The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025

Spatio - temporal variability in wind patterns over India using the big-data analytics on multi-decadal re-analysis products

B. Madhuri[1], Prof G. Anjan Babu[2], G. Mohana Priya[3*]

Department of Computer Science, Sri Venkateswara University, Tirupati – 517502. National Atmosp heric Research Laboratory, Gadanki – 517112.
Corresponding Author *: mohanapriya88024@gmail.com

బహుళ-దశాబ్ద పునః-విశ్లేషణ ఉత్పత్తులపై బిగ్-డేటా విశ్లేషణలను ఉపయోగించి భారతదేశం అంతటా గాలి నమూనాలలో స్పాటియో - తాత్కాలిక వైవిధ్యం.

బి. మాధురి [1] , ప్రొఫెసర్ జి. అంజన్ బాబు [2] , జి. మోహన ప్రియ [3*]

కంప్యూటర్ సైన్స్ విభాగం, శ్రీ వెంకటేశ్వర విశ్వవిద్యాలయం, తిరుపతి - 517502. జాతీయ వాతావరణ పరిశోధన ప్రయోగశాల, గదంకి - 517112.
సంబంధిత రచయిత *: mohanapriya88024@gmail.com

వియుక్త

భారత ఉపఖండంలో గాలి ప్రసరణ, భూభాగం మరియు సముద్రం యొక్క విభిన్న తాపన మరియు శీతలీకరణ ద్వారా నడపబడుతుంది. రెండు ప్రధాన రుతుపవన రుతువులు ఉన్నాయి: వేసవిలో నైరుతి రుతుపవనాలు మరియు శీతాకాలంలో ఈశాన్య రుతుపవనాలు. ఈ ప్రసరణ అంతర్-ఉష్ణమండల కన్వర్జెన్స్ జోన్ (ITCZ), జెట్ ప్రవాహాలు మరియు స్థానిక గాలులు వంటి ప్రపంచ కారకాలచే కూడా ప్రభావితమవుతుంది. రుతుపవన వ్యవస్థ ఆధిపత్యం వహించే భారతదేశంలో గాలి నమూనాలు దేశ వాతావరణం, వ్యవసాయం మరియు ఆర్థిక వ్యవస్థకు చాలా ముఖ్యమైనవి. ఈ గాలుల కాలానుగుణ తిరోగమనం తడి మరియు పొడి రుతువులను నిర్దేశిస్తుంది, ఇది నీటి వనరులు, ఆహార భద్రత మరియు విద్యుత్ ఉత్పత్తిని తీవ్రంగా ప్రభావితం చేస్తుంది. ERA5 అనేది ప్రపంచ వాతావరణ పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్, ఇది అనేక పీడన స్థాయిలలో పవన వాహకాల అంచనాలను అందిస్తుంది, ఇది వాతావరణ

CC BY

అధ్యయనాలకు కీలకమైన పరామితి. అందువల్ల, ఈ అధ్యయనం 2000 నుండి 2019 వరకు విస్తరించి ఉన్న ERA 5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి భారత ఉపఖండంలో గాలి నమూనాల ప్రాదేశిక మరియు తాత్కాలిక ధోరణులను పరిశీలిస్తుంది.
U -భాగం (జోనల్ విండ్, తూర్పు-పడమర) మరియు V -భాగం (మెరిడినల్ విండ్, ఉత్తర-దక్షిణ) ద్వారా గాలి ప్రసరణను పరిశీలించారు, ఇవి కలిసి క్షితిజ సమాంతర పవన వెక్టార్‌ను నిర్వచించాయి. పీడన స్థాయిలలో ఈ భాగాలను అంచనా వేయడం వల్ల పెద్ద ఎత్తున ప్రసరణ, రుతుపవనాల వైవిధ్యం మరియు ప్రాంతీయ వాతావరణ ప్రక్రియలపై అంతర్దృష్టులు లభిస్తాయి. నిలువు నిర్మాణాన్ని సంగ్రహించడానికి, 500–1000 hPa మధ్య బహుళ-స్థాయి పవన డేటాను విశ్లేషించారు, ఇది మధ్య నుండి దిగువ ట్రోపోస్ఫియర్‌ను సూచిస్తుంది. గాలి క్షేత్రాలను సంగ్రహించడానికి గంటవారీ ERA 5 డేటాసెట్‌లను ప్రాసెస్ చేశారు మరియు గాలి వేగం మరియు దిశ రెండింటినీ విజువలైజేషన్ చేయడానికి బార్బ్‌లను ఉపయోగించారు. వివిధ ప్రదేశాలలో మరియు వివిధ సమయ ప్రమాణాలలో గాలి నమూనాల వైవిధ్యాన్ని పరిష్కరించడానికి పునః-విశ్లేషణ ఉత్పత్తులపై పెద్ద-డేటా విశ్లేషణలు అమలు చేయబడతాయి. ఈ పరిశోధనలు పవన వాతావరణ శాస్త్రం యొక్క అవగాహనను మెరుగుపరిచాయి మరియు రుతుపవనాల అంచనా, విమానయానం, పునరుత్పాదక ఇంధన ప్రణాళిక మరియు ప్రాంతీయ వాతావరణ అనుసరణ వ్యూహాలకు విలువైన ఇన్‌పుట్‌లను అందిస్తాయి.

కీలకపదాలు: బిగ్-డేటా విశ్లేషణలు, పునఃవిశ్లేషణ డేటా ఉత్పత్తులు, స్పాటియో -టెంపోరల్ ట్రెండ్‌లు, భారతదేశంపై పవన నమూనాలు.

1. పరిచయం

భారతదేశ వాతావరణం మరియు ఆర్థిక వ్యవస్థ దాని సంక్లిష్టమైన పవన ప్రసరణ నమూనాల ద్వారా తీవ్రంగా ప్రభావితమవుతాయి, ప్రధానంగా రుతుపవన వ్యవస్థ ద్వారా నియంత్రించబడుతుంది. గాలి దిశలో కాలానుగుణ తిరోగమనాల ద్వారా వర్గీకరించబడిన రుతుపవనాలు వేసవిలో (నైరుతి రుతుపవనాలు) కీలకమైన వర్షపాతాన్ని తెస్తాయి మరియు శీతాకాలంలో పొడి పరిస్థితులను ప్రభావితం చేస్తాయి (ఈశాన్య రుతుపవనాలు). ఈ పవన నమూనాలు భూభాగం మరియు ప్రక్కనే ఉన్న మహాసముద్రాల మధ్య అవకలన తాపన ద్వారా నడపబడతాయి మరియు ఇంటర్-ట్రోపికల్ కన్వర్జెన్స్

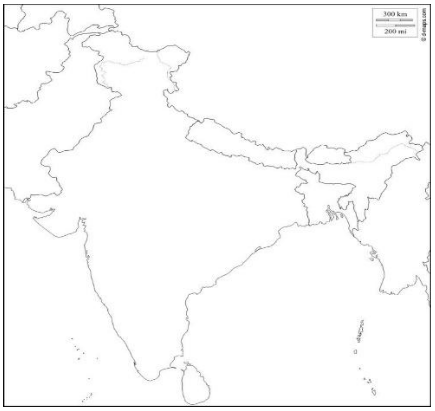
CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025

జోన్ (ITCZ), జెట్ ప్రవాహాలు మరియు స్థానిక పవన వ్యవస్థలు వంటి ప్రపంచ వాతావరణ దృగ్విషయాల ద్వారా మాడ్యులేట్ చేయబడతాయి.

స్థల -తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని అర్థం చేసుకోవడం చాలా అవసరం. అధిక-రిజల్యూషన్, బహుళ-దశాబ్ద వాతావరణ డేటాను అందించే ERA5 వంటి అధునాతన పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్ల ఆగమనంతో, పరిశోధకులు ఇప్పుడు గతంలో లెక్కించడం కష్టంగా ఉన్న నమూనాలు మరియు ధోరణులను గుర్తించడానికి పెద్ద పరిమాణాల డేటాను విశ్లేషించవచ్చు.

ఈ అధ్యయనం రెండు దశాబ్దాలుగా (2000–2019) విస్తరించి ఉన్న ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను విశ్లేషించడానికి బిగ్-డేటా విశ్లేషణ పద్ధతులను ఉపయోగించుకుంటుంది, చిత్రం 1లో చూపిన విధంగా భారతదేశం అంతటా వివిధ పీడన స్థాయిలలో పవన వెక్టర్ల వైవిధ్యంపై దృష్టి పెడుతుంది. పవన జోనల్ మరియు మెరిడియల్ భాగాలను పరిశీలించడం ద్వారా, ఈ పరిశోధన రుతుపవనాల అంచనా, వాతావరణ నమూనా మరియు పునరుత్పాదక ఇంధన ప్రాజెక్టుల ప్రణాళికను మెరుగుపరచడానికి కీలకమైన పవన ప్రసరణ యొక్క ప్రాదేశిక మరియు తాత్కాలిక డైనమిక్స్ యొక్క అవగాహనను మరింతగా పెంచడం లక్ష్యంగా పెట్టుకుంది.



చిత్రం 1

పరిశోధన లక్ష్యాలు మరియు పద్ధతి

2000 నుండి 2019 వరకు ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి, కాలానుగుణ మరియు అంతర్ వార్షిక ప్రమాణాలపై దృష్టి సారించి, భారతదేశం అంతటా గాలి నమూనాల ప్రాదేశిక -తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని విశ్లేషించడానికి .

CC BY

hPa పీడన స్థాయిల మధ్య గాలి ప్రసరణ యొక్క నిలువు నిర్మాణాన్ని పరిశోధించడానికి , మధ్య నుండి దిగువ ట్రోపోస్పియర్ వరకు గాలుల ప్రవర్తనను సంగ్రహించడానికి.

3. వివిధ ప్రాంతాలు మరియు కాల వ్యవధులలో గాలి వేగం మరియు దిశలో గుర్తించదగిన ధోరణులు మరియు మార్పులను గుర్తించడం, సమర్థవంతమైన ప్రాసెసింగ్ మరియు విజువలైజేషన్ కోసం బిగ్-డేటా విశ్లేషణ పద్ధతులను ఉపయోగించడం.

4. రుతుపవనాల గతిశీలత, ప్రాంతీయ వాతావరణ వైవిధ్యం మరియు వ్యవసాయం, నీటి వనరులు మరియు పునరుత్పాదక ఇంధన సామర్థ్యం వంటి సంబంధిత సామాజిక-ఆర్థిక కారకాలపై గాలి వైవిధ్యం యొక్క ప్రభావాలను అంచనా వేయడం.

5. భారతదేశంలో రుతుపవనాల అంచనా, ప్రాంతీయ వాతావరణ అనుకూల వ్యూహాలు మరియు పునరుత్పాదక ఇంధన ప్రణాళిక చొరవలను మెరుగుపరచగల అంతర్దృష్టులు మరియు డేటా ఆధారిత ఇన్పుట్‌లను అందించడం.

2. సాహిత్య సర్వే

ఈ పరిశోధన యొక్క కీలకమైన ఆవిష్కరణ ఏమిటంటే, 20 సంవత్సరాల డేటాను రుతుపవనాలు, రుతుపవనాలకు ముందు, వేసవి మరియు శీతాకాలం అనే నాలుగు విభిన్న వాతావరణ కాలాలుగా వర్గీకరించడం. ఇది ప్రతి నెలలో ప్రతి గంటకు బహుళ పీడన స్థాయిలలో అధిక-రిజల్యూషన్ సగటు గాలి నమూనాలను గణిస్తుంది మరియు దృశ్యమానం చేస్తుంది. ఈ సూక్ష్మమైన, సీజన్-నిర్దిష్ట విధానం సాధారణ విస్తృత ధోరణి విశ్లేషణలకు మించి కదులుతుంది, ఇంట్రా- మరియు ఇంటర్-సీజనల్ పవన వైవిధ్యంపై వివరణాత్మక అంతర్దృష్టులను అందిస్తుంది.

ఈ దృశ్యాలు భారత ఉపఖండంలో పవన క్షేత్రాల నిలువు నిర్మాణం మరియు సంక్లిష్టమైన ప్రాదేశిక-తాత్కాలిక నమూనాలను విశదీకరిస్తాయి. ఈ వివరణాత్మక ఫలితాలు వాతావరణ నమూనా యొక్క ఖచ్చితత్వాన్ని పెంచడానికి, రుతుపవనాల అంచనా సామర్థ్యాలను మెరుగుపరచడానికి మరియు పునరుత్పాదక ఇంధన ప్రణాళికను తెలియజేయడానికి గణనీయమైన ప్రభావాలను కలిగి ఉన్నాయి. ఈ అధ్యయనం ప్రాంతీయ వాతావరణ డైనమిక్స్ యొక్క ప్రస్తుత జ్ఞానాన్ని గణనీయంగా అభివృద్ధి చేసే సమగ్రమైన, డేటా-ఆధారిత పద్ధతిని అందిస్తుంది.

CC BY

3. పద్ధతి

నుండి ఇప్పటి వరకు పీడన స్థాయిల కోసం ERA5 నెలవారీ సగటు పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించారు, 2000 నుండి 2019 వరకు ఉన్న కాలాన్ని దృష్టిలో ఉంచుకుని. డేటాలో నిర్దిష్ట పీడన స్థాయిలలో (700, 750, 800, 850, 900, 950 hPa) జోనల్ (U) మరియు మెరిడియల్ (V) పవన భాగాలు ఉన్నాయి. ప్రతి సంవత్సరం మరియు పీడన స్థాయికి, గాలి వేగం మరియు దిశను వర్ణించే సంబంధిత విజువలైజేషన్‌లను (PNG ఫైల్‌లు) రూపొందించడానికి పవన వెక్టర్ డేటాను ప్రాసెస్ చేశారు. 20 సంవత్సరాల పాటు విస్తరించి ఉన్న డేటాను నాలుగు కాలానుగుణ సమూహాలుగా వర్గీకరించారు: రుతుపవనాలు, రుతుపవనాలకు ముందు, వేసవి మరియు శీతాకాలం. ప్రతి సమూహంలో, ఆ సమూహంలోని అన్ని సంవత్సరాలలో ప్రతి నెలా ప్రతి గంటకు సగటు గాలి నమూనాలను లెక్కించడానికి పవన డేటాను మరింత సమగ్రపరిచారు, ఇది కాలానుగుణ మరియు ఇంట్రా-వార్షిక వైవిధ్యం యొక్క వివరణాత్మక విశ్లేషణను అనుమతిస్తుంది.

4. ప్రయోగాత్మక సెటప్ మరియు అమలు

డేటా సముపార్జన: 2000–2019 కాలానికి నిర్దిష్ట పీడన స్థాయిలలో (700-950 hPa) ERA5 నెలవారీ సగటు పవన డేటా (U మరియు V భాగాలు) డౌన్‌లోడ్ చేయబడింది.
డేటా ప్రాసెసింగ్: సంగ్రహించిన U మరియు V భాగాలు, గాలి వెక్టర్‌లను ఏర్పరచడానికి కలిపి, ప్రతి సంవత్సరం మరియు పీడన స్థాయికి PNG చిత్రాలుగా దృశ్యమానం చేయబడ్డాయి.
సీజనల్ గ్రూపింగ్: నెల ఆధారంగా డేటాను నాలుగు కాలానుగుణ వర్గాలుగా క్రమబద్ధీకరించారు - రుతుపవనాలు, వర్షాకాలం ముందు, వేసవి మరియు శీతాకాలం.
సగటు: ప్రతి సీజన్‌కు, ఆ సీజన్‌లోని అన్ని సంవత్సరాలలో, ప్రతి నెలలోని ప్రతి గంటకు సగటు U మరియు V పవన భాగాలను లెక్కించి, ప్రాతినిధ్య కాలానుగుణ పవన నమూనాలను పొందారు.
విశ్లేషణ: వివిధ రుతువులు మరియు పీడన స్థాయిలలో నమూనాలు, ధోరణులు మరియు వైవిధ్యాన్ని గుర్తించడానికి ఫలితంగా వచ్చిన సగటు పవన వెక్టర్‌లను విశ్లేషించారు.

ఉపకరణాలు మరియు సాంకేతికతలు: డేటా నిర్వహణ, సగటు మరియు విజువలైజేషన్ కోసం ఉపయోగించిన స్క్రిప్టింగ్; పెద్ద డేటాసెట్‌లను సమర్థవంతంగా ప్రాసెస్ చేయడానికి మరియు అంతర్దృష్టులను రూపొందించడానికి బిగ్-డేటా అనలిటిక్స్ సాధనాలు ఉపయోగించబడ్డాయి.

5. ఫలితాల విశ్లేషణ

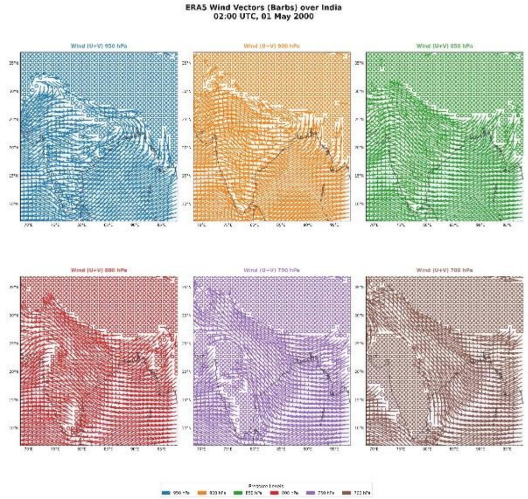
నాలుగు కాలానుగుణ సమూహాలలో బహుళ పీడన స్థాయిలలో సమగ్ర పవన డేటా విశ్లేషణ జోనల్ (U) మరియు మెరిడియల్ (V) పవన భాగాలలో విభిన్న నమూనాలను వెల్లడించింది. ప్రతి పీడన స్థాయిలో గాలి వెక్టర్ల కాలానుగుణ సగటు గాలి వేగం మరియు దిశలో స్పష్టమైన వైవిధ్యాలను ప్రదర్శించింది, ఇది కాలానుగుణ వాతావరణ ప్రసరణ ప్రభావాన్ని సూచిస్తుంది. రుతుపవన కాలంలో, తక్కువ పీడన స్థాయిలలో (700-850 hPa) బలమైన దక్షిణ పశ్చిమ గాలులు స్పష్టంగా కనిపించాయి, రుతుపవన ప్రసరణల ప్రారంభం మరియు పురోగతికి అనుగుణంగా ఉన్నాయి. రుతుపవన పూర్వ కాలాలు గాలి నమూనాల క్రమంగా తీవ్రతను చూపించాయి, అయితే వేసవి కాలం పరివర్తన దశను ప్రతిబింబిస్తూ సాపేక్షంగా తక్కువ పరిమాణంతో మరింత విస్తరించిన పవన దిశలను ప్రదర్శించాయి. శీతాకాల నమూనాలు అధిక పీడన స్థాయిలలో ఆధిపత్య ఉత్తర మరియు ఉత్తర పశ్చిమ ప్రవాహాలను ప్రదర్శించాయి, ఇది శీతాకాల రుతుపవన ప్రసరణను సూచిస్తుంది.

20 సంవత్సరాలలో గంట-గంట మరియు నెల-నెల సగటు ఇంట్రా-సీజనల్ వైవిధ్యంపై అంతర్దృష్టులను అందించింది, సాధారణ కాలానుగుణ వాతావరణ ప్రవర్తనతో సమలేఖనం చేయబడిన గరిష్ట గాలి కార్యకలాపాల కాలాలను హైలైట్ చేసింది . ఈ నమూనాల ప్రాదేశిక విజువలైజేషన్ పునరావృత పవన కలయిక మరియు వైవిధ్యం యొక్క ప్రాంతాలను గుర్తించింది, ఇవి తెలిసిన రుతుపవనాల డైనమిక్స్ మరియు ప్రాంతీయ వాతావరణ దృగ్విషయాలతో పరస్పర సంబంధం కలిగి ఉంటాయి. ఈ ధోరణుల యొక్క బహుళ-సంవత్సరాల స్థిరత్వం ERA5 డేటాసెట్ నుండి తీసుకోబడిన కాలానుగుణ పవన నమూనాల విశ్వసనీయతను నొక్కి చెబుతుంది మరియు వివరణాత్మక విజువలైజేషన్‌లు తదుపరి వాతావరణ మోడలింగ్ మరియు వాతావరణ అధ్యయనాలకు విలువైన సాధనాలుగా పనిచేస్తాయి.

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025

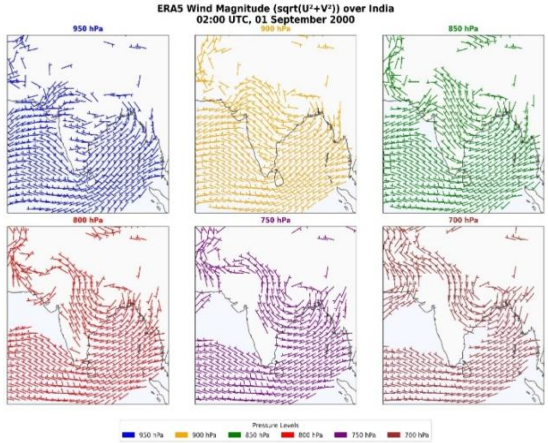
నాణ్యత తనిఖీలు:

ముందు



చిత్రం 2

తర్వాత



చిత్రం 3

ISSN: 2583-9055

ఇక్కడ, fig.2 నిజమైన వాతావరణ నమూనాను అస్పష్టం చేసే తప్పుడు పవన వెక్టర్ విలువలను కలిగి ఉంది. fig.3 సరిదిద్దబడిన డేటాను సూచిస్తుంది, అవసరమైన నాణ్యత నియంత్రణ విధానాన్ని వర్తింపజేసిన తర్వాత పవన క్షేత్రం యొక్క సమగ్రత మరియు పొందికను ప్రదర్శిస్తుంది.

ముగింపు

ఈ అధ్యయనం భారతదేశంలో బహుళ పీడన స్థాయిలలో కాలానుగుణ పవన వైవిధ్యాన్ని విశ్లేషించడానికి ఒక సమగ్ర పద్ధతిని విజయవంతంగా అభివృద్ధి చేసింది, బహుళ-దశాబ్ద ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించుకుంది. 20 సంవత్సరాల డేటాను నాలుగు విభిన్న రుతువులుగా వర్గీకరించడం ద్వారా మరియు గంట మరియు నెలవారీ ప్రాతిపదికన గాలి నమూనాలను సగటున లెక్కించడం ద్వారా, మేము వివరణాత్మక కాలానుగుణ మరియు అంతర్-కాలిక ప్రసరణ ప్రవర్తనలను సంగ్రహించాము. ఫలితాలు భారత రుతుపవనాలు మరియు కాలానుగుణ పరివర్తనలతో అనుబంధించబడిన స్థిరపడిన వాతావరణ ప్రసరణ నమూనాలను పునరుద్ఘాటిస్తున్నాయి, అదే సమయంలో ప్రాంతీయ పవన డైనమిక్స్‌పై అవగాహనను పెంచే అధిక-రిజల్యూషన్ విజువలైజేషన్‌లను కూడా అందిస్తున్నాయి. వాతావరణ పరిశోధన, వాతావరణ అంచనా మరియు స్థిరమైన శక్తి ప్రణాళికను తెలియజేయడానికి అధునాతన విజువలైజేషన్ పద్ధతులతో కలిపి పెద్ద-స్థాయి వాతావరణ డేటాసెట్‌ల సామర్థ్యాన్ని ఈ విధానం ప్రదర్శిస్తుంది. ఉష్ణోగ్రత మరియు తేమ వంటి అదనపు వేరియబుల్స్‌ను చేర్చడానికి మరియు దీర్ఘకాలిక ప్రమాణాలపై కాలానుగుణ పవన నమూనాలపై వాతావరణ మార్పు ప్రభావాలను అన్వేషించడానికి భవిష్యత్ పని ఈ ఫ్రేమ్‌వర్క్‌ను విస్తరించగలదు.

ప్రస్తావనలు

1. హెర్స్‌బాచ్ , హెచ్., మరియు ఇతరులు (2020). "ERA5 గ్లోబల్ రీఅనాలిసిస్. "ఈ పత్రం ECMWF రీఅనాలిసిస్ డేటాసెట్‌ల యొక్క ఐదవ తరం ERA5 ను పరిచయం చేస్తుంది, ఇది ప్రపంచవ్యాప్తంగా అధిక-రిజల్యూషన్ వాతావరణం మరియు వాతావరణ డేటాను అందిస్తుంది. ఇది డేటా సమీకరణ పద్ధతులు, రిజల్యూషన్ మరియు వాతావరణ పరిశోధనలో అనువర్తనాలను చర్చిస్తుంది.
2. సాహా, SK, మరియు ఇతరులు. (2014). "NCEP వాతావరణ సూచన వ్యవస్థ పునః విశ్లేషణ." NCEP/NCAR పునః విశ్లేషణపై దృష్టి సారించినప్పటికీ, ఈ పని వివిధ పునః విశ్లేషణ డేటాసెట్‌లను పోల్చి చూస్తుంది, గాలి విశ్లేషణతో సహా వాతావరణం మరియు వాతావరణ అధ్యయనాలకు వాటి ప్రాముఖ్యతను నొక్కి చెబుతుంది.

CC BY

3. శర్మ, ఎస్., మరియు ఇతరులు (2014). "భారతదేశంపై గాలి వైవిధ్యం మరియు భారత వేసవి రుతుపవనాలతో దాని సంబంధం." ఈ అధ్యయనం పీడన స్థాయి పవన నమూనాలపై దృష్టి సారించి, పరిశీలన మరియు పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి గాలి వైవిధ్యం మరియు భారత వేసవి రుతుపవనాలపై దాని ప్రభావాన్ని విశ్లేషిస్తుంది.
4. కుమార్, కెకె, మరియు ఇతరులు (2019). "హిందూ మహాసముద్రం మరియు భారత ఉపఖండంలో గాలి నమూనాల కాలానుగుణ మరియు వార్షిక వైవిధ్యం." ఈ పత్రం హిందూ మహాసముద్రం మరియు భారత భూభాగంపై కాలానుగుణ గాలి వైవిధ్యాన్ని చర్చిస్తుంది, వాతావరణ అధ్యయనాలకు పీడన-స్థాయి పవన విశ్లేషణ యొక్క ప్రాముఖ్యతను నొక్కి చెబుతుంది.
5. ధార్, ఓ., మరియు ఇతరులు. (2018). "భారతదేశంలో వాతావరణ వైవిధ్యం మరియు మార్పు: ఒక సమీక్ష." భారతదేశంలో గాలి మరియు రుతుపవనాల నమూనాలతో సహా వాతావరణ వైవిధ్యాన్ని కవర్ చేసే సమగ్ర సమీక్ష, వివిధ డేటాసెట్‌లు మరియు మోడలింగ్ విధానాలను సమగ్రపరచడం.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 65-71

Spatio - temporal variability in wind patterns over India using the big-data analytics on multi-decadal re-analysis products

B. Madhuri[1], Prof G. Anjan Babu[2], G. Mohana Priya[3*]

Department of Computer Science, Sri Venkateswara University, Tirupati – 517502. National Atmospheric Research Laboratory, Gadanki – 517112.
Corresponding Author *: mohanapriya88024@gmail.com

Abstract

The wind circulation over Indian sub-continent is driven by the differential heating and cooling of the landmass and the ocean. There are two main monsoon seasons: the Southwest Monsoon in summer and the Northeast Monsoon in winter. This circulation is also influenced by global factors like Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ), jet streams and local winds. Wind patterns in India, dominated by the monsoon system, are vital for the country's climate, agriculture, and economy. The seasonal reversal of these winds dictates wet and dry seasons, profoundly influencing water resources, food security, and power generation. ERA5 is a global atmospheric reanalysis dataset that provides estimates of wind vectors at several pressure levels, a crucial parameter for atmospheric studies. Thus, this study investigates the spatial and temporal trends of wind patterns over the Indian subcontinent using ERA5 reanalysis data spanning 2000 to 2019.

Wind circulation was examined through the U-component (zonal wind, east–west) and V-component (meridional wind, north–south), which together define the horizontal wind vector. Assessing these components across pressure levels provides insights into large scale circulation, monsoon variability, and regional climate processes. To capture the vertical structure, multi-level wind data between 500–1000 hPa were analysed, representing the middle to lower troposphere. Hourly ERA5 datasets were processed to extract wind fields, and barbs were employed for visualization of both wind speed and direction. The big-data analytics are implemented on the re-analysis products to address the variability of wind patterns in different locations and over various time scales. The findings enhanced the understanding of wind climatology and provide valuable inputs for monsoon prediction, aviation, renewable energy planning, and regional climate adaptation strategies.

CC BY

Keywords: Big-Data analytics, Re-analysis data products, Spatio-temporal trends, Wind patterns over India.

1. Introduction

India's climate and economy are profoundly influenced by its complex wind circulation patterns, primarily governed by the monsoon system. The monsoons, characterized by seasonal reversals in wind direction, bring vital rainfall during summer (Southwest Monsoon) and influence dry conditions during winter (Northeast Monsoon). These wind patterns are driven by differential heating between the landmass and adjoining oceans and are modulated by global atmospheric phenomena such as the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ), jet streams, and local wind systems.

Understanding the spatio-temporal variability of these wind patterns is essential for multiple sectors, including agriculture, water resource management, renewable energy, and disaster preparedness. With the advent of advanced reanalysis datasets like ERA5, which offer high-resolution, multi-decadal atmospheric data, researchers can now analyse large volumes of data to discern patterns and trends that were previously difficult to quantify.

This study leverages big-data analytics techniques to analyse ERA5 reanalysis data spanning over two decades (2000–2019), focusing on the variability of wind vectors at different pressure levels across India as in fig.1. By examining the zonal and meridional components of wind, this research aims to deepen the understanding of the spatial and temporal dynamics of wind circulation, which are crucial for improving monsoon prediction, climate modelling, and planning for renewable energy projects.

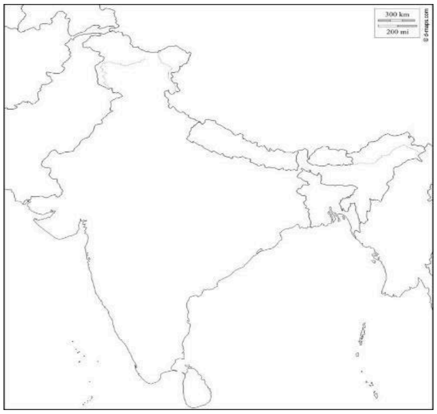


Fig.1

CC BY

Research Objectives and Methodology

1. To analyse the spatio-temporal variability of wind patterns over India, using ERA5 reanalysis data from 2000 to 2019, focusing on both seasonal and inter annual scales.
2. To investigate the vertical structure of wind circulation between 500 and 1000 hPa pressure levels, capturing the behaviour of winds in the middle to lower troposphere.
3. To identify notable trends and changes in wind speed and direction across different regions and time periods, utilizing big-data analytics techniques for efficient processing and visualization.
4. To assess the implications of wind variability for monsoon dynamics, regional climate variability, and associated socio-economic factors such as agriculture, water resources, and renewable energy potential.
5. To provide insights and data-driven inputs that can enhance monsoon forecasting, regional climate adaptation strategies, and renewable energy planning initiatives in India.

2. Literature Survey

The research's key innovation lies in seasonally stratifying 20 years of data into four distinct climatic periods: monsoon, pre-monsoon, summer, and winter. It computes and visualizes high-resolution average wind patterns for each hour of every month at multiple pressure levels. This granular, season-specific approach moves beyond typical broad trend analyses, providing detailed insights into intra- and inter-seasonal wind variability.
The visualizations will elucidate the vertical structure of wind fields and complex spatial-temporal patterns over the Indian subcontinent. These detailed findings hold significant implications for enhancing the accuracy of climate modelling, improving monsoon prediction capabilities, and informing renewable energy planning. The study thus offers a comprehensive, data-driven methodology that substantially advances existing knowledge of regional atmospheric dynamics

3. Methodology

In this study, ERA5 monthly averaged reanalysis data for pressure levels from 1940 to present was utilized, with a focus on the period from 2000 to 2019. The data included zonal (U) and meridional (V) wind components at specific pressure levels (700, 750, 800, 850, 900, 950 hPa). For each year and pressure level, wind vector data were processed to generate corresponding visualizations (PNG files) depicting wind speed and direction. The data spanning 20 years were

CC BY

then categorized into four seasonal groups: monsoon, pre-monsoon, summer, and winter. Within each group, the wind data were further aggregated to compute average wind patterns for each hour of each month across all years in that group, enabling a detailed analysis of seasonal and intra-annual variability.

4. Experimental Setup and Implementation

Data Acquisition: Downloaded ERA5 monthly averaged wind data (U and V components) at specified pressure levels (700-950 hPa) for the period 2000–2019.
Data Processing: Extracted U and V components, combined to form wind vectors, and visualized as PNG images for each year and pressure level.
Seasonal Grouping: Sorted the data into four seasonal categories—monsoon, pre-monsoon, summer, and winter—based on the month.
Averaging: For each season, computed the mean U and V wind components for every hour of each month, across all years within that season, to obtain representative seasonal wind patterns.
Analysis: Analysed the resulting averaged wind vectors to identify patterns, trends, and variability across different seasons and pressure levels.
Tools and Technologies: Utilized scripting for data handling, averaging, and visualization; big-data analytics tools were employed to efficiently process large datasets and generate insights.

5. Result Analysis

The analysis of the aggregated wind data at multiple pressure levels across the four seasonal groups revealed distinct patterns in the zonal (U) and meridional (V) wind components. The seasonal averaging of wind vectors at each pressure level demonstrated pronounced variations in wind speed and direction, indicating the influence of seasonal atmospheric circulation. During the monsoon season, strong south westerly winds at lower pressure levels (700-850 hPa) were apparent, consistent with the onset and progression of monsoon circulations. Pre-monsoon periods showed a gradual intensification of wind patterns, while the summer season exhibited more diffused wind directions with relatively lower magnitudes, reflecting the transition phase. Winter patterns displayed dominant northerly and north westerly flows at higher pressure levels, indicative of the winter monsoon circulation.
The hour-by-hour and month-by-month averaging across 20 years provided insights into intra-seasonal variability, highlighting periods of maximum wind activity aligned with typical

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 65-71

seasonal climate behaviour. Spatial visualization of these patterns identified regions of recurrent wind convergence and divergence, which correlate with known monsoon dynamics and regional climate phenomena. The multi-year consistency of these trends underscores the reliability of the seasonal wind patterns derived from the ERA5 dataset, and the detailed visualizations serve as valuable tools for further climate modelling and atmospheric studies.

Quality checks:

Before

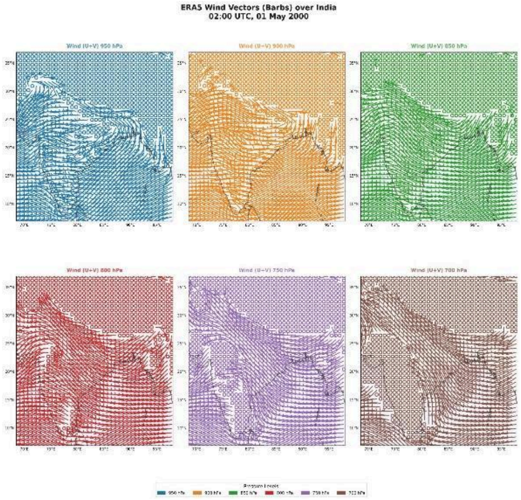


Fig.2

After

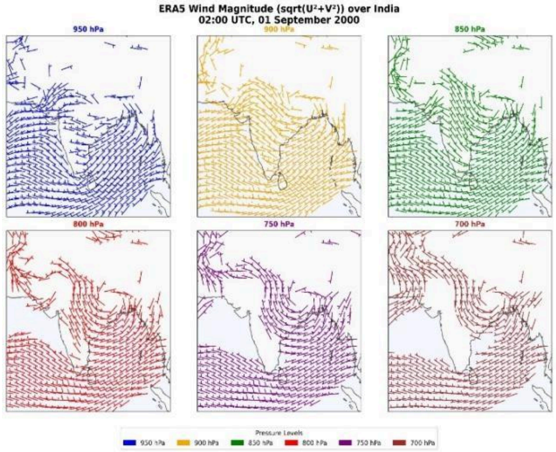


Fig.3

CC BY

Here, fig.2 contains erroneous wind vector values that obscured the true atmospheric pattern. fig.3 represents the corrected data, demonstrating the integrity and coherence of the wind field after a necessary quality control procedure was applied.

Conclusion

This study successfully developed a comprehensive methodology for analysing seasonal wind variability at multiple pressure levels over India, utilizing multi-decadal ERA5 reanalysis data. By grouping 20 years of data into four distinct seasons and averaging wind patterns on an hourly and monthly basis, we captured detailed seasonal and intra-seasonal circulation behaviours. The results reaffirm established atmospheric circulation patterns associated with the Indian monsoon and seasonal transitions, while also providing high-resolution visualizations that enhance understanding of regional wind dynamics. The approach demonstrates the potential of large-scale climate datasets combined with advanced visualization techniques to inform climate research, weather prediction, and sustainable energy planning. Future work can extend this framework to incorporate additional variables, such as temperature and humidity, and explore climate change impacts on seasonal wind patterns over longer temporal scales.

References

1. Hersbach, H., et al. (2020). "The ERA5 global reanalysis. "This paper introduces ERA5, the fifth generation of ECMWF reanalysis datasets, providing high-resolution climate and weather data globally. It discusses data assimilation techniques, resolution, and applications in climate research.
2. Saha, S. K., et al. (2014). "The NCEP Climate Forecast System Reanalysis." Although focused on NCEP/NCAR reanalysis, this work compares various reanalysis datasets, emphasizing their importance for climate and atmospheric studies, including wind analysis.
3. Sharma, S., et al. (2014). "Wind variability over India and its relationship with Indian summer monsoon." This study analyzes wind variability and its impact on the Indian summer monsoon using observational and reanalysis data, focusing on pressure level wind patterns.
4. Kumar, K. K., et al. (2019). "Seasonal and interannual variability of wind patterns over the Indian Ocean and Indian subcontinent. "The paper discusses seasonal wind variability over the Indian Ocean and Indian landmass, emphasizing the importance of pressure-level wind analysis for climate studies.
5. Dhar, O., et al. (2018). "Climate variability and change over India: a review." A comprehensive review covering climate variability, including wind and monsoon patterns over India, integrating various datasets and modeling approaches.