मौसम, **62**, 1 (जनवरी 2011), 1-10

551.556.3 : 621.311.24

पश्चिमी राजस्थान के लिए पवन चक्कियों द्वारा विद्युत उत्पादन हेतु वायु विश्लेषण

बद्री नारायण विश्नोई

भारत मौसम विज्ञान विभाग, जैसलमेर – 345 001, भारत

(*प्राप्त दिनांक 10 फरवरी 2010, संशोधित 10 अगस्त 2010*)

e mail : wrsjsm@yahoo.co.in

सार – आज के युग में विद्युत ऊर्जा की कमी को किसी हद तक पूरा करना चुनौतीपूर्ण कार्य है। विश्व समुदाय विद्युत की ज्वलन्त समस्या से अनभिज्ञ नहीं है जिसे कुछ हद तक पवन चक्कियों द्वारा विद्युत उत्पादन कर पूरा किया जा सकता है। जीवाश्म इंधन सीमित हैं और इनका निरन्तर उपयोग वायु प्रदूषण एवं ग्लोबल वार्मिंग को बढ़ावा देता है। अतः समय आ गया है कि परम्परागत विद्युत उत्पादन के साधनों के साथ–साथ, गैर–परम्परागत साधनों (जैसे सौर–ऊर्जा, पवन–ऊर्जा, बायोगैस–ऊर्जा, समुद्री–ऊर्जा, ज्वारीय–ऊर्जा एवं भू–गर्भीय ऊर्जा आदि) को भी आजमाया जाना चाहिए।

विश्व के रेगिस्तान उप–उष्ण कटिबन्धिय क्षेत्रों में विस्तरित है जहाँ वायु, सूर्य की किरणों के साथ शीध्र गर्म होकर कम दबाव का क्षेत्र बनाती है। परिणाम स्वरूप बहुत तेज गति की वायु (आंधी) प्रारम्भ हो जाती है। पश्चिमी राजस्थान के चार सीमावर्ती जिलों (जैसलमेर, बीकानेर, जोधपुर एवं बाड़मेर जहाँ हजारों वर्ग किलोमीटर भूमि पथरीली व रेत के टीले है) में उचित प्रबंधन, स्थान व मशीन का चयन करके पवन चक्कियों को स्थापित कर विद्युत उत्पादन किया जा सकता है।

प्रत्येक सिनॉप्टिक ऑवर्स पर ली गई वायु गति को चार श्रेणियों में वर्गीकृत किया गया। हल्की गति की वायु (ह = 0 से 9 कि. मी. प्र. घं.), मध्यम गति की वायु (म = 10 से 14 कि. मी. प्र. घं.), तेज गति की वायु (त =15 से 19 कि. मी. प्र. घं), एवं बहुत तेज गति की वायु (ब = 20 कि. मी. प्र. घं. व अधिक)। सभी चारों स्थानों के लिए वायु गति के ऑकड़े दस वर्षो (1 जनवरी 1999 से 31 दिसम्बर 2008) के लिए संग्रहित किये गये, उनका श्रेणीवार आवृति वर्गीकरण किया गया। ग्रीन हाउस गैसों द्वारा वायुमण्डलीय प्रदूषण को कम करने के लिए, कृषि एवं औद्योगिक विकास हेतु गैर–परम्परागत ऊर्जा का विकास आज की प्रथम आवश्यकता है।

ABSTRACT. Generation of electrical energy from wind-mills, has assumed significant importance in the context of the energy crisis over the world community. As the fossil fuels are limited and regular consumption of the same causes the air pollution and global warming, hence it is time to adopt un-traditional methods like solar-energy, wind-energy, hydro-energy and tidal-energy in addition to traditional methods.

Subtropical region where most of the world's deserts are spreaded and heat low formed as the day progress and a shallow level strong wind (Aandhi) starts to blow from May to August. Four frontiers district of Western Rajasthan (*i.e.*, Jaisalmer, Bikaner, Jodhpur and Barmer has been selected, where huge area of land is in the form of hillock and sand–dunes) can be utilized by installation of wind-mills with proper management, selection of location, type & design of wind-mills.

Wind recorded by anemometer on every synoptic hour has been classified into four categories *i.e.*, light wind (L= 0 to 9 kmph), moderate wind (M=10 to 14 kmph), strong wind (S=15 to 19 kmph) and very strong wind (VS= 20 kmph & above). Wind speed data were collected for all the four stations for ten years period (1 January 1999 to 31 December 2008). Category wise frequency distributions for all the stations have prepared. To get-rid of green house gases effect of air pollution, un-traditional energy development methods have to be implemented for safer environment and development of agriculture and industrialisation.

Key words – Wind power, Wind mill, Energy crisis, Frequency distribution.

1. परिचय

हमारे भूमण्डल पर विषुवत् रेखा के दोनों ओर के 25° का क्षेत्र, जहाँ विषुवत् रेखीय डोलड्रम क्षेत्र की हवायें, सूर्य की उर्ध्व किरणों से गर्म व आरोही होकर क्षोभमण्डल के उपरी सतह तक पहुंचती है, और वहां पर इन हवाओं की उपरी सीमा होने के कारण ये हवायें क्षैतिज धरातल पर दोनों ओर मुड़ जाती है। ये हवायें उप–उष्ण कटिबन्धिय क्षेत्रों तक पहुंचकर धीरे–धीरे अवरोही हो जाती है जिससे इस क्षेत्र में उच्च दाब बन जाता है। अतः यह क्षेत्र, उच्च दाब का उप–उष्ण कटिबन्ध (सबट्रोपीकल) का प्रति चक्रवात (एंटि साइक्लोन) कहलाता है।

अवरोही हवायें सदैव सूखी एवं गर्म होती हैं, इस कारण आकाश साफ रहता है। यही कारण है कि इस क्षेत्र (25° उत्तरी व दक्षिणी गोलार्द्धों) में रेगिस्तान देखने को मिलते हैं (अहरेन्स, 1985; बनर्जी तथा उपाध्याय, 1991)। पश्चिमी राजस्थान, जो रेगिस्तानी क्षेत्र है यहाँ बालु मिट्टी ही पाई जाती है। बालु मिट्टी की विशिष्ठ उष्मा कम होने के कारण, सूर्य की किरणों के साथ शीघ्र ही गर्म हो जाती हैं और जैसे–जैसे समय बढ़ता है, यहां हवायें गर्म होने लगती है और इस कारण कम दबाव का क्षेत्र बन जाता है, और ये हवायें आंधी का रूप ले लेती है। गर्मी की वजह से, कम दबाव के क्षेत्र की गहराई बहुत ही कम होती है व इसके साथ उपरी वायु का कोई भी चक्रवाती परिसंचरण नहीं होता है (रॉय तथा राय भौमिक, 2003; दानी इत्यादि, 2003) । इस क्षेत्र की इस संवहनी घटना को धूल भरी आंधी कहते है। हवा का प्रवाह इस क्षेत्र में निरंतर बना रहता है, इसलिये पश्चिमी राजस्थान के इस क्षेत्र को विद्युत उत्पादन हेतु पवन चक्कियां (विंड मिल्स) लगाने का उपयुक्त क्षेत्र माना जा सकता है। लेखक ने इस क्षेत्र हेतु , पश्चिमी राजस्थान के सीमावर्ती चार जिलों की, (जहां, नहर, नदी, कुएं, आदि सीमित मात्रा में होने के कारण सिंचाई की कोई व्यवस्था, नहीं के बराबर है) वायु का विश्लेषण किया है। वायु की प्रचुर मात्रा का उपयोग पवन चक्कियों द्वारा विद्युत उत्पादन में किया जा सकता हैं। इस हेतु जिला मुख्यालय जैसलमेर (26° 55′ उत्तर; 70° 54′ पूर्व) बीकानेर (28° उत्तर ; 73° 18′ पूर्व), जोधपुर (26° उत्तर ; 73° 01′ पूर्व) एंव बाड़मेर (25° 45′ उत्तर; 71° 23′ पूर्व) को चुना गया है। विद्युत ऊर्जा आज की मूलभूत आवश्यकता और विकास का पर्याय है। देश में विद्युत ऊर्जा की निरंतर बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए ऊर्जा के परम्परागत साधनों के साथ–साथ, गैर–परम्परागत साधनों का विकास करना अनिवार्य है। इस दिशा में, सौर–ऊर्जा, पवन–ऊर्जा, बायोगैस–ऊर्जा, समुद्री–ऊर्जा, ज्वारीय–ऊर्जा एवं भू–गर्भीय ऊर्जा आदि गैर–परम्परागत साधन मील के पत्थर साबित हो सकते हैं। पश्चिमी राजस्थान के ये जिले, जहाँ परम्परागत उर्जा स्त्रोतों (कोयला, डीजल, पेट्रोल इत्यादि) की कमी व बहुत कम मात्रा में उपलब्धता के कारण इस क्षेत्र का कृषि एवं औद्योगिक विकास अवरूद्ध हुआ है, हमें गैर–परम्परागत उर्जा स्त्रोतों को बढ़ावा देना चाहिये। इस क्षेत्र में पवन उर्जा की अपार क्षमता को देखते हुए, पश्चिमी राजस्थान के इन चार जिलों को पवन चक्कियों की स्थापना हेतु आदर्श क्षेत्र कह सकते है।

पवन उर्जा का मुख्य स्त्रोत सूर्य है। वायु तापान्तर के कारण, वायुदाबान्तर बनता है और परिणाम स्वरूप पवनों का प्रवाह शुरू हो जाता है। आज विश्व के कई अग्रणी देश, पवन चक्कियों द्वारा पवन उर्जा से विद्युत उत्पादन के क्षेत्र में आगे बढ़ गये हैं। किसी देश की आर्थिक उन्नति का आंकलन उस देश द्वारा उत्पादित विद्युत क्षमता के आधार पर किया जाता है। एक पवन चक्की कम से कम 25 किलोवाट विद्युत उत्पादन कर सकती है। पवन चक्की का अक्ष 20 मीटर उंचाई का और हवा में घुमने वाली पंखुड़ी (ब्लेड) की लम्बाई 10 मीटर या 20 मीटर व्यास तक की होगी। पवन चक्की द्वारा विद्युत उत्पादन हेतु, तीन प्रकार की पवन चक्कियॉ विकसित की गयी हैं।

क – हल्की गति की हवा से चलने वाली।

ख – मध्यम गति की हवा से चलने वाली।

ग – तेज गति की हवा से चलने वाली।

एक पवन चक्की द्वारा विद्युत उत्पादन की क्षमता (पावर–किलोवाट में) निम्न सूत्र द्वारा दिया गया है। (विश्नोई तथा सिंह; 2005)

$$P = 0.393\rho\, D^2V^3 * 10^{-3}$$

जहां

P – क्षमता (पावर–किलोवाट में)

ρ – वायु धनत्व (एयर डेनसिटी–किलो. मी.$^{-3}$ में)

V – वायु गति (विंड स्पीड–मी. सेकण्ड$^{-1}$ में)

पवन चक्की के मुख्यतया निम्न भाग होते हैं। (*i*) पंखुड़ियां (रोटर ब्लेड एवं हब) (*ii*) नासेला एवं (*iii*) अक्ष। पवन चक्की की पंखुड़ी, परिवर्तनशील गियर बॉक्स शाफ्ट से जुड़ी रहती है और गियर बॉक्स शाफ्ट स्वतः हवा की गति के अनुसार परिवर्तनशील होती रहती है। विद्युत उत्पादन की क्षमता, पंखुड़ी के सम्पर्क में आने वाले क्षेत्रफल के समानुपाती होती है। इस तरह, जितनी पंखुड़ियों की लम्बाई होगी, विद्युत उत्पादन क्षमता उतनी ही ज्यादा होगी। एकांक समय में गुजरने वाली हवा का आयतन, पंखुड़ी द्वारा तय किया गया क्षेत्रफल और हवा की गति (A*V) के गुणनफल के बराबर होगी। उस हवा का द्रव्यमान (एम.) हवा के आयतन व हवा के वायु घनत्व (ρ) के गुणनफल के बराबर होगा। (वायु घनत्व एम. एस. एल. पर ρ = 1.225 किलो. मी.$^{-3}$ होगा। मगर ताप व

सारणी –1 (अ)

जैसलमेर की हवाओं का वर्गीकरण

माह	श्रेणी				
	ह	म	त	ब	योग
जनवरी	1705	632	115	28	2480
फरवरी	1402	630	137	95	2264
मार्च	1493	720	142	125	2480
अप्रैल	1050	759	303	288	2400
मई	414	591	328	1147	2480
जून	310	494	326	1270	2400
जुलाई	395	509	350	1226	2480
अगस्त	545	609	442	884	2480
सितम्बर	810	800	356	434	2400
अक्टूबर	1746	568	105	61	2480
नवम्बर	1887	446	47	20	2400
दिसम्बर	1949	447	58	26	2480
योग	13706	7205	2709	5604	29224
आवृति %	46.9	24.6	9.3	19.2	

सारणी –1 (ब)

बीकानेर की हवाओं का वर्गीकरण

माह	श्रेणी				
	ह	म	त	ब	योग
जनवरी	2109	318	52	1	2480
फरवरी	1702	460	78	24	2264
मार्च	1631	712	77	60	2480
अप्रैल	1414	822	118	46	2400
मई	1012	892	275	301	2480
जून	801	721	309	569	2400
जुलाई	873	889	308	410	2480
अगस्त	1012	996	263	209	2480
सितम्बर	1458	784	114	44	2400
अक्टूबर	1769	669	38	4	2480
नवम्बर	1825	553	18	4	2400
दिसम्बर	2050	404	26	0	2480
योग	17656	8220	1676	1672	29224
आवृति %	60.5	28.1	5.7	5.7	

सारणी –1 (स)

जोधपुर की हवाओं का वर्गीकरण

माह	श्रेणी				
	ह	म	त	ब	योग
जनवरी	2020	389	60	11	2480
फरवरी	1757	456	35	16	2264
मार्च	1915	493	64	8	2480
अप्रैल	1668	685	47	0	2400
मई	970	1256	180	74	2480
जून	797	1299	174	130	2400
जुलाई	1292	1044	114	30	2480
अगस्त	1701	727	52	0	2480
सितम्बर	1835	541	22	2	2400
अक्टूबर	2260	220	0	0	2480
नवम्बर	2099	257	44	0	2400
दिसम्बर	2093	387	0	0	2480
योग	20407	7754	792	271	29224
आवृति %	69.8	26.5	2.7	1	

सारणी –1 (द)

बाड़मेर की हवाओं का वर्गीकरण

माह	श्रेणी				
	ह	म	त	ब	योग
जनवरी	2264	183	33	0	2480
फरवरी	1924	320	10	10	2264
मार्च	1957	409	100	14	2480
अप्रैल	1809	461	96	34	2400
मई	1280	1070	124	6	2480
जून	1247	949	152	52	2400
जुलाई	1743	582	111	44	2480
अगस्त	1920	497	48	15	2480
सितम्बर	1989	377	34	0	2400
अक्टूबर	2301	139	40	0	2480
नवम्बर	2275	125	0	0	2400
दिसम्बर	2389	91	0	0	2480
योग	23098	5203	748	175	29224
आवृति %	79	17.8	2.6	0.6	

दाब में बदलाव के कारण ρ का मान भी 10–15% तक बदल सकता है)।

सूत्र के अनुसार उत्पादित विद्युत की क्षमता, हवा की गति के घन (क्यूब) के बराबर होती हैं, और हल्की सी तेज गति की हवा हो, तो विद्युत उत्पादन की क्षमता कम से कम 8 गुणा बढ जाती हैं। लेखक ने पश्चिमी राजस्थान के चार जिला मुख्यालयों (जैसलमेर, बीकानेर, जोधपुर व बाड़मेर) को इसीलिये चुने है क्योंकि इन चारों स्थानों पर भारत मौसम विज्ञान विभाग (आई. एम. डी.) की प्रथम श्रेणी की वेधशालाऐं स्थापित और कार्यरत हैं। इस क्षेत्र में पानी के अभाव में कृषि कार्य नगण्य है। इसलिय इस क्षेत्र की हजारों वर्ग किलोमीटर क्षेत्र की सूखी, पथरीली व रेत के टीलों; सेण्ड ड्यून्सद्ध युक्त भूमि का उपयोग, पवन चक्कियों को स्थापित कर, विद्युत उत्पादन हेतु किया जा सकता है। पवन चक्की की छोटी ईकाई (25 किलोवाट) को कहीं भी स्थापित किया जा सकता है। और उत्पादित विद्युत को, कहीं पर भी काम में लिया जा सकता है। उचित प्रबंधन कर इस प्रकार की पवन चक्कियों को स्थापित किया जा सकता है तथा अधिक से अधिक विद्युत उत्पादन किया जा सकता है :

उचित प्रबंधन के तहत निम्न बिन्दुओं पर ध्यान देना आवश्यक हैं।

(*i*) क्षेत्र विशेष की हवा के ऑकड़े (*ii*) हवा के ऑकड़ों की उपलब्धता के आधार पर, उचित पवन चक्की की स्थापना की जा सकती है।

इस अध्ययन के लिये, पश्चिमी राजस्थान के जिन चार जिला मुख्यालयों (जैसलमेर, बीकानेर, जोधपुर, एवं बाड़मेर) का चयन किया गया है। वहाँ वायु विश्लेषण हेतु हवा की गतियों को अलग अलग श्रेणियों में रखा गया है। जैसे हल्की गति (ह) की वायु (लाइट विंड) 0 से 9 कि. मी. प्र. घं., मध्यम गति (म) की वायु (मोडरेट विंड) 10 से 14 कि. मी. प्र. घं., तेज गति (त) की वायु (स्ट्रांग विंड) 15 से 19 कि. मी. प्र. घं., व बहुत तेज गति (ब) की वायु (वेरी स्ट्रांग विंड) 20 कि. मी. प्र. घं., व अधिक के हिसाब से वर्गीकृत किया गया है। पवन चक्कियों के लिये सिनॉप्टिक ऑवर्स पर एनीमोमीटर द्वारा लिया गया प्रेक्षण, आदर्श प्रेक्षण कहलाता है। जिसके निम्न कारण हैं :

1. एनीमोमीटर को स्थापित करने की ऊँचाई, लगभग 8.2 मीटर होती है। पवन चक्की की घुमती पंखुड़ी का निचला सिरा व एनीमोमीटर लगभग एक ही ऊँचाई पर स्थित होते है। पवन चक्की का अक्ष यदि 20 मीटर है और पंखुड़ी की लम्बाई 10 मी. हो तो दोनों लगभग एक ही ऊँचाई पर आ जाते हैं।

2. एनीमोमीटर द्वारा हवा की गति के प्रेक्षण, प्रत्येक तीन घंटों में, सिनॉप्टिक ऑवर्स पर लेते है जो मौसम विभाग की प्रथम श्रेणी की वेधशाला और प्रशिक्षित वैज्ञानिक सहायकों द्वारा लिये जाते है जो गुणवत्ता और विश्वास में खरे उतरते हैं।

एनीमोमीटर यंत्र, मॉडल एम के–।। भारत मौसम विज्ञान विभाग के उप–महानिदेशक कार्यालय (सतह उपकरण) पुणे द्वारा निर्मित है और विश्व मौसम संघठन के निर्देशों के अनुसार बनाया गया है व विभाग के प्रशिक्षित निरीक्षकों द्वारा, समय–समय पर जांचा परखा (केलिबरेशन) भी जाता है। पवन चक्की के अक्ष की ऊँचाई बढ़ती है तो स्वाभाविक है कि पंखुड़ियों की लम्बाई भी बढ़ेगी। अक्ष के उपरी हिस्से से उर्ध्वाधर पंखुड़ी की ऊँचाई, उसकी लम्बाई के बराबर होगी। यानि सतह से सबसे उपरी पंखुड़ी की ऊँचाई, 20 मीटर + 10 मीटर = 30 मीटर होगी। मगर अच्छी बात यह है कि धरातल से जैसे–जैसे ऊँचाई बढ़ती है वायु घर्षण में सतह की तुलना में कमी आयेगी। वैसे तो 10 मीटर ऊँचाई पर ही वायु की गति, सतह की तुलना में दुगुनी हो जाती है। अतः पवन चक्की की पंखुड़ी की लम्बाई 15 मीटर (व्यास = 30 मीटर) हो तथा एनीमोमीटर की ऊंचाई पर :

(*i*) मध्यम श्रेणी की वायु गति (10 कि. मी. प्र. घं. से 14 कि. मी. प्र. घं. अर्थात 2.78 मी. प्र. से. से 3.89 मी. प्र. से.) होने पर पवन चक्की की विद्युत उत्पादन क्षमता 9.3 से 25.5 किलोवाट होगी।

(*ii*) तेज श्रेणी की वायु गति (15 कि. मी. प्र. घं. से 19 कि. मी. प्र. घं. अर्थात 4.17 मी. प्र. से. से 5.28 मी. प्र. से.) होने पर विद्युत उत्पादन 31.4 से 63.8 किलोवाट होगी।

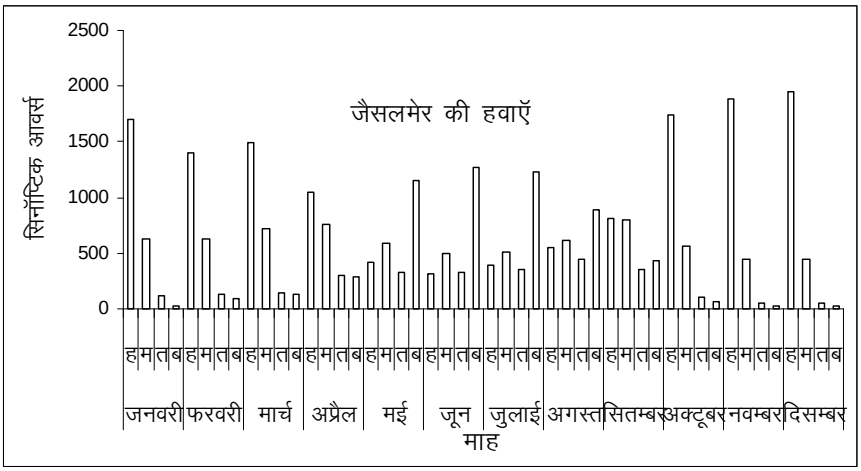
(*iii*) बहुत तेज श्रेणी की वायु गति (20 कि. मी. प्र. घं. व अधिक अर्थात 5.56 मी. प्र. से. एवं अधिक) होने पर 74.5 किलोवाट या अधिक विद्युत का उत्पादन पवन चक्की द्वारा होगा। उक्त गणना एनीमोमीटर की ऊंचाई पर हवा की गति के अनुसार की गई है।

अहरेन्स, 1985, के अनुसार यदि एनीमोमीटर की ऊंचाई (लगभग 8 मीटर मानी गई है) पर हवा की गति यदि 10 मी.प्र.से. है तो पवन चक्की के अक्ष की ऊंचाई (लगभग 20 मीटरद्ध पर हवा की गति 20 मी. प्र. से. होगी।

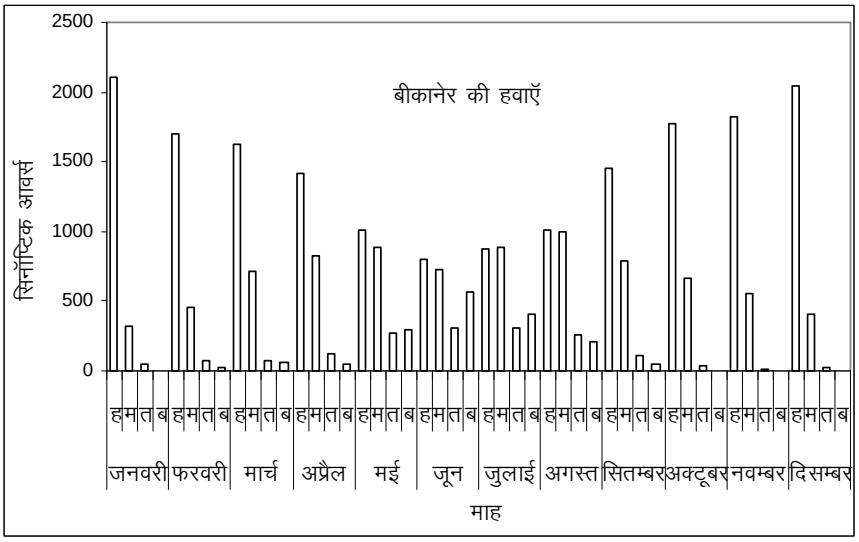
तब वायु गति की म., त., ब. होने पर विद्युत उत्पादन क्रमशः 74 से 204, 251 से 510 तथा 596 किलोवाट या अधिक होगा।

2. ऑकड़े एंव विधि

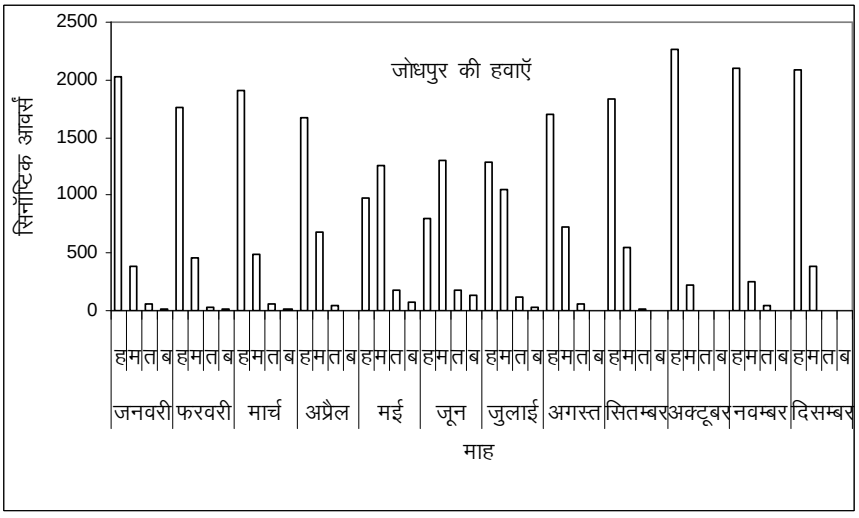
मौसम वेधशालाओं में एनीमोमीटर लगभग 8.2 मीटर की ऊँचाई पर स्थापित किये जाते हैं (जैन 1971) और जैसलमेर, बीकानेर, जोधपुर, एवं बाड़मेर में भी एनीमोमीटर, पवन सुचक गुब्बारा एनीमोमीटर हेतु बने भवन पर ही स्थापित किये गये हैं। प्रथम श्रेणी की प्रत्येक वेधशाला द्वारा, सिनॉप्टिक ऑवर्स पर लिये गये प्रेक्षण, प्रथम मौसम केन्द्र जयपुर को शुद्धिकरण, भविष्यवाणी व संग्रह हेतु भेजे जाते हैं। शुद्ध संग्रहित ऑकड़े



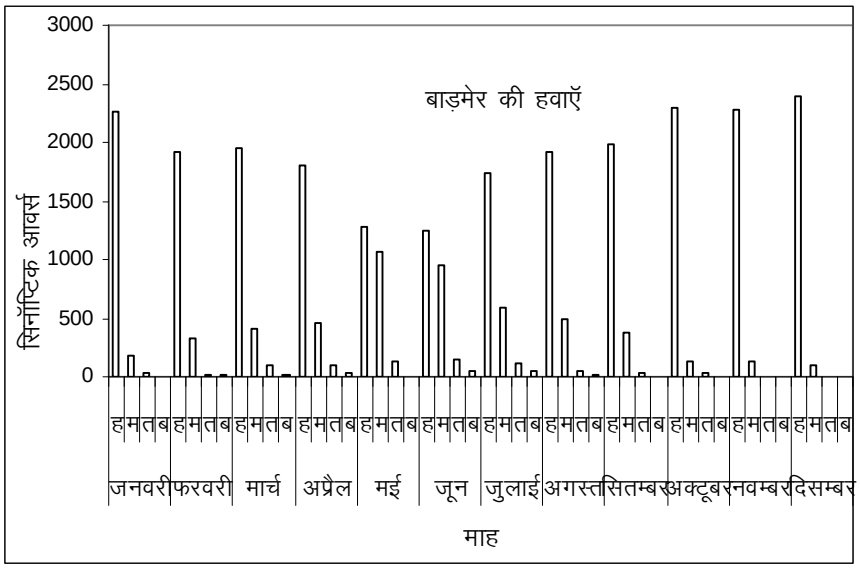
चित्र 1 (अ). जैसलमेर की हवाएँ



चित्र 1 (ब). बीकानेर की हवाएँ



चित्र 1 (स). जोधपुर की हवाएँ

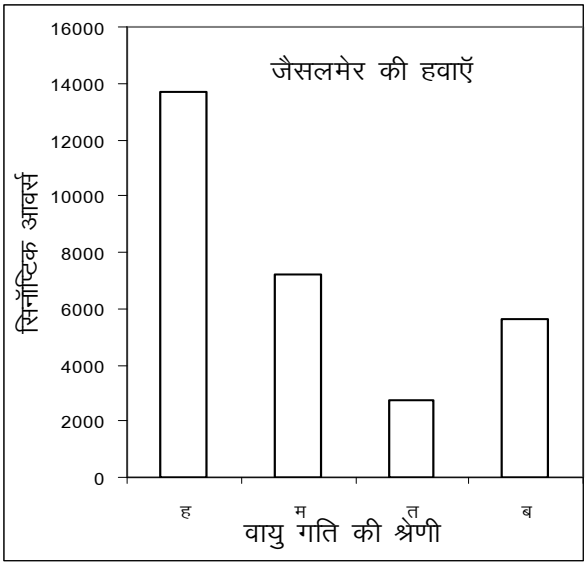


चित्र 1 (द). बाड़मेर की हवाएँ

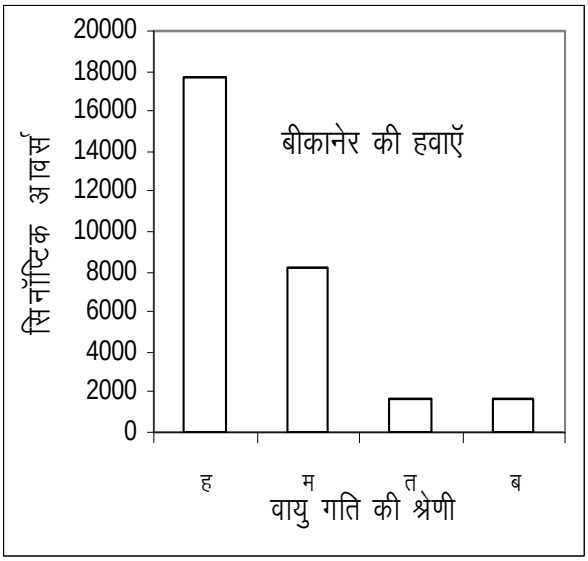
मौसम केन्द्र जयपुर से 10 वर्षों (1 जनवरी 1999 से 31 दिसम्बर 2008) के लिए चारों जिला मुख्यालयों (जैसलमेर/बीकानेर/जोधपुर/बाड़मेर) के लेकर पवन गति की विभिन्न श्रेणियों में, प्रतिदिन, प्रतिमाह, व पूरे 10 वर्षों के लिये माहवार व्यवस्थित किये गये। इस वर्गीकरण में पवन गति को प्रधानता दी गयी है, पवन की दिशा को नहीं। क्योंकि पवन चक्की का निर्माण इस प्रकार किया जाता है कि पवन चक्की का रोटर अपने आप वायु की दिशा की ओर मुड़ जाता है और पवन चक्की का रोटर प्रत्यक्ष रूप से गियर बॉक्स के लचीले शाफ्ट से जुड़ा होता है जो वायु गति के अनुसार स्वतः ही अपनी स्थिति परिवर्तित कर लेता है। जब वायु गति हल्की (ह = 0 से 9 कि. मी. प्र. घं.; 2.5 मी. प्र. से.) होगी। तब पवन चक्की बिल्कुल ही नहीं चलेगी। वायु गति की अन्य श्रेणियों में, पवन चक्की अच्छी तरह कार्य करेगी। यह अलग विषय होगा कि किस तरह की वायु गति में कैसी पवन चक्की लगानी चाहिये। वायुगति के सिनॉप्टिक आवर्स जो चार श्रेणियों में (थॉमस 1981, अ तथा ब) विभक्त किये गये, और प्रत्येक दिन के आठों सिनॉप्टिक आवर्स पर वायु का वर्गीकरण, माह व वर्ष के हिसाब से सभी चारों जगहों के लिये 10 वर्षों के लिये किया गया। इस प्रकार ह, म, त एवं ब प्रत्येक सिनॉप्टिक आवर्स की चारों आवृतियों का वर्गीकरण किया गया।

3. आवृति विश्लेषण

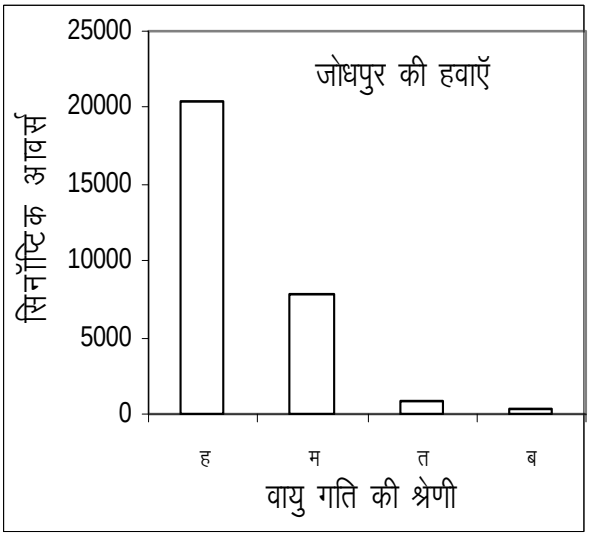
प्रथम श्रेणी विश्लेषण में, चारों वर्गों की वायु गति को, चारों शहरों के हिसाब से अपनी–अपनी श्रेणियों में प्रत्येक दिन, माह, वर्ष व पूरे 10 वर्षों के लिये जोड़कर व्यवस्थित किया गया। सारणी–1 (अ,ब,स,द) 10 वर्षों के लिये एकत्रित वायु गति के आंकड़ों से जैसलमेर के लिये सारणी–1(अ) हल्की गति की वायु ह = 13706 सिनॉप्टिक आवर्स, मध्यम गति की वायु म = 7205 सिनॉप्टिक आवर्स, तेज गति की वायु त = 2709 सिनॉप्टिक आवर्स व बहुत तेज गति की वायु ब = 5604 सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये। इस प्रकार बीकानेर के लिये सारणी–1(ब) ह = 17656 सिनॉप्टिक आवर्स, म = 8220 सिनॉप्टिक आवर्स, त = 1676 एवं ब = 1672 सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये। जोधपुर के लिये सारणी–1 (स) ह = 20407 सिनॉप्टिक आवर्स, म = 7757 सिनॉप्टिक आवर्स, त = 792 सिनॉप्टिक आवर्स एवं ब = 271 सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये। और बाड़मेर के लिये सारणी–1 (द) ह = 23098 सिनॉप्टिक आवर्स, म = 5203 सिनॉप्टिक आवर्स, त = 748 सिनॉप्टिक आवर्स, एवं ब = 175 सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये। और इस प्रकार सभी सारणियों (1–अ, ब, स, द) की, श्रेणियों के हिसाब से ग्राफ तैयार किये गये । जिन्हें चित्र 2 (अ,ब,स,द) से प्रदर्शित किया गया है। प्रत्येक श्रेणी की पवनों की प्रतिशतता भी निकाली गयी है व इन्हें भी ग्राफ से प्रदर्शित किया गया है [चित्र 3 (अ)]। जैसलमेर शहर के लिये, हल्की गति की वायु 46.9%, मध्यम गति की वायु 24.6%, तेज गति की वायु 9.3%, और बहुत तेज गति की वायु 19.02% रही। दूसरे शब्दों में कह सकते हैं कि कुल 53.1% सिनॉप्टिक आवर्स में ली गयी वायु की गति, सदैव 9 कि. मी. प्र. घं. (2.5 मी. प्र. से.) से अधिक रहती है। साल में आधे से अधिक समयावधि तक पवन चक्की को प्रभावी रूप से काम में लिया जा सकता है। इसी प्रकार बीकानेर के लिये, चित्र 3 (ब) हल्की गति की वायु 60.5%, मध्यम गति की वायु 28.1%, तेज गति की वायु 5.7% एवं बहुत तेज गति की वायु 5.7% रही, यानि



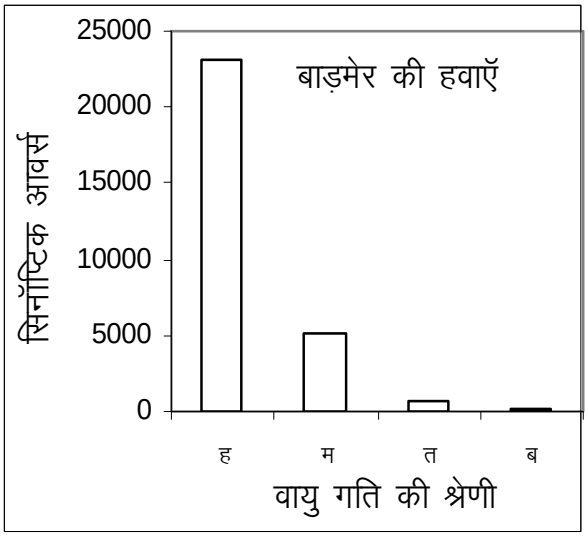
चित्र 2 (अ) जैसलमेर की हवाएँ



चित्र 2 (ब) बीकानेर की हवाएँ



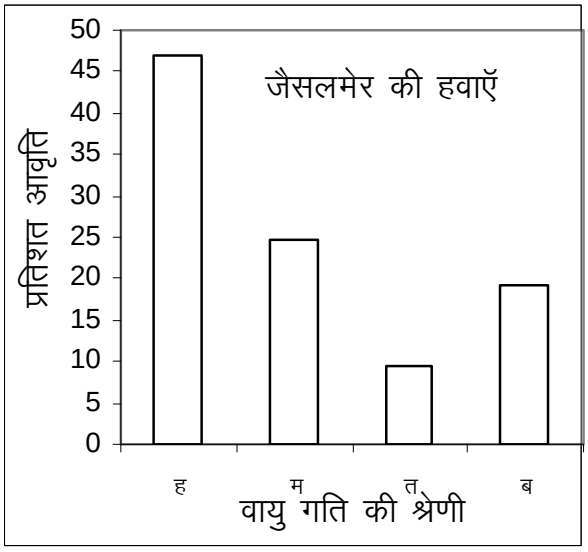
चित्र 2 (स) जोधपुर की हवाएँ



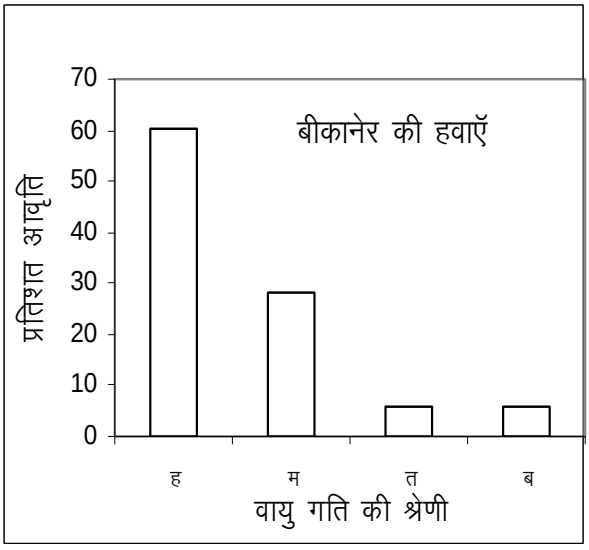
चित्र 2 (द) बाड़मेर की हवाएँ

बीकानेर में वर्ष के लगभग 40% समय तक वायु को विद्युत उत्पादन हेतु प्रभावी रूप से प्रयोग में ले सकते हैं। जोधपुर के लिये चित्र 3(स) हल्की गति की वायु 69.8%, मध्यम गति की वायु 26.5%, तेज गति की वायु 2.7% एवं बहुत तेज गति की वायु 1.0% रही। अतः पवन चक्कियों को गतिमान रखने के लिये लगभग 30% समयावधि काम आयेगी। और बाड़मेर के लिये चित्र 3 (द) हल्की गति की वायु 79%, मध्यम गति की वायु 17.8%, तेज गति की वायु 2.6% और बहुत तेज गति की वायु 0.6% रही। अतः सबसे कम समयावधि के लिए, पवन चक्की बाड़मेर में, वर्ष के 21% समय के लिए प्रभावी रहेगी।

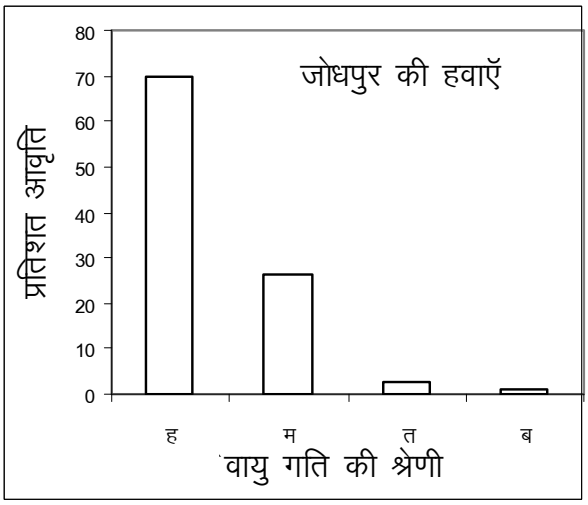
दूसरा विश्लेषण वायु गति को श्रेणीवार व महीनों के हिसाब से व्यवस्थित करके किया गया। सारणी 1 (अ,ब,स,द), हवा की विभिन्न श्रेणियों को ग्राफ द्वारा चित्र 2 (अ,ब,स,द) से प्रत्येक जगह के लिए महीनों और प्रत्येक महीने की विभिन्न श्रेणियों के हिसाब से तैयार किया गया है। इसमें हमें यह आवश्यक सूचना मिल जाती है कि कौनसा माह, पवन चक्कियों को चलाने में उपयुक्त होगा और कौनसा नहीं ? इस प्रकार, आरम्भिक तौर में ही यह ज्ञात हो जाता है कि पवन चक्कियों को चलाने की, लगभग अवधि किस महीने में कितनी होगी। इससे पवन चक्कियों के मालिकों और उत्पादित विद्युत के आगे



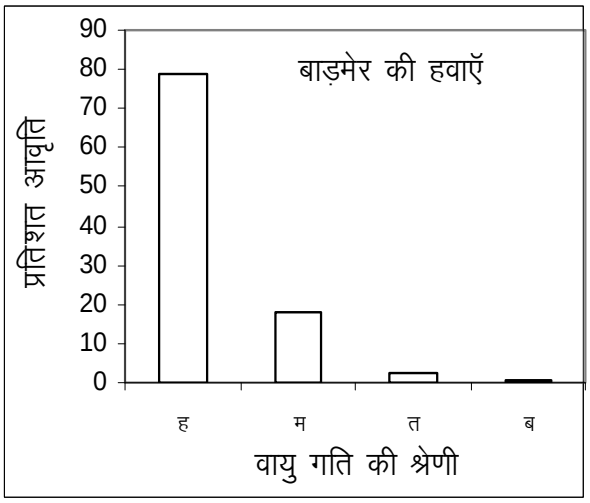
चित्र 3 (अ) जैसलमेर की हवाएँ



चित्र 3 (ब) बीकानेर की हवाएँ



चित्र 3 (स) जोधपुर की हवाएँ



चित्र 3 (द) बाड़मेर की हवाएँ

वितरण प्रबंधन में भी मदद मिलेगी। सारणियों से ज्ञात होता है कि मई, जून, जुलाई और अगस्त के महीने सभी चारों स्थानों के लिए उपयुक्त है और जनवरी, फरवरी, मार्च, अक्टूबर, नवम्बर व दिसम्बर महीनों में अक्सर कम गति की हवा चलती है । जब भी हवा चलती है तो लगातार कई दिनों तक चलती है। एक बात ओर सामने आयी, वह यह कि जैसलमेर व बीकानेर स्टेशनों के लिए वायु ऑकड़े अति उत्साहित करने वाले मिले। जोधपुर क्षेत्र के लिए भी, वर्ष में लगभग 30% का समय मई से अगस्त तक काम आने वाला है और बाड़मेर क्षेत्र के लिए वर्ष में लगभग 21% काम आने वाला समय भी मई से जुलाई तक के महीनों में ही है।

4. परिणाम

पश्चिमी राजस्थान के चार सीमावर्ती जिले जैसलमेर, बीकानेर, जोधपुर और बाड़मेर, विद्युत की कमी को सदियों से झेलते आ रहे हैं। विद्युत के अभाव में इस क्षेत्र का कृषि, औद्योगिक एवं व्यापारिक विकास अधूरा है। पवन चक्कियों द्वारा विद्युत उत्पादन से, इस क्षेत्र की विद्युत की कमी को पूरा किया जा सकता है और मई से अगस्त तक हवा की गति अत्यधिक तेज होने के कारण, विद्युत उत्पादन की क्षमता को भी बढ़ाया जा सकता है। उत्पादित विद्युत की अधिक (सरप्लस) मात्रा से दूसरे राज्यों को भी लाभान्वित किया जा सकता है।

सारणी –1 (अ) के अनुसार, वायु गति के कुल सिनॉप्टिक आवर्स जो जैसलमेर के लिए पिछले दस वर्षों के लिए संग्रहित किये गये, उनकी संख्या 29224 थी। हल्की गति की वायु, ह = 13706 (46.9%) सिनॉप्टिक आवर्स, मध्यम गति की वायु, म = 7205 (24.6%) सिनॉप्टिक आवर्स, तेज गति की वायु, त = 2709 (9.3%) सिनॉप्टिक आवर्स व बहुत तेज गति की वायु, ब = 5604 (19.2%) सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये गये। कुल मिलाकर कह सकते है कि 53% सिनॉप्टिक आवर्स पर ली गई वायु की गति, पवन चक्की को चलाने में सहायक सिद्ध होगी ।

इस प्रकार बीकानेर के लिये हल्की गति की वायु, ह = 17656 (60.5%) सिनॉप्टिक आवर्स, मध्यम गति की वायु, म = 8220 (28.1%) सिनॉप्टिक आवर्स, तेज गति की वायु, त = 1676 (5.7%) सिनॉप्टिक आवर्स एवं बहुत तेज गति की वायु, ब = 1672 (5.7%) सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये गये।

जोधपुर के लिये वायु गति के प्रेक्षणों में हल्की गति की वायु, ह = 20407 (69.8%) सिनॉप्टिक आवर्स, मध्यम गति की वायु, म = 7754 (26.5%) सिनॉप्टिक आवर्स, तेज गति की वायु, त = 792 (2.7%) सिनॉप्टिक आवर्स एवं बहुत तेज गति की वायु, ब = 271 (1.0%) सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये गये।

बाड़मेर के लिये वायु गति के प्रेक्षणों में हल्की गति की वायु, ह = 23098 (79%) सिनॉप्टिक आवर्स, मध्यम गति की वायु, म = 5203 (17.8%) सिनॉप्टिक आवर्स, तेज गति की वायु, त = 748 (2.6%) सिनॉप्टिक आवर्स, एवं बहुत तेज गति की वायु, ब = 175 (0.6%) सिनॉप्टिक आवर्स दर्ज किये गये।

चित्र 1(अ), 2(अ) व 3(अ) जैसलमेर से यही ज्ञात होता है कि मई से सितम्बर तक लगातार 5 महीने मध्यम, तेज व बहुत तेज गति की वायु चलती है।

चित्र 1(ब), 2(ब) व 3(ब) बीकानेर से यही ज्ञात होता है कि मई से जुलाई व अगस्त कुल 4 माह के लिए मध्यम, तेज व बहुत तेज गति की वायु होगी।

जोधपुर के लिये चित्र 1(स), 2(स) व 3(स) से ज्ञात होता है कि मई, जून, जुलाई व अगस्त माह के लिए मध्यम, तेज व बहुत तेज गति की वायु का प्रवाह रहेगा।

बाड़मेर के लिये चित्र 1(द), 2(द) व 3(द) से ज्ञात होता है कि मई, जून, जुलाई व अगस्त तक मध्यम, तेज व बहुत तेज गति की वायु चलेगी।

पवन चक्की के लिए पवन की गति 10 कि. मी. प्र. घ. (2.8 मी. प्र. से. थॉमस 1981, अ तथा ब; विश्नोई तथा सिंह, 2005) की चाहिए। इस प्रकार सभी स्थानों पर मई से अगस्त तक की हवा, विद्युत उत्पादन के लिहाज से बहुत ही उत्साहित करने वाली है।

वायु की दिशा इन सभी स्थानों के लिए, मार्च से सितम्बर तक निरंतर दक्षिण–पश्चिमी (225°) (क्लाइमेट ऑफ राजस्थान–1988) रहती है और नवम्बर से फरवरी तक उत्तरी, उत्तर–पूर्वी या पूर्वी दिशा की रहती है । अतः पश्चिमी राजस्थान के सीमावर्ती जिले, पवन चक्कियों के विद्युत उत्पादन हेतु, स्थापित करने के लिए आदर्श स्थान होंगे।

5. निष्कर्ष

औद्योगीकरण के कारण, वर्तमान समय में, उद्योगों एवं घरों में जीवाश्म इंधनों जैसे कोयला एवं पेट्रोलियम आदि पदार्थों के उपयोग में अत्यधिक वृद्धि हुई है। वर्तमान समय में जीवाश्म इंधन जलाने से, कार्बन–डाई–ऑक्साइड गैस की वायुमण्डल में निरंतर वृद्धि हो रही है।

आज हमारे देश के सामने ही नहीं, बल्कि विश्व के हर देश के सामने अपनी आवश्यकता के अनुरूप विद्युत ऊर्जा का उत्पादन करना एक कठिन और चुनौतीपूर्ण कार्य है। ऊर्जा उत्पादन के परम्परागत साधन, जैसे कोयला, डीजल एवं पेट्रोलियम पदार्थ एक–एक करके, कम होते जा रहे हैं। इस स्थिति में विश्व के देशों को गैर–परम्परागत (अक्षय) विद्युत उत्पादन के साधनों की ओर जाना जरूरी है। इन्ही स्त्रोतों को विकसित करने, परिष्कृत करने एवं अंगीकार करने में विलम्ब नहीं करना चाहिए । विद्युत ऊर्जा के गैर– परम्परागत साधन, परम्परागत साधनों की तरह हमारे वातावरण एवं पारिस्थितिकी तंत्र को भी किसी तरह नुकसान नहीं पहुंचायेंगे । इसी क्रम में राजस्थान के पश्चिमी चारों जिलों के अनुपयोगी भू–भाग में उपलब्ध प्रचुर मात्रा में वायु गति की विभिन्न श्रेणियों म., त., ब. में एनीमोमीटर की ऊंचाई पर उत्पादित विद्युत ऊर्जा क्रमशः 9 से 25, 31 से 64 तथा 75 किलोवाट या अधिक है, तो उसी समय पवन चक्की के अक्ष (जो कि एनीमोमीटर से लगभग दो गुणा ऊंचाई पर है) पर विद्युत का उत्पादन क्रमशः 74 से 204, 251 से 510 तथा 596 किलोवाट या अधिक होगा।

औद्योगीकरण के कारण, वर्तमान समय में उद्योगों एवं घरों में जीवाश्म इंधनों, जैसे कोयला एवं पेट्रोलियम आदि पदार्थों के उपयोग में अत्यधिक वृद्धि हुई है और परिणाम स्वरूप पर्यावरण प्रदूषण में भारी वृद्धि हुई है। पर्यावरण प्रदूषण से ग्लोबल वार्मिंग या भूमंडलीय उष्मीकरण मुख्यतया वायुमण्डल में ग्रीन–हाऊस गैसों की चारों ओर बढ़ती सांद्रता का ही परिणाम है। इन्ही गैसों के प्रभाव से पृथ्वी के औसत तापमान में निरंतर वृद्धि हो रही है (सरकार तथा थापलियाल, 1988; वेनिकोव्ह इत्यादि, 1980 और जॉन्स इत्यादि, 1982)।

ग्रीन–हाऊस गैसों में कार्बन–डाई–ऑक्साइड, मीथेन, क्लोरो–फ्लोरो–कार्बन, नाइट्रस–ऑक्साइड आदि प्रमुख है।

पर्यावरण प्रदूषण के लिए इन गैसेां की 42% मात्रा यातायात के साधनों से वायुमण्डल में प्रवेश करती है। विश्व में कार्बन–डाई–ऑक्साइड की 36% मात्रा कोयले से निकलती है (बाबू इत्यादि 2005)। इन्टरगवर्नमेंटल पैनल ऑन क्लाइमेट चेंज तथा नेशनल क्लायमेट सेंटर ,पुणे ने भी स्पष्ट किया है कि तापमान बढ़ने से सूखा, तापीय लहरों जैसी आपदाओं की आवृति, चरम पर होगी। यही संकेत नेचर पत्रिका, वर्ल्ड वाइल्ड फोरम, इन्टरनेशनल यूनियन ऑफ कंजरवेशन ऑफ नेचर एण्ड नेचुरल रिसोर्सेस एवं संयुक्त राष्ट्र सहस्त्राब्दी पर्यावरण आंकलन 2005 आदि ने भी दिये हैं।

जलवायु परिवर्तन व पर्यावरण प्रदूषण को कम करने के लिए–ऊर्जा संरक्षण सुनिश्चित करना तथा विभिन्न क्षेत्रों में ऊर्जा क्षमता उन्नत करना। गैर–परम्परागत ऊर्जा के उपयोग को बढ़ावा देना । ऊर्जा के क्षेत्र में सुधार तथा सक्रिय ऊर्जा कार्यक्रम को बढ़ावा देना। यातायात के लिए स्वच्छ तथा कम कार्बन वाले इंधन का उपयोग।

आभार

इस शोध पत्र में सुधार हेतु अमूल्य सुझावों के लिए लेखक द्वारा पुनरीक्षक के प्रति हार्दिक आभार व्यक्त किया जाता है। इस शोध पत्र को तैयार करने में अपने महत्वपूर्ण योगदान के लिए लेखक सर्वश्री आनन्द नागर, विनीत अग्रवाल एवं कालूराम शर्मा वैज्ञानिक सहायक के प्रति अपना हार्दिक आभार व्यक्त करता है। साथ ही लेखक मौसम केन्द्र, जयपुर के श्री एस. एस. सिहं को ऑकड़े एवं अपने सुझाव उपलब्ध करवाने के लिए आभार व्यक्त करता है ।

संदर्भ

अहरेन्स, सी. डॉनाल्ड, 1985, "मिटियोरोलॉजी टूडे–एन इन्ट्रोडक्शन टू वेदर क्लाइमेट एण्ड द एनवायरमेंट," सेकण्ड एडिशन; 1985, 255–260।

क्लाइमेट ऑफ राजस्थान स्टेट, इण्डिया मिटियोरोलॉजीकल डिपार्टमेंट; 1988।

जैन, पी. के., 1971, "मेग्जीमम विंड प्रेशर ओवर इण्डिया", *इण्डियन ज. मेट. एवं जियोफिजिक्स*, **22**, 571–574।

जॉन्स, पी. डी., विगले, टी. एम. एल. तथा केल्ली, पी. एम., 1982, "वेरिएशन इन द सरफेस एँयर टेम्परेचर पार्ट–।, नॉर्दन हेमिस्फियर; 1881–1980"; *मानसून वेदर रिव्यू*, **110,** 59–70।

दानी, के. के., राज, अरनेस्ट. पी., महेश कुमार, आर. एस. तथा देवारा, पी. सी. एस., 2003, "एयरोसोल ऑप्टिकल करेक्टरिस्टिक ड्यूरिंग समर डस्ट स्टार्म इन मेट्रोपोलिटिन सिटी, ऐ केश स्टडी," *मौसम*, **54**, 4, 940–947।

थॉमस, एस. आई. टी., 1981 (अ), "विंड एनालाइसिस फोर विंड पावर–पार्ट–।", *मौसम*, **32**, 1, 55–58।

थॉमस, एस. आई. टी., 1981 (ब), "विंड एनालाइसिस फोर विंड पावर–पार्ट–।।" *मौसम*, **32**, 2, 151–154।

बनर्जी, रमेश चन्द्र तथा उपाध्याय, दयाशंकर, 1991, "मौसम विज्ञान तृतीय संस्करण, पृ. 427।

बाबू, एस. सुरेश, मूर्ति, के. कृष्णा तथा सतीश, एस. क., 2005, "फर्स्ट ऑब्जरवेशन ऑफ एयरोसोल ब्लेक कार्बन ओवर कोस्टल अरेबियन सी ड्यूरिंग आरमेक्स," *मौसम*, **56**, 1, 287–292।

विश्नोई, बी. एन. तथा सिंह, विरेन्द्र, 2005, "विंड एनालायसिस फोर विंड पॉवर एट जैसलमेर", *मौसम*, **56**, 4, 904–907।

रॉय, सोमा सेन तथा रॉय भौमिक, एस. के., 2003, "इवेलूएशन ऑफ थर्मोडायनेमिक ऑफ द एटमोस्फियर इन रिलेशन टू प्री–मानसून कनवेक्टिव एक्टिविटि ऑवर नार्थ इण्डिया", *मौसम*, **54**, 2, 397–406।

वेनिकोव्ह, के. या., ग्रूजा, जी. वी., झाक्खारोव, यू. एफ., किरिल्लोव, ए. ए., कोव्यनेवा, एन. पी. तथा रानकोवा, ई. या., 1980, "मॉडर्न चेंज इन क्लाइमेट ऑफ द नॉर्दन हेमिस्फियर", *मेट हॉयड्रोलॉजी*, **6**, 5–17।

सरकार, आर. पी. तथा थापलियाल, वी., 1988, "क्लायमेट चेंज एण्ड वेरिएबिलिटी", *मौसम*, **39**, 127–138।