

**सौर पीवी मॉड्यूल का प्रदर्शन मूल्यांकन:
प्रायोगिक और सॉफ्ट कंप्यूटिंग आधारित तुलनात्मक विश्लेषण**

**Performance Evaluation of Solar PV module:
Experimental and Soft Computing based comparative analysis**

सुभाष चन्द्र¹ संजय अग्रवाल² डी. एस. चौहान³

Subhash Chandra* Sanjay Agrawal D.S. Chauhan

^{1, 2} इलेक्ट्रिकल इंजीनियरिंग विभाग,

जीएलए विश्वविद्यालय, मथुरा यू.पी. 281406, भारत

Department of Electrical Engineering, GLA University, Mathura U.P. 281406, India

³ स्कूल ऑफ इंजीनियरिंग और टेक्नोलॉजी, इग्नू, नई दिल्ली 110068, भारत

School of Engineering and Technology, IGNOU, New Delhi 110068, India

sanjay.agrawal@ignou.ac.in

*Corresponding author

Tel: + 915662250900 Mob : +917830775997

¹ 2003subhash@gmail.com, subhash.chandra@gla.ac.in

² sanjay.agrawal@ignou.ac.in ³ pdschauhan@gmail.com

सारांश

वर्तमान परिवेश में सौर ऊर्जा के बढ़ते उपयोग को देखते हुए, सोलर मोड्यूल की उचित परफारमेंस को आंकना महत्वपूर्ण है। सौर जनित विद्युत को लोग विश्व पटल पर उपयोग कर रहे हैं, फिर भी चूंकि इनकी परफारमेंस लोकल परिस्थितियों पर निर्भर है जो कि इनके उपयोग में बाधा है। सोलर मोड्यूल में विभिन्न तरह की हानियां होती हैं जिनमें तापमान जनित हानि अति महत्वपूर्ण है। प्रोजेक्ट को लगाने वाले इस हानि की भरपाई करने के लिए पी. वी सिस्टम के आकार को अधिक बड़ा कर लेते हैं जो कि इसकी कीमत को बढ़ाता है। परफारमेंस मूल्यांकन की प्रचलित तकनीक में हवा के प्रभाव को सम्मिलित नहीं किया गया है। जबकि हवा प्राकृतिक रूप से मोड्यूल को ठण्डा रखती है। इस पेपर में हवा के प्रभाव को समझने के लिए दो सोलर मोड्यूल जिनकी इलेक्ट्रिकल और मेकेनिकल विशेषताएं समान हैं, लिए गये हैं। पंखे की मदद से मोड्यूल को ठण्डा किया गया है।

यह देखा गया है कि ठण्डा मोड्यूल ज्यादा ऊर्जा उत्पन्न करता है और समानुपात में कार्बन डाय ऑक्साइड के उत्सर्जन को कम करता है। इस प्रयोग में बिना ठण्डे मोड्यूल में सिम्युलेटिड, प्रयोगात्मक और गणनात्मक कार्बन डाय ऑक्साइड मान क्रमशः 266 ग्राम, 248 ग्राम तथा 251 ग्राम हैं। जबकि ठण्डे मोड्यूल के लिये यही मान 263 ग्राम, 260 ग्राम और 255 ग्राम हैं।

ABSTRACT

In the current scenerio of increasing solar photovoltaic (PV) penetration around the

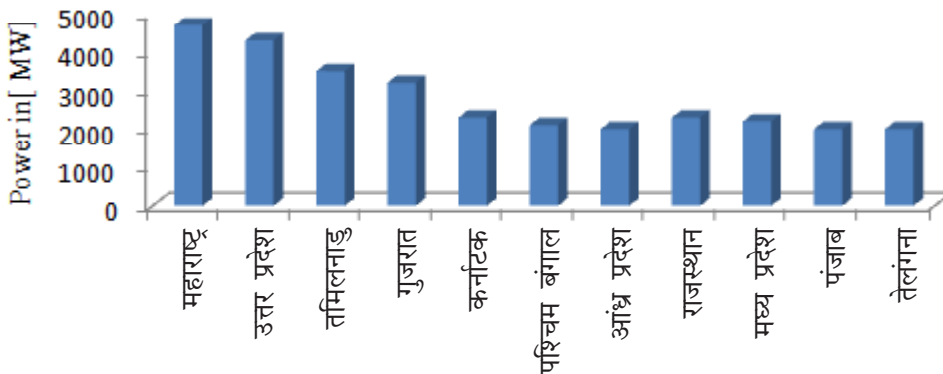
globe, it is crucial to analyse the true potential of these systems. World community is almost getting matured in using the solar based electricity however since their performance is site dependent, which creates barrier of fear in adaptation of the technology. Solar PV module suffers from various types of losses, one prominent such kind of loss is thermal loss which degrades the performance significantly. Project planners overestimate the size of the PV system in order to compensate the thermal losses. Conventional approach of performance evaluation does not include the natural wind effect but in this paper a comparative approach is used to analyse the true performance of solar PV system. Two PV modules of same electrical and mechanical specifications are taken for experiment. To analyse actual performance; different months of a year from various seasons are chosen including artificial wind. It has been observed that increased module temperature reduces performance but the cooling mechanism provided, brings down the module temperature due to which, gain in energy is seen. This gain in energy is directly proportional to CO₂ mitigation i.e. simulated, experimental and calculated values of CO₂ are 266 gram, 248 gram, 251 gram and 263 gram, 260 gram, 255 gram respectively for not cooled and cooled module, also simulated values are closer to experimental values for cooled module.

Key words: Photovoltaic, Wind cooling, CO₂ Emmission, back propagation, error.

कीवर्ड : फोटोवोल्टिक, पवन शीतलन, CO₂ उत्सर्जन, बैक प्रचार, त्रुटि।

1. परिचय

विश्व पटल पर प्रसिद्धि के साथ-साथ सोलर फोटोवोल्टाइक सिस्टम भारत में भी तेजी से प्रसिद्ध हो रहा है। इसको देखते हुए भारत सरकार ने 175 गेगोवाट विद्युत नॉन-कन्वेन्शनल (अ-परंपरागत) स्रोतों से उत्पन्न करने का लक्ष्य निर्धारित किया है [1] भारत सरकार ने इस लक्ष्य को पूरा करने के लिये राज्यवार सौर ऊर्जा का लक्ष्य निर्धारित किया गया है। जैसा कि चित्र 1. में दिखाया गया है [2] ।



चित्र 1: सौर ऊर्जा के राज्यवार लक्ष्य

सौर ऊर्जा का विद्युत ऊर्जा में परिवर्तन भौगोलिक परिस्थितियों और सौर सेल की विशेषताओं पर निर्भर करता है। यानी कि सौर सेल का प्रदर्शन बेहद जलवायु निर्भर है [3]। कई शोध कर्ताओं ने सोलर सेल की दक्षता का परीक्षण दो प्रसिद्ध मापदण्डों विकिरण और तापमान के साथ किया है। चूंकि सोलर सेल अर्धचालक मेटेरियल के बने होते हैं इसलिए तापमान बढ़ने के साथ इनकी आउटपुट पॉवर घटती है [4], [5], [6]। सोलर सेल निर्माता इसकी दक्षता कई मानक परिस्थितियों में अंकित करते हैं परन्तु प्राकृतिक परिस्थितियों में इन मानकों का पालन हो पाना अत्यंत कठिन है। इसीलिए सोलर मोड्यूल जब अधिक तापमान पर ऑपरेट होते हैं तो इनकी पॉवर घट जाती है। क्योंकि मोड्यूल का तापमान इसकी इलेक्ट्रिकल गुणवत्ता में गिरावट पैदा करता है [7], [8], [9]। प्राकृतिक हवा जो कि तीसरा पर्यावरण कारक है, मोड्यूल के तापमान को संवहन द्वारा घटाती है और गुणवत्ता में गिरावट को कम करती है। इसलिए मोड्यूल के तापमान का सही आंकलन बेहद महत्वपूर्ण है [10], [11], [12]। प्राकृतिक हवा के प्रभाव को शामिल करके मोड्यूल की दक्षता को सुधारा जा सकता है। और इससे उत्पन्न ऊष्मीय ऊर्जा को फलों के संरक्षण, हैण्डड्रायर और फसलों की नमी दूर करने इत्यादि में उपयोग में लाया जा सकता है [13], [14], [15], [16], [17]। कम्प्यूटर के वर्तमान युग में पी.वी. सिस्टम की दक्षता का मूल्यांकन साफ्ट कम्प्यूटिंग तकनीक से भी कर सकते हैं और इससे होने वाले कार्बनडाई ऑक्साइड में कमी का अंदाजा लगाया जा सकता है [18], [19], [20]।

$$T_{mb} = T_a + (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) * \frac{I}{I_{NOCT}} \quad (1)$$

$$T_{mb} = T_a + \frac{I}{I_{NOCT}} (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) \cdot \frac{H_w NOCT}{H_w} \cdot [1 - \frac{\eta_{stc}}{\tau \cdot \alpha} (1 - \beta_{stc} \cdot T_{stc})] \quad (2)$$

$$\eta_{el} = \eta_{stc} [1 - \beta_{stc} (T_{mb} - T_a)] \quad (3)$$

$$CO_2 \text{ saving} = \frac{\text{Energy} \times \text{difference in } CO_2 \text{ Emission}}{1000} \quad (4)$$

$$E = \sum_{i=1}^n \eta_{eli} t_i \times A \times I \quad (5)$$

$$MSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2 \right]$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$$

$$SDE = \sqrt{RMSE^2 - MBE^2}$$

$$RMSE = (MSE)^{1/2}$$

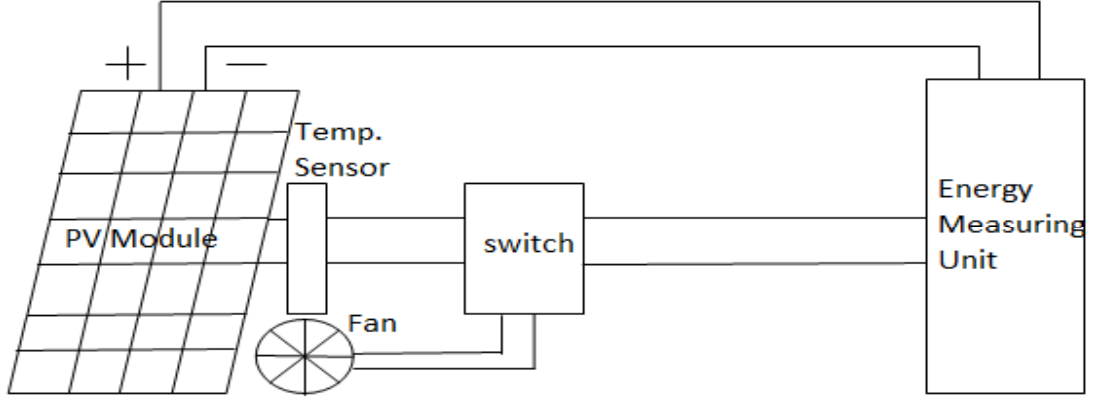
$$e_k = Y_{k\text{Experimental}} - Y_{k\text{Observed}}$$

(6)

$$F = mse = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (e_j)^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (d_j - y_j)^2 \quad (7)$$

2. प्रायोगिक सेटअप :

हवा के प्रभाव को समझने के लिए जी.एल.ए विश्वविद्यालय मथुरा (27.49)N, (77.67)E, में प्रयोग किया गया है। इस प्रयोग में दो समान सोलर मॉड्यूल जिनका क्षेत्रफल .353 m² है, लिये गये हैं। कृत्रिम हवा के लिये एक पंखा पीछे लगाया गया है। प्रयोग का ब्लॉक आरेख, चित्र 2 में दिखाया गया है।



चित्र 2: ठंडा मॉड्यूल का प्रारूपिक ब्लॉक आरेख

प्रायोगिक सेटअप में विकिरण के लिये हैलोजन लाइट उपयोग में ली गयी है विकिरण को मापने के लिये सोलर पॉवर मीटर TM207 उपयोग किया गया है। प्रयोगशाला में मिनी सोलर पॉवर किट की सहायता से आउटपुट पॉवर मापी गयी है, प्रयोग से प्राप्त डाटा को मैटलैव के NN Tool से विश्लेषित करके सिम्युलेटड एनर्जी प्राप्त की गयी है। प्रायोगिक सेटअप, चित्र 3 में दिखाया गया है।

3. क्रियाविधि :

सोलर मॉड्यूल की वार्षिक परफॉरमेंस को समझने के लिये वर्ष के चार महीने मार्च, मई, सितम्बर और दिसंबर में प्रयोग किये गये हैं। पूरे प्रयोग को छोटे-छोटे स्टेप्स में बांट सकते हैं।

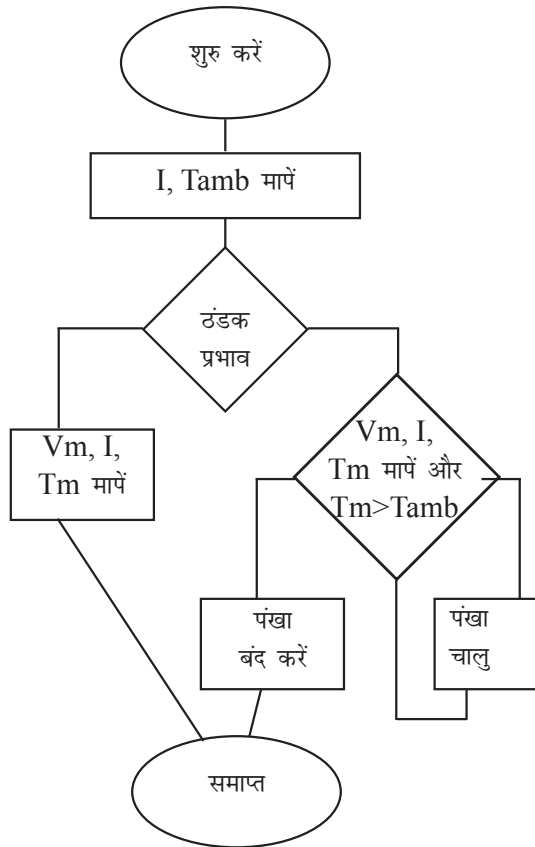
1. दोनों मॉड्यूल पर पड़ने वाले विकिरण को समान सुनिश्चित किया जाना चाहिए।
2. विकिरण को 50 वॉट/m² से 500 वॉट/m² तक बढ़ाया जा



चित्र 3: प्रायोगिक सेटअप

सकता है। विकिरण की प्रत्येक वैल्यू के लिये आउटपुट वोल्टेज, करंट, मॉड्यूल का तापमान और पंखे की स्पीड नोट की जाती है।

- विकिरण के मान को बढ़ाकर पुनः रीडिंग दोहराई जाती हैं।
- यह प्रयोग वर्ष के अलग-अलग महीनों में किया जाता है।
- प्रयोग से प्राप्त ऊर्जा को NN Tool से सिमुलेट करके सिमुलेटिड ऊर्जा प्राप्त की गई है।
- दोनों मॉड्यूल से प्राप्त ऊर्जा से कार्बनडाई ऑक्साइड के उत्सर्जन में कमी को प्राप्त किया गया है। प्रयोग का फ्लो चार्ट चित्र 4 में दिखाया गया है



चित्र 4: प्रयोग का प्रवाह चार्ट

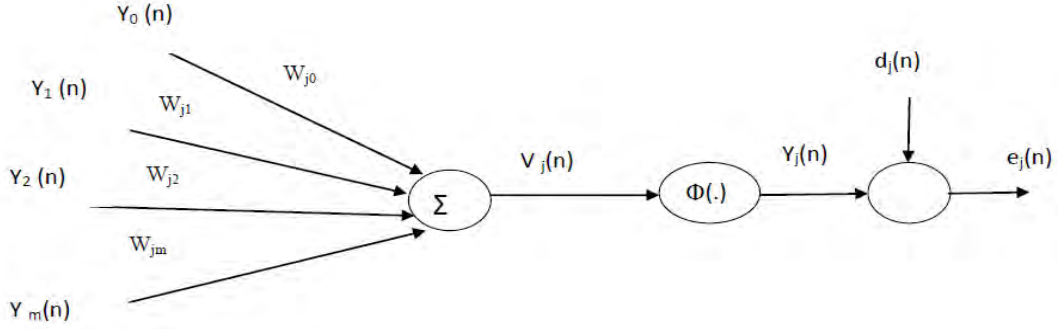
मॉड्यूल और प्रायोगिक सेटअप की विशेषता तालिका (1) में दिखाई गई है।

Serial No	Parameter	Value
1	V_{oc}	22.32 V
2	I_{sc}	2.24 A
3	V_m	18.1 V
4	I_m	2.21 A
5	P_m	40 W
6	NOCT	47°C
7	Operating Range	-20°C to 90°C
8	Bstc	-0.43%/°C
9	Fan rating	3W
10	INOCT	800w/m ²
11	TaNOCT	20°C
12	τ, α	0.9
13	η_{stc}	11.3%
15	Ws	2 m/s
16	Module Area	0.353m ²

NN Tool के उपयोग के चार चरण दिये गये हैं।

1. डेटा संकलन (Collection of Data)
2. नेटवर्क निर्माण (Formation of Network)
3. नेटवर्क प्रशिक्षण (Training of Network)
4. नेटवर्क अनुकृतिकरण (Simulation of Network)

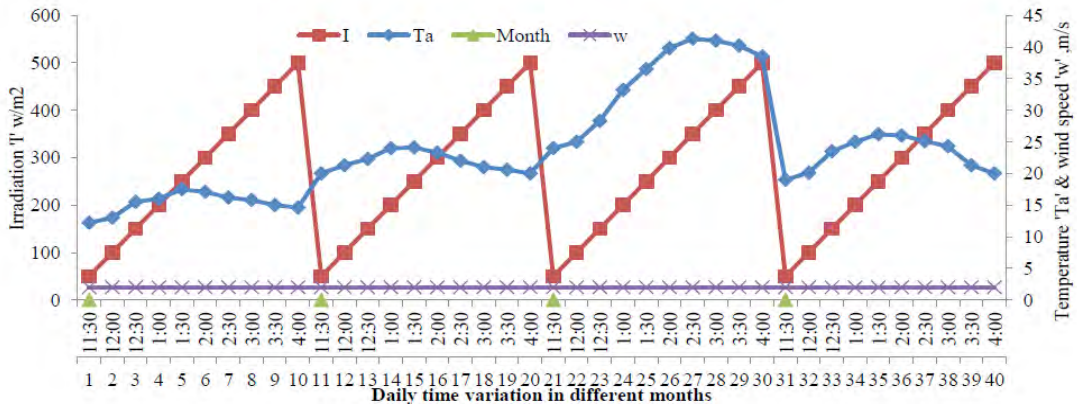
Back Propagation Algorithm के लिये चित्र 5 में दिखाया गया है।



चित्र 5: वापस प्रचार एल्गोरिथ्म

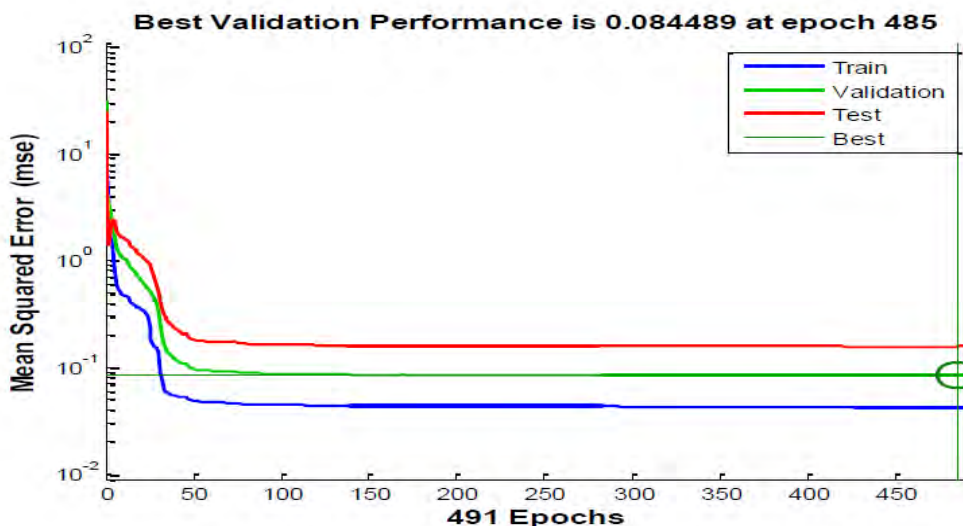
4. परिणाम

तापमान के मौसम के अनुसार परिवर्तन को नीले रंग से दिखाया गया है। यह पाया गया है कि मई के महीने में अधिकतम तापमान लगभग 42° सेल्सियस और दिसंबर के महीने में कम से कम तापमान लगभग 10° सेल्सियस तक है। विकिरण का मान प्रत्येक माह 50 $\text{वॉट}/\text{m}^2$ से 500 $\text{वॉट}/\text{m}^2$ तक परिवर्तित किया जाता है। प्रायोगिक सेटअप की सीमाओं के कारण प्रयोग की अवधि 4 घण्टे की रखी गई है। पंखे को एक निश्चित चाल 2 मी॰से॰ से चलाया गया है जैसा कि चित्र 6 में प्रदर्शित है।



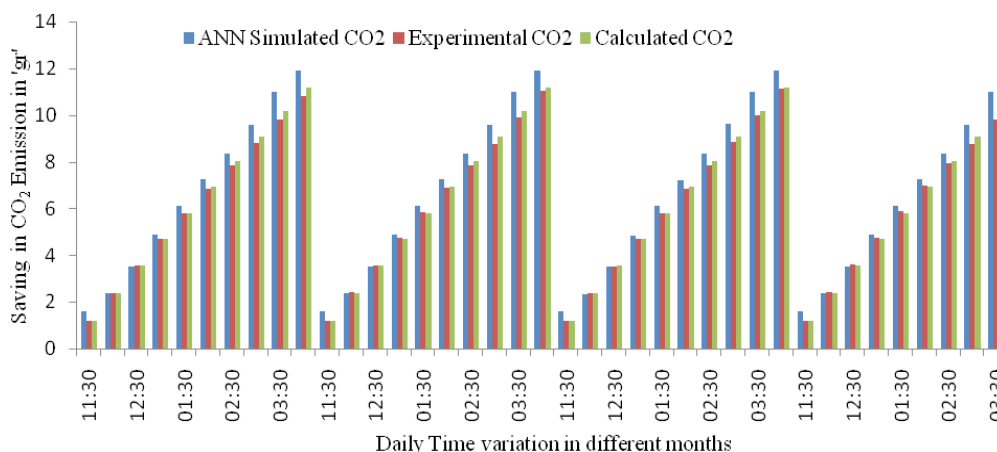
चित्र 6: विभिन्न मौसमों के विभिन्न महीनों में समय के साथ कृत्रिम विकिरण, हवा और प्राकृतिक तापमान में बदलाव।

विकिरण, तापमान, हवा की चाल और गणना से प्राप्त ऊर्जा की सहायता से ANN (Artificial Neural Network) बनाया जाता है जिसमें की 70% डाटा प्रशिक्षण के लिये उपयोग किया जाता है, 15% डाटा नेटवर्क की वैध्यता के लिये और 15% डाटा नेटवर्क की परीक्षा के लिये उपयोग किया जाता है। ANN से प्राप्त परिणाम चित्र 7 में दिखाए गए हैं।



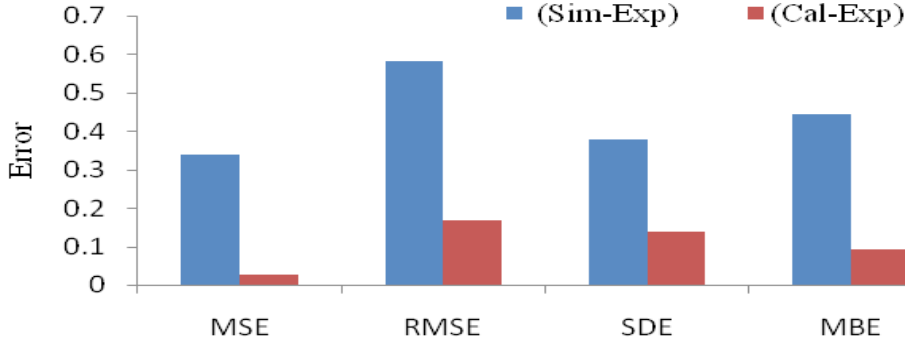
चित्र 7: एनएन पवन प्रवाह के बिना सौर पीवी मॉड्यूल के सिमुलेटेड प्रदर्शन

प्राप्त सिमुलेटेड ऊर्जा, प्रायोगिक ऊर्जा और गणनात्मक ऊर्जा की तुलना की गई है और समानुपाती कार्बनडाइ ऑक्साइड के उत्सर्जन को, डीजल से उत्सर्जित कार्बनडाइ ऑक्साइड के सापेक्ष बचत को दिखाया गया है। यह पाया गया है कि प्रयोगात्मक मान गणनात्मक मान से अधिक हैं जैसा कि चित्र 8 में दिखाया गया है।



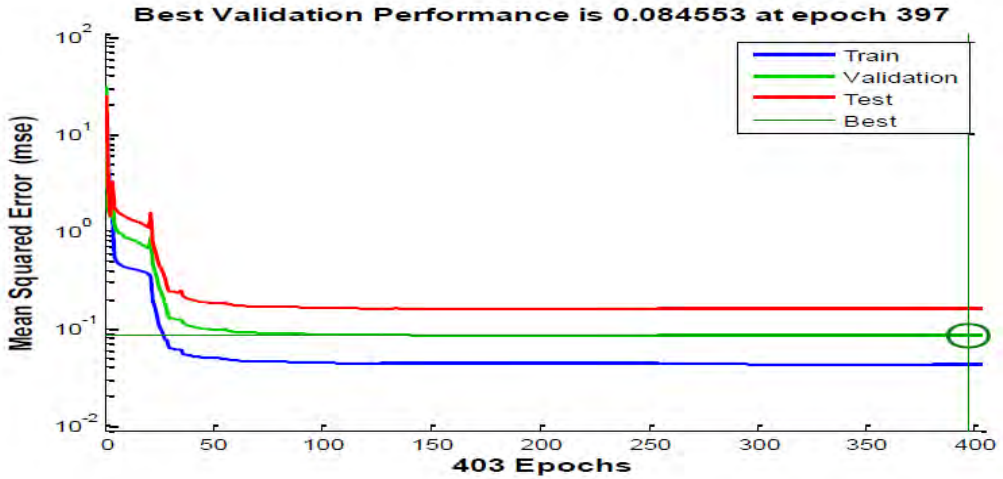
चित्र 8: एनएन पवन प्रभाव के बिना सौर पीवी मॉड्यूल के CO2 उत्सर्जन में बचत।

चित्र 9 में विभिन्न प्रकार की त्रुटियों के तुलनात्मक मान को प्रदर्शित किया है जिससे यह निष्कर्ष निकाला गया है कि सिमुलेटेड और प्रायोगिक CO_2 के बीच (MSE, RMSE, SDE and MBE), गणनात्मक और प्रायोगिक CO_2 के बीच त्रुटि से ज्यादा है। इसका मतलब सिमुलेटेड मान सही मात्रा में मूल्यांकन नहीं कर पा रहा है।



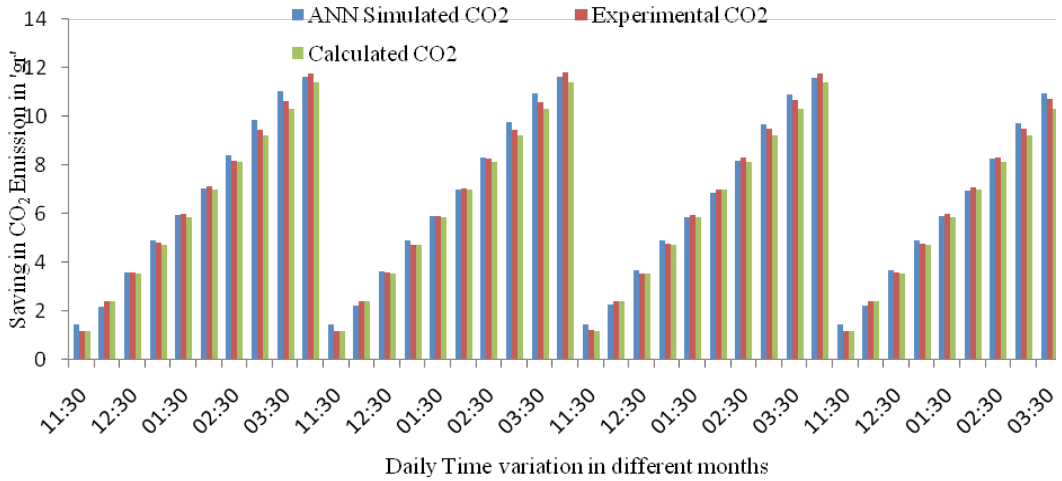
चित्र 9 में विभिन्न प्रकार की त्रुटियों के तुलनात्मक मान का प्रदर्शन

हवा के प्रभाव को सम्मिलित करते हुये प्रयोग से प्राप्त ऊर्जा की सहायता से पुनः ANN बनाया गया है, प्रशिक्षण, वैधता और परिक्षण डाटा को समान रखते हुए सिमुलेटेड ऊर्जा प्राप्त की गई जैसा कि चित्र 10 में प्रदर्शित है।



चित्र 10: पवन प्रभाव पर सौर पीवी मॉड्यूल का एनएन सीम्यूटेड प्रदर्शन

पुनः डीजल से उत्पन्न ऊर्जा और सोलर मॉड्यूल से उत्पन्न ऊर्जा की तुलना करते हुए कार्बन डाइऑक्साइड के उत्सर्जन में कमी को तीनों माध्यम से देखा गया है। यह पाया गया है कि प्रायोगिक CO_2 उत्सर्जन और सिमुलेटेड CO_2 उत्सर्जन लगभग समान हैं जैसा कि चित्र 11 में प्रदर्शित है।



चित्र 11: ANN पवन प्रभाव के साथ सौर पीवी मॉड्यूल के CO₂ उत्सर्जन में बचत।

तुलनात्मक त्रुटियों को समझने के लिए इनका प्रदर्शन चित्र 12 में दिखाया गया है। यह पाया गया है कि सिमुलेटेड कार्बन डाइऑक्साइड और प्रायोगात्मक कार्बन डाइऑक्साइड के उत्सर्जन के बीच त्रुटि हवा के प्रभाव को सम्मिलित करने पर पहले की अपेक्षा कम है जो यह दर्शाती है कि Soft Computing से किसी मॉड्यूल की Performance का सही मूल्यांकन तभी किया जा सकता है जब मॉड्यूल के तापमान की उचित तरीके से गणना की जाये।



चित्र 12 : विभिन्न प्रकार की त्रुटियों के तुलनात्मक मान का प्रदर्शन

निष्कर्ष : मॉड्यूल के तापमान को उचित तरीके से गणना करने पर, इसकी Actual Performance भविष्यवाणी की जा सकती है। आज के समय को देखते हुए कोई भी Project Planner, Project के लगाने से पहले उसकी Actual Performance से, सिस्टम की कीमत और सिस्टम के आकार का सही आंकलन कर सकता है जो कि कई माइनों में महत्वपूर्ण है।

5. संदर्भ:

1. Fatih Birol (2015), India Energy Outlook :World Energy Outlook Special Report.
2. <http://mnre.gov.in/file-manager/grid-solar/100000MW-Grid-Connected-Solar-Power-Projects-by-2021-22.pdf>
3. D. Yang, H. Yin, Energy conversion efficiency of a novel hybrid solar system for photovoltaic, thermoelectric, and heat utilization, IEEE Trans. Energy Convers.26 (2011) 662e670.
4. F. Bizzarri, M. Bongiorno, A. Brambilla, G. Gruosso, G.S. Gajani, Model of photovoltaic power plants for performance analysis and production forecast, IEEE Trans. Sustain. Energy 4 (2013) 278e285.
5. X. Gong, M. Kulkarni, Design optimization of a large scale rooftop photovoltaic system, Sol. Energy 78 (2005) 362e374.
6. T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, A review of solar energy modeling techniques, Renew. Sustain. Energy Rev. 16 (2012) 2864e2869.
7. A. Dolara, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, R. Faranda, M. Gualdoni, Performance analysis of a single-axis tracking PV system, IEEE J. Photovoltaics 2 (2012) 524e531.
8. S. Beringer, H. Schilke, I. Lohse, G. Seckmeyer, Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant, Sol. Energy 85 (2011) 470e476.
9. J. Kaldellis, K. Kavadias, D. Zafirakis, Experimental validation of the optimum photovoltaic panels tilt angle for remote consumers, Renew. Energy 46 (2012) 179e191.
10. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. *Photovoltaische Anlagen* (in German). 4th edition. Chap. 3. Berlin: Berlin Brandenburg e.V.; 2010.
11. E. Skoplaki, J.A. Palyvos, “On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations, Sol. Energy 83 (2009) 614e624.
12. Mattei M, Notton G, Cristofari G, Muselli M, Poggi P. Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance. *Renew Energ* 2006; **31**: p. 553-567.
- [13. Evans D.L. simplified method for predicting photovoltaic array output Solar energy vol. 27. No.6, pp, 555-560 1981.
14. Nuri Gökmen, Weihao Hu*, Peng Hou, Zhe Chen, Dezso Sera, Sergiu Spataru Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations Renewable Energy 90 (2016) 283-290.
15. T. Bhattacharya, A.K. Chakraborty, K. Pal, Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India, J. Sol. Energy 2014 (2014).
16. C.Schwingshackl, M.Petitta, J.E.Wagner, G.Belluardo, D.Moser, M.Castelli, M.Zebisch and A.Tetzlaff Wind effect on PV module temperature :Analysis of different techniques for an accurate estimation Energy Procedia 40 (2013) 77-86).
17. Agrawal, S. and Tiwari, G.N., 2011. Energy and electrical energy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module. Solar Energy 85, 356-370.
18. Subhash Chandra, Sanjay Agrawal, D.S. Chauhan “Soft computing based approach to evaluate the performance of solar PV module considering wind effect in laboratory condition” *Energ Reports* 4 (2018) 252–259
19. Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari “Performance analysis in terms of carbon credit earned on annualized uniform cost of glazed hybrid photovoltaic thermal air collector” *Solar Energy* 115 (2015) 329–340
20. Ayompe, L.M., Duffy, A., McCormack, S.J., Conlon, M., 2011. Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy Convers. Manage.* 52, 816–825.