाई वोल्टेज एवं धारा को डिजिटल रूप में मापती है, जबकि डिस्प्ले इकाई उपभोक्ता को ऊर्जा खपत की जानकारी प्रदान करती है [2], [3]। जीएसएम, जीपीआरएस अथवा आरएफ जैसे संचार माध्यमों द्वारा खपत से संबंधित आंकड़े निर्धारित अंतराल पर केंद्रीय सर्वर तक प्रेषित किए जाते हैं [1], [5]। द्वि-मार्गीय मीटरिंग के कारण वितरण कंपनी एवं उपभोक्ता दोनों को वास्तविक-समय में जानकारी प्राप्त होती है, जिससे निगरानी एवं नियंत्रण क्षमता में वृद्धि होती है [5]।

स्मार्ट मीटर स्वचालित रीडिंग एवं सटीक बिलिंग, उपभोग की निरंतर निगरानी, प्रीपेड मीटरिंग तथा विद्युत चोरी एवं मीटर से छेड़छाड़ की प्रभावी पहचान जैसी सुविधाएँ प्रदान करते हैं [1], [3]–[5]। इसके अतिरिक्त, आंकड़ा विश्लेषण के माध्यम से लोड पूर्वानुमान, ग्रिड अनुकूलन तथा ऊर्जा दक्षता में सुधार संभव होता है [1], [5], [6]। तथापि, विस्तृत खपत आंकड़ों के कारण डेटा गोपनीयता एवं सुरक्षा से जुड़ी चिंताएँ, नेटवर्क या मीटर विफलता की स्थिति में मापन की विश्वसनीयता, उच्च बुनियादी ढांचा लागत तथा उपभोक्ता स्वीकार्यता जैसी चुनौतियाँ स्मार्ट मीटरिंग प्रणाली के समक्ष बनी हुई हैं [3]–[6]।

स्मार्ट मीटर को इस तरह डिज़ाइन किया जाता है कि यह सभी आवश्यक संचालनात्मक क्षमताओं का समर्थन कर सके। मीटर में स्वचालित डिसकनेक्शन तंत्र होता है, जो ओवर करंट (किसी भी फेज़ में I_{max} का न्यूनतम 105% पूर्वनिर्धारित समय तक), प्रोग्रामेबल लोड नियंत्रण सीमा, पूर्व-निर्धारित फ़ैक्टरी सेट ईवेंट, यूटिलिटी नियंत्रण केंद्र से आने वाले डिसकनेक्ट सिग्नल, और पूर्व-भुगतान सुविधा के तहत निर्धारित शर्तों के अनुसार स्विच को संचालित करता है। डिसकनेक्शन के लिए परसेस्टेंस समय और ईवेंट सूची यूटिलिटी द्वारा तय की जाती है [7]।

जब ओवर करंट या लोड नियंत्रण सीमा के कारण मीटर डिसकनेक्ट हो जाता है, तो इसका पुनः कनेक्शन स्थानीय स्तर पर स्वचालित रूप से किया जाएगा। मीटर निर्धारित समय और अंतराल के अनुसार लोड को पुनः कनेक्ट करने का प्रयास करेगा। यदि खपत अभी भी निर्धारित सीमा से अधिक रहती है, तो मीटर लॉक आउट मोड में चला जाएगा और 30 मिनट की प्रतीक्षा के बाद पुनः कनेक्शन प्रयास करेगा। ओवर करंट और लोड नियंत्रण सीमा के अलावा अन्य परिस्थितियों में, पुनः कनेक्शन सामान्यतः HES (होम/हेड एंड सिस्टम) के माध्यम से किया जाएगा। यदि HES के साथ संचार विफल हो जाता है, तो स्थानीय स्तर पर सुरक्षित ऑप्टिकल पोर्ट के माध्यम से भी पुनः कनेक्शन संभव होगा। पूर्व-भुगतान मीटर के मामले में, पुनः कनेक्शन यूटिलिटी के साथ सहमति पूर्व-भुगतान संरचना के अनुसार किया जाएगा [7]।

लोड स्विच की स्थिति (कनेक्टेड या डिसकनेक्टेड) डिस्प्ले और HES दोनों पर स्पष्ट रूप से प्रदर्शित होगी। सभी कनेक्शन और डिसकनेक्शन क्रियाओं को ईवेंट के रूप में लॉग किया जाएगा। स्मार्ट मीटर HES से आने वाले अनुरोधों पर भी प्रतिक्रिया देगा, जैसे मांग पर मीटर रीडिंग, निर्धारित मीटर रीडिंग, रिमोट फ़र्मवेयर अपग्रेड और सभी प्रोग्रामिंग अनुरोध। इसके अलावा, मीटर 'फ़र्स्ट ब्रेथ' (पावर ऑन) और 'लास्ट गैस्प' (पावर ऑफ) स्थितियों का पता लगाएगा और संबंधित जानकारी HES को संचारित करेगा [7]।

तालिका 1: मीटर के प्रकार का तुलनात्मक विश्लेषण

विशेषता / मीटर प्रकार	यांत्रिक मीटर	इलेक्ट्रॉनिक मीटर	स्मार्ट मीटर
कार्यप्रणाली	घूमती डिस्क + गियर	डिजिटल सैपलिंग	डिजिटल + रिमोट डेटा संचार
सटीकता	कम	मध्यम से उच्च	उच्च
रीयल-टाइम डेटा	नहीं	नहीं	हाँ
बिजली चोरी रोक	सीमित	कम	प्रभावी
प्रीपेड मीटरिंग	नहीं	नहीं	हाँ
डेटा संग्रह और विश्लेषण	मैन्युअल	सीमित	व्यापक, स्मार्ट ग्रिड अनुकूल
नेटवर्क निर्भरता	नहीं	नहीं	हाँ
मूल्य	कम	मध्यम	उच्च
रखरखाव	अक्सर आवश्यक	कम	न्यूनतम, लेकिन तकनीकी सहायता आवश्यक
कार्यप्रणाली	घूमती डिस्क + गियर	डिजिटल सैपलिंग	डिजिटल + रिमोट डेटा संचार
सटीकता	कम	मध्यम से उच्च	उच्च
रीयल-टाइम डेटा	नहीं	नहीं	हाँ

III. स्मार्ट मीटर: की संभावित चुनौतियाँ

तथापि, स्मार्ट मीटरिंग प्रणाली के समक्ष कुछ चुनौतियाँ एवं चिंताएँ भी विद्यमान हैं। विस्तृत ऊर्जा खपत आंकड़ों के कारण उपभोक्ताओं की दिनचर्या एवं उपकरण उपयोग से संबंधित जानकारी उजागर होने की संभावना रहती है, जिससे डेटा गोपनीयता से जुड़े प्रश्न उत्पन्न होते हैं [3]। डिजिटल संचार एवं नेटवर्क-आधारित प्रणाली साइबर हमलों, हैकिंग तथा डेटा दुरुपयोग के जोखिम

को भी बढ़ाती है [4]। इसके अतिरिक्त, नेटवर्क विफलता या मीटर में खराबी की स्थिति में मापन की विश्वसनीयता प्रभावित हो सकती है, जिससे मैन्युअल पठन अथवा वैकल्पिक मीटरिंग की आवश्यकता उत्पन्न होती है [5]। बुनियादी ढांचे की स्थापना, संचार नेटवर्क, डेटा प्रबंधन प्रणाली तथा रखरखाव से जुड़ी उच्च लागत, विशेष रूप से ग्रामीण क्षेत्रों में, एक प्रमुख बाधा बनी हुई है [6]। साथ ही, उच्च सटीकता की वजह से अचानक बढ़े हुए बिलों के कारण उपभोक्ता स्वीकार्यता भी एक महत्वपूर्ण चुनौती के रूप में सामने आती है [3], [4]।

- **डेटा गोपनीयता और सुरक्षा नीतियाँ**
स्मार्ट मीटर डेटा की सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए स्पष्ट कानून, डेटा एन्क्रिप्शन, उपभोक्ता की अनुमति और अनामीकरण लागू किए जाने चाहिए [1],[5]।

- **बुनियादी ढांचा मजबूत करना:**
ग्रामीण और दूरदराज क्षेत्रों में नेटवर्क कवरेज, डेटा बैकएंड, मीटर रखरखाव, मैट्रिक्स मॉनिटरिंग और प्रशिक्षित मानव संसाधन सुनिश्चित किए जाएँ [2][4]।

- **उपभोक्ता जागरूकता और भागीदारी:**
उपभोक्ताओं को स्मार्ट मीटर के फायदे, उपयोग, अधिकार और संभावित भ्रम से अवगत कराया जाए। सूचना अभियान, फीडबैक मैकेनिज्म, ग्राहक सेवा और शिकायत-निवारण प्रणाली लागू हो [3][4]।

- **डेटा एनालिटिक्स और स्मार्ट ग्रिड एकीकरण:**
स्मार्ट मीटर केवल डेटा संग्रह के लिए नहीं, बल्कि लोड फोरकास्टिंग, मांग प्रबंधन, ऊर्जा संरक्षण और नवीकरणीय ऊर्जा (सौर, पवन) के साथ एकीकृत किया जाए [5]।

- **नीति और विनियमन:** सरकार और विद्युत विभागों द्वारा स्पष्ट नीति बनाई जाए, जिसमें मीटर मानक, डेटा सुरक्षा, उपभोक्ता अधिकार, विवाद समाधान, प्रीपेड विकल्प और मीटरिंग माइग्रेशन शामिल हों [1], [6]।

स्मार्ट मीटर और आधुनिक ऊर्जा मीटरिंग तकनीक ने विद्युत वितरण प्रणाली में सुधार लाने की दिशा में महत्वपूर्ण कदम उठाए हैं, लेकिन इसके व्यापक और प्रभावी क्रियान्वयन के लिए अभी भी कई चुनौतियाँ हैं। प्रमुख चुनौतियों में संचार और नेटवर्क अवसंरचना की अपर्याप्तता, ग्रामीण और दूरदराज के क्षेत्रों में सीमित इंटरनेट/मोबाइल कनेक्टिविटी, उपभोक्ता जागरूकता

की कमी और तकनीकी प्रशिक्षण का अभाव शामिल हैं [2],[5],[6]। इसके अलावा, विभिन्न निर्माता कंपनियों के मीटरों में इंटरऑपरेबिलिटी की समस्या, डेटा सुरक्षा और गोपनीयता के मुद्दे, तथा बड़े पैमाने पर तैनाती के लिए वित्तीय और प्रशासनिक संसाधनों की कमी भी प्रमुख बाधाएँ हैं [1],[5]।

इन चुनौतियों के समाधान और स्मार्ट मीटरिंग को और प्रभावी बनाने के लिए निम्नलिखित कुछ सिफ़ारिशों को लागू किया जा सकता है। सबसे पहले, नेटवर्क और संचार अवसंरचना को मजबूत बनाना आवश्यक है, ताकि दूरदराज़ क्षेत्रों में भी रियल-टाइम डेटा ट्रांसमिशन सुनिश्चित किया जा सके [2],[4]। उपभोक्ताओं के लिए शिक्षा और जागरूकता अभियान चलाए जाने चाहिए, जिससे वे स्मार्ट मीटर की कार्यप्रणाली और इसके लाभ समझ सकें [3],[4]। तकनीकी प्रशिक्षण और मानकीकरण के माध्यम से मीटरों की इंटरऑपरेबिलिटी और रखरखाव को सरल बनाया जा सकता है [5]। डेटा सुरक्षा और गोपनीयता सुनिश्चित करने के लिए उन्नत एन्क्रिप्शन तकनीक और साइबर सुरक्षा उपाय अपनाने चाहिए [1],[5]।

साथ ही, डेटा एनालिटिक्स और स्मार्ट ग्रिड के एकीकरण को प्रोत्साहित किया जाना चाहिए, ताकि लोड फोरकास्टिंग, मांग प्रबंधन, ऊर्जा संरक्षण और नवीकरणीय ऊर्जा के समन्वय में सुधार हो [5]। नीति और विनियमन के क्षेत्र में मीटर मानक, डेटा सुरक्षा, उपभोक्ता अधिकार, प्रीपेड विकल्पों और मीटरिंग माइग्रेशन की स्पष्ट रूपरेखा सुनिश्चित करनी चाहिए [1][6]। इन सभी उपायों के क्रियान्वयन से भारत में स्मार्ट मीटरिंग अधिक पारदर्शी, सुरक्षित और कुशल बन सकती है, जिससे ऊर्जा वितरण प्रणाली का भविष्य स्थायी और स्मार्ट ग्रिड अनुकूल होगा [1],[2],[5]।

इस प्रकार, उपयुक्त चुनौतियों के समाधान और रणनीतिक सिफ़ारिशों के क्रियान्वयन से भारत में स्मार्ट मीटरिंग का भविष्य उज्ज्वल और टिकाऊ होगा, जो ऊर्जा दक्षता, उपभोक्ता संतुष्टि और स्मार्ट ग्रिड के व्यापक विकास में महत्वपूर्ण योगदान देगा।

तालिका 2: स्मार्ट मीटर के विभिन्न पहलुओं का विस्तृत तुलनात्मक विश्लेषण

क्रम	श्रेणी	विस्तृत कार्य	विस्तृत लाभ	विस्तृत चुनौतियाँ
1	डेटा मापन एवं रिकॉर्डिंग	वोल्टेज, करंट और ऊर्जा खपत का रियल-टाइम मापन। हर सेकंड/मिनट/घंटे का डेटा रिकॉर्ड। अधिकतम मांग और लोड प्रोफाइल का विश्लेषण।	उच्च सटीकता वाली रीडिंग। अनुमानित बिलिंग समाप्त। उपभोक्ता ऊर्जा उपयोग पैटर्न को समझ पाता है।	लगातार डेटा भेजने के लिए नेटवर्क चाहिए। डेटा विलंब या गलत रिकॉर्डिंग के मामले।
2	डेटा संचार (दो-तरफ़ा संचार)	- बिजली कंपनी और मीटर के बीच दो-तरफ़ा संचार। - AMR/AMI तकनीक से स्वचालित रीडिंग।	- मैनुअल रीडिंग की आवश्यकता समाप्त। - कंपनी दूर से मीटर को नियंत्रित कर सकती है। - बिलिंग प्रक्रिया तेज़ और सटीक।	- नेटवर्क कनेक्टिविटी पर अत्यधिक निर्भरता। - संचार त्रुटियों से रीडिंग में समस्या।
3	प्रीपेड और पोस्टपेड सुविधा	- प्रीपेड (रिचार्ज आधारित) मोड। - पोस्टपेड (महिनावार बिल) मोड। - बैलेंस चेतावनी प्रणाली।	- उपभोक्ता खर्च को आसानी से नियंत्रित करता है। - बकाया बिल की समस्या समाप्त। - रिचार्ज प्रणाली पारदर्शी।	- डिजिटल भुगतान का ज्ञान आवश्यक। - ग्रामीण क्षेत्रों में डिजिटल उपयोग कम।
4	टैपिंग एवं चोरी रोकथाम	- मैग्नेट, बायपास, तार कट, उल्टी दिशा	- बिजली चोरी में भारी कमी।	- छेड़छाड़ से संसर्क कभी-कभी गलत अलार्म देते

	म	धारा जैसे प्रयासों का पता लगाना। - टेंपर अलर्ट कंपनी को तुरंत भेजता है।	- राजस्व नुकसान रुकता है। - अवैध कनेक्शन पकड़ना आसान।	हैं। - सुरक्षा के लिए उन्नत एंटी-टेंपर डिजाइन की आवश्यकता।
5	लोड मैनेजमेंट	- उपभोक्ता की अधिकतम मांग की निगरानी। - पीक लोड समय का विश्लेषण। - स्मार्ट ग्रिड के अनुसार लोड शिफ्टिंग।	- बिजली कंपनी बेहतर लोड प्रबंधन कर पाती है। - आउटेज और ओवरलोडिंग कम। - उपभोक्ता ऊर्जा बचत कर सकता है।	- गलतफहमी: लोग “ऑटो-कट” को मीटर दोष समझते हैं। - लोड लिमिटेड तय करने में सावधानी आवश्यक।
6	आउटेज और फॉल्ट मैनेजमेंट	- बिजली जाने पर तुरंत कंपनी को संकेत भेजता है। - लो-वोल्टेज, ओवरलोड, फॉल्ट जैसे अलर्ट भेजता है।	- आउटेज रिकवरी तेज होती है। - बिजली कटौती समय कम। - ग्रिड विश्वसनीयता बढ़ती है।	- खराब नेटवर्क में अलर्ट समय पर नहीं पहुँचता।
7	उपभोक्ता इंटरफेस एवं मॉनिटरिंग	मीटर डिस्प्ले पर रियल-टाइम kWh, kW, वोल्टेज, करंट। मोबाइल ऐप द्वारा डेटा उपलब्ध।	उपभोक्ता ऊर्जा उपयोग को नियंत्रित कर पाता है। - बिल आने से पहले अनुमान स्पष्ट।	- तकनीकी ज्ञान की आवश्यकता। - बुजुर्ग या ग्रामीण उपभोक्ताओं के लिए चुनौती।
8	आर्थिक प्रभाव	- ऑपरेशनल लागत कम। - फील्ड स्टाफ की आवश्यकता कम। - डेटा-आधारित	- बिजली कंपनियों की कुल लागत कम होती है। - सरकार के लिए भी राजस्व	- स्मार्ट मीटर की कीमत अधिक। - ग्रामीण क्षेत्रों में स्थापना महंगी।

		निर्णय।	संरक्षण।	
9	डेटा सुरक्षा और गोपनीयता	- खपत डेटा का डिजिटल संग्रह और ऑनलाइन ट्रांसफर।	- डेटा का उपयोग उपयोगकर्ता विश्लेषण और ऊर्जा प्रबंधन में।	- साइबर हमलों का खतरा। - उपभोक्ता डेटा गोपनीयता संबंधी चिंताएँ।
10	स्मार्ट ग्रिड एकीकरण	- स्मार्ट ग्रिड, इंटरनेट ऑफ थिंग्स और ऊर्जा प्रबंधन प्रणालियों से कनेक्टिविटी।	- भविष्य की स्मार्ट सिटी और स्मार्ट ऊर्जा प्रणाली का आधार।	- उन्नत तकनीकी ज्ञान और अवसंरचना आवश्यक।

IV. भारत में स्मार्ट मीटर का क्रियान्वयन

भारत में बिजली वितरण प्रणाली लंबे समय से चुनौतियों का सामना करती आई है- जैसे बिजली चोरी, मैनुअल मीटर रीडिंग की त्रुटियाँ, गलत बिलिंग, तकनीकी और गैर-तकनीकी नुकसान, तथा उपभोक्ता असंतोष [2],[4],[6]। इन समस्याओं को दूर करने के लिए भारत सरकार ने **स्मार्ट मीटरिंग** को डिजिटल बिजली प्रबंधन का मुख्य आधार बनाया है [1],[2],[4]।

भारत के 20 से अधिक राज्यों जैसे उत्तर प्रदेश, बिहार, मध्य प्रदेश, दिल्ली, हरियाणा, राजस्थान, गुजरात और महाराष्ट्र में स्मार्ट मीटर बड़े पैमाने पर स्थापित किए जा रहे हैं। सरकारी और निजी दोनों विद्युत वितरण कंपनियाँ उन्नत मीटरिंग अवसंरचना (एएमआई) लागू कर रही हैं [2],[6]।

भारत में स्मार्ट मीटर क्रियान्वयन: विस्तृत तालिका तालिका 3 : भारत में स्मार्ट मीटर क्रियान्वयन अवस्था, लाभ, प्रभाव

श्रेणी	विवरण	विस्तृत व्याख्या
लागू राज्य	यूपी, बिहार, एमपी, दिल्ली, हरियाणा, राजस्थान आदि	शहरी + ग्रामीण दोनों क्षेत्रों में मीटर स्थापित
सरकारी लक्ष्य	25 करोड़ स्मार्ट मीटर	RDSS और SMNP के अंतर्गत सबसे बड़ा वैश्विक कार्यक्रम
उपभोक्ता अनुभव	90% सकारात्मक	रियल-टाइम मॉनिटरिंग, सटीक बिल, प्रीपेड विकल्प
तकनीकी लाभ	स्मार्ट बिलिंग और AMI सिस्टम	डेटा संचार, दूरस्थ कनेक्शन/डिसकनेक्शन
आर्थिक प्रभाव	लागत में भारी कमी	रीडिंग का खर्च समाप्त, चोरी में कमी

डिस्कॉम लाभ	एटी एंड सी हानि घटा	वित्तीय स्थिति सुधरी
उपभोक्ता सुविधा	मोबाइल ऐप पर पूरी जानकारी	बैलेंस, खपत और बिल सब तुरंत उपलब्ध
चुनौतियाँ	नेटवर्क और डेटा सुरक्षा	ग्रामीण क्षेत्रों में कनेक्टिविटी समस्या
भविष्य योजना	100% स्मार्ट मीटरिंग देशभर में	स्मार्ट ग्रिड + स्मार्ट सिटी एकीकरण

भारत में स्मार्ट मीटर क्रियान्वयन: वर्तमान स्थिति और कार्यान्वयन प्रक्रिया

भारत में स्मार्ट मीटर का क्रियान्वयन विद्युत वितरण क्षेत्र के डिजिटलीकरण और आधुनिकीकरण की दिशा में एक महत्वपूर्ण कदम है। देश के कई राज्यों में सरकार तथा वितरण कंपनियाँ पारंपरिक मीटरों को चरणबद्ध तरीके से स्मार्ट मीटरों से बदलने की प्रक्रिया में लगी हैं, जिसका उद्देश्य बिलिंग प्रणाली को अधिक सटीक और पारदर्शी बनाना, बिजली चोरी पर नियंत्रण लाना, तथा वितरण नेटवर्क के कुशल प्रबंधन को सुनिश्चित करना है [1],[2],[3]। सरकार का उद्देश्य है कि पूरे देश में 25 करोड़ से अधिक स्मार्ट मीटर लगाए जाएँ। यह कार्यक्रम बिजली वितरण को अधिक कुशल, पारदर्शी और उपभोक्ता-केंद्रित बनाएगा। इसे पुनर्गठित वितरण क्षेत्र योजना (आरडीएसएस) और स्मार्ट मीटर राष्ट्रीय कार्यक्रम (एसएमएनपी) के अंतर्गत संचालित किया जा रहा है [4],[6]।



चित्र 1: भारत में स्मार्ट मीटर क्रियान्वयन की प्रक्रिया

भारत सरकार (आरडीएसएस / एसएमएनपी)

यह कार्यक्रम भारत सरकार द्वारा इस उद्देश्य से संचालित किया जाता है कि देश की **बिजली-वितरण व्यवस्था** अधिक आधुनिक, विश्वसनीय और दक्ष बन सके [1],[4]।

आरडीएसएस (पुनर्गठित वितरण क्षेत्र योजना) का लक्ष्य बिजली वितरण कंपनियों की कार्यकुशलता बढ़ाना तथा तकनीकी व वाणिज्यिक हानियों को कम करना है। **एसएमएनपी (स्मार्ट मीटरिंग राष्ट्रीय कार्यक्रम)** का उद्देश्य सम्पूर्ण देश में उन्नत विद्युत-मापन यंत्र स्थापित करना है।

उन्नत मीटरों की खरीद तथा वितरण

ईईएसएल (ऊर्जा दक्षता सेवाएँ लिमिटेड) इन उन्नत विद्युत-मापन यंत्रों की केंद्रित खरीद, वृहद स्तर पर आपूर्ति, और उन्हें विभिन्न राज्य-विद्युत-वितरण इकाइयों तक पहुँचाने का कार्य करती है [2],[5]।

वृहद खरीद प्रक्रिया से यंत्रों की लागत घटती है और सभी उपकरण एक-समान गुणवत्ता मानकों के अनुरूप उपलब्ध होते हैं।

थर्ड पार्टी परीक्षण :

केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान एक प्रमाणित थर्ड पार्टी टेस्टिंग संस्था है, जो की ऊर्जा मीटरों का परीक्षण भारतीय मानकों और अंतरराष्ट्रीय मानकों के अनुसार करती है। संस्था ऊर्जा मीटर परीक्षण में सक्षम है। परीक्षण प्रक्रिया पूरी तरह से निष्पक्ष, नियंत्रित और तकनीकी दृष्टि से प्रमाणित होती है। इसमें मीटर की सभी आवश्यक विशेषताओं जैसे सटीकता, सक्रिय और प्रतिक्रियाशील ऊर्जा मापन, वोल्टेज और करंट सहनशीलता, पर्यावरणीय सहनशीलता, सुरक्षा और प्रदर्शन का मूल्यांकन किया जाता है। केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान द्वारा जारी रिपोर्ट यह सुनिश्चित करती है कि ऊर्जा मीटर भारतीय और अंतरराष्ट्रीय मानकों के अनुरूप हैं, तथा यह उपभोक्ता और उद्योग दोनों के लिए विश्वसनीयता और सुरक्षा का प्रमाण प्रदान करती है।

वितरण कंपनियों द्वारा स्थापना (शहरी एवं ग्रामीण)

बिजली वितरण कंपनियाँ अपने शहरी और ग्रामीण क्षेत्रों में उन्नत मापन यंत्र (स्मार्ट मीटर) स्थापित करती हैं। स्थापना दल उपभोक्ता परिसर पर पहुँचकर पहले पुराना मीटर हटा देता है और नया स्मार्ट मीटर स्थापित करता है। इसके बाद मीटर के संकेत और संचार प्रणाली की जाँच की जाती है तथा प्रारंभिक मापन-सामंजस्य (सिंक) सुनिश्चित किया जाता है [3],[4]।

उन्नत मापन अवसंरचना (डाटा केंद्र)

उन्नत मापन अवसंरचना एक बहुस्तरीय तकनीकी तंत्र है, जिसमें मुख्य रूप से उन्नत विद्युत-मापन यंत्र, संकेत-संचार तंत्र (जैसे रेडियो, विद्युत-वाहिका या मोबाइल संकेत) और डाटा केंद्र शामिल हैं। यह अवसंरचना उपभोक्ताओं से प्राप्त विद्युत-उपभोग सूचनाओं को स्वतः वितरण कंपनी तक पहुँचाती है और आगे के विश्लेषण एवं प्रबंधन के लिए भंडारण करती है [1],[5]।

उपभोक्ता / मोबाइल अनुप्रयोग

उपभोक्ताओं के लिए एक चलदूरभाष अनुप्रयोग (मोबाइल ऐप) उपलब्ध कराया जाता है, जिसके माध्यम से वे अपनी विद्युत-उपभोग मात्रा, तात्कालिक (क्षणिक) सूचनाएँ, बिल विवरण और भुगतान सुविधाओं के साथ-साथ पूर्व उपभोग का अभिलेख भी देख सकते हैं। यह ऐप उपभोक्ताओं को अपने बिजली उपयोग पर अधिक नियंत्रण और पारदर्शिता प्रदान करता है।

तात्कालिक (रियल-टाइम) बिल निर्माण और प्रतिवेदन

उन्नत स्मार्ट मीटर लगातार और त्वरित रूप से डेटा प्रेषित करते हैं, जिससे बिल निर्माण अत्यधिक सटीक हो जाता है और मानव-निर्भर मीटर-पठन की आवश्यकता घट जाती है। उपभोक्ता अपनी खपत को रियल-टाइम में देख सकते हैं, जबकि वितरण कंपनी को संचालन संबंधी त्वरित और सटीक प्रतिवेदन मिलते हैं। इसके अलावा, बिजली लाइनों में तकनीकी या वाणिज्यिक हानियों का पता जल्दी लगाया जा सकता है। इस तरह, स्मार्ट मीटर विद्युत वितरण तंत्र में पारदर्शिता, विश्वसनीयता और दक्षता बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

भारत में स्मार्ट मीटर लगाने के प्रमुख प्रभाव

भारत में स्मार्ट मीटर बिजली क्षेत्र में डिजिटल क्रांति लाए हैं। उपभोक्ताओं के लिए ये रियल-टाइम और पारदर्शी बिलिंग सुनिश्चित करते हैं, जिससे गलत बिल और विवाद समाप्त होते हैं, और प्रीपेड सुविधा से खर्च नियंत्रित रहता है। डिस्कॉम के लिए ये बिजली चोरी रोकने, राजस्व बढ़ाने, मैनुअल रीडिंग की लागत घटाने और बिजली कटौती की रिपोर्टिंग तेज़ करने में मदद करते हैं। समाज और देश के लिए ये ऊर्जा बचत, स्मार्ट ग्रिड निर्माण और डिजिटल इंडिया को मजबूत करने में सहायक हैं। सर्वेक्षणों और रिपोर्टों के अनुसार जिन घरों में स्मार्ट मीटर स्थापित हैं, लगभग 90% उपभोक्ता इसका अनुभव सकारात्मक बताते हैं। इसका मुख्य कारण है रियल-टाइम बिलिंग, खपत की निगरानी, गलत बिल न आने की सुविधा और मोबाइल ऐप के माध्यम से तुरंत डेटा उपलब्ध होना।

V. स्मार्ट मीटर का मूल्यांकन: विश्लेषण

स्मार्ट मीटर आधुनिक विद्युत वितरण व्यवस्था में एक महत्वपूर्ण तकनीकी हस्तक्षेप के रूप में उभरकर सामने आए हैं। पारंपरिक मीटरिंग प्रणाली की तुलना में ये मीटर वास्तविक समय में ऊर्जा खपत को मापने की क्षमता रखते हैं, जिससे अनुमान आधारित बिलिंग और मैनुअल त्रुटियों में उल्लेखनीय कमी आती है [1],[2]। सटीक और निरंतर डेटा उपलब्ध होने से वितरण कंपनियों को खपत पैटर्न का बेहतर आकलन करने में सहायता मिलती है। स्मार्ट मीटर उपभोक्ताओं के स्तर पर भी महत्वपूर्ण परिवर्तन लाते हैं। विशेष रूप से प्रीपेड स्मार्ट मीटर उपभोक्ताओं को अपने बजट के अनुरूप

बिजली उपयोग नियंत्रित करने का अवसर प्रदान करते हैं, जिससे ऊर्जा संरक्षण को बढ़ावा मिलता है [3],[4]। इसके अतिरिक्त, उपभोक्ता अपनी दैनिक और मासिक खपत की जानकारी प्राप्त कर सकते हैं, जिससे ऊर्जा उपयोग के प्रति जागरूकता बढ़ती है। तकनीकी दृष्टि से, स्मार्ट मीटर डेटा संकलन, लोड प्रबंधन और मांग नियंत्रण में सहायक सिद्ध होते हैं [2],[5]। स्वचालित मीटर रीडिंग के कारण मैन्युअल प्रक्रियाओं की आवश्यकता कम हो जाती है, जिससे समय, लागत और मानव संसाधनों की बचत होती है [2],[4]। बड़े और औद्योगिक उपभोक्ताओं के लिए स्मार्ट मीटर से प्राप्त डेटा एनालिटिक्स के माध्यम से लोड प्रोफाइल, पीक डिमांड और असामान्य खपत पैटर्न की पहचान संभव होती है, जो संचालन संबंधी निर्णयों में उपयोगी है [5],[6]। हालाँकि, स्मार्ट मीटरों के क्रियान्वयन में कई व्यावहारिक चुनौतियाँ भी सामने आती हैं। उपभोक्ता डेटा की गोपनीयता और सुरक्षा एक प्रमुख चिंता का विषय है, क्योंकि विस्तृत खपत डेटा से उपभोक्ताओं की जीवनशैली और उपकरण उपयोग की जानकारी प्राप्त की जा सकती है [5],[6]। इसके अलावा, संचार नेटवर्क की विफलता, मीटर की तकनीकी खराबी तथा डेटा ट्रांसमिशन में बाधाएँ प्रणाली की विश्वसनीयता को प्रभावित कर सकती हैं [2],[5]। ग्रामीण और दूरदराज क्षेत्रों में नेटवर्क कवरेज, डेटा बैकएंड अवसंरचना और प्रशिक्षित तकनीकी कर्मियों की सीमित उपलब्धता भी स्मार्ट मीटर परियोजनाओं के प्रभावी क्रियान्वयन में बाधा बनती है [4],[5]। साथ ही, कुछ उपभोक्ताओं द्वारा नई तकनीक को लेकर अविश्वास या परिवर्तन के प्रति प्रतिरोध देखा जाता है, जो जागरूकता और विश्वास निर्माण की आवश्यकता को दर्शाता है [3],[4]। इन सभी पहलुओं से यह स्पष्ट होता है कि स्मार्ट मीटर केवल एक मापन उपकरण नहीं हैं, बल्कि एक डेटा-आधारित प्रणाली का हिस्सा हैं। इसलिए इनके प्रभावी उपयोग के लिए तकनीकी व्यवस्था के साथ-साथ डेटा प्रबंधन, साइबर सुरक्षा और संस्थागत क्षमता निर्माण पर भी समान रूप से ध्यान देना आवश्यक है [1],[5]।

IV. निष्कर्ष

स्मार्ट मीटर ऊर्जा वितरण प्रणाली को अधिक आधुनिक, कुशल और पारदर्शी बनाने की दिशा में एक महत्वपूर्ण तकनीकी पहल हैं। ये न केवल बिजली खपत के सटीक मापन में सहायक हैं, बल्कि वितरण कंपनियों को परिचालन दक्षता बढ़ाने, ऊर्जा हानि कम करने और वित्तीय प्रबंधन को सुदृढ़ करने में भी महत्वपूर्ण भूमिका

निभाते हैं। साथ ही, उपभोक्ताओं को अपने बिजली उपयोग पर बेहतर नियंत्रण, समय पर जानकारी और बजट के अनुसार खपत की सुविधा प्रदान करते हैं। हालाँकि, स्मार्ट मीटरों का प्रभावी और व्यापक कार्यान्वयन कई चुनौतियों से जुड़ा हुआ है। देश की भौगोलिक विविधता, संचार अवसंरचना की असमान उपलब्धता, डेटा सुरक्षा से संबंधित चिंताएँ तथा उपभोक्ताओं में जागरूकता की कमी इस प्रक्रिया को प्रभावित करती हैं। इसके अतिरिक्त, बड़े पैमाने पर डेटा प्रबंधन और साइबर सुरक्षा सुनिश्चित करना भी एक आवश्यक पहलू है। इन चुनौतियों के समाधान के लिए स्पष्ट नीतियाँ, मजबूत तकनीकी अवसंरचना, सुरक्षित डेटा प्रबंधन प्रणाली और उपभोक्ता सहभागिता अत्यंत आवश्यक हैं। यदि इन पहलुओं पर प्रभावी ढंग से कार्य किया जाए, तो स्मार्ट मीटर ऊर्जा प्रबंधन को अधिक विश्वसनीय और प्रभावी बना सकते हैं तथा भविष्य में एक टिकाऊ, दक्ष और उपभोक्ता-केंद्रित ऊर्जा वितरण प्रणाली के निर्माण में महत्वपूर्ण योगदान दे सकते हैं।

VII. आभार

लेखक केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान, भारत के प्रबंधन तथा सभी सहयोगियों के प्रति हार्दिक आभार व्यक्त करते हैं, जिनके निरंतर समर्थन, मार्गदर्शन और आवश्यक संसाधनों की उपलब्धता ने इस लेख के सफल निष्पादन एवं समापन में महत्वपूर्ण योगदान दिया। साथ ही, लेखन प्रक्रिया के दौरान प्राप्त तकनीकी सहायता, प्रोत्साहन और रचनात्मक सुझावों के लिए भी लेखक सभी संबंधित व्यक्तियों का धन्यवाद करते हैं।

VIII. संदर्भ

- [1] नाज़िया सुल्ताना, रश्मी एन, प्रक्याथी एन वाई, भावना एस, के बी शिव कुमार, आईओटी का उपयोग करते हुए स्मार्ट एनर्जी मीटर और मॉनिटरिंग सिस्टम, इंटरनेशनल जर्नल ऑफ इंजीनियरिंग रिसर्च एंड टेक्नोलॉजी (आईजेईआरटी) खंड 8, अंक 14।
- [2] के. टी. वेंकटमन और के. टी. मीनाबारना, "इंटरनेट ऑफ थिंग्स आधारित स्मार्ट ऊर्जा मीटर निगरानी एवं बिलिंग का विकास," आई.जे.ई.आर.टी., 2020।
- [3] यूपीपीसीएल हेल्प, "स्मार्ट मीटर क्या है? डिजिटल मीटर से संबंधित संपूर्ण जानकारी (हिंदी)," उपलब्ध: यूपीपीसीएल सहायता पोर्टल।

[4] पंखिलाल शिक्षा, “स्मार्ट मीटर: लाभ और सीमाएँ,” 2023।

[5] अनुक्रम मिश्रा, भारत में स्मार्ट मीटरिंग अवसंरचना की चुनौतियाँ और अवसर, सम्मेलन पत्र, रिसर्चगेट

[6] नवभारत टाइम्स, “सतना का बिजली मीटर यात्रा संग्रहालय: 1990 के डायल मीटर से स्मार्ट मीटर तक,” 2025।

[7] भारतीय मानक 16444: 2015 “ए.सी. स्टैटिक डायरेक्ट कनेक्टेड वाट-आवर स्मार्ट मीटर क्लास 1 और 2 - विशिष्टि”

प्रयोगशाला में अभियांत्रिकी अधिकारी के रूप में कार्यरत हैं।

IX. लेखक



प्रथम लेखक - श्री ऋषिराज मीणा ने आरईसी कॉलेज, दौसा (आरटीयू) कोटा, राजस्थान से इलेक्ट्रिकल इंजीनियरिंग में स्नातक की उपाधि प्राप्त की है और वर्तमान में केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान, आरटीएल-नोएडा, भारत में ऊर्जा मीटर परीक्षण प्रयोगशाला में अभियांत्रिकी अधिकारी के रूप में कार्यरत हैं और ऊर्जा मीटरों के परीक्षण और प्रमाणन के क्षेत्र में छह वर्षों का अनुभव रखते हैं।



द्वितीय लेखिका - श्रीमती मृदुला जैन ने 2001 में आईजीईसी सागर से इलेक्ट्रिकल इंजीनियरिंग में स्नातक की डिग्री और 2006 में एसजीएसआईटीएस इंदौर से पावर इलेक्ट्रॉनिक्स में एम.ई. की डिग्री प्राप्त की। 2007 से, वह केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान में विद्युत प्रणाली स्वचालन, स्काडा परामर्श, स्मार्ट ग्रिड परामर्श, सबस्टेशन स्वचालन प्रोटोकॉल परीक्षण और मीटरिंग प्रोटोकॉल परीक्षण के क्षेत्रों में कार्यरत हैं। वर्तमान में, वह केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान, नोएडा में कार्यरत हैं और ऊर्जा मीटर परीक्षण प्रयोगशाला की प्रभारी हैं।



तीसरे लेखक - श्री हैदर हय्यान ने इंस्टीट्यूट ऑफ इंजीनियरिंग एंड टेक्नोलॉजी, लखनऊ, उत्तर प्रदेश से इलेक्ट्रिकल इंजीनियरिंग में स्नातक की उपाधि प्राप्त की है और वर्तमान में केंद्रीय विद्युत अनुसंधान संस्थान, आरटीएल-नोएडा, भारत में ऊर्जा मीटर परीक्षण