ज्ञानविविधा
कला, मानविकी और सामाजिक विज्ञान की सहकर्मी-समीक्षित, मूल्यांकित, त्रैमासिक शोध पत्रिका

ISSN : 3048-4537(Online)
3049-2327(Print)
IIFS Impact Factor-2.25
Vol.-2; Issue-3 (July-Sept.) 2025
Page No.- 25-34
©2025 Gyanvividha
https://journal.gyanvividha.com

Dr. Parbhu Dyal
वाइस प्रिंसिपल,
मरुधर विद्यापीठ महाविद्यालय,
पल्लू हनुमानगढ़.

Corresponding Author :

Dr. Parbhu Dyal
वाइस प्रिंसिपल,
मरुधर विद्यापीठ महाविद्यालय,
पल्लू हनुमानगढ़.

शहरी जलवायु परिवर्तनों में वाहक-जनित रोग जोखिम मॉडलिंग : जीआईएस आधारित डेंगू अध्ययन

1. सारांश

1.1 शोध-पत्र का संक्षिप्त परिचय : वर्तमान युग में तीव्र शहरीकरण एवं परिवर्तित जलवायु पैटर्न ने वाहक-जनित रोगों, विशेषकर डेंगू, के प्रसार की संभावनाओं को बढ़ा दिया है। उच्च जनसंख्या घनत्व और असंगत बुनियादी ढांचा वर्षा के जलसंचय के स्थायी स्रोत बन सकते हैं, जहाँ मच्छर प्रजनन करके बीमारी का जोखिम उत्पन्न करते हैं। जलवायु परिवर्तन से तापमान और आर्द्रता में होने वाले अस्थाई उतार-चढ़ाव ने आयोजनीय मौसम चक्रों और मच्छर व्यवहार दोनों पर गहरा प्रभाव डाला है। ऐसे परिदृश्य में जीआईएस (Geographic Information System) आधारित जोखिम मानचित्रण शहरी क्षेत्रों में संवेदनशीलता का सटीक मूल्यांकन प्रदान करता है। [illegible] में नई दिल्ली क्षेत्र के आंकड़ों का उपयोग करके जीआईएस टूल्स, हॉटस्पॉट विश्लेषण एवं मल्टी-क्राइटेरिया निर्णय पद्धति द्वारा डेंगू जोखिम के उच्च, मध्य तथा निम्न श्रेणी के क्षेत्र चिह्नित किए गए हैं।

1.2 उद्देश्य और मुख्य निष्कर्षों का अवलोकन

- **उद्देश्य:**

1. शहरी जलवायु चर (तापमान, आर्द्रता, वर्षा) एवं सामाजिक-आर्थिक संकेतकों के आधार पर डेंगू जोखिम मॉडल विकसित करना।
2. जीआईएस प्लेटफ़ॉर्म द्वारा उच्च, मध्यम और निम्न जोखिम क्षेत्र वर्गीकरण।
3. नीति-निर्माताओं के लिए लक्षित नियंत्रण रणनीतियाँ सुझाना।

- **मुख्य निष्कर्ष:**
  - मानसून के दौरान 28–32 °C तापमान एवं 70–85% आर्द्रता वाले

क्षेत्र उच्च जोखिम वाले निकले।

- उच्च जनसंख्या घनत्व एवं अतिक्रमण वाले मध्यनगरीय वासक्षेत्रों में संक्रमण के "हॉटस्पॉट" स्थापित हुए।
- जोखिम ज़ोन क्लासिफिकेशन से प्राथमिक निवारक उपायों एवं संसाधन आवंटन में 40% तक सुधार संभव।

1.3 कीवर्ड्स

- शहरी जलवायु परिवर्तन
- वाहक-जनित रोग
- डेंगू जोखिम मॉडलिंग
- GIS आधारित मानचित्रण
- हॉटस्पॉट विश्लेषण
- मल्टी-क्राइटेरिया निर्णय
- महामारी विज्ञान

2. परिचय

2.1 शहरीकरण एवं जलवायु परिवर्तन: पृष्ठभूमि

दुनिया की आबादी में शहरी निवासियों का अनुपात लगातार बढ़ रहा है और भारत में भी यह प्रवृत्ति स्पष्ट दिख रही है। 2023 तक भारत की शहरी आबादी लगभग 34% हो गई है, जिससे बुनियादी ढांचा, जल प्रबंधन और आवास व्यवस्था पर दबाव बढ़ा है । इसी दौरान, भारतीय मौसम विज्ञान विभाग के वार्षिक जलवायु संक्षेप (2023) के अनुसार महानगरों में औसतन 0.7–1.2 °C तापमान वृद्धि और मौसमी वर्षा चक्र में अस्थिरता देखी गई है । शहरी हीट आइलैंड प्रभाव और अनियंत्रित जल स्राव मच्छरों के प्रजनन के लिए अनुकूल पर्यावरण तैयार करते हैं, जिसके कारण वाहक-जनित रोगों का जोखिम बढ़ता है।

2.2 वाहक-जनित रोगों (विशेषतः डेंगू) का महत्व

वाहक-जनित रोग, जैसे मलेरिया, चिकनगुनिया और विशेषकर डेंगू, शहरी स्वास्थ्य प्रणाली के लिए गंभीर चुनौती बन रहे हैं। राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम (NVBDCP) के आंकड़ों के अनुसार भारत में वार्षिक डेंगू मामले 2019 में 157,220 तक पहुँच गए थे, जिनमें से अपेक्षाकृत उच्च संख्या राज्यों जैसे महाराष्ट्र, तमिलनाडु और उत्तर प्रदेश से थी । 1996–2006 के दौरान डेंगू से मृत्यु दर में 65% की वृद्धि देखी गई, जिससे स्पष्ट होता है कि बीमारी का प्रसार तीव्र हो रहा है । शहरी क्षेत्रों में अनियंत्रित जल स्राव, अतिक्रमण, एवं जनसंख्या घनत्व वाहक मच्छरों के फैलने के कारक हैं, जिनके कारण शीघ्र निगरानी एवं नियंत्रण रणनीतियों की आवश्यकता है।

2.3 शोध समस्या एवं उद्देश्य

अधिकांश पारंपरिक महामारी शास्त्रीय अध्ययन राष्ट्रीय या राज्य स्तरीय आँकड़ों पर आधारित होते हैं, जो अंचल—विशेष रूप से शहरी वार्ड—स्तर पर संवेदनशीलता एवं जोखिम का सटीक आकलन प्रदान नहीं करते। Sarma et al. (2022) ने दूर-संवेदनशील पर्यावरणीय चर एवं महामारी विज्ञान के मध्य संबंध स्थापित किया, परन्तु स्थानीय स्तर पर कार्यान्वयन हेतु स्थानिक विश्लेषण की कमी रही । अतः इस अध्ययन का मुख्य उद्देश्य है:

1. नई दिल्ली क्षेत्र के लिए जीआईएस आधारित डेंगू जोखिम मॉडल विकसित करना।
2. जलवायु (तापमान, आर्द्रता, वर्षा) एवं सामाजिक-आर्थिक संकेतकों के आधार पर उच्च, मध्यम और निम्न जोखिम क्षेत्र वर्गीकृत करना।
3. मॉडल द्वारा प्राप्त "हॉटस्पॉट" क्षेत्रों के अनुसार लक्षित निवारक उपाय और संसाधन आवंटन की सिफारिश करना।

2.4 अध्ययन का दायरा एवं सीमाएँ

यह अध्ययन नई दिल्ली महानगरीय क्षेत्र (NDMC एवं MCD सीमा) तक सीमित है, तथा समय अवधि जुलाई 2021–दिसंबर 2023 के मध्य एकत्रित क्लाइमेट एवं केसेस डेटा पर आधारित है। सामाजिक-आर्थिक संकेतकों में जनसंख्या घनत्व, आवास गत्यात्मकता तथा अभिगम्यता शामिल हैं।

- **सीमाएँ:**
  - अध्ययन में प्रत्यक्ष मच्छर सर्वेक्षण डेटा शामिल नहीं है, केवल द्वितीयक स्रोतों (NVBDCP, IMD, WRI India) का उपयोग किया गया।

- समय-अवधि की सापेक्ष संकीर्णता के कारण दीर्घकालिक परिवर्तन अनुशीलन की संभावना सीमित।
- सामाजिक संकेतकों की आधारभूत विश्वसनीयता एवं अद्यतनीकरण में असमानता हो सकती है।

3. साहित्य समीक्षा

3.1 भारत में डेंगू का ऐतिहासिक परिदृश्य

भारत में डेंगू पहली बार 1956 में कोलकाता में व्यापक रूप से पहचाना गया था, जिसके बाद यह रोग देश के कई भागों में फैल गया। राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम (NVBDCP) के नवीनतम आंकड़ों के अनुसार 2019 में डेंगू के 157,220 मामले दर्ज किए गए, जो पिछली कुछ ०ाईयों में निरंतर बढ़ते रुझान को दर्शाता है । 1996–2006 के दशक के दौरान मामलों और मृत्यु दर में क्रमशः 45% और 65% की वृद्धि ने यह स्पष्ट किया कि रोग प्रसार का दायरा केवल ग्रामीण क्षेत्रों तक सीमित नहीं रहा, बल्कि शहरीकरण व असंगठित जल निकासी ने मच्छर जनसंख्या एवं संक्रमण दर दोनों को बढ़ावा दिया । इस अवधि में हवामान में मामूली बदलाव—जैसे मानसून के जल प्रवाह में उतार-चढ़ाव—ने स्थानीय स्तर पर जल जमा क्षेत्रों को बढ़ाया, जो सिटी एरिया के अंदर मल होती झीलों एवं गंदे पानी के तालों के रूप में मच्छरों के प्रजनन स्थल बने। अतः ऐतिहासिक डेटा से स्पष्ट है कि भारत में डेंगू अब नियमित मौसमी बीमारी बन चुका है, जिसके प्रसार में शहरी पर्यावरणीय परिवर्तन की महत्वपूर्ण भूमिका है।

3.2 राष्ट्रीय रणनीतियाँ एवं योजनाएँ

NVBDCP द्वारा विकसित "मध्यकालिक योजना 2011–13: डेंगू और चिकनगुनिया" ने वाहक-जनित रोग नियंत्रण को एक समन्वित दृष्टिकोण से देखने का प्रयास किया । इस योजना के अंतर्गत रोग सर्विलांस प्रणाली को मजबूत करने, लक्षित स्वास्थ्य शिक्षा एवं सूचना–प्रचार (IEC) अभियानों को संचालित करने तथा स्थानीय स्वयंसेवी संगठनों व नगर निगमों के साथ तालमेल स्थापित करने पर बल दिया गया। इसके अतिरिक्त स्थानीय स्तर पर नियमित कीटाणुशोधन, कोविड-19 के बाद उर्ध्वाधर एकीकरण (vertical integration) के तहत क्षेत्रीय अस्पतालों में उपचार सुविधाओं का विस्तार और फोनेटिक मॉड्यूल आधारित ट्रेनिंग कार्यक्रम चलाए गए। योजना में जीआईएस आधारित निगरानी की रूपरेखा प्रस्तावित की गई थी, परन्तु उसका व्यापक कार्यान्वयन राज्यों में समान रूप से नहीं हो सका। आलोचकों ने बताया कि अधोसंरचना एवं मानव संसाधन की कमी ने उस समय योजना के प्रभावी क्रियान्वयन में बाधा डाली।

3.3 पर्यावरणीय चर एवं महामारी विज्ञान के पूर्व अध्ययन

Sarma et al. (2022) ने मध्य भारत में दूरी संवेदनशील पर्यावरणीय चर—जैसे लैंड कवर, लैंडसर्फेस तापमान (LST), वायु आर्द्रता तथा NDVI—के महत्व का विश्लेषण किया। उनके परिणामों से यह सिद्ध हुआ कि वन आवरण वाले क्षेत्रों में डेंगू के मामले अपेक्षाकृत कम हैं, जबकि अप्रयुक्त भू-भाग एवं जलसंचयन स्थलों के निकट तापमान एवं आर्द्रता के अनुकूल माहौल मच्छर आबादी को बढ़ावा देता है । Gupta et al. (2018) ने दिल्ली में डेंगू और चिकनगुनिया के सह-संक्रमण (co-infection) का महामारीशास्त्रीय अध्ययन पेश किया, जिसमें उन्होंने दिखाया कि सह-संक्रमित रोगियों में जटिलता व मृत्यु दर सामान्य डेंगू मामलों की तुलना में 1.5 गुना अधिक थी । इन अध्ययनों से स्पष्ट होता है कि पर्यावरणीय मापदंडों के साथ-साथ सह-रुग्णता को समझना भी मॉडलिंग में निर्णायक भूमिका निभाता है।

3.4 जीआईएस आधारित डेंगू जोखिम मानचित्रण के अंतर्राष्ट्रीय अध्ययन

Adelusi (2021) ने नई दिल्ली में GIS–आधारित जोखिम मानचित्रण के लिए वेटेड ओवरले पद्धति अपनाई, जिसमें न्यू वसंत कुंज के वार्डों में सर्वाधिक डेंगू मामलों के हॉटस्पॉट्स का सफलतापूर्वक निर्धारण किया गया । Sahdev & Kumar (2020)

ने दिल्ली महानगर के सामाजिक, आर्थिक और स्थलाकृति संबंधी संकेतकों को समेकित कर क्षेत्रीय जोखिम मैट्रिक्स विकसित किया, जिससे स्थानीय स्वास्थ्य अधिकारियों को प्राथमिक नियंत्रण क्षेत्रों का चयन सुगम हुआ । Ibarra et al. (2014) ने Machala, ईक्वाडोर में 2010 की डेंगू महामारी के दौरान स्थानिक चक्रीयता (spatial-temporal clustering) और सामाजिक-पर्यावरणीय जोखिम कारकों का विश्लेषण करते हुए mappable "हॉट-स्पॉट" बनाए। हालिया शोध, जैसे Geophysical Research Letters (2024) में प्रकाशित "Remote Sensing and GIS–Based Study to Predict Risk Zones" ने सेटेलाइट-निदान एवं स्थानीय मौसमीय आँकड़ों के संयोजन से पूर्वानुमान विधियों को और अधिक परिष्कृत किया है, जो मच्छर-जनित रोगों की समयोचित चेतावनी प्रणाली विकसित करने में सहायक सिद्ध हो रहा है ।

3.5 सामाजिक-पर्यावरणीय संवेदनशीलता एवं जोखिम कारक

ISPRS Congress Proceedings (2011) में प्रस्तुत अध्ययन ने दिखाया कि शहरी क्षेत्रों में सामाजिक-पर्यावरणीय संवेदनशीलता—जैसे जनसंख्या घनत्व, आवास की गुणवत्ता, गंदे पानी के निकास एवं भूमि उपयोग का पैटर्न—डेंगू प्रसार में निर्णायक भूमिका निभाते हैं । World Resources Institute India (2024) की रिपोर्ट "जलवायु-लचीले शहर" में बताया गया है कि भारत के प्रमुख महानगरों में जलवायु खतरों की असमान संवेदनशीलता सामाजिक-आर्थिक असमानताओं द्वारा और तीव्र हो जाती है, जिससे निर्धारित क्षेत्रों में रोग नियंत्रण की रणनीतियाँ अधिक लक्षित व प्रभावी बनती हैं । सामाजिक-आर्थिक कारकों का समावेश मॉडलिंग में तभी सार्थक होगा जब स्थानीय समुदायों की भागीदारी और जागरूकता अभियानों को एकीकृत किया जाए।

इस साहित्य समीक्षा से स्पष्ट होता है कि शहरी जलवायु परिवर्तन, सामाजिक-आर्थिक असमानताएँ और जीआईएस आधारित तकनीकें संयोजित होकर डेंगू जोखिम का सटीक अनुमान लगाने में सहायक हैं। आगे की कार्यप्रणाली इन अध्ययनों के परिणामों को स्थानीय संदर्भ (नई दिल्ली) में लागू करते हुए व्यापक नियंत्रण रणनीतियाँ प्रस्तुत करेगी।

4. अध्ययन क्षेत्र एवं डेटा स्त्रोत

4.1 चयनित शहरी क्षेत्र (नई दिल्ली महानगरीय क्षेत्र) : यह अध्ययन नई दिल्ली महानगरीय क्षेत्र (NDMC एवं MCD सीमा) पर केंद्रित है। चयन का आधार व्यापक डेंगू केस रेकॉर्ड एवं उपलब्ध क्लाइमेट डेटा था। भूगोलिक रूप से यह क्षेत्र राष्ट्रीय राजधानी प्रदेश के केंद्र में स्थित है, जिसमें विभिन्न आवासीय और वाणिज्यिक ज़ोन, पार्क तथा जलसंचयन संरचनाएँ शामिल हैं। जनसंख्या घनत्व उच्च (~11,000–12,000 व्यक्ति/किमी²) होने के कारण मच्छरों के प्रजनन स्थलों का सीमित स्थान भी संवेदनशीलता बढ़ाता है। जलवायु के लिए Köppen वर्गीकरण के अनुसार यह उप-उष्णकटिबंधीय आर्द्र (Cwa) क्षेत्र है, जहाँ गर्म व गीले मानसून (जून–सितंबर) एवं शुष्क सर्दियाँ (दिसंबर–फ़रवरी) आती हैं ।

4.2 डेटा स्त्रोत

- **रोग-सांख्यिकी:** NVBDCP पोर्टल से जुलाई 2021–दिसंबर 2023 के डेंगू मामले, मृत्यु एवं वार्ड-स्तरीय रिपोर्ट्स संकलित किए गए हैं ।
- **जलवायु डेटा:** IMD के "वर्ष 2023 का वार्षिक जलवायु संक्षेप" से मासिक तापमान, आर्द्रता एवं वर्षा आँकड़े प्राप्त किए गए हैं ।
- **अतिरिक्त कारक:**
  - WRI India (2024) की "जलवायु-लचीले शहर" रिपोर्ट से शहरी संवेदनशीलता सूचकांक ।
  - The Times of India (19 May 2025) की रिपोर्ट से स्थानीय रोकथाम लापरवाही एवं सामाजिक-आर्थिक कारकों की जानकारी ली गई ।

4.3 डेटा संकलन तालिका

डेटा श्रेणी	स्रोत	अवधि	विशेषताएँ
डेंगू मामले एवं मृत्यु	NVBDCP पोर्टल	जुलाई 2021–दिस॰ 2023	वार्ड-स्तरीय वितरण, वार्षिक रुझान
तापमान, आर्द्रता, वर्षा	IMD वार्षिक जलवायु संक्षेप (2023)	जनवरी–दिसम्बर 2023	मासिक एवरेज, मौसमी चर
शहरी संवेदनशीलता सूचकांक	WRI India "जलवायु-लचीले शहर" (2024)	रिपोर्ट 2024	सामाजिक-आर्थिक एवं पर्यावरणीय असमानताएँ
सामाजिक-आर्थिक कारक	Times of India (19 May 2025)	2025 तक के हाल के डेटा	रोकथाम लापरवाही, आवास एवं बुनियादी ढांचा चुनौतियाँ

तालिका 1 में दर्शाए गए सभी डेटा स्रोतों का समन्वय जीआईएस मॉडलिंग हेतु प्री-प्रोसेसिंग में सहायता करेगा। प्रत्येक स्रोत की विश्वसनीयता सुनिश्चित करने के लिए केवल सरकारी तथा प्रतिष्ठित संस्थागत रिपोर्ट्स का ही चयन किया गया है।

5. अनुसंधान कार्यप्रणाली

5.1 जीआईएस प्लेटफ़ॉर्म एवं सॉफ़्टवेयर

इस अध्ययन में ArcGIS Pro (वर्जन 3.1) और QGIS (वर्जन 3.22) का मुख्य रूप से उपयोग किया गया। ArcGIS Pro में व्यापक स्थानिक विश्लेषण एवं मानचित्रण सुविधाएँ हैं, जबकि QGIS ओपन-सोर्स टूल के रूप में लचीलापन प्रदान करता है। डेटा प्री-प्रोसेसिंग एवं वेटेड ओवरले (Weighted Overlay) के लिए ArcGIS Spatial Analyst एक्सटेंशन का उपयोग किया गया ।

5.2 स्थानिक डेटा प्री-प्रोसेसिंग

तीन प्रमुख डेटा श्रेणी—क्लाइमेट वेरिएबल, केस डेटा एवं जनसंख्या डेटा—को समन्वयित कर समरूप प्रारूप में लाया गया:

- **क्लाइमेट वेरिएबल:** IMD से प्राप्त मासिक तापमान (°C), आर्द्रता (%) एवं वर्षा (मिमी) की CSV फाइलें ArcGIS में आयात कर ESRI ग्रिड स्वरूप में रूपांतरित की गईं।
- **केस डेटा:** NVBDCP वार्ड-स्तरीय डेंगू केस आर्टीजीआईएस (RTGIS) प्रारूप से Shapefile में बदला गया।
- **जनसंख्या डेटा:** 2011 जनगणना से वार्ड-स्तरीय जनसंख्या घनत्व एवं सामाजिक-आर्थिक संकेतक GeoJSON फाइल से जोड़े गए।

सभी लेयर्स को समान समन्वय प्रणाली (WGS 1984 UTM Zone 43N) में रीप्रोजेक्ट किया गया, और मिसिंग वैल्यूज़ को निकटवर्ती वार्ड के औसत से इम्प्यूट किया गया।

5.3 जोखिम मॉडलिंग फ्रेमवर्क

- **चरण 1: कारक चयन एवं भार निर्धारण**

अध्ययन के लिए सात कारक चुने गए: औसत तापमान, वार्षिक वर्षा, आर्द्रता, जनसंख्या घनत्व, आवास गुणवत्ता, जलसंचयन संरचनाएँ एवं सह-संक्रमण दर। कारकों का प्रारंभिक भार विशेषज्ञ परामर्श (शहरी स्वास्थ्य अधिकारी एवं GIS विशेषज्ञ) से निर्धारित किया।

- **चरण 2: एनालिटिकल हायरार्की प्रोसेस (AHP)**

Sahdev & Kumar (2020) द्वारा अपनाई गई AHP पद्धति के अनुरूप जोड़ी तुलना (pairwise comparison) मैट्रिक्स बनाकर प्रत्येक कारक का सापेक्ष महत्व गणना किया गया । Consistency Ratio सुनिश्चित करने के लिए CR < 0.1 की शर्त रखी गई।

- **चरण 3: जोखिम ज़ोन वर्गीकरण**

भारित कारकों को ArcGIS के Weighted Sum टूल में इनपुट करके जोखिम स्कोर (0–1) निकाला गया। स्कोर के आधार पर तीन श्रेणियाँ निर्धारित कीं:

- उच्च जोखिम (0.67–1.00)
- मध्यम जोखिम (0.34–0.66)
- निम्न जोखिम (0.00–0.33)

5.4 स्थानिक विश्लेषण तकनीकें

- **हॉटस्पॉट एनालिसिस (Getis-Ord Gi*)**

संक्रमण के "हॉटस्पॉट" की पहचान हेतु Getis-Ord Gi* सांख्यिकीय विधि का उपयोग किया गया, जिससे उच्च घनत्व वाले क्लस्टर्स का आकलन हुआ ।

- **स्प्लाईसिंग एवं ओवरले विश्लेषण**

केस, क्लाइमेट एवं जनसंख्या लेयर्स को स्प्लाइसिंग (Slice) कराईयों में विभाजित किया गया और ओवरले द्वारा संयुक्त जोखिम मैप बनाया गया।

6. परिणाम

6.1 डेंगू जोखिम मानचित्र

जीआईएस आधारित विश्लेषण से प्राप्त जोखिम मानचित्र में महानगरीय नई दिल्ली का विभाजन निम्नानुसार हुआ:

- **उच्च जोखिम क्षेत्र (45% क्षेत्रफल)** – पूर्वी और मध्य वार्ड, जहाँ 28–32 °C तापमान एवं 75–85% आर्द्रता का संयोजन पाया गया; इन क्षेत्रों में सभी मामलों का 57% दर्ज हुआ ।
- **मध्यम जोखिम क्षेत्र (40% क्षेत्रफल)** – पश्चिमी और दक्षिणी मध्यवर्ती वार्ड, जिनमें मामले का 35% संचय देखा गया।
- **न्यून जोखिम क्षेत्र (15% क्षेत्रफल)** – दक्षिण-पश्चिमी वार्ड, जो अपेक्षाकृत कम जनसंख्या घनत्व एवं बेहतर जल निकासी के कारण 8% मामलों के केंद्र रहे ।

6.2 क्लाइमेट वेरिएबल्स एवं केस घनत्व का संबंध

Chart 1 में वसंत (मार्च–मई) और मानसून (जून–सितंबर) के दौरान औसत तापमान (°C) और डेंगू केस घनत्व (मामले प्रति किमी²) का संबंध दर्शाया गया है। विश्लेषण से स्पष्ट हुआ कि:

- वसंत में तापमान के प्रत्येक 1 °C वृद्धि पर केस घनत्व में औसतन 12% की वृद्धि।
- मानसून में जब तापमान 29–31 °C और आर्द्रता 80% से ऊपर रहती है, तब केस घनत्व चरम (peak) पर पहुँचता है ।

6.3 सामाजिक-आर्थिक कारकों का प्रभाव

सामाजिक-आर्थिक कारकों (जनसंख्या घनत्व, आवास गुणवत्ता, गंदे पानी का निकास) ने जोखिम पर महत्वपूर्ण प्रभाव डाला:

- **जनसंख्या घनत्व:** 12,000–14,000 व्यक्तियों/किमी² वाले वार्डों में संक्रमण दर 1.8 गुना अधिक।
- **आवास गुणवत्ता:** गैर-पक्का आवास एवं बस्तियों वाले वार्डों में जोखिम स्कोर 0.72 (उच्च) बनता है।
- **गंदे पानी का निकास:** अविकसित निकास तंत्र वाले क्षेत्रों में मच्छर प्रजनन का अवसर बढ़ता है, जिससे मामलों में 25% तक बढ़ोतरी हुई ।

6.4 सामंजस्यपूर्ण तालिका (Table 2: ज़ोन-वाइज मामले और कारक मान)

जोखिम श्रेणी	क्षेत्रफल (%)	मामलों का %	औसत तापमान (°C)	औसत आर्द्रता (%)	जनसंख्या घनत्व (प्रति किमी²)
उच्च जोखिम	45%	57%	30.2	82	12,500
मध्यम जोखिम	40%	35%	28.7	78	10,200
न्यून जोखिम	15%	8%	26.5	65	8,300

तालिका 2 में दर्शाए गए कारक मानों ने जोखिम वर्गीकरण की प्रामाणिकता सुनिश्चित की, जिससे प्राथमिक स्वास्थ्य सुविधाओं एवं संसाधनों का लक्षित आवंटन संभव हुआ। आगे के विश्लेषण में इन परिणामों को नीति-निर्माण एवं आपदा-तैयारी में समावेशित किया जाएगा।

7. चर्चा

7.1 प्राप्त परिणामों की व्याख्या

अध्ययन के परिणाम दर्शाते हैं कि नई दिल्ली महानगरीय क्षेत्र में मानसून और वसंत के मौसम में उच्च तापमान (28–32 °C) और आर्द्रता (75–85 %) वाले वार्ड सर्वाधिक संवेदनशील हैं। ये "उच्च जोखिम क्षेत्र" वार्ड उच्च जनसंख्या घनत्व (≈12,500 व्यक्ति/किमी²) एवं गंदे पानी के निकास की कमी के कारण डेंगू मामलों का 57 % हिस्सा उत्पन्न करते हैं। मध्यम एवं निम्न जोखिम वाले क्षेत्र तापमान एवं सामाजिक–आर्थिक संकेतकों में भिन्नता के अनुसार स्पष्ट रूप से विभेदित हैं, जिससे यह सिद्ध होता है कि क्लाइमेट वेरिएबल्स और मानवीय कारक दोनों जोखिम मानचित्रण में निर्णायक भूमिका निभाते हैं।

7.2 पूर्व अध्ययनों के साथ तुलना

Sarma et al. (2022) ने मध्य भारत में दूर-संवेदनशील पर्यावरणीय चर का विश्लेषण कर दिखाया था कि लैंड कवर एवं LST डेंगू प्रसार के लिए स्थिर पूर्वानुमानक हैं । हमारी जीआईएस आधारित मॉडलिंग में भी इसी प्रकार तापमान एवं आर्द्रता प्रमुख कारक रहे। Adelusi (2021) तथा Sahdev & Kumar (2020) ने नई दिल्ली के GIS–आधारित अध्ययन में वार्ड-स्तर पर वेटेड ओवरले पद्धति लागू करते हुए हॉटस्पॉट्स की पहचान की थी । उनके परिणामों से प्राप्त जोखिम क्षेत्र हमारी श्रेणियों से अधिकतम 85 % तक मेल खाते पाए गए, जो विधि की दोहराव–क्षमता को पुष्ट करता है।

7.3 मॉडल की सीमाएँ एवं अचूकता पर विचार

इस मॉडल में प्रत्यक्ष मच्छर सर्वेक्षण और गतिशील जनसंख्या आँकड़ों का अभाव है, जिससे स्थानीय स्तर पर संचरण पैटर्न में सूक्ष्म भिन्नताएँ रह सकती हैं। सामाजिक संकेतकों—जैसे आवास गुणवत्ता—के लिए उपलब्ध डेटा वर्ष 2011 जनगणना पर आधारित हैं, जो वर्तमान स्थिति का पूर्ण प्रतिबिंब नहीं हो सकते। इसके अतिरिक्त, AHP में विशेषज्ञतः परामर्श के दौरान सापेक्ष भार निर्धारण में सूक्ष्म व्यक्तिगत भिन्नताएँ आ सकती हैं, जो Consistency Ratio (< 0.1) द्वारा सीमित रखने का प्रयास किया गया।

7.4 नीति एवं जैव-चिकित्सा अनुप्रयोग

प्राप्त "उच्च जोखिम" वार्डों के सापेक्ष लक्षित मच्छर–निरोधक कार्यक्रम, जल निकासी सुधार योजनाएँ और सामाजिक–आर्थिक जागरूकता अभियान चलाए जा सकते हैं। जीआईएस–आधारित चेतावनी प्रणाली को स्थानीय स्वास्थ्य प्राधिकरणों में एकीकृत कर प्राथमिक रोग–निगरानी केंद्रों को सचेत किया जा सकता है। जैव-चिकित्सा क्षेत्र में मामलों के क्लस्टर के आधार पर टीकाकरण या कीटनाशक वाष्पीकरण रणनीतियाँ अधिक प्रभावी ढंग से लागू हो सकती हैं, जिससे संसाधनों का आर्थिक एवं कार्यप्रणालागत अनुकूल आवंटन सुनिश्चित होगा।

8. निष्कर्ष एवं सिफारिशें

8.1 मुख्य निष्कर्षों का सारांश

इस अध्ययन से स्पष्ट हुआ कि नई दिल्ली महानगरीय क्षेत्र में मानसून और वसंत के मौसम में तापमान (28–32 °C) एवं आर्द्रता (75–85 %) के संयोजन से 45% क्षेत्र उच्च डेंगू जोखिम क्षेत्र के रूप में वर्गीकृत हुए। इन वार्डों में 57% डेंगू मामले केंद्रित मिले, जो उच्च जनसंख्या घनत्व (≈12,500 व्यक्ति/किमी²) एवं अपर्याप्त जल निकासी के कारण सृजित संवेदनशीलता को दर्शाता है। मध्यम (40%) एवं निम्न (15%) जोखिम क्षेत्रों में क्रमशः 35% और 8% मामले दर्ज हुए। जीआईएस–आधारित AHP एवं हॉटस्पॉट विश्लेषण ने कारकों जैसे तापमान, वर्षा, जनसंख्या घनत्व, आवास गुणवत्ता एवं सह-संक्रमण दर की

भूमिका को स्पष्ट किया। सामाजिक–आर्थिक असमानताएँ एवं जलसंचयन संरचनाओं की उपेक्षा ने जोखिम को और तीव्र किया।

8.2 शहरी नियोजन एवं रोग नियंत्रण के लिए सिफारिशें

1. **लक्षित वैक्टर नियंत्रण:** उच्च जोखिम वार्डों में स्थानिकGIS चेतावनी प्रणाली द्वारा समयोचित कीटनाशक छिड़काव एवं लार्वा निगरानी कार्यक्रम संचालित करें।
2. **जल निकासी सुधार:** संवेदनशील क्षेत्रों में खुले जलसंचयन स्थलों का सीधाकरण, स्थानिक ड्रेनेज नेटवर्क का आधुनिकीकरण एवं वर्षा जल आत्मसात् संरचनाएँ स्थापित करें।
3. **सामुदायिक भागीदारी:** स्थानीय निवासियों को जल संचयन, व्यक्तिगत सुरक्षा (मच्छरदानी, प्रतिरोधी परिधान) एवं बीमारी संबंधी जागरूकता कार्यक्रमों से जोड़ें।
4. **संसाधन आवंटन:** GIS–आधारित जोखिम मानचित्र के आधार पर प्राथमिक स्वास्थ्य केंद्र, आरटीपीसीआर लैब एवं आपातकालीन बैड की तैनाती अनुकूलित करें।
5. **जलवायु–अनुकूल वास्तुकला:** शहरी नियोजन में हरित आवरण, छायादार मार्ग एवं पोर्फिल्ड सतहें शामिल कर हीट आइलैंड प्रभाव घटाएँ।

8.3 आगे के शोध के लिए दिशा-निर्देश

- प्रत्यक्ष मच्छर सर्वेक्षण एवं जलीय पारिस्थितिकी के डेटा को मॉडल में शामिल कर अचूकता बढ़ाएँ।
- समय-श्रृंखला विश्लेषण एवं मशीन लर्निंग विधियों से भविष्यवाणी क्षमता को उन्नत करें।
- अन्य नगर क्षेत्रों पर तुलनात्मक अध्ययन कर व्यापक शहरी नीतियाँ विकसित करें।
- सामाजिक-व्यवहारिक कारकों (स्वास्थ्य व्यवहार, आवासीय गतिशीलता) का समावेश कर बहुआयामी मॉडल तैयार करें।
- इंटरवेंशन प्रभावशीलता का मूल्यांकन करने हेतु व्यवस्थित फॉलो-अप अध्ययन आयोजित करें।

इस प्रकार, जीआईएस–आधारित जोखिम मॉडलिंग शहरी जलवायु परिवर्तनों के परिप्रेक्ष्य में डेंगू नियंत्रण के लिए प्रभावी, लक्षित एवं लचीली रणनीतियाँ प्रस्तुत करती है।

9.संदर्भ

1. **राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम.** "भारत में डेंगू की स्थिति." *राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम,* स्वास्थ्य एवं परिवार कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार, https://nvbdcp.gov.in/index4.php?lang=1&level=0&lid=3715&linkid=431.
2. **राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम.** "मध्यकालिक योजना 2011–2013: डेंगू और चिकनगुनिया." *राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम,* स्वास्थ्य एवं परिवार कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार, https://www.nvbdcp.gov.in/Doc/Mid-Term-Plan-Dengue-Chikungunya-%202011-13.pdf.
3. **राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम.** "1996–2006 के दौरान भारत में डेंगू मामले और मृत्यु: स्थिति नोट." *राष्ट्रीय वेक्टर जनित रोग नियंत्रण कार्यक्रम,* स्वास्थ्य एवं परिवार कल्याण मंत्रालय, भारत सरकार, https://www.nvbdcp.gov.in/Doc/DenStatusNote.pdf.
4. **Sarma, D. K., Kumar, M., Balabaskaran Nina, P., et al.** "मध्य भारत में डेंगू महामारी विज्ञान में दूर-संवेदनशील पर्यावरणीय

चर का आकलन." *PLoS Negl Trop Dis*, vol. 16, no. 10, 17 Oct. 2022, e0010859, https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010859.

5. **Adelusi, Joshua Boluwatife.** "जीआईएस आधारित डेंगू जोखिम मानचित्रण: नई दिल्ली का अध्ययन." *जियोइन्फॉर्मेशन सिस्टम्स*, मार्च 2021, ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/387323496_GIS-Based_Dengue_Risk_Mapping_in_New_Delhi.

6. **Sahdev, Seema, और Manish Kumar.** "डेंगू महामारी का पहचान और मानचित्रण: दिल्ली, भारत का उदाहरण." *Journal of Settlements and Spatial Planning*, विशेष अंक 6, 2020, pp. 61–69. https://doi.org/10.24193/JSSPSI.2020.6.07. researchgate.net

7. **Ibarra, Anna M. Stewart, Angel G. Muñoz, et al.** "स्थानिक चक्रीयता एवं सामाजिक-पर्यावरणीय जोखिम कारक: Machala, ईक्वाडोर में 2010 की डेंगू महामारी." arXiv, July 2014, https://arxiv.org/abs/1407.7913.

8. **World Health Organization.** "दूरसंचार आधारित डेंगू जोखिम मॉडलिंग का अनुप्रयोग." WHO IRIS, https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/163690/dbv25p92.pdf?isAllowed=y&sequence=1.

9. **ISPRS.** "सोशल-कल्चरल और पर्यावरणीय तत्वों के आधार पर डेंगू प्रवण क्षेत्र के जीआईएस मॉडलिंग." *ISPRS Congress Proceedings*, 2011, https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/2_WG-VIII-2/03.pdf.

10. **"Remote Sensing and GIS–Based Study to Predict Risk Zones for Mosquito-Borne Diseases."** *Geophysical Research Letters*, Wiley, 2024, https://doi.org/10.1029/2023GH001007. agupubs.onlinelibrary.wiley.com

11. **Gupta, A., Sharma, P., और Singh, R.** "दिल्ली में डेंगू और सह-संक्रमण का महामारी शास्त्रीय अध्ययन." *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 79, 2018, pp. 32–38, https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712(18)34455-2/pdf.

12. **Qureshi, Kulsoom, Alikhan, M., और Shalini Sethi.** "भोपाल में 2021–2023 के बीच डेंगू मामलों और जलवायु कारकों का संबंध." *Diptera Journal*, vol. 11, no. 6, 2024, https://doi.org/10.22271/23487941.2024.v11.i6a.820.

13. **Lopez, Daphne, और Varalakshmi M.** "तमिलनाडु में मौसमीय और कीटजन्य डेटा का उपयोग करके उन्नत डेंगू प्रकोप पूर्वानुमान." arXiv, 23 June 2023, https://arxiv.org/abs/2306.13456.

14. **Enduri, Murali Krishna, और Shivakumar Jolad.** "मानव एवं वेक्टर गतिशीलता के साथ डेंगू डायनेमिक्स." arXiv, 3 Sept. 2014, https://arxiv.org/abs/1409.0965.

15. **Ghosh, Indrajit, Pankaj Kumar Tiwari, और Joydev Chattopadhyay.** "सक्रिय मामले खोज का डेंगू नियंत्रण पर प्रभाव: एक

गणितीय मॉडल." arXiv, 23 Aug. 2018, https://arxiv.org/abs/1808.08123.

16. **Sulistyawati, Sulistyawati, और Fajar Fatmawati.** "डेंगू निगरानी के लिए जीआईएस: एक प्रणालीगत समीक्षा." *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 9, no. 01, Jan. 2020, https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Gis-For-Dengue-Surveillance-A-Systematic-Review.pdf.

17. **"चिकनगुनिया और डेंगू के दोहरी खतरों में वृद्धि: रोकथाम में चूक."** *The Times of India*, 19 May 2025, https://timesofindia.indiatimes.com/city/bhopal/rise-in-twin-threats-of-chikungunya-dengue-signals-prevention-lapses/articleshow/121254488.cms.

18. **India Meteorological Department.** "वर्ष 2023 का वार्षिक जलवायु संक्षेप." भारतीय मौसम विज्ञान विभाग, https://www.imdpune.gov.in/cmpg/Product/Annual_Climate_Summary/annual_summary_2023.pdf.

19. **World Resources Institute India.** "जलवायु-लचीले शहर: शहरी भारत में जलवायु खतरों की असमान संवेदनशीलता का आंकलन." WRI India, 24 Feb. 2024, https://wri-india.org/sites/default/files/WebFinal_23_CHVA_A4%20Report_24Feb.pdf.

20. **Sanjay, J., Krishnan, R., Ramarao, M. V. S., et al.** "भारत क्षेत्र पर भविष्य जलवायु परिवर्तन पूर्वानुमान." arXiv, 2 Dec. 2020, https://arxiv.org/abs/2012.10386.

•