The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

Spatio - temporal variability in the Planetary Boundary Layer over India using the big-data analytics on multi-year re-analysis data

B. Vasavi[1], J. Sahithya[2], Prof G. Anjan Babu[3]
1 Department of Computer Science, Sri Venkateswara University, Tirupati – 517502.
2 National Atmospheric Research Laboratory, Gadanki – 517112.
Corresponding Author *: vasavi.ballolu@gmail.com

గ్రహ సరిహద్దు పొరలో స్పాటియో - తాత్కాలిక వైవిధ్యం భారతదేశం ఉపయోగించి ది బిగ్-డేటా విశ్లేషణలు ఆన్ బహుళ-సంవత్సరాల పునః విశ్లేషణ డేటా

బి. వాసవి [1] , జె. సాహిత్య [2] , ప్రొఫెసర్ జి. అంజన్ బాబు [3]
1 విభాగం యొక్క కంప్యూటర్ సైన్స్, శ్రీ వెంకటేశ్వర విశ్వవిద్యాలయం, తిరుపతి – 517502.
2 జాతీయ వాతావరణం పరిశోధన ప్రయోగశాల, గడంకి – 517112.
సంబంధిత రచయిత *: vasavi.ballolu@gmail.com

సారాంశం:

గ్రహసంబంధమైన సరిహద్దు పొర ఎత్తు సూచిస్తుంది కు ది లోతు యొక్క ది అత్యల్ప పొర యొక్క ది వాతావరణం, ఇది భూమి ఉపరితల ప్రక్రియలైన ఘర్షణ, వేడి మరియు తేమ ద్వారా ప్రత్యక్షంగా ప్రభావితమవుతుంది. ఈ ఎత్తు స్థిరంగా ఉండదు; ఇది రోజు మరియు రుతువు సమయాన్ని బట్టి గణనీయంగా మారుతుంది,
వెచ్చని, ఎండ రోజులలో గరిష్ట స్థాయికి మరియు చల్లని రాత్రులలో కనిష్ట స్థాయికి చేరుకుంటుంది. సరిహద్దు పొర ఎత్తులో వ్యత్యాసాలు వాతావరణంలో కాలుష్య కారకాలు మరియు తేమ యొక్క నిలువు వ్యాప్తిని ప్రభావితం చేస్తాయి. భారత ఉపఖండం యొక్క అత్యంత వైవిధ్యమైన స్థలాకృతి కారణంగా, వాతావరణ మార్పు సమస్యల దృష్ట్యా గ్రహ సరిహద్దు పొర ఎత్తు (PBLH) యొక్క వైవిధ్యాన్ని అర్థం చేసుకోవడం ఆసక్తికరంగా ఉంది. ERA5 అనేది వాతావరణ అంచనాలను అందించే ప్రపంచ వాతావరణ పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్. సరిహద్దు పొర ఎత్తు (బిఎల్‌హెచ్), ఒక కీలకమైన పరామితి కోసం వాతావరణ సంబంధిత అధ్యయనాలు, కానీ దాని ఖచ్చితత్వం మారుతుంది గణనీయంగా ద్వారా స్థానం మరియు సమయం యొక్క రోజు, తరచుగా అతిగా అంచనా వేయడం పగటిపూట రాత్రిపూట స్థిరమైన పొరలకు బాగా పనిచేసేటప్పుడు BLH లు శీతాకాలంలో. అయితే ERA5 నింపుతుంది దీర్ఘకాలిక BLH డేటాలో పరిశీలనలు లేని కీలకమైన అంతరం, అధ్యయనాలు

CC BY

స్థిరంగా దాని అంచనాలకు ధ్రువీకరణ అవసరమని మరియు సీలోమీటర్లు, రేడియోసోండ్‌లు మరియు త్వరలో, ముఖ్యంగా సంక్లిష్ట భూభాగం లేదా నిర్దిష్ట వాతావరణం ఉన్న ప్రాంతాలలో పరిశీలనాత్మక డేటాను ఉపయోగించి దిద్దుబాట్ల నుండి ప్రయోజనం పొందవచ్చని చూపిస్తున్నాయి. పరిస్థితులు, అటువంటి గా ది అమెజాన్, ఆర్కిటిక్ సముద్రపు మంచు, పారిశ్రామిక ప్రాంతాలు మరియు భారత ప్రాంతం. అందువల్ల, ఈ అధ్యయనం 2000 నుండి 2019 వరకు దాదాపు నాలుగు దశాబ్దాలుగా విస్తరించి ఉన్న ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి భారత ఉపఖండంలో PBLH యొక్క ప్రాదేశిక మరియు తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని పరిశీలిస్తుంది. PBLH ని సంగ్రహించడానికి గంటవారీ ERA5 డేటాసెట్‌లు ప్రాసెస్ చేయబడ్డాయి మరియు వివిధ ప్రదేశాలలో మరియు వివిధ సమయ ప్రమాణాలలో సరిహద్దు పొర యొక్క వైవిధ్యాన్ని పరిష్కరించడానికి పునఃవిశ్లేషణ ఉత్పత్తులపై పెద్ద-డేటా విశ్లేషణలు అమలు చేయబడ్డాయి. బహుళ-స్థాయి గణాంక మూల్యాంకనంతో అధిక-రిజల్యూషన్ పునఃవిశ్లేషణ డేటాను సమగ్రపరిచే మిశ్రమ విధానం, భారత ఉపఖండం అంతటా PBLH యొక్క దీర్ఘకాలిక ప్రాదేశిక మరియు తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని వెల్లడిస్తుంది. ఈ ఫలితాలు వాతావరణ మోడలింగ్, వాతావరణ వైవిధ్య అధ్యయనాలు, పట్టణ గాలి నాణ్యత అంచనాలు మరియు పునరుత్పాదక ఇంధన ప్రణాళికలకు ముఖ్యమైన చిక్కులను కలిగి ఉన్నాయి, అదే సమయంలో వేగంగా మారుతున్న వాతావరణంలో సరిహద్దు పొర డైనమిక్స్‌పై మెరుగైన అవగాహనకు దోహదం చేస్తాయి.

కీలకపదాలు: బిగ్-డేటా విశ్లేషణలు, పునః విశ్లేషణ డేటా ఉత్పత్తులు, స్పాటియో-టెంపోరల్ పోకడలు, భారతదేశం పైన గ్రహ సరిహద్దు పొర ఎత్తు

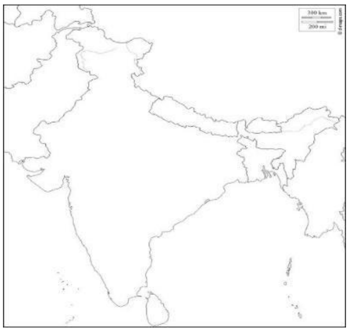
1. పరిచయం:

గ్రహ సరిహద్దు పొర (PBL) వాతావరణంలోని అత్యల్ప భాగం మరియు నియంత్రించడంలో కీలక పాత్ర పోషిస్తుంది ఎలా వేడి, తేమ, వాయువులు, మరియు కాలుష్య కారకాలు కదలండి మధ్య ది ఉపరితలం మరియు ది ఆకాశం. దాని ఎత్తు (PBLH) బలంగా గాలిని ప్రభావితం చేస్తుంది నాణ్యత మరియు వాతావరణం పరిస్థితులు, ముఖ్యంగా భారతదేశం వంటి భౌగోళికంగా సంక్లిష్టమైన దేశంలో. 2000–2009 దశాబ్దంలో, భారతదేశం వేగవంతమైన పట్టణ వృద్ధి, పారిశ్రామికీకరణ మరియు పెరుగుతున్న వాహన వినియోగాన్ని చవిచూసింది, ఇది వాయు కాలుష్య స్థాయిలను గణనీయంగా ప్రభావితం చేసింది.
శీతాకాలాలు లో ఇది కాలం తరచుగా చూపించాడు లోతులేని పిబిఎల్హెచ్, ముఖ్యంగా పైగా ది ఇండో-గంగా నది సాదా, తీవ్రమైన పొగమంచు మరియు పొగమంచు సంఘటనలకు దారితీస్తుంది. అదే సమయంలో, వేసవి మరియు వర్షాకాలం ముందు నెలల్లో బలమైన వేడి కారణంగా PBLH లోతుగా ఉంది, ఇది మిశ్రమాన్ని మెరుగుపరిచింది కానీ కాలుష్య కారకాలను వాతావరణంలోకి ఎక్కువగా తీసుకువెళ్లింది. పైథాన్ ఆధారిత బిగ్-డేటా విశ్లేషణతో కలిపి (2000–2009) కోసం ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించడం, భారతదేశం అంతటా PBLH లో రోజువారీ, కాలానుగుణ మరియు వార్షిక వైవిధ్యాలను సంగ్రహించడానికి

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

సహాయపడుతుంది. ఈ కేంద్రీకృత దశాబ్దం పట్టణీకరణ మరియు వాతావరణ ప్రక్రియలు కలిసి గాలి నాణ్యత మరియు సరిహద్దు పొర డైనమిక్‌లను ఎలా రూపొందించాయో విలువైన అంతర్దృష్టులను అందిస్తుంది. గత కాలుష్య సవాళ్లను అర్థం చేసుకోవడానికి మరియు భారతదేశంలో స్థిరమైన నగర ప్రణాళిక మరియు వాతావరణ అనుసరణ కోసం వ్యూహాలను రూపొందించడానికి ఫలితాలు ముఖ్యమైనవి.



చిత్రం 1

పరిశోధన లక్ష్యాలు మరియు పద్ధతి:

- **మ్యాపింగ్ పిబిఎల్హెచ్** – కు చదువు మరియు మ్యాప్ ఎలా ది గ్రహసంబంధమైన సరిహద్దు పొర ఎత్తు ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి భారతదేశంలోని వివిధ ప్రాంతాలలో (PBLH) మార్పులు.
- **సీజనల్ & ప్రతిరోజు వైవిధ్యాలు** – కు విశ్లేషించండి ఎలా పిబిఎల్హెచ్ ప్రవర్తిస్తుంది సమయంలో భిన్నమైన ఋతువులు (శీతాకాలం, వర్షాకాలం ముందు, వర్షాకాలం, వర్షాకాలం తర్వాత) మరియు రోజులోని సమయాలు.
- **డేటా ప్రాసెసింగ్ తో పైథాన్** – కు ఉపయోగం పైథాన్ ఆధారిత బిగ్-డేటా ఉపకరణాలు కోసం నిర్వహణ ERA5 డేటా, కీలక సమాచారాన్ని సంగ్రహించడం మరియు గ్రాఫ్‌లు, మ్యాప్‌లు మరియు సమయ శ్రేణి ప్లాట్‌లను సృష్టించడం.
- **పట్టణ & ప్రాంతీయ ధోరణులు** – ప్రాంతాల మధ్య PBLH లో తేడాలను గుర్తించడానికి, ముఖ్యంగా పైగా పట్టణ, పారిశ్రామిక, మరియు భూ వినియోగం మార్పు ప్రాంతాలు, ఎక్కడ కాలుష్యం మరియు వేడి ప్రధాన కారకాలు.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

2. సాహిత్యం సర్వే

వాతావరణ డైనమిక్స్, గాలి నాణ్యత మరియు వాతావరణ ప్రక్రియలలో ప్లానెటరీ బౌండరీ లేయర్ (PBL) కీలక పాత్ర పోషిస్తుంది. స్టల్ (1988) మరియు గారట్ (1994) చేసిన ప్రారంభ అధ్యయనాలు PBL నిర్మాణం మరియు దాని వర్గీకరణను స్థిరమైన, ఉష్ణప్రసరణ మరియు తటస్థ రకాలుగా ప్రాథమిక అవగాహనను అందించాయి. ఇటీవలి పరిశోధన పరిశీలనలు, నమూనాలు మరియు పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్‌లను ఉపయోగించి PBL యొక్క స్పాటియో-టెంపోరల్ వైవిధ్యాన్ని నొక్కి చెబుతుంది. భారతదేశంపై అధ్యయనాలు PBL ఎత్తులో బలమైన కాలానుగుణ మరియు ప్రాంతీయ తేడాలను హైలైట్ చేశాయి రుతుపవనాల డైనమిక్స్ మరియు భూ వినియోగ నమూనాలు. నమూనాల నుండి PBL అంచనాలను ధృవీకరించడానికి రేడియోసోండే మరియు లిడార్ ఆధారిత పరిశీలనలు విస్తృతంగా ఉపయోగించబడుతున్నాయి. ERA5 వంటి పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్‌లు అధిక ప్రాదేశిక మరియు తాత్కాలిక రిజల్యూషన్ వద్ద PBL ధోరణులను దీర్ఘకాలికంగా పర్యవేక్షించడానికి వీలు కల్పిస్తాయి. బిగ్-డేటా విశ్లేషణలు మరియు యంత్రం నేర్చుకోవడం విధానాలు ఉన్నాయి పెరుగుతున్న వర్తింపజేయబడింది కు సంక్లిష్టమైన PBL వైవిధ్యాన్ని సంగ్రహించండి. అనేక అధ్యయనాలు PBL డైనమిక్స్‌ను పట్టణీకరణ, ఉపరితల ఉష్ణోగ్రతతో అనుసంధానించాయి క్రమరాహిత్యాలు, మరియు ఏరోసోల్ లోడింగ్. పురోగతి ఉన్నప్పటికీ, సమగ్రమైనది భారతదేశంపై బహుళ-సంవత్సరాల విశ్లేషణలు పరిమితంగా ఉన్నాయి, ముఖ్యంగా పెద్ద-డేటా పద్ధతులను సమగ్రపరచడం. ఇది ప్రస్తుత అధ్యయనాన్ని క్రమపద్ధతిలో విశ్లేషించడానికి ప్రేరేపిస్తుంది బహుళ-సంవత్సరాల పునఃవిశ్లేషణ డేటాసెట్‌లను ఉపయోగించి స్పాటియో-టెంపోరల్ PBL వేరియబిలిటీ .

3. పద్ధతి

ఈ అధ్యయనం గ్రహ సరిహద్దు పొర (PBL) యొక్క ప్రాదేశిక-తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని పరిశీలిస్తుంది భారతదేశం ఉపయోగించి బహుళ-సంవత్సరాల పునః విశ్లేషణ డేటాసెట్‌లు. అధిక రిజల్యూషన్ పునః విశ్లేషణ డేటా నుండి మూలాలు ERA5 లాగా దీర్ఘకాలిక ధోరణులు మరియు కాలానుగుణ వైవిధ్యాలను సంగ్రహించడానికి ఉపయోగిస్తారు. పైథాన్ ఆధారిత డేటా ప్రాసెసింగ్ మరియు సమాంతర గణనతో సహా బిగ్-డేటా విశ్లేషణ పద్ధతులు పెద్ద డేటాసెట్‌లను సమర్థవంతంగా నిర్వహించడానికి వర్తించబడతాయి. PBL ఎత్తును ఉష్ణోగ్రత, తేమ మరియు గాలి ప్రొఫైల్స్ వంటి ప్రామాణిక వాతావరణ పారామితులను ఉపయోగించి లెక్కించబడుతుంది. ప్రాదేశిక వివిధ భారతీయ ప్రాంతాలలో జియోస్టాటిస్టికల్ మరియు ఇంటర్‌పోలేషన్ పద్ధతులను ఉపయోగించి PBL వైవిధ్యాల మ్యాపింగ్ నిర్వహించబడుతుంది.

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

తాత్కాలిక విశ్లేషణలో నెలవారీ, కాలానుగుణ మరియు అంతర్-వార్షిక వైవిధ్య అంచనాలు ఉంటాయి. మాన్-కెండాల్ మరియు సెన్ వాలు విశ్లేషణ వంటి గణాంక పద్ధతులను ఉపయోగించి ట్రెండ్ గుర్తింపును నిర్వహిస్తారు. సహసంబంధం అధ్యయనాలు నిర్వహించబడతాయి ఉపరితల ఉష్ణోగ్రత, వృక్షసంపద మరియు పట్టణీకరణ ఆన్ పిబిఎల్ డైనమిక్స్. విజువలైజేషన్ ఉపకరణాలు అటువంటి గా GIS తెలుగు in లో మ్యాపింగ్ మరియు ప్రభావవంతమైన ప్రాతినిధ్యం కోసం హీట్‌మ్యాప్‌లను ఉపయోగిస్తారు. చివరగా, విశ్వసనీయతను నిర్ధారించడానికి పరిశీలనాత్మక రేడియోసోండే మరియు ఫ్లక్స్ టవర్ కొలతలకు వ్యతిరేకంగా ఫలితాలు ధృవీకరించబడతాయి.

4. ప్రయోగాత్మకమైనది సెటప్ మరియు అమలు

- **డేటా సముపార్జన & ప్రాసెసింగ్:** ERA5 PBLH మరియు వాతావరణ డేటా (2000–2019) ఉన్నాయి డౌన్‌లోడ్ చేయబడింది; స మరియు వ గాలి భాగాలు ఉన్నాయి సంగ్రహించబడింది మరియు క్షితిజ సమాంతర పవన వెక్టర్లను లెక్కించడానికి కలిపి.
- **సీజనల్ వర్గీకరణ:** డేటా ఉన్నాయి సమూహం చేయబడింది లోకి వర్షాకాలం ముందు, వర్షాకాలం, వర్షాకాలం తర్వాత, మరియు శీతాకాలాలు.
- **సగటు & విశ్లేషణ:** గంటలవారీగా పిబిఎల్హెచ్ మరియు గాలి వెక్టర్స్ ఉన్నాయి సగటు కోసం ప్రతి సీజన్; రిగ్రెషన్ మరియు గణాంక పరీక్షలను ఉపయోగించి కాలానుగుణ మరియు వార్షిక ధోరణులను విశ్లేషించారు.
- **ఫీచర్ సహసంబంధం & విజువలైజేషన్:** ఉపరితలం ఉష్ణోగ్రత, వేడి ప్రవాహాలు, మరియు గాలి వేగం PBLH తో పరస్పర సంబంధం కలిగి ఉన్నాయి; పైథాన్ ఉపయోగించి స్పేషియల్ మ్యాప్‌లు మరియు ట్రెండ్ ప్లాట్‌లు రూపొందించబడ్డాయి.
- **డేటా ఆర్కైవ్ చేస్తోంది & ధ్రువీకరణ:** ప్రాసెస్ చేయబడింది సమయం సిరీస్ ఉన్నాయి సేవ్ చేయబడింది గా CSV తెలుగు in లో ఫైళ్ళను మరియు ఖచ్చితత్వాన్ని నిర్ధారించడానికి రేడియోసోండే/ఫ్లక్స్ టవర్ పరిశీలనలతో పోల్చారు.

5. ఫలితం విశ్లేషణ

2000–2019 సంవత్సరానికి ERA5 డేటా విశ్లేషణ భారతదేశంపై PBL ఎత్తు (PBLH)లో గణనీయమైన తాత్కాలిక వైవిధ్యాన్ని వెల్లడించింది. రుతుపవనాలకు ముందు కాలంలో కాలానుగుణ

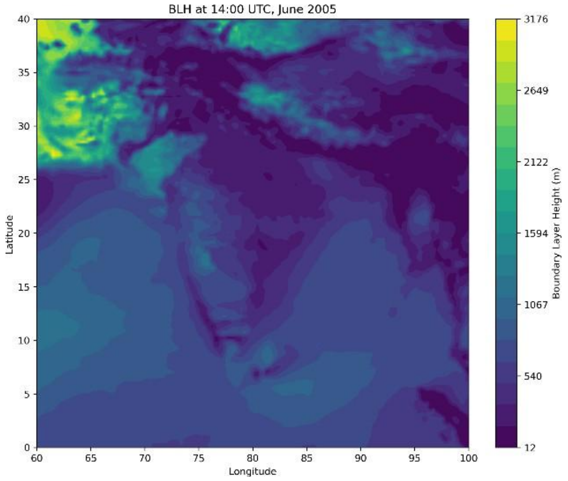
CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

నమూనాలు గరిష్ట PBLH ని చూపించాయి. మరియు వేసవి నెలలు, ముఖ్యంగా పైగా ఉత్తర మైదానాలు మరియు ది ఇండో-గంగా నది మైదానం, శీతాకాలం మరియు వర్షాకాలంలో కనిష్ట ఎత్తులు గమనించబడ్డాయి, ముఖ్యంగా పశ్చిమ కనుమలు మరియు హిమాలయన్ పర్వత పాదాలు. రోజువారీ వైవిధ్యం ఉంది ప్రముఖ, తో పగటిపూట ఉష్ణప్రసరణ మిక్సింగ్ అధిక PBLH కి దారితీస్తుంది మరియు రాత్రిపూట స్థిరత్వం దాని లోతును తగ్గిస్తుంది.

పట్టణీకరణ ప్రాంతాలలో PBLH యొక్క స్వల్ప పెరుగుదల ధోరణిని ఇంటర్ యానిషియల్ ట్రెండ్స్ సూచించాయి, ఇది ఉపరితల తాపన మరియు మానవజన్య ప్రభావాలకు లింక్‌ను సూచిస్తుంది. సహసంబంధ విశ్లేషణ PBLH ఉపరితల ఉష్ణోగ్రత మరియు సున్నితమైన ఉష్ణ ప్రవాహంతో సానుకూలంగా సంబంధం కలిగి ఉందని హైలైట్ చేసింది, అయితే గాలి కోత మరియు గుప్త ఉష్ణ ప్రవాహం మితమైన ప్రభావాన్ని చూపించాయి. ప్రాంతీయ తేడాలు స్పష్టంగా ఉన్నాయి: ది ఇండో-గంగా నది ప్లెయిన్ ప్రదర్శించబడింది అధిక వైవిధ్యం పోల్చబడింది కు దక్షిణ విభిన్న భూ-వాతావరణ పరస్పర చర్యల కారణంగా ద్వీపకల్ప భారతదేశం. రేడియోసోండే పరిశీలనలతో పోలిక మంచి ఒప్పందాన్ని చూపించింది, RMSE విలువలు సాధారణంగా 500 మీటర్ల కంటే తక్కువ ఎత్తులో ఉండటంతో, ERA5 -ఉత్పన్నమైన PBLH ని ధృవీకరిస్తున్నాయి. ట్రెండ్ మ్యాప్‌లు వాయువ్య భారతదేశంలో PBLH లో స్థానికీకరించిన పెరుగుదలను సూచించాయి, అయితే కొన్ని తీరప్రాంత మరియు అటవీ ప్రాంతాలలో తగ్గుతున్న ధోరణులు గమనించబడ్డాయి. మొత్తంమీద, ఫలితాలు కాలానుగుణ, రోజువారీ మరియు ఉపరితల-ఆధారిత కారకాలు ఆన్ పిబిఎల్ డైనమిక్స్. ది కనుగొన్నవి అందించండి విలువైన అంతర్దృష్టులు కోసం వాతావరణ నమూనా తయారీ, గాలి నాణ్యత అంచనా మరియు ప్రాంతీయ వాతావరణ అంచనా.

ముందు

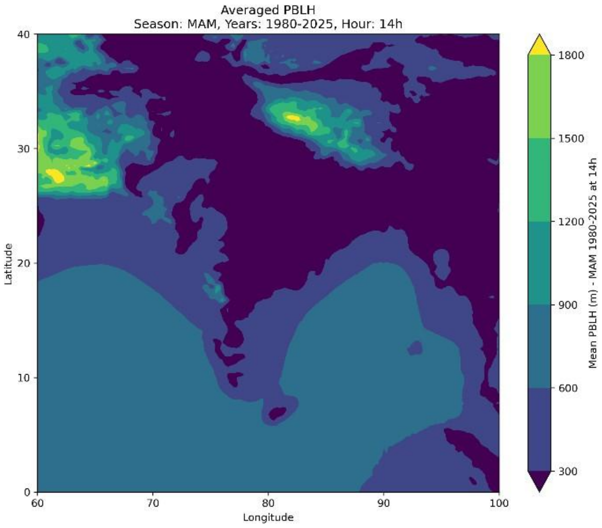


CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 1– 11

చిత్రం 2

తర్వాత



చిత్రం 3

ముగింపు

ఈ అధ్యయనం ప్లానెటరీ యొక్క సమగ్ర వాతావరణ శాస్త్రం మరియు ధోరణి విశ్లేషణను స్థాపించింది 2000 నుండి 2019 వరకు 20 సంవత్సరాల ERA5 పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి భారతదేశంపై బౌండరీ లేయర్ ఎత్తు (PBLH). హై-రిజల్యూషన్ డేటాసెట్‌లు మరియు పైథాన్-ఆధారిత బిగ్-డేటా ఫ్రేమ్‌వర్క్ సమర్థవంతమైన వెలికితీత యొక్క .డాట్ సమయం సిరీస్ మరియు .పిఎన్‌జి విజువలైజేషన్లు. ది ఫలితాలు హైలైట్ చేయబడింది ఒక బలమైన రోజువారీ చక్రం మరియు విభిన్న కాలానుగుణ వైవిధ్యం, వేడి పూర్వ రుతుపవన కాలంలో అత్యధిక PBLH మరియు శీతాకాలంలో అత్యల్పంగా ఉంటుంది. ఈ కాలానుగుణ నమూనాలు ప్రాంతీయ గాలి నాణ్యతను ప్రభావితం చేస్తాయి, స్థిరమైన శీతాకాల పొరల సమయంలో కాలుష్యం పెరగడానికి దోహదం చేస్తాయి. వార్షిక సగటు PBLH (2000–2019) యొక్క లీనియర్ రిగ్రెషన్ పెరుగుతున్న ధోరణిని వెల్లడించింది, ముఖ్యంగా పట్టణ మరియు పారిశ్రామిక ప్రాంతాలలో. +2.5 మీ/సంవత్సరం వరకు ఉన్న ధోరణి, మానవజన్య కార్యకలాపాల ప్రభావాన్ని సూచిస్తుంది. అటువంటి గా పట్టణ వేడి ద్వీపాలు మరియు భూ వినియోగం మార్పులు. సహసంబంధం తో ఉపరితలం ధృవీకరించబడిన ఆస్తులు ఇవి మానవ

ప్రేరేపిత డ్రైవర్లు. ది చదువు ప్రదర్శిస్తుంది ది దృఢత్వం యొక్క దీర్ఘకాలిక వాతావరణ అధ్యయనాల కోసం పైథాన్ ఆధారిత ప్రాసెసింగ్‌తో అధిక-రిజల్యూషన్ పునఃవిశ్లేషణను కలపడం. వాతావరణం మరియు గాలి నాణ్యత నమూనాలలో PBL పారామిటరైజేషన్‌లకు ఈ పరిశోధనలు కీలకమైన అడ్డంకులను అందిస్తాయి. మొత్తంమీద, ది ఫలితాలు ఆఫర్ ముఖ్యమైన అంతర్దృష్టులు కు గైడ్ స్థిరమైన పట్టణ ప్రణాళిక మరియు భారతదేశంలో కాలుష్య తగ్గింపు వ్యూహాలు.

ప్రస్తావనలు

1. స్టల్, ఆర్. బి. (1988). *ఒక పరిచయం కు సరిహద్దు పొర వాతావరణ శాస్త్రం* . క్లూవర్ విద్యాసంబంధమైనది ప్రచురణకర్తలు.
2. హోల్జ్‌వర్త్, జి. సి. (1972) *మిక్సింగ్ లోతులు, గాలి వేగం, మరియు సంభావ్యత కోసం పట్టణ గాలి కాలుష్యం అంతటా పక్కనే ఉన్న యునైటెడ్ స్టేట్స్* . ఎన్విరాన్‌మెంటల్ ప్రొటెక్షన్ ఏజెన్సీ, ఆఫీస్ ఆఫ్ ఎయిర్ ప్రోగ్రామ్స్.
3. పాళీ, ఎన్., & శర్మ, ఎ. (2018). అంతర్-పోలిక యొక్క పిబిఎల్ ఎత్తు నుండి భిన్నమైన పునః విశ్లేషణ డేటాసెట్‌లు మరియు భారత రుతుపవన ప్రాంతంపై రేడియోసోండే ఉపయోగించి దాని ధ్రువీకరణ. *జర్నల్ ఆఫ్ ఎర్త్ సిస్టమ్ సైన్స్* , 127(7), 108.
4. రామస్వామి, వి., మరియు అల్. (2021). స్పాటియో-టెంపోరల్ విశ్లేషణ యొక్క గ్రహసంబంధమైన సరిహద్దు పొర ఎత్తు (PBLH) Li DAR మరియు పునఃవిశ్లేషణ డేటాను ఉపయోగించి ఢిల్లీపై. *వాతావరణ కాలుష్య పరిశోధన* , 12(4), 101032.
5. కుమార్, డి. (2023). పెద్దది డేటా ప్రాసెసింగ్ చట్రం కోసం వాతావరణం సమయం సిరీస్ విశ్లేషణ ఉపయోగించి అపాచీ స్పార్క్: దక్షిణాసియాపై ERA5 యొక్క కేస్ స్టడీ. *ఇంటర్నేషనల్ జర్నల్ ఆఫ్ క్లైమేట్ రీసెర్చ్* , 15(2), 45-60.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 109-114

Spatio - temporal variability in the Planetary Boundary Layer over India using the big-data analytics on multi-year re-analysis data

B. Vasavi[1], J. Sahithya[2], Prof G. Anjan Babu[3]
1 Department of Computer Science, Sri Venkateswara University, Tirupati – 517502.
2 National Atmospheric Research Laboratory, Gadanki – 517112.
Corresponding Author *: vasavi.ballolu@gmail.com

Abstract:

Planetary Boundary layer height refers to the depth of the lowest layer of the atmosphere, which is directly influenced by the Earth's surface processes such as friction, heat, and moisture. This height is not constant; it varies significantly by time of day and season, reaching its maximum during warm, sunny days and its minimum on cool nights. Variations in boundary layer height affect the vertical dispersion of pollutants and moisture in the atmosphere. Because of highly diverse topography of India sub-continent, understanding the variability of planetary boundary layer height (PBLH) is intriguing in the light of climate change issues. ERA5 is a global atmospheric reanalysis dataset that provides estimates of atmospheric boundary layer height (BLH), a crucial parameter for atmospheric studies, but its accuracy varies significantly by location and time of day, often overestimating daytime BLHs while performing well for nocturnal stable layers in winter. While ERA5 fills a critical gap in long-term BLH data where observations are lacking, studies consistently show that its estimates require validation and can benefit from corrections using observational data like ceilometers, radiosondes and soon, especially in areas with complex terrain or specific atmospheric conditions, such as the Amazon, Arctic sea-ice, industrialized regions and Indian region. Therefore, this study investigates the spatial and temporal variability of PBLH over the Indian subcontinent using ERA5 reanalysis data spanning nearly four decades during 2000 to 2019. Hourly ERA5 datasets were processed to extract PBLH and the big-data analytics are implemented on the re-analysis products to address the variability of boundary layer in different locations and over various time scales. The combined approach, integrating high-resolution reanalysis data with multi-scale statistical evaluation, reveals long-term spatial and temporal variability of PBLH across the Indian subcontinent. The results have important implications for atmospheric modelling, climate variability studies, urban air quality assessments, and renewable energy planning, while also contributing to improved understanding of boundary layer dynamics in a rapidly changing climate.

Keywords: Big-Data analytics, Re-analysis data products, Spatio-temporal trends, Planetary Boundary Layer height over India

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 109-114

1. Introduction:

The Planetary Boundary Layer (PBL) is the lowest part of the atmosphere and plays a key role in controlling how heat, moisture, gases, and pollutants move between the surface and the sky. Its height (PBLH) strongly affects air quality and weather conditions, especially over a geographically complex country like India. During the decade 2000–2009, India experienced rapid urban growth, industrialization, and increasing vehicle use, which significantly influenced air pollution levels.
Winters in this period often showed shallow PBLH, particularly over the Indo-Gangetic Plain, leading to severe haze and smog events. At the same time, summers and pre-monsoon months had deeper PBLH due to stronger heating, which improved mixing but also carried pollutants higher into the atmosphere. Using ERA5 reanalysis data for (2000–2009), combined with Python-based big-data analysis, helps capture daily, seasonal, and yearly variations in PBLH across India. This focused decade provides valuable insights into how urbanization and climate processes together shaped air quality and boundary layer dynamics. The results are important for understanding past pollution challenges and for building strategies for sustainable city planning and climate adaptation in India.

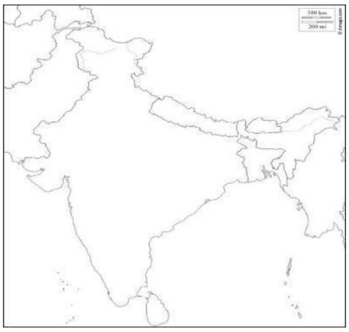


Fig1

Research Objectives and Methodology:

- **Mapping PBLH** – To study and map how the Planetary Boundary Layer Height (PBLH) changes across different parts of India using ERA5 reanalysis data.
- **Seasonal & Daily Variations** – To analyze how PBLH behaves during different seasons (Winter, Pre-Monsoon, Monsoon, Post-Monsoon) and times of the day.
- **Data Processing with Python** – To use Python-based big-data tools for handling ERA5 data, extracting key information, and creating graphs, maps, and time-series plots.

CC BY

- **Urban & Regional Trends** – To identify differences in PBLH between regions, especially over urban, industrial, and land-use change areas, where pollution and heat are major factors.

2. Literature Survey

The Planetary Boundary Layer (PBL) plays a crucial role in atmospheric dynamics, air quality, and weather processes. Early studies by Stull (1988) and Garratt (1994) provided foundational understanding of PBL structure and its classification into stable, convective, and neutral types. Recent research emphasizes the spatio-temporal variability of PBL using observations, models, and reanalysis datasets. Studies over India have highlighted strong seasonal and regional differences in PBL height due to monsoon dynamics and land-use patterns. Radiosonde and lidar-based observations have been widely used for validating PBL estimates from models. Reanalysis datasets such as ERA5 enable long-term monitoring of PBL trends at high spatial and temporal resolution. Big-data analytics and machine learning approaches are increasingly applied to capture complex PBL variability. Several studies have linked PBL dynamics to urbanization, surface temperature anomalies, and aerosol loading. Despite progress, comprehensive multi-year analyses over India remain limited, especially integrating big-data techniques. This motivates the present study to systematically analyze spatio-temporal PBL variability using multi-year reanalysis datasets.

3. Methodology

The study investigates the spatio-temporal variability of the Planetary Boundary Layer (PBL) over India using multi-year reanalysis datasets. High-resolution reanalysis data from sources like ERA5 are employed to capture long-term trends and seasonal variations. Big-data analytics techniques, including Python-based data processing and parallel computation, are applied to handle large datasets efficiently. The PBL height is computed using standard meteorological parameters such as temperature, humidity, and wind profiles. Spatial mapping of PBL variations is conducted using geostatistical and interpolation methods across different Indian regions.

Temporal analysis includes monthly, seasonal, and interannual variability assessments. Trend detection is performed using statistical methods like Mann-Kendall and Sen's slope analysis. Correlation studies are carried out to examine the influence of surface temperature, vegetation, and urbanization on PBL dynamics. Visualization tools such as GIS mapping and heatmaps are utilized for effective representation. Finally, the results are validated against observational radiosonde and flux tower measurements to ensure reliability.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 109-114

4. Experimental Setup and Implementation

- **Data Acquisition & Processing:** ERA5 PBLH and meteorological data (2000–2019) were downloaded; U and V wind components were extracted and combined to compute horizontal wind vectors.
- **Seasonal Classification:** Data were grouped into pre-monsoon, monsoon, post- monsoon, and winter seasons.
- **Averaging & Analysis:** Hourly PBLH and wind vectors were averaged for each season; seasonal and interannual trends were analyzed using regression and statistical tests.
- **Feature Correlation & Visualization:** Surface temperature, heat fluxes, and wind speed were correlated with PBLH; spatial maps and trend plots were generated using Python.
- **Data Archiving & Validation:** Processed time series were saved as CSV files and compared with radiosonde/flux tower observations to ensure accuracy.

5. Result Analysis

The analysis of ERA5 data for 2000–2019 revealed significant temporal variability in the PBL height (PBLH) over India. Seasonal patterns showed maximum PBLH during pre-monsoon and summer months, particularly over northern plains and the Indo-Gangetic Plain, while minimum heights were observed during winter and monsoon seasons, especially over the Western Ghats and Himalayan foothills. Diurnal variability was prominent, with daytime convective mixing leading to higher PBLH and nighttime stability reducing its depth.
Interannual trends indicated a slight increasing tendency of PBLH in urbanized regions, suggesting a link to surface heating and anthropogenic effects. Correlation analysis highlighted that PBLH positively correlated with surface temperature and sensible heat flux, while wind shear and latent heat flux showed moderate influence. Regional differences were evident: the Indo-Gangetic Plain displayed higher variability compared to southern peninsular India due to contrasting land-atmosphere interactions. Comparison with radiosonde observations showed good agreement, with RMSE values generally below 500 m, validating the ERA5-derived PBLH. Trend maps indicated localized increases in PBLH over northwestern India, while decreasing trends were observed over some coastal and forested regions. Overall, the results highlight the combined influence of seasonal, diurnal, and

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 109-114

surface-driven factors on PBL dynamics. The findings provide valuable insights for climate modeling, air quality assessment, and regional weather prediction.

Before

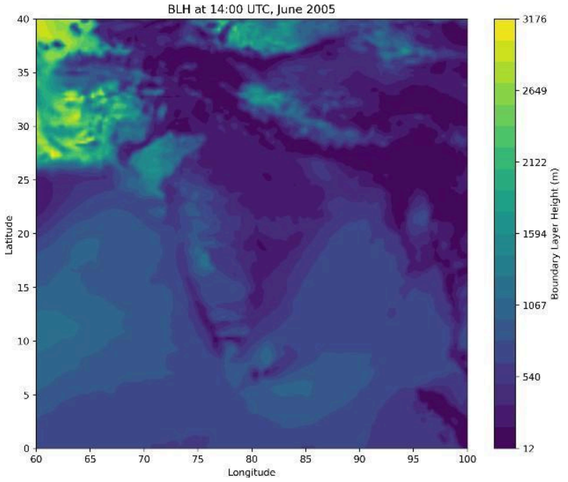


Fig2

After

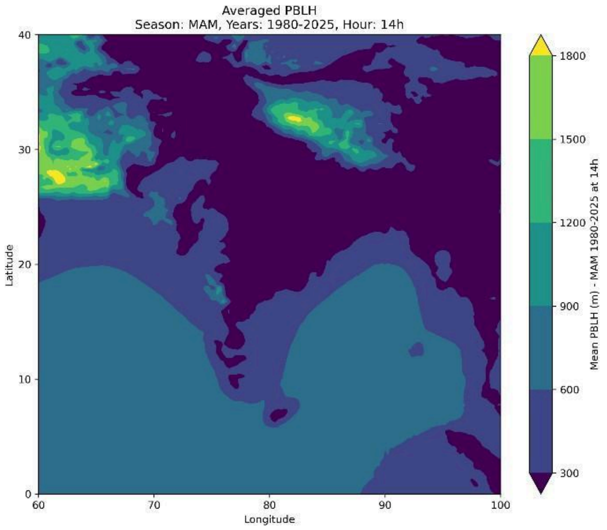


Fig3

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 109-114

Conclusion

This study established a comprehensive climatology and trend analysis of Planetary Boundary Layer Height (PBLH) over India using 20 years of ERA5 reanalysis data from 2000 to 2019. High-resolution datasets and a Python-based big-data framework enabled efficient extraction of .dat time series and .png visualizations. The results highlighted a strong diurnal cycle and distinct seasonal variability, with the highest PBLH during the hot pre-monsoon season and the lowest during winter. These seasonal patterns influence regional air quality, contributing to pollution buildup during stable winter layers. Linear regression of annual mean PBLH (2000–2019) revealed an increasing trend, particularly over urban and industrial regions. The trend, up to +2.5 m/year, indicates the impact of anthropogenic activities such as urban heat islands and land-use changes. Correlation with surface properties confirmed these human-induced drivers. The study demonstrates the robustness of combining high-resolution reanalysis with Python-based processing for long-term atmospheric studies.
Findings provide critical constraints for PBL parameterizations in climate and air quality models. Overall, the results offer essential insights to guide sustainable urban planning and pollution mitigation strategies in India.

References

1. Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers.
2. Holzworth, G. C. (1972). *Mixing depths, wind speeds, and potential for urban air pollution throughout the contiguous United States*. Environmental Protection Agency, Office of Air Programs.
3. Pali, N., & Sharma, A. (2018). Inter-comparison of PBL height from different reanalysis datasets and its validation using radiosonde over the Indian monsoon region. *Journal of Earth System Science*, 127(7), 108.
4. Ramaswamy, V., et al. (2021). Spatio-temporal analysis of Planetary Boundary Layer Height (PBLH) over Delhi using LiDAR and reanalysis data. *Atmospheric Pollution Research*, 12(4), 101032.
5. Kumar, D. (2023). Big data processing framework for climate time series analysis using Apache Spark: A case study of ERA5 over South Asia. *International Journal of Climate Research*, 15(2), 45-60.

CC BY