

भूमि-उपयोग परिवर्तन और शहरीकरण के शहरी-ऊष्मात-द्विपीय प्रभाव : लखनऊ शहर का एक अध्ययन

एम. के. नेमा¹, दीपक खरे², लवशंकर भारती³ और शरद कुमार जैन¹

- 1 राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की
 - 2 भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, रुड़की
 - 3 पूर्व छात्र, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, रुड़की
- ई-मेल : mxnema@gmaik.com

सारांश

शहरीकरण का शहरी तापमान की प्रवृत्ति और शहर के स्थानीय वातावरण पर इसके प्रभाव का आकलन आजकल पर्यावरण वैज्ञानिक और योजनाकारों के लिए एक प्रमुख चिंता का विषय है। शहरी तापमान की बढ़ती और इसके मानव जीवन का पड़ते प्रतिकूल प्रभाव शहरीकरण की बहुत बड़ी चुनौतियों में से एक है। इस अध्ययन में, समय के साथ शहरीकरण के प्रभाव और तापमान की बढ़ती प्रवृत्ति पर इसका प्रभाव और शहरी पारिस्थितिकी पर प्रभाव का आकलन भारत के लखनऊ शहर के लिए किया गया है। यह अध्ययन पूर्व-मानसून सीजन के लिए लैंडसेट 7 और लैंडसेट 8 उपग्रह के डेटासेट और क्षेत्र सर्वेक्षण के आंकड़ों का उपयोग करते हुए किया गया है। भूमि सतह के तापमान (LST) का आकलन, भूमि-उपयोग परिवर्तन मानचित्र, नॉर्मलाइज्ड अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) का उपयोग करके वनस्पति कवर का आकलन और शहरी थर्मल फील्ड विचरण सूचकांक (UTFVI) का उपयोग करके शहर का पारिस्थितिकी मूल्यांकन किया गया है। परिणामों ने संकेत दिया कि भूमि की सतह के तापमान का स्थानिक वितरण भूमि उपयोग/भूमि कवर परिवर्तन और मानवजनित कारणों से प्रभावित था। वर्ष 2000 और 2017 के बीच औसत भूमि के तापमान का अंतर 17.41% (6.160°C) पाया गया। देखे गए परिणामों से पता चला है कि पूर्व-मानसून सीजन में फसलों की कटाई के कारण शहर के बाहरी हिस्से में मध्य क्षेत्र की तुलना में सबसे अधिक सतह के तापमान का प्रदर्शन किया गया है। घने आबादी वाले क्षेत्रों में भी उच्च तापमान प्रदर्शित होता है जबकि वनस्पति और जल निकायों वाले क्षेत्रों में कम तापमान का प्रदर्शन होता है। सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) और UTFVI के साथ भूमि की सतह के तापमान (LST) के बीच एक मजबूत सहसंबंध मनाया जाता है। दोनों वर्षों के लिए अध्ययन क्षेत्र के लिए समतापीय मानचित्र भी तैयार किए गए हैं। क्षेत्र के पारिस्थितिक मूल्यांकन से पता चला कि शहर के बाहरी हिस्से में बंजर क्षेत्र में शहर का सबसे खराब पारिस्थितिक सूचकांक है। वर्तमान अध्ययन शहरीकरण और मानवजनित गतिविधियों के प्रभाव पर बहुत वैज्ञानिक जानकारी प्रदान करता है जो प्री-मानसून सीजन में शहर के पूरे पारिस्थितिकी तंत्र में बड़े बदलाव का कारण बनता है।

मुख्य शब्द : UHI, LST, UTFVI, LUKC, शहरीकरण।

Abstract

Assessment of the impact of urbanization on land surface temperature and local environment of the city are the major concern now days for environmental scientist and planners due to rising trend of urban temperature and its effect are very serious health issues in the urban setup. In this study, impact of urbanization over a time and its effect on increasing trend of temperature and effect on urban ecology has been assessed for the pre-monsoon season using the Landsat 7 and Landsat 8 satellite datasets and field survey of Lucknow city, India. Land surface temperature (LST) estimation, land use change map, assessment of vegetation cover using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and ecological evaluation of the city was carried out using the Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI). Results indicated that the spatial distribution of the land surface temperature was affected by the land use/land cover change and anthropogenic causes. The mean land surface temperature difference between the years 2000 and 2017 was found 17.41% (6.16°C). The observed result showed that the outer part of the city exhibited the highest surface temperature compared to the central area due to harvesting of crops in the pre monsoon season, the areas having dense built-up also displayed higher temperatures and the areas covered by vegetation and water bodies exhibited lower temperatures. Strong correlation is observed between land surface temperatures (LSTs) with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and UTFVI. Isotherm maps are also plotted for the study area for both the years. The observed LST of the area also validated through the Google Earth Images. Ecological evaluation of the area showed that the city has worst ecological index in the barren area in the outer of the city. The present

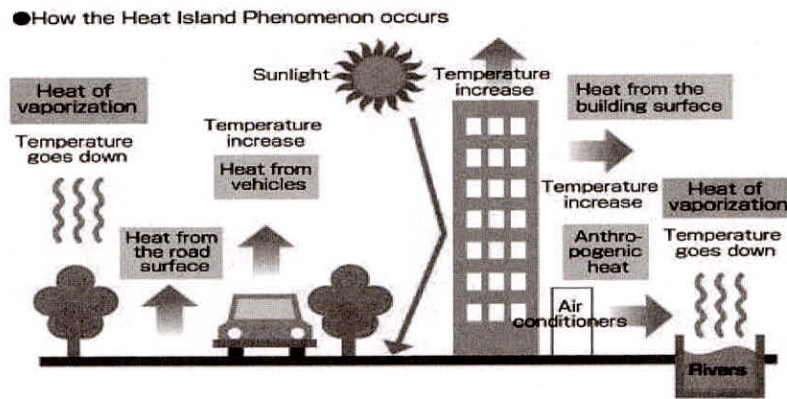
study provides very scientific information on impact of urbanization and anthropogenic activities which causes major changes on the entire ecosystem of the city in the pre monsoon season.

Keywords: UHI, LST, UTFVI, LULC, Urbanization.

1.0 परिचय

शहरी पर्यावरण, भवन, शहर और बुनियादी ढाँचा जलवायु परिवर्तन के सबसे प्रमुख कारकों में से एक है। साथ ही साथ ये जीवन जीने के अधिक टिकाऊ तरीके की कुंजी भी है। अधिकांश शहरीकरण गतिविधियाँ सुरक्षित, आरामदायक, आर्थिक और कार्यात्मक रूप से कुशल हैं। लेकिन इनमें से कुछ गतिविधियों के परिणामस्वरूप पर्यावरण और वायुमंडलीय विक्षोभ भी उत्पन्न होते हैं। जिन शहरों में बहुतायत में इमारतें हैं, इन गतिविधियों के परिणामस्वरूप अनेक स्थानीय जलवायु परिवर्तन हो सकते हैं। शहरीकरण से आमतौर पर स्थानीय तापमान में उल्लेखनीय वृद्धि होती है। पिछले कुछ दशकों में अर्थव्यवस्था की वृद्धि, त्वरित औद्योगीकरण और शहरीकरण की प्रक्रिया, अनेक पर्यावरणीय समस्याओं जैसे कि तापीय प्रदूषण और शहरी-ऊष्मा-द्वीपों की कारण बनी है। एक शहर की ठोस सतह, सड़क और निर्माण सामग्री के थर्मल गुण और निर्मित क्षेत्रों की सतह ज्यामिति निरंतर बढ़ते तापमान में योगदान करती है। शहरी पर्यावरण की समस्याओं में अल्बेडो (albedo), शहरी-ऊष्मा-द्वीप और बढ़ता हुआ ग्रीनहाउस प्रभाव जैसी समस्याएं प्रमुख रूप से शामिल हैं।

जैसे-जैसे शहरी क्षेत्र विकसित होते हैं, उस क्षेत्र की भूमि, इमारतों, सड़कों, अन्य बुनियादी संरचनाओं में परिवर्तन दृश्यमान होते हैं तथा ये खुली भूमि और कृषि भूमि का स्थान लेते हैं। इसके साथ ही अभेद्य और सूखी भूमि का विस्तार होता है। इस वृद्धि से शहरी-ऊष्मा-द्वीपों (Urban Heat Islands UHIs) का निर्माण होता है। यह एक घटना है जिसमें शहरी क्षेत्रों द्वारा उनके ग्रामीण परिवेश के मुकाबले गर्म तापमान का अनुभव किया जाता है। चित्र क्रमांक 1. शहरी-ऊष्मा-द्वीप की घटना को प्रदर्शित कर रहा है।



चित्र क्रमांक 1 : शहरी-ऊष्मा-द्वीप की घटना

शहरी ऊष्मा द्वीप के लिये अनेक कारण हैं। जब एक क्षेत्र के भवनों, सड़कों, और अन्य मूलभूत भौतिक संरचनाओं का निर्माण संयुक्त रूप से हो तो यह एक शहरी ऊष्मा द्वीप घटना कर सकते हैं। भवनों एवं इमारतों की निर्माण सामग्री पारंपरिक रूप से ऊष्मा की कुचालक और सोखता होती है। इस इन्सुलेशन निर्माण करने से आसपास के क्षेत्रों इमारतों, सड़कों, और पर्यावरण गरम हो जाता है। इन UHIs पर रात्रिकालीन तापमान बहुत उच्च होता है क्योंकि भवनों, पार्किंग स्थल ब्लॉक, फुटपाथ, आदि दिन में सूर्य के ऊष्मा को सोख लेते हैं और रात के समय उसे उत्सर्जित करते हैं। इस की वजह से ही निचले स्तरों पर रात का तापमान गर्म रहता है।

1.1 शहरी ऊष्मा द्वीप के कारण

शहरी ऊष्मा द्वीप का सबसे उल्लेखनीय कारण शहरीकरण है। अगम्य और गर्मी अवशोषित सतहों में हो रही लगातार वृद्धि तथा प्राकृतिक वनस्पति में कमी और हमारे शहरों का घनत्व, शहरी ऊष्मा द्वीप प्रभाव की दो मुख्य विशेषताएं हैं। हमारे शहरों में इमारतों और अगम्य क्षेत्रों का तेजी से विकास और दिन-प्रतिदिन उतनी ही तेजी से हरियाली और जंगलों की कमी शहरी ऊष्मा द्वीप घटना के लिए महत्वपूर्ण कारक हैं। सड़कों और पक्की सतहों का बढ़ता हुआ जाल, शहर में इमारतों की बढ़ती हुई संख्या से हमारे शहरों में तेजी से सुधार तो दिखा रहे हैं, किन्तु साथ ही आस-पास के अन्य क्षेत्रों के मुकाबले शहरी सतह के तापमान में वृद्धि भी दर्ज की जा रही है।

1.2 UHI का प्रभाव

विभिन्न स्थलाकृति और जलवायु वाले शहर मुख्य उनके आसपास के ग्रामीण क्षेत्रों की तुलना में कई डिग्री अधिक तापमान का अनावरण कर सकता रूप से संकेत करते हैं (यानी UHI प्रभाव)। अगर भविष्य में इस घटना में वृद्धि होती है, तो आने वाले दशकों में शहर-देहात का तापमानीय अनुपात दोगुना हो सकता है इसलिए, सरकारी एजेंसियों और शोधकर्ताओं द्वारा UHI का मूल्यांकन और इसके शमन के प्रभावी उपायों का अध्ययन उत्तरोत्तर महत्वपूर्ण होता जा रहा है। विशेष रूप से इन देशों में जहाँ इस घटना का प्रभाव देखा गया है।

ऐसा प्रत्याशित है कि शहरी सतहों की हीटिंग समस्या, जटिल गर्म दिनों और हीट वेव के दौरान और अधिक बढ़ जाएगी जो तापमान में वृद्धि करेगी, विशेष रूप से कम अच्छे हवादार रिक्त स्थानों पर या ऐसी वाणिज्यिक और आवासीय इमारतों में जहाँ थर्मल इन्स्युलेटर ठीक से काम नहीं कर रहे हो। यह तापमान वृद्धि, ठंडा करने के लिए (यानी प्रशीतन और एयर कंडीशनिंग) के लिए समग्र ऊर्जा की खपत को बढ़ा देगी, परिणामस्वरूप बिजली संयंत्र में ऊर्जा उत्पादन में वृद्धि करनी होगी, जो पुनः गर्मी अवशोषित करने वाली ग्रीन हाउस गैसों (उदाहरण के लिए कार्बन डाइऑक्साइड, साथ ही इस तरह के रूप में अन्य प्रदूषकों कार्बन मोनोऑक्साइड, पार्टिकुलेट मैटर और सल्फर डाइऑक्साइड। आदि) के उत्सर्जन को बढ़ावा देगी। आगे ऊर्जा की मांग में वृद्धि होगी इसका मतलब है कि आम नागरिकों और सरकारों के लिए और अधिक लागत आएगी। वहीं दूसरी ओर, UHI उच्च वायु तापमान का समर्थन करता है जो ओजोन अग्रदूतों के गठन में मदद करता है, जो संयुक्त रूप से फोटोकैमिकली सतही स्तर पर ओजोन का उत्पादन करते हैं।

1.3 अध्ययन का उद्देश्य

उक्त परिचय के संदर्भ में शहरी भूमि कवर प्रकार और शहरी ऊष्मा द्वीप घटनाओं पर इसके प्रभाव का अध्ययन करने के लिए यह शोध किया गया है, जिसमें लखनऊ क्षेत्र में शहरीय तापमान के स्थानिक वितरण का विश्लेषण करना, वर्ष 2000 और 2017 में के शहरी गर्मी द्वीप में परिवर्तन का निर्धारण करना तथा लखनऊ शहर के विभिन्न क्षेत्रों के लिए समतापीय नक्शे बनाना प्रमुख उद्देश्य थे।

2.0 अध्ययन क्षेत्र और उपयोग किये गए आंकड़े

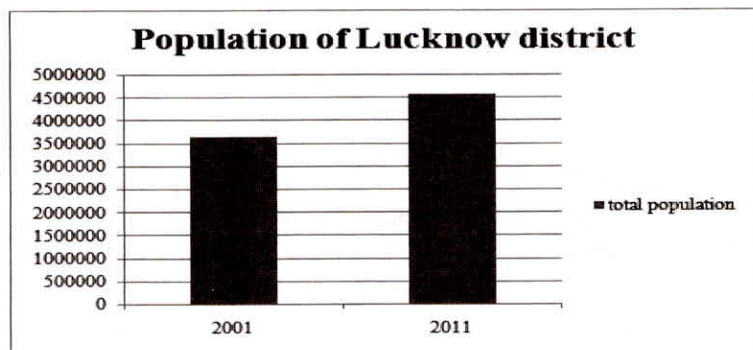
2.1 अध्ययन क्षेत्र

लखनऊ (उत्तर प्रदेश की राजधानी) हेरिटेज आर्क के बीच में स्थित है। अद्भुत भोजन और अपने नवाबी युग के लिए प्रसिद्ध यह व्यस्त शहर, प्राचीन और आधुनिक युग का एक अनूठा मिश्रण है। लखनऊ प्राचीन, प्राच्य और औपनिवेशिक वास्तुकला के एक सम्मिश्रण का चित्रण करने वाले शीर्ष स्मारकों का घर है। इसमें नामांकित जिला और मंडल का प्रशासनिक मुख्यालय शामिल है। भारत 2011 की जनगणना के अनुसार, यह ग्यारहवां सबसे अधिक आबादी वाला शहर है और भारत का बारहवां सबसे अधिक आबादी वाला शहरी संघ है। यह शहर कला, संस्कृति, कविता, वित्त, फार्मास्यूटिकल्स, प्रौद्योगिकी, शासन, पर्यटन, संगीत शिक्षा, वाणिज्य, एयरोस्पेस, और प्रशासन के एक महत्वपूर्ण केंद्र के रूप में आज भी अपनी सेवाएं दे रहा है।

लखनऊ शहर, उत्तर प्रदेश राज्य में स्थित है और अध्ययन क्षेत्र 495 वर्ग किमी का क्षेत्र है। इसकी सीमा रेखा 26°45'00" उत्तर और 26°55'00" उत्तर और 80°50'00" पूर्व और 81°50'00" पूर्व के देशांतर के बीच स्थित है। लखनऊ एक कम जनसंख्या केंद्र (1990 के दशक के प्रारंभ) से बड़े शहरीकरण (वर्तमान दिन) में बदल दिया गया है, जो कि विभिन्न आर्थिक, राजनीतिक और भौतिक विविधताएं समेटे हुए है, अब, मध्य भारत के सबसे तेजी से बढ़ते शहरी शहरों में से एक के रूप में उभरा है।

यह क्षेत्र उप-आर्द्र जलवायु के अंतर्गत आता है। यहाँ चार अच्छी तरह से चिह्नित मौसम ग्रीष्म ऋतु (मार्च से मई) के रूप में दिखाई देते हैं, इसके बाद मॉनसून सीजन (जून से सितंबर) के बाद भारी वर्षा होती है, पोस्ट-मॉनसून सीजन (अक्टूबर से नवंबर) और फिर सर्दियों का मौसम (दिसंबर से फरवरी) होता है। दिसंबर के अंत में कोहरा बहुत आम है और जनवरी के अंत तक जारी रहता। अधिकतम और न्यूनतम तापमान सीमा क्रमशः 40-45° तथा 5-15°C तक होती है। इस क्षेत्र में औसत वर्षा 904 मिमी है।

पिछले दो दशकों में शहर लखनऊ की जनसंख्या की वृद्धि दर में त्वरित वृद्धि हुई है। वर्ष 2001 की जनगणना के अनुसार, जनसंख्या 3,647,834 के आसपास थी और 2011 की जनगणना में यह बढ़कर 4,589,838 लोगों तक पहुंच गई। पर वर्तमान में यह लगभग 50 लाख के आसपास होगी। जनसंख्या वृद्धि का मुख्य कारण यह है कि लखनऊ, उत्तर प्रदेश राज्य की राजधानी है। राज्य के आसपास के जिलों की अधिकांश ग्रामीण आबादी अपनी बेहतर जीवन शैली, शैक्षणिक सुविधा और नौकरी के लिए राजधानी शहर को केंद्रित कर पलायन करते हैं। जनसंख्या वृद्धि भी शहरीकृत परिदृश्य में प्राकृतिक और खुली भूमि के रूपांतरण के लिए जिम्मेदार है। पिछले दो दशकों की जनगणना को चित्र क्रमांक 2 में दिखाया गया है।



चित्र क्रमांक 2. पिछले दो दशकों में लखनऊ शहर की जनसंख्या वृद्धि

2.2 उपग्रह डेटा और सहायक डेटा

इस शोध कार्य में उपयोग किए गए उपग्रह चित्रों का विवरण तालिका 1 में दिया गया है और सहायक डेटा अर्थात् सर्वे ऑफ इंडिया टोपोशीट्स और लैंडसैट डेटा का भी उपयोग किया जाता है।

तालिका 1 : उपग्रह डेटा विवरण

डेटा का इस्तेमाल किया	डाटा अधिग्रहण की तारीख	सूत्रों का कहना है
लैंडसैट 7	17 अप्रैल 2000	http://earthexplorer-usgs.gov
लैंडसैट 8	24 अप्रैल 2017	http://earthexplorer-usgs.gov

दिनांक 17 अप्रैल, 2000 के लिए लैंडसैट 7 उपग्रह डेटासेट और 24 अप्रैल, 2017 के लिए लैंडसैट 8 उपग्रह डेटासेट का उपयोग 'भूमि की सतह के तापमान' (एलएसटी) को प्रभावी ढंग से वर्गीकृत करने के लिए किया गया है। डाटा प्रोसेसिंग के लिए ArcGIS10 सॉफ्टवेयर का उपयोग किया गया है। लैंडसैट_7 और लैंडसैट_8 में स्वायत्त विभिन्न बैंड चित्र शामिल हैं जो परतदार थे और आगे मल्टी बैंड छवि बनाने के लिए संयुक्त किए गए थे। इन डेटासेट को 30 मीटर आकार के सेल में बदल दिया गया है और स्थानिक विश्लेषण को निष्पादित करने के लिए समान प्रक्षेपण (Projection) में लाया गया है। लैंडसैट_7 डेटासेट के बैंड-6 यानी थर्मल इन्फ्रारेड बैंड और लैंडसैट_8 के थर्मल इन्फ्रारेड बैंड यानी बैंड-10 और बैंड-11 का उपयोग डिजिटल नंबर (डीएन) को रेडियन्स में बदलकर भूमि के सतही तापमान को प्राप्त करने के लिए किया जाता है। इनका उपयोग NDVI यानी सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक के मूल्यांकन के लिए किया गया था, जिसमें सौर परावर्तन स्पेक्ट्रल रेंज के भीतर बैंड का उपयोग वनस्पति सूचकांकों को निकालने के लिए किया जाता है। पूर्व-प्रसंस्करण कदम के बाद, उपग्रह चित्र आगे यूएचआई यानी शहरी गर्मी द्वीप के अध्ययन के लिए उपयोग किया जाता है। इसके अलावा ERDAS_9.1 और माइक्रोसॉफ्ट एक्सेल सॉफ्टवेयर का भी प्रसंस्करण के लिए उपयोग किया गया है।

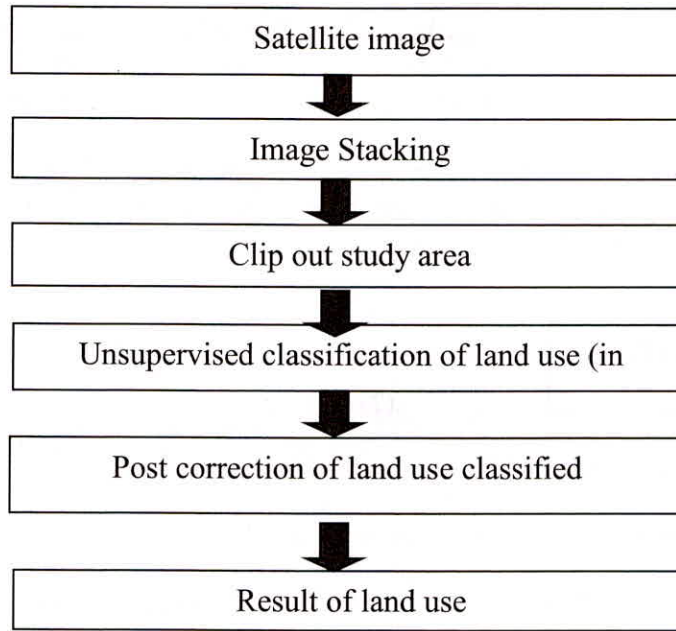
3.0 शोध कार्य विधि

3.1 भूमि उपयोग के आंकड़े का उपयोग

सैटेलाइट इमेज प्रोसेसिंग: सैटेलाइट चित्र USGS अर्थ एक्सप्लोरर से डाउनलोड किए गए थे। भूमि उपयोग/भूमि कवर प्रकार के उपयोग के बीच संक्रमण का पता लगाने के लिए भूमि उपयोग भूमि कवर के तीन साल अर्थात् 2000, और 2017 पर विचार किया गया। वर्ष 2000 के लिए लैंडसैट 7 और वर्ष 2017 के लिए लैंडसैट 8 के उपग्रह चित्र और 30 मीटर x 30 मीटर ग्रिड आकार को निश्चित किया गया। इस बात का ध्यान रखा गया कि उपग्रह चित्रों को डाउनलोड करते समय कोई क्लाउड कवर (बादल) न हो। उपग्रह चित्रों को डाउनलोड करने के बाद बैंडों का स्टैकिंग किया गया। यहां हमने परतों को ढेर करते हुए सभी बैंड का उपयोग किया। स्टैकिंग के बाद उपग्रह चित्र तैयार किए गए, छवियों का बढ़त संवर्द्धन किया गया।

सैटेलाइट इमेज वर्गीकरण : भूमि उपयोग/भूमि कवर मानचित्र तैयार करने के लिए एक समग्र विधि (Composite) लागू की गई। ERDAS इमेजिन 2015 सॉफ्टवेयर पर्यावरण का उपयोग इस उद्देश्य के लिए किया गया था। जब हम देखरेख वर्गीकरण करते हैं तो हमें कुछ बहुरंगीय सिगनेचर (colour signature) करने होते हैं। यह कम समय लेने वाली प्रक्रिया है, लेकिन बहुत आसान है। पहले असुरक्षित वर्गीकरण (unsupervised classification) किया गया था और बाद में उन्हें Google Earthpro का उपयोग करके ठीक किया गया था। भूमि उपयोग/भूमि कवर वर्गीकरण के बाद का सुधार बहुत महत्वपूर्ण है क्योंकि अध्ययन क्षेत्र बड़े पैमाने पर शहरीकृत है और एक इमारत का छत क्षेत्र कभी-कभी बंजर क्षेत्रों की तरह प्रतीत होती

है। छह प्रकार के भूमि उपयोग/भूमि कवर वर्गों का गठन किया गया था जिनके नाम जल, शहरी क्षेत्र, वृक्ष आवरण और बंजर भूमि थे। भूमि उपयोग/भूमि कवर मानचित्र तैयार करने के बाद, यह पता लगाने के लिए कि किस अवधि में क्षेत्र को दूसरी कक्षा में स्थानांतरित कर दिया गया है, जब ERDAS Imagine में मैट्रिक्स यूनिशन किया गया था और संक्रमण मैट्रिक्स तैयार किए गए थे। चित्र क्रमांक 3 सैटेलाइट इमेज प्रोसेसिंग एवं वर्गीकरण को प्रदर्शित करता है।



चित्र क्रमांक 3 : सैटेलाइट इमेज प्रोसेसिंग एवं वर्गीकरण

3.2 भूमि के तापमान पर नियंत्रण

लैंडसैट 7 और लैंडसैट 8 उपग्रह छवि डेटा से भूमि की सतह के तापमान (LST) वितरण को निकालने के लिए मानक प्रक्रिया लागू की गई थी। अध्ययन क्षेत्र में शहरी गर्मी द्वीप पर स्थानीय प्रभाव को चिह्नित करने के लिए LST के स्थानिक पैटर्न निकाले गए। इसके अतिरिक्त, भूमि की सतह के तापमान (LST) और सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) के बीच अन्योन्याश्रय संबंध है। सैटेलाइट छवियों में अलग-अलग बैंड हैं, भूमि की सतह के तापमान की गणना के लिए (LST) थर्मल बैंड का उपयोग किया जाता है। लैंडसैट 7 उपग्रह छवि में बैंड 6 थर्मल बैंड है और लैंडसैट 8 उपग्रह छवि बैंड 10 और बैंड में 11 थर्मल बैंड है। भूमि की सतह के तापमान की गणना की प्रक्रिया इस प्रकार है।

डीएन नंबर्स का भौतिक इकाइयों में रूपांतरण: छवियों को जीआईएस सॉफ्टवेयर में संसाधित किया जाता है, जो कि पूर्ण रेडिएशन मान को खोजने के लिए रैस्टर कैलकुलेटर इकाइयों का उपयोग करता है। इन मूल्यों को कुछ कारकों की मदद से परिगणित किया जाता है जैसे कि रेडिएशन गुणक स्केलिंग फेक्टर और रेडिएंस एडिटिव फेक्टर कारक जो संबंधित उपग्रह चित्रों की मेटाडेटा फाइल में दिए गए हैं। मानक वर्णक्रमीय रेडिएशन की गणना के लिए निम्न सूत्र का उपयोग किया जाता है:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

..... (1)

जहां L_{λ} = वर्णक्रमीय रेडिएशन ($W/(m^2 * sr * m)$)

M_L = बैंड के लिए विकिरण गुणक स्केलिंग फेक्टर (मेटाडेटा से RADIANCE_MULT_BAND_n)

A_L = बैंड के लिए रेडिएशन एडिटिव स्केलिंग फेक्टर (मेटाडेटा से RADIANCE_ADD_BAND_n)।

Q_{cal} = DN में L1 पिक्सेल मान

संबंधित थर्मल बैंड के लिए लैंडसेट 7 और लैंडसेट 8 रेडिएशन गुणक स्केलिंग कारकों और रेडिएशन एडिटिव स्केलिंग कारकों को उनके मेटाडेटा डेटा फाइल से लिया गया है और उनकी जानकारी तालिका संख्या 2 में दी गई है।

तालिका 2 : उपग्रह छवि डेटा के लिए रेडिएशन स्केलिंग कारक

उपग्रह छवि	थर्मल बैंड	M _L	A _L	K1	K2
लैंडसेट 7	बैंड 6 ₁	.067087	-.06709	666.09	1282.71
	बैंड 6 ₂	.037205	3.16280	666.09	1282.71
लैंडसेट 8	बैंड 10	.0003342	.1000	774.8853	1321.0789
	बैंड 11	.0003342	.1000	480.8883	1201.1442

वायुमंडल चमक तापमान : जैसा ऊपर बताया गया है, थर्मल अवरक्त सेंसर (TIRS) डेटा से वर्णक्रमीय चमक को चमक तापमान में परिवर्तित किया जाता है। यह एक प्रभावी तापमान देखा एकता उत्सर्जन की एक धारणा के तहत उपग्रह द्वारा निम्न सूत्र द्वारा रूपांतरित किया जाता है:

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \dots\dots\dots(2)$$

- जहाँ : T = टीओए चमक तापमान, केल्विन
 L_λ = वर्णक्रमीय चमक (वत्स/(एम²* एसआर* माइक्रोन)
 K₁ = बैंड के लिए तापीय आक्षेप स्थिरांक स्थिरांक (K₁_CONSTANT_BAND_n मेटाडेटा से)
 K₂ = बैंड के लिए तापीय आक्षेप स्थिरांक स्थिरांक (K₂_CONSTANT_BAND_n मेटाडेटा से)

दोनों उपग्रह चित्रों के मेटा डेटा फाइल से लिए गए अध्ययन उद्देश्य के लिए उपयोग किए गए दोनों लैंडसेट छवियों के लिए संबंधित थर्मल बैंड के लिए थर्मल रूपांतरण स्थिरांक का मूल्य तालिका 2 में दिखाया गया है।

सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) गणना : भूमि के एक भाग पर हरे रंग (वनस्पति) के घनत्व को निर्धारित करने के लिए, शोधकर्ताओं को पौधों द्वारा परावर्तित और निकट-अवरक्त सूर्य के प्रकाश के विभिन्न रंगों (तरंगदैर्घ्य) का निरीक्षण करना चाहिए। जैसा कि एक प्रिज्म के माध्यम से देखा जा सकता है, कई अलग-अलग तरंगदैर्घ्य सूर्य के प्रकाश के स्पेक्ट्रम को बनाते हैं। जब सूरज की रोशनी वस्तुओं पर पड़ती है, तो इस स्पेक्ट्रम की कुछ तरंगदैर्घ्य अवशोषित हो जाती हैं और अन्य तरंगदैर्घ्य परावर्तित हो जाते हैं। प्रकाश संश्लेषण में उपयोग के लिए पौधे की पत्तियों, क्लोरोफिल में वर्णक, दृश्य प्रकाश (0.4 से 0.7 माइक्रोन से) को दृढ़ता से अवशोषित करता है। दूसरी ओर, पत्तियों की कोशिका संरचना, निकट-अवरक्त प्रकाश (0.7 से 1.1-μm) को दृढ़ता से दर्शाती है। एक पौधे में जितनी अधिक पत्तियां होती हैं, उतनी ही क्रमशः प्रकाश की ये तरंगदैर्घ्य प्रभावित होती हैं।

सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) द्वारा, सुदूर संदेवन डेटा से वनस्पति घनत्व का मानचित्रण एवं गणना की जा सकती है। इस एल्गोरिथ्म का उपयोग करते हुए, लैंडसेट 7 और लैंडसेट 8 से बहु-अस्थायी चित्रों (2000 और 2017) की गणना लाल और निकट अवरक्त (NIR) हिस्से में परावर्तन माप से की जाती है, जहां तरंगदैर्घ्य विभाजित होते हैं और समग्र चमक को विभाजित करके सामान्यीकरण किया जाता है। प्रत्येक पिक्सेल की NDVI की गणना के लिए निम्न सूत्र का उपयोग सभी लैंडसेट डेटासेट के लिए किया जाता है:

$$NDVI = (NIR - R / NIR + R) \dots\dots\dots(3)$$

उत्सर्जकता (Emissivity) की गणना : तापीय विकिरण पदार्थ में कणों की तापीय गति से उत्पन्न विद्युत चुम्बकीय विकिरण है। पूर्ण शून्य से अधिक तापमान वाले सभी पदार्थ थर्मल विकिरण का उत्सर्जन करते हैं। कण गति के परिणामस्वरूप त्वरण या द्विध्रुवीय दोलन होता है जो विद्युत चुम्बकीय विकिरण पैदा करता है। सतह उत्सर्जन एक पदार्थ से में के उत्सर्जन में इसकी प्रभावशीलता है ऊर्जा के रूप में थर्मल विकिरण। थर्मल विकिरण विद्युत चुम्बकीय विकिरण का एक

रूप है और इसमें दोनों अवरक्त विकिरण शामिल हो सकते हैं जो मानव आंखों और दृश्य विकिरण (प्रकाश) के लिए अदृश्य हैं। आंखें बहुत गर्म वस्तुओं से थर्मल विकिरण देख सकती हैं। गणितीय, के अनुसार स्टीफन-बोल्डजमान नियम उत्सर्जन एक से एक सतह से थर्मल विकिरण के अनुपात विकिरण करने के लिए है आदर्श काले सतह का तापमान समान। उत्सर्जकता 0 से 1 के मध्य होती है। परफेक्ट ब्लैक बॉडी (1 की उत्सर्जकता के साथ) की सतह लगभग 448 वाट प्रति वर्ग मीटर की दर से कमरे के तापमान (25 डिग्री सेल्सियस, 298.15 डिग्री) पर थर्मल विकिरण उत्सर्जित करती है। सभी वास्तविक वस्तुओं की उत्सर्जकता 1.0 से कम होती है। उत्सर्जकता का मान पूरी तरह से NDVI मूल्यों पर निर्भर करती है जिन्हें निम्न प्रकार से लिया जा सकता है:

तालिका 3 : उत्सर्जन गणना के लिए NDVI की सीमा

NDVI मान	उत्सर्जन (e)
<0.16	0.92
> .16	1.009 - 0.047ln (NDVI)

भूमि भूतल के तापमान (LST) की गणना : भूमि सतह के तापमान की गणना निम्न सूत्र का उपयोग करके चमक के तापमान और उत्सर्जकता के संयुक्त प्रभाव से की जाती है:

$$T_s = T_b / (e)^{(1/4)} \quad (4)$$

जहाँ : T_s = भूमि भूतल तापमान

T_b = चमक तापमान

e = उत्सर्जकता

जैसा कि इस अध्ययन के लिए, भूमि सतह के तापमान की गणना के लिए लैंडसैट 7 और लैंडसैट 8 में अंतर बैंड संयोजनों से की गई है, अतः यह ध्यान रखना चाहिए कि गणना के लिए सही बैंड संयोजन लिया गया है या नहीं।

शहरी थर्मल क्षेत्र परिवर्तन सूचकांक (UTFVI) की गणना : शहरी ऊष्मीय क्षेत्र रिवर्तन सूचकांक (UTFVI) की गणना शहर के लिए शहरी ऊष्मा द्वीप के प्रभाव का मात्रात्मक वर्णन करने के लिए की जाती है। UTFVI एक विशेष क्षेत्र की भूमि की सतह के तापमान के मूल्य पर आधारित है और तदनुसार गर्मी द्वीप की तीव्रता का विश्लेषण किया जाता है। भूमि की सतह के तापमान का मूल्य जितना अधिक होता है, उतनी ही गर्मी का प्रभाव होता है। UTFVI की गणना नीचे दिए गए सूत्र का उपयोग करके की जाती है।

$$T_s = T_b / (e)^{(1/4)} \quad (5)$$

जहाँ, T_S = भूमि सतह का तापमान एक निश्चित बिंदु (केल्विन में) और

T_{mean} = संपूर्ण अध्ययन क्षेत्र का माध्य LST (केल्विन में)

3.3 समतापीय (Isotherm) मानचित्र की उत्पत्ति

पृथ्वी की सतह पर या एक नक्शा पर एक समान तापमान वाले बिन्दुओं को जोड़ने वाली रेखाओं से समतापीय मानचित्र का निर्माण होता है। इसमें एक रेखा एक तापमान को एक निश्चित अवधि के लिए प्रदर्शित करती है। समतापीय मानचित्र द्वारा सामान्य तापमान वितरण की एक अच्छी समझ और कारकों के अनुसार इसे निर्धारित कर सकते हैं। बसे हुए क्षेत्र में तापमान सामान्य रूप से अपने परिवेश से अधिक होता है। दिन के दौरान अंतर कभी भी महत्वपूर्ण नहीं होता है, लेकिन रात में मतभेद अक्सर बहुत बड़े हो सकते हैं। सकारात्मक शहर-ग्रामीण तापमान अंतर स्पष्ट और शांत मौसम के पक्षधर हैं। ऐसी मौसम स्थितियों में विशेष रूप से मजबूत तापमान प्रवणता को अक्सर आबादी और गैर-आबादी वाले क्षेत्रों के

बीच सीमा क्षेत्र में स्थापित किया जा सकता है। बसे हुए क्षेत्र को सीमित, गर्म हवा के द्रव्यमान से कवर किया जाता है। इस गर्म हवा के द्रव्यमान का केंद्र आमतौर पर हवा की दिशा में कुछ हद तक विस्थापित होता है। समतापीय मानचित्र की एकाग्रता, जो अक्सर शहर के बाहरी हिस्सों के उन हिस्सों में दिखाई देती है जो हवा का सामना करते हैं, फिर इसे एक हवा के प्रभाव के रूप में समझा जा सकता है। स्थलाकृति और तापमान वितरण के बीच संबंध को बहुत आसानी से दिखाया जा सकता है। वनस्पति निशाचर विकिरण को कम करती है और इसलिए ढकी हुई सतह के पास तापमान के आक्रमण को खुले मैदानों के रूप में उच्चारित होने से रोकती है; एक के रूप में परिणाम जंगल में तापमान आसपास के इलाके में उन लोगों की तुलना रात के दौरान अधिक है। हालांकि, स्थिति दिन के दौरान ही पलट जाती है। आवक विकिरण द्वारा आने वाले विकिरण को बाधित किया जाता है और तापमान उन मानों तक नहीं बढ़ सकता है जितना कि खुले क्षेत्रों में मनाया जाता है। जीआईएस सॉफ्टवेयर में समोच्च बनाना एक आम प्रक्रिया है, जो बराबर ऊंचाई, बराबर तापमान, और बराबर दबाव की तरह अलग-अलग अध्ययन के लिए प्रयोग किया जाता है। आधार समोच्च वह मूल्य है, जिसमें से कंटूर पैदा करना शुरू किया जाता है। समतापीय मानचित्र का निर्माण भी तापमानी समोच्च बना कर किया जाता है।

4.0 परिणाम और विवेचना

इस अध्ययन में विश्लेषण दृष्टिकोण को तीन भागों में विभाजित किया गया है : (1) GIS और ERDAS सॉफ्टवेयर के साथ भूमि उपयोग भूमि कवर प्रकार का आकलन, (2) NDVI और उत्सर्जन डेटा के उपयोग के साथ भूमि की सतह के तापमान का आकलन और (3) जीआईएस सॉफ्टवेयर द्वारा समतापीय मानचित्र का निर्माण।

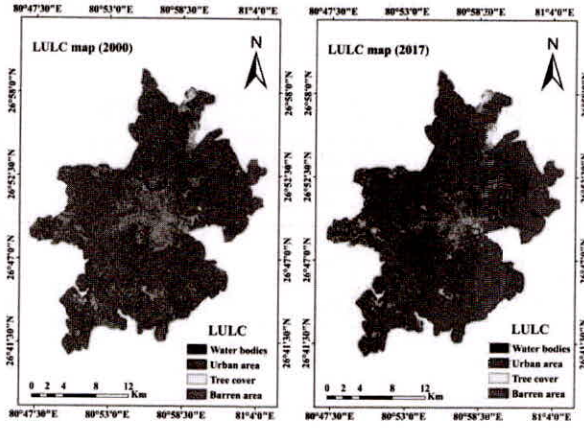
4.1 भूमि उपयोग भूमि कवर का विश्लेषण

दो संदर्भ वर्ष 2000 और 2017 के लिए किए गए अध्ययन क्षेत्र का भूमि उपयोग भूमि कवर वर्गीकरण किया गया तथा उक्त वर्षों के लिए अलग-अलग भूमि उपयोग वर्गों और परिवर्तन विश्लेषण तालिका 4 में संक्षेपित है।

तालिका 4 वर्ष 2000 और 2017 के लिए लखनऊ शहर के भूमि उपयोग का सारांश

LULC प्रकार	2000 (किलोमीटर ²)	% क्षेत्र	2017 (किलोमीटर ²)	% क्षेत्र
जल क्षेत्र	3	0.61	3	0.61
शहरी क्षेत्र	121	24.44	153	30.9
पेड़ पौधा क्षेत्र	99	20.00	65	8.17
बंजर भूमि	272	54.94	274	55.35

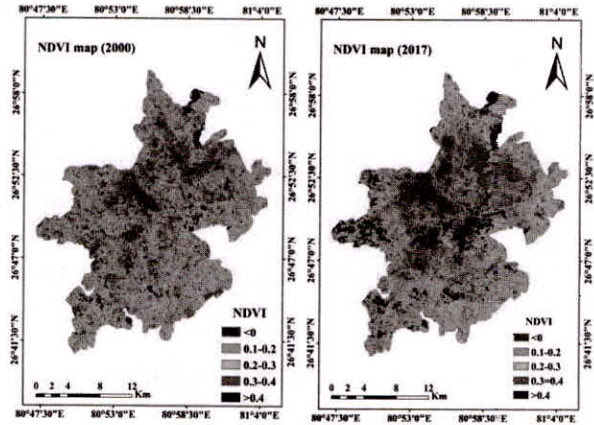
तालिका 4 के विवरण से विभिन्न भूमि उपयोग वर्गों की तुलना से पता चलता है कि लगभग 54.94% क्षेत्र बंजर वर्ग द्वारा कवर किया गया था, शहरी क्षेत्र द्वारा कुल क्षेत्रफल का 24.44%, पेड़ पौधा क्षेत्र (ट्री कवर) प्रकार वर्ग द्वारा 20% और 0.61% क्षेत्र कुल क्षेत्र जल निकायों द्वारा कवर किया गया था। 2000 का भूमि उपयोग और भूमि कवर मानचित्र चित्र क्रमांक 3 में दिखाया गया है। तालिका 4 में विभिन्न भूमि उपयोग वर्गों की तुलना से पता चलता है कि वर्ष 2017 के लिए लगभग 55.35% क्षेत्र बंजर वर्ग द्वारा कवर किया गया था, शहरी वर्ग द्वारा कुल क्षेत्रफल का 30.9%, ट्री कवर प्रकार वर्ग द्वारा 8.17% और कुल क्षेत्रफल का 0.61% जल निकायों द्वारा कवर किया गया था। 2017 का भूमि उपयोग और भूमि कवर मानचित्र चित्र क्रमांक 3 में दिखाया गया है। वर्ष 2000 से 2017 तक जल निकायों का भूमि कवर लगभग समान है, शहरी क्षेत्र में 26.44% की वृद्धि हुई है, जबकि ट्री कवर में 34.34% की कमी आई है, और बंजर क्षेत्र कुल अध्ययन क्षेत्र के लगभग समान है जो इस विश्लेषण के लिए माना जाता है।



चित्र क्रमांक 3 : वर्ष 2000 और 2017 का भूमि उपयोग और भूमि कवर

4.2 भूमि सतह के तापमान का विश्लेषण

सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) : भूमि सतह के तापमान के विश्लेषण के लिए पहले वर्ष 2000 और 2017 दोनों के लिए चमक तापमान की गणना की गई, जैसा कि कार्यप्रणाली अध्याय में चर्चा की गई, उसके बाद सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) की गणना की जाती है, जो वर्ष 2000 के लिए -0.2844 से 0.4707 तक भिन्न होती है (चित्र क्रमांक 4) और वर्ष 2017 के लिए यह -0.2815 से 0.3961 (चित्र क्रमांक 4) की सीमा में आता है।



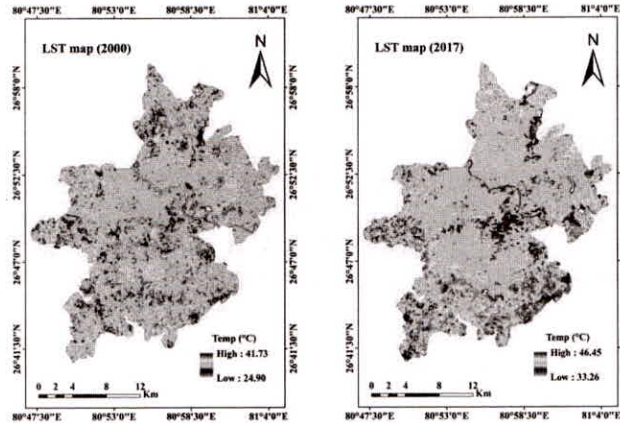
चित्र क्रमांक 4 : वर्ष 2000 और 2017 के लिए सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI)

सभी भूमि आवरण प्रकारों (जल निकायों, शहरी क्षेत्र, वृक्षों के आवरण और बंजर क्षेत्र) के लिए LST के इस विश्लेषण में अधिकतम LST, न्यूनतम LST, और मतलब LST की गणना GIS सॉफ्टवेयर में की जाती है।

भूमि की सतह का तापमान का विश्लेषण : वर्ष 2000 तथा 2017 के लिए भूमि की सतह के तापमान के विस्तृत आकड़े तालिका 5 में दिये गए हैं। तालिका का अध्ययन करने पर देखा जा सकता है कि जहां वर्ष 2000 में जल निकाय भूमि कवर में अधिकतम LST 40.99°C , न्यूनतम LST 27.51°C और औसत LST 31.80 था वो वर्ष 2017 में बढ़कर क्रमश 44.68°C , LST 34.73°C और औसत LST 38.53 हो गया जो इस बात को इंगित करता है कि शहरी क्षेत्र के विस्तार के साथ ही भूमि की सतह के तापमान में वृद्धि हुई है। शहरी क्षेत्रों के लिए तो यह वृद्धि अत्यधिक है जैसे वर्ष 2000 के लिए अधिकतम LST 41.73°C , न्यूनतम LST 30.32°C और औसत LST 35.54°C थी जो वर्ष 2017 में बढ़कर क्रमश 46.45 , 35.20 और 41.05 हो गई। चित्र क्रमांक 5 और विभिन्न भूमि आवरण प्रकारों के लिए LST में इन विविधताओं को भी दिखा रहा है।

तालिका 5 : वर्ष 2000 एवं 2017 के विभिन्न भूमि उपयोग के लिए भूमि की सतह का तापमान (LST)

LULC प्रकार	वर्ष 2000			वर्ष 2017		
	अधिकतम LST (°C)	न्यूनतम LST (°C)	औसत LST (°C)	अधिकतम LST (°C)	न्यूनतम LST (°C)	औसत LST (°C)
जल निकाय	40.99	27.51	31.80	44.68	34.73	38.53
शहरी क्षेत्र	41.73	30.32	35.54	46.45	35.20	41.05
ट्री कवर	41.36	24.90	34.54	46.25	33.25	40.42
बंजर इलाका	41.36	25.02	35.76	46.43	33.54	42.25



चित्र क्रमांक 5 : लखनऊ शहर के नक्शे : वर्ष 2000 और 2017 के लिए भूमि की सतह का तापमान (LST) मानचित्र

4.3 शहरी ताप क्षेत्र विचरण सूचकांक (अर्बन थर्मल फील्ड वारिनेट इंडेक्स (UTFVI) का विश्लेषण

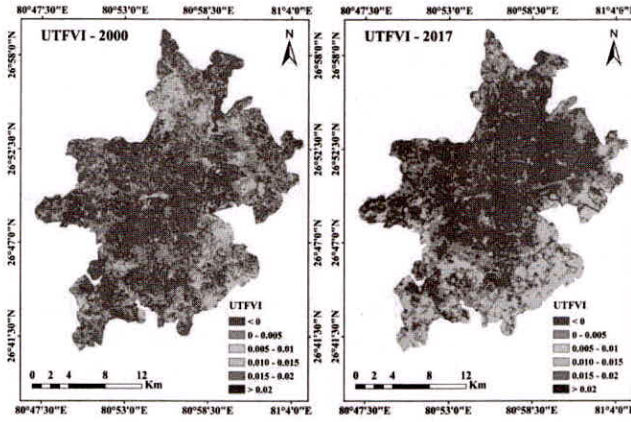
शहरी ताप क्षेत्र विचरण सूचकांक (UTFVI) का उपयोग पारिस्थितिक क्षरण पर ऊष्मा द्वीप के प्रभाव के मात्रात्मक वर्णन और सार्वजनिक स्वास्थ्य और शहर के माइक्रोक्लाइमेट पर इसके नकारात्मक प्रभाव के लिए किया जाता है। UTFVI को छह विभिन्न पारिस्थितिक मूल्यांकन सूचकांकों (तालिका 6) के साथ ऊष्मा द्वीप प्रभाव के स्थानिक वितरण की पहचान करने के लिए छह स्तरों में वर्गीकृत किया गया है।

UTFVI सूचकांक	शहरी ऊष्मा द्वीप प्रभाव	पारिस्थितिक मूल्यांकन सूचकांक
<0	कोई नहीं	अति उत्कृष्ट
0.000 – 0.005	कमजोर	अच्छा
0.005 – 0.010	मध्य	साधारण
0.010 – 0.015	बलवान	खराब
0.015 – 0.020	मजबूत	और भी बुरा
> 0.020	सबसे मजबूत	सबसे खराब

तालिका 6 पारिस्थितिक मूल्यांकन सूचकांक की सीमा

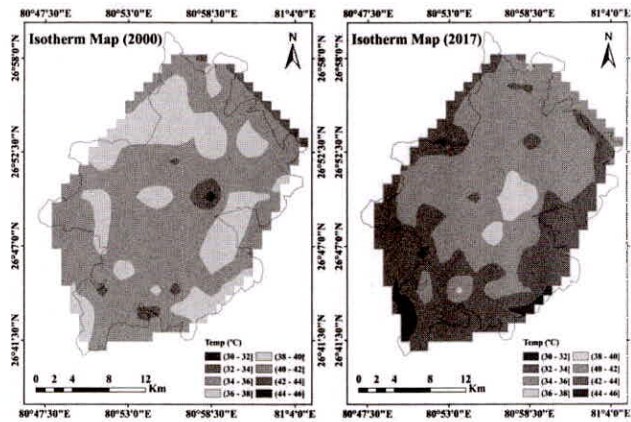
इस अध्ययन में लखनऊ शहर में शहरी ऊष्मा द्वीप प्रभाव की घटना के प्रभाव को वर्ष 2000 से 2017 तक विश्लेषित किया गया और यह देखा गया है कि वर्ष 2000 में शहर के छोटे बाहरी हिस्से में ऊष्मा द्वीप घटना दिखाई देती है और इसका पारिस्थितिक संतुलन अच्छा होता है, लेकिन 2017 में ऊष्मा द्वीप घटना में अत्यधिक वृद्धि हुई है और इस पर लगभग कब्जा हो गया विशेष रूप से शहर के पूरे दक्षिण-पूर्वी हिस्से में (चित्र क्रमांक 6)। सबसे खराब पारिस्थितिक मूल्यांकन सूचकांक शहर के दक्षिण पूर्वी भाग में दर्ज किया गया जो शहर के पर्यावरण के वातावरण की गिरावट और बढ़ती UHI प्रवृत्ति के कारण पाया गया। शहर के दक्षिण पूर्वी भाग में ऊष्मा द्वीप घटना वर्ष 2000 की तुलना में, वर्ष 2017 में बहुत मजबूत दिखाई दी। वर्ष 2017 में <0 रेंज वाले बहुत ही कम क्षेत्रों रहे और शहर में शेष स्थानों पर पारिस्थितिक मूल्यांकन

सूचकांक सबसे खराब स्तर पर पहुंच गया है। जबकि क्षेत्रों 0.005–0.010 की सीमा के बीच शहरी ऊष्मा द्वीप घटना के बीच में थे और वहाँ पारिस्थितिक मूल्यांकन सूचकांक सामान्य पाया गया था। UTFVI के माध्यम से देखी गई जानकारी शहर के पर्यावरण को बनाए रखने के लिए पर्यावरण इंजीनियरों और निर्णय निर्माताओं के लिए उपयोगी हो सकती है। लखनऊ शहर के पर्यावरण की रक्षा के लिए, शहरी क्षेत्र जो अत्यधिक शहरी गर्मी द्वीप घटना से ग्रस्त हैं, को शहर के भविष्य के विकास के लिए व्यावहारिक रूप से देखने की आवश्यकता है। शहरी थर्मल क्षेत्र विचरण सूचकांक से देखे गए परिणामों ने यह भी सुझाव दिया कि शहर का शहरी थर्मल वातावरण वनस्पति की घटती प्रवृत्ति के कारण अच्छा नहीं है।



चित्र क्रमांक 6 : वर्ष 2000 और 2017 के लिए अर्बन थर्मल फील्ड वियरेन्स इंडेक्स (UTFVI)

समतापीय (Isotherm) मानचित्र का विश्लेषण : चित्र क्रमांक 7 वर्ष 2000 और 2017 के लिए लखनऊ शहर के समतापीय (Isotherm) मानचित्र को दर्शाता है, मानचित्र से यह अनुमान लगाया जा सकता है कि शहर के मध्य भाग का जो शहरीकरण है, तापमान कभी भी 36°C से आगे नहीं जाता है और जैसा कि इसके बाहर भी होता है। 38% को पार कर गया। इन नक्शों से यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि शहर के मध्य भाग में भारी शहरीकरण है जो कि वर्ष 2000 में था, की तुलना में तापमान सीमा में है 38°C से 42°C तक और जैसा कि तापमान के बाहर जा रहा है, बढ़ने वाला है। तापमान की प्रवृत्ति में यह बाहरी वृद्धि दोनों वर्ष के लिए समान है, लेकिन मुख्य अंतर यह है कि वर्ष 2000 में तापमान कभी भी 38° पार नहीं गया जबकि वर्ष 2017 में यह कभी 38° डिग्री सेल्सियस से नीचे नहीं गया, जो तापमान में कुल बदलाव को दर्शाता है।



चित्र क्रमांक 7 : वर्ष 2000 और 2017 के लिए लखनऊ शहर का समतापीय (Isotherm) मानचित्र

5 निष्कर्ष

शहरी तापमान के बढ़ते चलन के कारण भूमि तापमान और शहर के स्थानीय वातावरण पर शहरीकरण के प्रभाव का आकलन अब पर्यावरण वैज्ञानिक और योजनाकारों के लिए प्रमुख चिंता का विषय है। इस बात के ठोस वैज्ञानिक प्रमाण हैं कि बढ़ते शहरीकरण और अन्य भूमि परिवर्तन के कारण पृथ्वी की सतह का औसत तापमान बढ़ रहा है। वर्तमान अध्ययन शहरी गर्मी के आकलन और थर्मल रिमोट सेंसिंग डेटा और जीआईएस तकनीकों का उपयोग करके एकीकृत तरीके से लखनऊ शहर के भूमि उपयोग पैटर्न में परिवर्तन से संबंधित समस्या पर आधारित है। अध्ययन लखनऊ शहर के लिए किया

गया है जिसका क्षेत्रफल लगभग 495 वर्गकिमी है। शहरीकरण के प्रभाव का अध्ययन वर्ष 2000 और 2017 के सैटेलाइट इमेजरी की तुलना GIS और ERDAS इमेज सॉफ्टवेयर का उपयोग करके किया गया है। भूमि सतह के तापमान (एलएसटी) का अनुमान आर्क जीआईएस सॉफ्टवेयर में NDVI और उत्सर्जकता डेटा के उपयोग के साथ है। इसके अलावा UTFVI (शहरी थर्मल क्षेत्र विचरण सूचकांक) का अनुमान अनुमानित LST के लिए भी किया जाता है और अंतिम समतापीय (Isotherm) मानचित्र दोनों वर्ष 2000 और 2017 के लिए उत्पन्न होता है। विस्तृत अध्ययन के बाद निम्नलिखित बिंदुओं का निष्कर्ष निकाला गया।

- वर्ष 2017 में शहरी क्षेत्र में 26.44% की वृद्धि हुई है, वृक्षों के कवर में 34.34% की कमी आई है, और वर्ष 2000 की तुलना में जल निकाय और बंजर क्षेत्र लगभग समान थे।
- औसत भूमि की सतह के तापमान के रूप में सभी वर्गों के लिए बढ़ गया है, जल निकायों के लिए यह 31.80°C से 38.54°C (21.16%) की वृद्धि हुई: शहरी क्षेत्र 35.54 °C से 41.05 °C (15.50%), वृक्ष कवर के लिए 35.54 °C से 40.52 °C (17.02%) से आते हैं और बंजर क्षेत्रों के लिए 35.76 °C से 42.25 °C (18.16%) यह क्रमशः 2000 से वर्ष 2017 के लिए हो गई है।
- यूटीएफवीआई शहर के बाहरी हिस्से में शहर के मध्य भाग की तुलना में अधिक मान दिखा रहा है।

References

- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*.
- Joshi, R. , Raval, H. , Pathak, M. , Prajapati, S. , Patel, A. , Singh, V. and Kalubarme, M. (2015) Urban Heat Island Characterization and Isotherm Mapping Using Geo-Informatics Technology in Ahmedabad City, Gujarat State, India. *International Journal of Geosciences*, **6**, 274-285. doi: 10.4236/ijg.2015.63021.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*
- D. R. Streutker (2002) A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas, *International Journal of Remote Sensing*, 23:13, 2595-2608, DOI: 10.1080/01431160110115023
- Streutker, David R. 2003. "Satellite-Measured Growth of the Urban Heat Island of Houston, Texas." *Remote Sensing of Environment* 85(3): 282-89. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000075>.