



**GIS தொழில்நுட்பத்தைப் பயன்படுத்தி பசுமைப் போர்வையை மதிப்பீடு செய்தல்:**

**கொழும்பு மாவட்டத்தை மையப்படுத்திய ஆய்வு**

**Assessing Green Cover using GIS Technology: A Study focusing on the Colombo District**

ஏ.எச்.எப். ஹப்ஸா

புவியியல் துறை, சமூகவிஞ்ஞானப் பீடம், களனிப் பல்கலைக்கழகம்

[afathimahafsa@gmail.com](mailto:afathimahafsa@gmail.com)

**ஆய்வுச் சுருக்கம்**

உலகளவில் விரைவான நகரமயமாக்கலினால் நகர்ப்புறங்களில் உள்ள பசுமைப்போர்வை போன்ற முக்கியமான இயற்கை வளங்களை இழக்கும் நிலை ஏற்பட்டு வருகின்றன. இலங்கையின் வர்த்தக மற்றும் நிர்வாகத் தலைநகராகிய கொழும்பு மாவட்டமும், தீவிரமான உட்கட்டமைப்பு அபிவிருத்தியை மேற்கொண்டு வருவதால், குறிப்பிடத்தக்க நிலப்பயன்பாடு மற்றும் நிலப்பரப்பு மாற்றங்களை எதிர்கொள்கிறது. எனவே, இந்த ஆய்வுப் பிரச்சினையை மையமாகக் கொண்டு, புவியியல் தகவல் முறைமை (GIS) மற்றும் தொலை உணர்வுத் (Remote Sensing) தொழில்நுட்பங்களைப் பயன்படுத்தி, கொழும்பு மாவட்டத்தில் உள்ள பசுமைப்போர்வையின் காலீதியான மாற்றங்களை மதிப்பிடுவதையும், அளவிடுவதையும் நோக்கமாகக் கொண்டுள்ளது. இவ்வாய்வில் இரண்டாம் நிலைத் தரவுகளான Sentinel-2 செயற்கைக்கோள் படங்கள் (Band 4 மற்றும் Band 8) மற்றும் ஆய்வுப் பருவங்களுக்குப் பெறப்பட்ட LULC தரவுகளைப் பயன்படுத்தி Arc GIS மென்பொருளின்கொண்டு NDVI பகுப்பாய்வு மூலம் 10 வருட காலகட்டங்களுக்கிடையே பசுமைப்போர்வையில் ஏற்பட்ட மாற்றம் அளவிடப்பட்டது. ஆய்வின் முடிவாக, கொழும்பு மாவட்டத்தின் பசுமைப்போர்வையானது (Green Cover) ஒட்டுமொத்தமாக வீழ்ச்சி அடைந்துள்ளது என்பதைக் கண்டறிந்துள்ளது. 2015 முதல் 2025 வரையான காலப்பகுதியில், மாவட்டத்தில் தீவிரமான நகரமயமாக்கல் மற்றும் கட்டுமானப் பணிகள் காரணமாக, அடர்த்தியான தாவரப்போர்வையின் பரப்பளவு குறிப்பிடத்தக்க அளவு குறைந்துள்ளது. குறிப்பாக, நகரின் மையப்பகுதிகள் அதிகளவில் பசுமையை இழந்து, பெரும்பாலும் கட்டிடமூடப்பட்ட சூழலாக (Built-up Area) மாற்றமடைந்துள்ளன என்பது கண்டறியப்பட்டதோடு அதனைக் குறைப்பதற்கான பரிந்துரைகளும் முன்வைக்கப்பட்டுள்ளன.

**திறவுச்சொற்கள்:** பசுமைப் போர்வை, NDVI, நகரமயமாக்கல், தாவரங்கள், புவியியல் தகவல் தொழில்நுட்பம்

## **Abstract**

Rapid global urbanization is leading to the loss of critical natural resources such as green cover in urban areas. Colombo District, the commercial and administrative capital of Sri Lanka, is also experiencing significant land use and land cover (LULC) changes due to intensive infrastructural development. Therefore, focusing on this research problem, the study aims to evaluate and quantify the temporal changes in green cover within the Colombo District using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing technologies. In this study, secondary data, including Sentinel-2 satellite imagery (Bands 4 and 8) and LULC data obtained for the study periods, were used. The change in green cover over a 10-year period was measured using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) analysis within the ArcGIS software. The study findings revealed that the overall green cover in the Colombo District has declined. During the period from 2015 to 2025, intense urbanization and construction activities within the district significantly reduced the area of dense vegetation. Specifically, it was found that the central parts of the city experienced the highest loss of greenery, with the majority of the area converting into Built-up Area. Recommendations have also been put forth based on these findings.

**Keywords:** *Green Cover, NDVI, Urbanization, Vegetation, Geographic Information System*

## 1. அறிமுகம்

உலகளவில் பசுமைப்போர்வையானது காலநிலை மாற்றத்தைக் கட்டுப்படுத்துவதிலும் கார்பன் டை ஆக்சைட்டை உறிஞ்சுவதிலும் முக்கிய பங்காற்றுகின்றது. இருப்பினும், உலகின் பசுமைப்போர்வை நிலையான அச்சுறுத்தலை எதிர்கொள்கின்றது. விவசாயம், நகரமயமாக்கல் மற்றும் சட்டவிரோத மரங்களை வெட்டுதல் போன்ற மனித நடவடிக்கைகளால் ஒவ்வொரு ஆண்டும் மில்லியன் கணக்கான ஹெக்டேர் காடுகளை உலகம் இழந்து வருகின்றது. இலங்கையும் இப்பிரச்சினையை தொடர்ந்தும் எதிர்கொண்டு வருகிறது. அதாவது, இலங்கை இயற்கையாகவே பசுமையான தீவாகக் கருதப்பட்டாலும் அதன் வனப்பரப்பு காலப்போக்கில் குறைந்து வருகிறது. 1990 ஆம் ஆண்டுகளிலிருந்து 2000 ஆம் ஆண்டுகளின் நடுப்பகுதி வரை வன அழிப்பு விகிதம் கணிசமாக உயர்ந்தது. எனினும், அரசாங்கம் காடுகளின் அளவை அதிகரிக்க இலக்குகளை நிர்ணயித்துள்ளது. பாதுகாக்கப்பட்ட பகுதிகளில் காடுகளைப் பராமரிப்பதில் நாடு குறிப்பிடத்தக்க முயற்சிகளை மேற்கொண்டுள்ளது. இருப்பினும், பெருந்தோட்டப் பயிர்களுக்கான நிலமாற்றம் மற்றும் உட்கட்டமைப்பு மேம்பாடு காரணமாக நாட்டின் பசுமைப்போர்வை தொடர்ந்து அழுத்தத்திற்குள்ளாகின்றது. குறிப்பாக இலங்கையின் வர்த்தகத் தலைநகரான கொழும்பில், பசுமைப்போர்வை என்பது முக்கியமாக நகர்ப்புறப் பூங்காக்கள், சதுப்பு நிலங்கள், தெருவோர மரங்கள் மற்றும் தனியார் தோட்டங்களைச் சார்ந்துள்ளது. இருப்பினும், நகரின் பல பகுதிகளில் மரங்கள் மற்றும் புதர்களின் அடர்த்தி குறைந்து வருவதால், பசுமையான பரப்பைப் பேணுவதும், நகர்ப்புற வெப்பத்தைக் குறைப்பதும் கொழும்பு நகருக்கு ஒரு முக்கிய சுற்றுச்சூழல் சவாலாக உள்ளது.

பசுமைப்போர்வை (Green Cover) என்பது நம்மைச் சூழவுள்ள பல்வேறு தாவரப்போர்வைகளை உள்ளடக்கிய ஒரு அம்சமாகும். அந்தவகையில் இதனுள் மரங்கள், புற்கள், செடி, கொடி என அனைத்து பச்சிலைகளும் உள்ளடங்கும். தாவரப்போர்வைகள் நிலத்திலிருந்தால், தாவரப் பொருட்களுடன் அங்குள்ள உயிரினக் கழிவுகளும் ஒன்று சேர்ந்து மண்ணை வளமாக்குவதுடன் மண் புழுக்களினதும் நுண்ணுயிர்களினதும் இயக்கத்தால் மண் இறுக்கம் தளர்வுவதுடன் மூலம் மழைநீர் நிலத்தினுள் முழுமையாக ஊடுருவ முடிவதுடன் இவற்றின் நிலைத்திருப்பால் சரியான மழைவீழ்ச்சி, வரட்சியின்மை, வெப்பக்குறைப்பு போன்ற பல்வேறு நன்மைகள் கிடைக்கின்றன. அதாவது பசுமைப்போர்வைகள் என்பது நகர்ப்புறத்தில் பல்வேறு தாவரங்களால் உருவாகியுள்ள ஒரு பசுமைச்சூழல் ஆகும். இது நகர்ப்புற நிலையான வளர்ச்சியில் முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றது. அதே நேரத்தில் நகர்ப்புற சுற்றுச்சூழல் தரம் மற்றும் குடியிருப்பாளர்களின் வாழ்க்கைத் தரத்தை அடையாளம் காண்பதற்கான ஒரு சமிக்ஞையாகவும் தொழிற்படுகின்றது. அதுமட்டுமன்றி இந்தப் பசுமைகள், பல்லுயிர் வாழிடமாகவும், சுற்றுச் சூழலுக்கு சேவை வழங்குவதாகவும், காபனை ஒழுங்குபடுத்துவதாகவும், மிக முக்கியமாக நகர்ப்புறமானது வெப்பத்தீவாக மாறுவதைக் குறைப்பவையாகவும் செயற்படுகின்றன.

விரைவான தொழில்மயமாக்கல் மற்றும் கிராமப்புற மக்களின் இடப்பெயர்வானது நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தின் பகுதிகளை விரிவுபடுத்துவதுடன் நகர்ப்புற மக்கள்தொகை அடர்த்தியை வேகமாக அதிகரிக்கின்றது. மக்கள்தொகையின் விரைவான வளர்ச்சி மற்றும் தொழில்மயமாக்கலானது நகர்ப்புறத்தில் கட்டிடங்கள், சாலைகள், வாகன நிறுத்துமிடங்கள் மற்றும் பாலங்கள் போன்ற விரைவான கட்டுமானங்களுக்கு வழிவகுக்கின்றன. இதனால் தாவரப்போர்வைகள் அகற்றப்படும் அபாயம் நிகழ்கின்றது. இவ்வாறாக இன்றைய காலகட்டத்தில் பசுமைப்போர்வை மாற்றமடைந்து வருகிறது. இம்மாற்றத்தைக் கண்டறிதல் (Change detection) என்பது நிலப்பரப்பிலுள்ள வேறுபாடுகளை கண்டறியும் முறையாகும்.

கட்டிடப்பகுதி விரிவாக்கம் மற்றும் நகர்ப்புறங்களில் நிலப்பரப்பு மாற்றம் என்பது ஒரு முக்கிய பிரச்சினையாக உள்ளது. அதனுடன் சேர்த்து பசுமைப்போர்வையில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் அதன் விளைவாக வனவிலங்கு வாழ்விடம், அழகியல், வரலாற்று மதிப்புகள், சுற்றுப்புறக் காற்றின் தரம்

மற்றும் பிற வள மதிப்புகளில் பாதிப்புகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஆனால் தற்போதுள்ள சனத்தொகை நிலப்பயன்பாட்டிற்காக தாவரப்போர்வைகள் அதிகரிப்பால் அழிக்கப்படுகின்றன. இதனால் அதிகரித்த வெப்பம், சரியான காலத்தில் மழையின்மை, வரட்சி என நகரங்கள் வெப்பத்தீவாக மாறும் இடங்கள் ஏற்படுகின்றன. எனவே தாவரப்போர்வை மற்றும் பசுமையின் நிலைத்திருப்பானது மிகவும் அத்தியாவசியமான ஒன்றாகக் காணப்படுகின்றது.

### 1.1. ஆய்வுப் பிரச்சினை

இலங்கையின் பிரதான வணிக மையமான கொழும்பு மாவட்டம் விரைவான நகரமயமாக்கல் மற்றும் கட்டுமானங்களை எதிர்கொள்கிறது. இதனால், பசுமைப்போர்வைகள் வெகுவாக அழிக்கப்பட்டு, நகரத்தின் சூழலியல் சமநிலை மற்றும் குடியிருப்பாளர்களின் வாழ்க்கைத்தரம் பாதிக்கப்படுகிறது. இந்த அழிப்பு, நகர்ப்புற வெப்பத்தீவு விளைவை (Urban Heat Island Effect) அதிகரித்து, ஒட்டுமொத்த சுற்றுச்சூழல் தரத்தையும் அச்சுறுத்துகிறது. கொழும்பு மாவட்டத்தின் பசுமைப் போர்வையின் சரியான அளவு, அதன் இட ரீதியான பரவல், மற்றும் காலப்போக்கில் ஏற்பட்டுள்ள மாற்றம் ஆகியவற்றைத் துல்லியமாக மதிப்பிடுவதற்கு நம்பகமான மற்றும் புதுப்பிக்கப்பட்ட தரவுகள் அவசியமாகின்றன. எனவே மேற்படி சவால்கள் காணப்படுகின்றமை ஆய்வின் பிரச்சினையாக உள்ளது.

### 1.2. ஆய்வின் நோக்கம்

இவ்வாய்வானது பின்வரும் நோக்கங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமையப் பெற்றுள்ளது

1. கொழும்பு மாவட்டத்தில் உள்ள பசுமைப் பரப்பைக் கணக்கிடுதல்.
2. பசுமைப் பரப்பு எவ்வாறு குறைந்துள்ளது என்பதைக் கண்டறிதல்.
3. இந்தக் குறைவுக்கு நகர்ப்புற விரிவாக்கம் காரணமா என்று பகுப்பாய்வு செய்தல்.
4. இதன் முடிவுகளைப் பயன்படுத்தி, எதிர்காலத் திட்டமிடலுக்கு ஆலோசனை வழங்குதல்.

### 1.3. ஆய்வின் முக்கியத்துவம்

இந்த ஆய்வு கொழும்பு மாவட்டத்தின் பசுமைப்போர்வையின் தற்போதைய நிலையைப் பற்றிய துல்லியமான புவியியல் தரவுகளை வழங்குவதன் மூலம் முக்கியத்துவம் பெறுகிறது. அதாவது இவ்வாய்வானது நகரத் திட்டமிடல் அதிகாரிகள் நிலையான நகர்ப்புற அபிவிருத்தித் திட்டங்களை வகுக்க உதவும், பசுமைப் போர்வையைப் பாதுகாக்க வேண்டிய முன்னுரிமைப் பகுதிகளை அடையாளங் காண உதவும், வெப்பத்தீவு விளைவுகளைக் குறைப்பதற்கும், சுற்றுச்சூழல் தரத்தை மேம்படுத்துவதற்கும் சூழல்சார் முடிவுகளை எடுப்பதற்கு வலுவான தரவு அடிப்படையை வழங்கும்.

ஆகவே, இந்த ஆய்வு கொழும்பு மாவட்டத்தில் நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தால் ஏற்படும் பசுமைப் பரப்பு இழப்பை நீண்ட கால அடிப்படையில் அளவிடுவதற்கு NDVI அடிப்படையிலான தொலை உணர்தல் மற்றும் GIS பகுப்பாய்வைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக உள்ளது. ஆய்வின் முடிவுகள் வெறுமனே பொதுவான அறிக்கைகளாக இல்லாமல், பசுமைப்பரப்பு குறைவின் அளவிடப்பட்ட மாற்ற அளவீடுகளையும் (quantified change metrics), இடஞ்சார்ந்த வடிவங்களையும் (spatial patterns) வழங்குகின்றன. இந்தத் துல்லியமான தரவுகள், நகர்ப்புறத் திட்டமிடுபவர்கள் மற்றும் முடிவெடுப்பவர்களுக்கு வளங்களை ஒதுக்கவும், எஞ்சியிருக்கும் பசுமைப் பரப்பைப் பாதுகாக்கவும் புதிய பசுமை உள்கட்டமைப்பை உருவாக்கவும் உதவுகின்றன. சுற்றுச்சூழல் மட்டத்தில், இந்த ஆய்வு நகர்ப்புற வெப்பத் தீவு விளைவைக் (Urban Heat Island effect) குறைத்தல் மற்றும் பல்லுயிர்ப் பெருக்கத்தை (biodiversity) ஆதரித்தல் ஆகியவற்றுக்கான பசுமைப் பரப்பின் இன்றியமையாத பங்களிப்பை அடிக்கோடிட்டுக் காட்டுகிறது. மொத்தத்தில், இந்த ஆய்வு கொழும்பு மாவட்டத்தில் நிலையான

நகர்ப்புற வளர்ச்சி மற்றும் சுற்றுச்சூழல் முகாமைக்கான உண்மைகள் அடிப்படையிலான கொள்கை உருவாக்கத்திற்கு (evidence-based policy formulation) நேரடியாகப் பங்களிக்கிறது.

## 2. இலக்கிய மீளாய்வு

இந்த இலக்கிய மீளாய்வு, கொழும்பு மாவட்டத்தில் துரித நகரமயமாக்கலின் (Rapid Urbanization) காரணமாக ஏற்படும் நிலப்பயன்பாடு மற்றும் நிலப்பரப்பு மாற்றங்களை (LULC) ஆராய்கிறது. குறிப்பாக, நகர்ப்புறப் பசுமைப்பரப்புகளின் (Urban Green Spaces) இழப்பு, அதன் தீவிரமான சுற்றுச்சூழல் தாக்கங்கள், மற்றும் இந்த மாற்றங்களைக் கண்காணிக்க தொலை உணர்வுத் (Remote Sensing - RS) தொழில்நுட்பங்கள் மற்றும் புவியியல் தகவல் அமைப்பின் (Geographic Information System - GIS) அத்தியாவசியப் பங்கு ஆகியவற்றை இந்தப் பகுப்பாய்வு மையப்படுத்துகிறது.

நகரமயமாக்கலின் விரைவான போக்கு ஒரு தவிர்க்க முடியாத உலகளாவிய நிகழ்வாகும், உலக மக்கள்தொகையில் சுமார் 50.5% பேர் தற்போது நகர்ப்புறப் பகுதிகளில் வசித்து வருகின்றனர். இந்த அதிவேக நகர்வு, இயற்கை வளங்கள் மற்றும் நிலப்பரப்பின் நிலைத்தன்மை மீது மகத்தான அழுத்தத்தை ஏற்படுத்துகிறது. மனித மற்றும் இயற்கைக் காரணிகளால் உந்தப்பட்ட நிலப்பயன்பாட்டு மாற்றங்களுக்கு, நகரங்களின் திட்டமிடப்படாத பரவல் (Urban Sprawl) மற்றும் கட்டுமான விரிவாக்கம் ஆகியவை முதன்மையான இயக்கி சக்திகளாகச் செயல்படுகின்றன. நகர்ப்புறப் பகுதிகளின் வளப் பயன்பாட்டின் தீவிரத்தை Mondal (2019) விளக்குகிறார். இதில் உலகளவில் நகர்ப்புற மக்கள் தொகையில் சுமார் 5% பேர் மட்டுமே உலகின் ஒட்டுமொத்த வள இழப்பில் கிட்டத்தட்ட 15% இற்கு காரணமாக உள்ளனர் எனத் தரவுகள் சுட்டிக்காட்டுகின்றன.

இலங்கையின் முதன்மை வணிக மற்றும் நிர்வாக மையமாகச் செயல்படும் கொழும்பு மாவட்டம், அதிக மக்கள் அடர்த்தி மற்றும் இடைவிடாத கட்டுமான நடவடிக்கைகளால் தீவிரமாகப் பாதிக்கப்படுகிறது, மேலும் இங்கு பசுமைப் பரப்புகள் மிக வேகமாக அழிக்கப்பட்டு வருவதாக Senanayake et al. (2013) ஆய்வுகள் உறுதிப்படுத்துகின்றன. நகர்ப்புறப் பசுமைப்பரப்புகள் வெறும் அழகுக்காக மட்டுமின்றி, காற்றின் தரத்தை மேம்படுத்துதல், நகர்ப்புற வெப்பத் தீவு விளைவைக் (Urban Heat Island Effect) குறைத்தல், வெள்ள அபாயத்தைக் கட்டுப்படுத்துதல் மற்றும் குடிமக்களின் மன மற்றும் உடல் ஆரோக்கியத்தை மேம்படுத்துதல் உள்ளிட்ட பல அத்தியாவசியமான சூழலியல் சேவைகளை வழங்குகின்றன. பசுமைப் பரப்புகளின் அழிவு வெறும் நில இழப்புடன் நின்றுவிடாமல், உள்ளூர் நுண்-காலநிலை மாற்றம் (Microclimate Change), நீர் சுழற்சி சீர்குலைவு மற்றும் பல்லுயிர்ப் பெருக்க இழப்பு ஆகியவற்றை உள்ளடக்கிய ஆழமான சுற்றுச்சூழல் நெருக்கடிகளை உருவாக்குகிறது. நகரமயமாக்கலினால் கான்கிரீட் கட்டமைப்புகள் அதிகரிப்பதும், பசுமைப் பரப்புகள் அழிக்கப்படுவதும் நகர்ப்புற வெப்பத் தீவு விளைவுக்கு முக்கியக் காரணமாகும். Sendo and Kanechi (2010) ஆய்வின்படி, நகர்ப்புறப் பகுதிகளில் மேற்பரப்பு வெப்பநிலை 40°C வரை உயரக்கூடும், இது பசுமைப் பரப்புகளின் ஈரப்பதத்தைத் தக்கவைக்கும் திறனைப் பாதிக்கிறது. மேலும், இந்த அதிகப்படியான வெப்பம் பல்லுயிர்ப் பெருக்கத்திற்கு நேரடி அச்சுறுத்தலை ஏற்படுத்துகிறது உதாரணமாக, Thymus, Evolvulus, மற்றும் Fragaria போன்ற பல மூலிகை மற்றும் அலங்காரத் தாவர இனங்களின் ஆரோக்கியமான வளர்ச்சிக்கு இரவு நேர வெப்பநிலை 6°C முதல் 8°C வரை அவசியமாகிறது, இது நகர்ப்புறக் கட்டமைப்பினால் ஏற்படும் வெப்ப உயர்வு மூலம் பாதிக்கப்பட்டு, இந்த உயிரினங்கள் அவற்றின் வாழ்விடத்தை இழந்து அழிவுக்கு உள்ளாகின்றன.

நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தின்போது, மண்ணின் பாதுகாப்பு மற்றும் வளம் பெரும்பாலும் புறக்கணிக்கப்படுகிறது. தாவரங்களின் வளர்ச்சிக்கு மிகவும் முக்கியமான 10 செ.மீ ஆழமுள்ள

மண்ணின் மேல் அடுக்கு (Top Soil) நடைபாதை அமைத்தல், கட்டிட நிர்மாணம் போன்ற செயல்பாடுகளால் பாதிக்கப்பட்டு, மண்ணின் ஈரப்பதத்தைத் தக்கவைக்கும் திறன் கணிசமாகக் குறைகிறது. கான்கிரீட் மற்றும் ஊடுருவ முடியாத மேற்பரப்புகள் அதிகரிப்பதால், மழைநீரின் ஊடுருவல் குறைந்து நிலத்தடி நீர் நிரப்பப்படுவது (Groundwater Recharge) குறைகிறது. அதே சமயம், நீர் நிலத்தில் உள்ளிறங்க முடியாததால், நகரத்தின் வடிகால் அமைப்பில் அதிக அழுத்தம் ஏற்பட்டு, நகர்ப்புற வெள்ளப்பெருக்குக்கான அபாயம் அதிகரிக்கிறது.

கொழும்பு போன்ற அடர்ந்த பகுதிகளில் உள்ள வளங்களின் மீதான அழுத்தம் தீவிரமானது என்பதை, 2018 ஆம் ஆண்டில் மட்டும் 5,500,000 மரங்கள் இழக்கப்பட்டதாகக் குறிப்பிடப்படும் தரவு உணர்த்துகிறது. இந்தச் சூழலியல் நெருக்கடிக்கு முதன்மைக் காரணம், நிர்வாகக் கொள்கை உருவாக்கத்திலும், சட்டங்களை நடைமுறைப்படுத்துவதிலும் உள்ள ஆழமான குறைபாடுகளாகும். Balram and Dragicevic (2004) ஆய்வின்படி, நகர்ப்புறத் திட்டமிடலில் காணப்படும் குறைபாடுகளும், திட்டச் செயல்பாடுகளில் சமூகப் பங்கேற்பின்மை நிலவுவதும் பசுமைப் பரப்புகளை விரைவாக அழிக்கும் திட்டமிடப்படாத நிலப்பரவலுக்கு (Unplanned Urban Sprawl) வழிவகுக்கிறது.

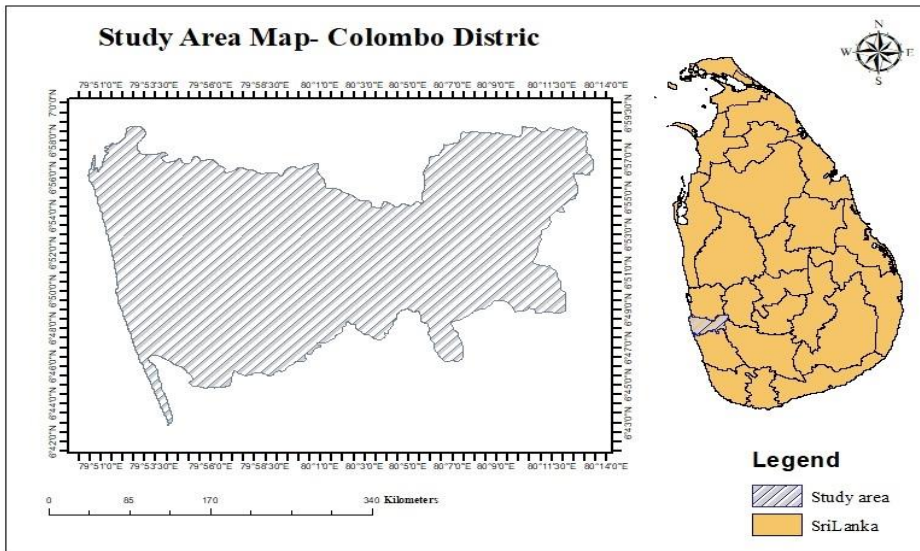
Jim and Liu (2000) மற்றும் Sendo and Kanechi (2010) ஆகியோர், தேசியச் சட்ட திட்டங்கள் இருந்தபோதிலும், அவற்றின் செயல்திறன் குறைவு, நிர்வாகக் குறைபாடுகள் மற்றும் சுற்றுச்சூழல் பாதுகாப்பிற்கான ஒருங்கிணைந்த பாதுகாப்பு மூலோபாயம் இல்லாதது ஆகியவற்றால், இந்தச் சட்டங்கள் நகர்ப்புற மேம்பாட்டைக் கட்டுப்படுத்துவதில் தோல்வியடைகின்றன என்பதைக் குறிப்பிடுகின்றனர். இந்தச் சட்ட இடைவெளி, கட்டுப்பாடற்ற நிலப்பரவலுக்கு வித்திடுகிறது, இது இறுதியில் பசுமைப் பரப்புகளை அழித்து நுண்-காலநிலை மாற்ற நெருக்கடிகளை மேலும் தீவிரப்படுத்துகிறது. நிலப்பயன்பாட்டு மாற்றத்தைக் கண்காணிக்கவும், நகர்ப்புறத் திட்டமிடலுக்குத் தேவையான நம்பகமான தரவுகளை வழங்கவும் RS மற்றும் GIS தொழில்நுட்பங்கள் மிகவும் அத்தியாவசியமான கருவிகளாகும். இந்தத் தொழில்நுட்பங்கள், பல தசாப்தங்களாக நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தின் வரலாற்றுத் தரவுகளைப் பகுப்பாய்வு செய்ய அனுமதிக்கின்றன, 1990 ஆம் ஆண்டு முதல் 2010 ஆம் ஆண்டு வரையிலான தரவுகளைச் சேகரித்து, ஆதார அடிப்படையிலான முடிவுகளை எடுக்க உதவுகின்றன (Noor et al., 2013).

நிலப்பரப்பில் ஏற்படும் மாற்றங்களை (Change Detection Analysis) அளவிடவும், கொழும்பு போன்ற பகுதிகளில் பசுமைப் பரப்புகள் எந்த அளவிற்கு இழக்கப்பட்டுள்ளன என்பதைக் கண்டறிவதற்கும் இந்தத் தொழில்நுட்பங்கள் மிகச் சிறப்பாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இலங்கையின் சூழலில் நீண்ட காலத் தரவுப் பகுப்பாய்வு (Temporal Analysis) மிகவும் முக்கியமானது என்பதை Vimukthi and Dissanayake (2022) ஆய்வின் மூலம் அறியலாம் அவர்கள் 2000 ஆம் ஆண்டு முதல் 2019 ஆம் ஆண்டு வரையிலான LULC மாற்றங்கள் தொடர்ச்சியாக நடந்துள்ளதைக் கண்டறிந்தனர். Senanayake et al. (2013) ஆய்வு, கொழும்பு மாவட்டத்தின் LULC மாற்றங்களைக் கண்காணிக்க RS மற்றும் GIS நுட்பங்களைப் பிரத்தியேகமாகப் பயன்படுத்தி, நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தின் தீவிரத்தையும், குறிப்பிடத்தக்க அளவில் பசுமைப் பரப்புகளின் குறைவையும் உறுதிப்படுத்தியது. மேலும், RS/GIS தொழில்நுட்பங்கள் தற்போது பொருளாதார ரீதியான மதிப்பீட்டு மாதிரிகள் (Hedonic Price Modeling) மற்றும் பொது சுகாதார தாக்கங்களை ஒருங்கிணைக்கும் திறன் கொண்ட தீர்மானிப்பு ஆதரவு அமைப்புகளாக (Decision Support Systems) பரிணாமம் அடைந்துள்ளன. பசுமைப் பரப்புகளின் பாதுகாப்பை வெறும் சுற்றுச்சூழல் கண்ணோட்டத்தில் இருந்து மட்டும் அணுகாமல், அதன் பொருளாதார மற்றும் சமூகப் பலன்களுடன் இணைத்துத் திட்டமிடுவது அவசியம் என பல ஆய்வுகள் வலியுறுத்துகின்றன.

Kong et al. (2006) ஆய்வின்படி, Hedonic Price Modeling போன்ற பொருளாதார முறைகளைப் பயன்படுத்தி பசுமைப் பரப்புகளின் மதிப்பை பணரீதியாக மதிப்பிட முடியும், இது திட்டமிடுபவர்களுக்குப் பாதுகாப்பிற்கான வலுவான நிதி மற்றும் பொருளாதார அடிப்படையை வழங்குகிறது. Pouya and Majid (2022) மற்றும் Lwin and Murayama (2011) ஆய்வுகள், பசுமைப் பரப்புகள் குறைவது காற்றின் தரத்தையும், பொது ஆரோக்கியத்தையும் மோசமாகப் பாதிக்கிறது எனக் குறிப்பிடுகின்றன. எனவே RS/GIS தரவுகளைப் பயன்படுத்திப் பசுமையான பகுதிகளை மூலோபாய ரீதியாக இணைப்பதன் மூலம் நகர்ப்புற ஆரோக்கியத்தை மேம்படுத்த முடியும் என்று பரிந்துரைக்கின்றன. இந்த விரிவான இலக்கிய மீளாய்வு, கொழும்பு மாவட்டத்தில் பசுமைப் பரப்புகளின் இழப்பு என்பது நிர்வாகத் தோல்விகள், சமூகப் பங்கேற்பின்மை மற்றும் திட்டமிடல் குறைபாடுகளால் இயங்கும் ஒரு பன்முகத்தன்மை கொண்ட சிக்கலாகும் என்பதை உறுதிப்படுத்துகிறது. RS/GIS தொழில்நுட்பம் LULC மாற்றத்தைக் கண்காணிப்பதற்கும் நிலையான நகர்ப்புற வளர்ச்சியை ஆதரிப்பதற்கும் முக்கியமானவை. ஆனால் அவை வலுவான கொள்கை நடவடிக்கைகள் மற்றும் பொருளாதார ரீதியான மதிப்பீடுகளுடன் இணைக்கப்பட வேண்டும்.

### 3. ஆய்வு முறையியல்

#### 3.1. ஆய்வுப் பிரதேசம்



#### உரு 1: ஆய்வுப் பிரதேசம்

மூலம்: Arc GIS10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.

ஆய்வுப் பகுதியான கொழும்பு மாவட்டம், இலங்கையின் தென் மேற்குக் கடற்கரையில் அமைந்துள்ளது. இதன் அமைவிடம் தோராயமாக வடக்கு அகலாங்கு  $6^{\circ} 45' - 7^{\circ} 05'$  இலிருந்து கிழக்கு நெட்டாங்கு  $79^{\circ} 50' - 80^{\circ} 10'$  வரையிலும் பரவியுள்ளது. புவியியல் ரீதியாக, இந்த மாவட்டம் பொதுவாகக் குறைந்த உயரமுள்ள சமவெளிப் பகுதிகளைக் கொண்டு தாழ்நிலப்பரப்பாக காணப்படுகிறது. மேலும் கொழும்பு மாவட்டம் நாட்டின் பிரதான வணிக மற்றும் நிர்வாக மையமாகச் செயல்படுகிறது இதனால் இங்கு மக்கள் தொகை அடர்த்தி மிக அதிகமாக உள்ளதுடன், பன்முகத்தன்மை கொண்ட சமூகக் குழுக்கள் வாழ்கின்றன.

இந்தப் பின்னணியில், கொழும்பு மிக வேகமாக நகரமயமாக்கல் (Urbanization) மற்றும் உட்கட்டமைப்பு விரிவாக்கங்களை எதிர்கொள்கிறது. இதன் விளைவாக, அத்தியாவசியமான

இயற்கை பசுமைப் போர்வைகள் (Green Cover) அழிக்கப்பட்டு, அவை கட்டிடங்கள் மற்றும் சாலைகளாக மாற்றப்படுகின்றன. இந்தச் சூழல் மாற்றம், நகரின் ஒட்டுமொத்த சுற்றுச்சூழல் தரம் மற்றும் வெப்பத்தீவு விளைவு (Urban Heat Island Effect) போன்றவற்றை நேரடியாகப் பாதிக்கிறது. எனவே, இந்தப் பிரதேசத்தில் பசுமையின் நிலைமையை மதிப்பிடுவது மிகவும் அத்தியாவசியமானதாகிறது.

### 3.2. தரவு சேகரிப்பு முறை

இந்த ஆய்வில், கொழும்பு மாவட்டத்தின் பசுமைப் போர்வையின் பரவலை மதிப்பிடுவதற்கும், காலப்போக்கில் ஏற்பட்ட மாற்றங்களைக் கண்டறிவதற்கும் தேவையான அனைத்துத் தரவுகளும் இரண்டாம் நிலைத் தரவுகளாகவே (Secondary Data) சேகரிக்கப்பட்டன. புவியியல் தகவல் அமைப்பு (GIS) மற்றும் தொலைநிலை உணர்தல் (Remote Sensing) பகுப்பாய்வுக்குத் தேவையான முக்கிய உள்ளீடுகளைப் பெறுவதற்கு செயற்கைக்கோள் தரவுத் தளங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டன. பசுமைப்போர்வையின் அளவைக் குறிக்கும் முக்கியமான குறியீடான சாதாரண வேறுபாடுடைய தாவரக் குறியீடு (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) தரவுகளைப் பெறுவதற்காக, Copernicus Data Space Ecosystem பயன்படுத்தப்பட்டது. இந்தத் தளத்திலிருந்து, கொழும்பு மாவட்டத்திற்கான செண்டினல்-2 (Sentinel-2) செயற்கைக்கோள் படங்கள் குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் (2015 மற்றும் 2025) சேகரிக்கப்பட்டன. NDVI-ஐக் கணக்கிடுவதற்காக, படங்களின் சிவப்பு அலைக்கற்றை (Band 4) மற்றும் அருகில் உள்ள அகச்சிவப்பு அலைக்கற்றை (Near Infrared - Band 8) ஆகிய இரண்டும் தரவிறக்கம் செய்யப்பட்டன. இந்த இரு அலைக்கற்றைகளுமே பசுமைப் போர்வையின் ஆரோக்கியத்தையும் செறிவையும் துல்லியமாக மதிப்பிடுவதற்கு அடிப்படையானவை ஆகும்.

மேலும், நகர்ப்புற விரிவாக்கம் மற்றும் பசுமைப் போர்வையின் அழிப்புக்குக் காரணமான நிலப்பயன்பாடு மற்றும் நிலப்பரப்பு (Land Use and Land Cover - LULC) மாற்றங்களைக் கண்டறிவதற்காகத் தேவையான தரவுகள், Earth Explorer தரவுத் தளத்திலிருந்து தரவிறக்கம் செய்யப்பட்டன. தரவிறக்கம் செய்யப்பட்ட இந்த அனைத்துப் படங்களும், பகுப்பாய்வுக்காகத் தயார் செய்யும் வகையில், GIS மென்பொருளுக்குள் இறக்குமதி செய்யப்பட்டு, கொழும்பு மாவட்டத்தின் புவியியல் எல்லைகளுக்குள் துல்லியமாகப் பிரித்தெடுக்கப்பட்டு (Clipped), மேலதிகப் பகுப்பாய்வுக்கு ஆயத்தப்படுத்தப்பட்டன. இதன் மூலம் ஆய்வு நோக்கங்களுக்குத் தேவையான புவியியல் உள்ளீடுகள் அனைத்தும் பூர்த்தி செய்யப்பட்டன.

## 4. தரவுப் பகுப்பாய்வு

கொழும்பு மாவட்டத்தின் Green Cover அளவு மற்றும் அதன் Change Detection பகுப்பாய்வு பின்வரும் படமுறைச் செயல்பாடுகளில் மேற்கொள்ளப்பட்டது.

- i. Data Import: ஆய்வுக்கான அனைத்து Secondary Data (Band 4 மற்றும் Band 8 Raster files) ArcGIS 10.8 மென்பொருளுக்குள் Import செய்யப்பட்டது.
- ii. Data Clipping: கொழும்பு மாவட்டத்தின் Boundary Shapefile பயன்படுத்தப்பட்டு, அனைத்துப் படங்களும் 'Extract by Mask' கருவி மூலம் Clipped செய்யப்பட்டன.
- iii. NDVI Calculation: Raster ஊயடஉரடயவழச இல் NDVI Formula பிரயோகிக்கப்பட்டு, 2015, மற்றும் 2025 ஆம் ஆண்டுகளுக்கான NDVI Raster Maps உருவாக்கப்பட்டன.
- iv. Reclassification: உருவாக்கப்பட்ட NDVI மதிப்புகள் 'Reclassify' கருவியைப் பயன்படுத்தி ஐந்து Discrete Classes ஆகப் பிரிக்கப்பட்டன.

v. Change Detection: வகைப்படுத்தப்பட்ட வருடங்களுக்கிடையேயான Raster Difference Operation மூலம் Change Detection Maps உருவாக்கப்பட்டன.

vi. Area Calculation: 'Tabulate Area' கருவி மூலம் ஒவ்வொரு NDVI Class இற்கும் உரிய மொத்த பரப்பளவு கணக்கிடப்பட்டது.

அதாவது, ஆரோக்கியமான தாவரங்கள் ஒளிச்சேர்க்கைக்காக (Photosynthesis) சூரிய ஒளியின் சிவப்புப் பகுதியைத் தீவிரமாக உறிஞ்சுகின்றன. எனவே, அடர்த்தியான பசுமைப் பரப்பு இருக்கும் இடத்தில் Band 4 இன் மிகைப்பு (Reflectance) குறைவாக இருக்கும். இதற்கு நேர்மாறாக, தாவரங்கள் தங்கள் செல் அமைப்பிலிருந்து அதிக வெப்பத்தைத் தவிர்ப்பதற்காக, அண்மைய அகச்சிவப்பு ஒளியை (Band 8) மிகவும் தீவிரமாகப் பிரதிபலிக்கின்றன. எனவே, தாவரங்களின் அடர்த்தி மற்றும் உயிர் நிறை (Biomass) அதிகமாக இருக்கும்போது Band 8 இன் மிகைப்பு அதிகபட்சமாக இருக்கும். இந்த இரண்டு பட்டைகளின் மிகைப்பு விகிதத்தின் அடிப்படையில் ஒவ்வொரு ஆண்டும் கொழும்பு மாவட்டத்தில் உள்ள பசுமைப் பரப்பின் அடர்த்தியும் ஆரோக்கியமும் (density and health) தீர்மானிக்கப்பட்டன:

$$NDVI = \frac{(Band\ 8 + Band\ 4)}{(Band\ 8 - Band\ 4)}$$

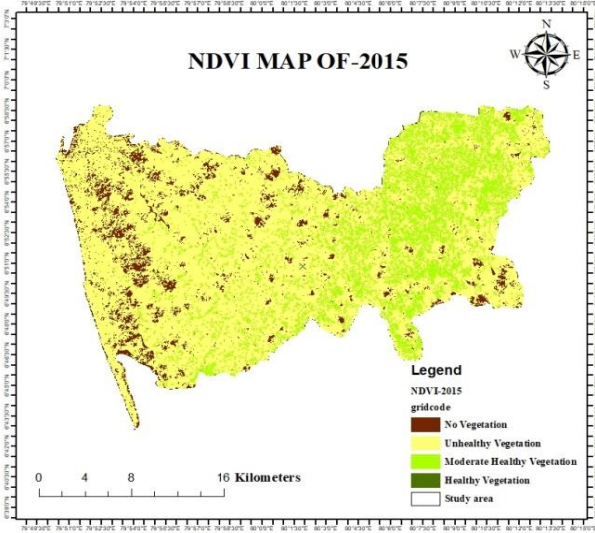
## 5. பெறுபேறு மற்றும் கலந்துரையாடல்

கொழும்பு மாவட்டத்தில் பசுமைப் போர்வை கடுமையான அழுத்தத்திற்கு உள்ளாகி வருவதனை அவதானிக்க முடிகிறது.

### 5.1. ஆய்வுப் பரப்பில் 2015 மற்றும் 2025 ஆம் ஆண்டுகளில் பசுமைப் போர்வை

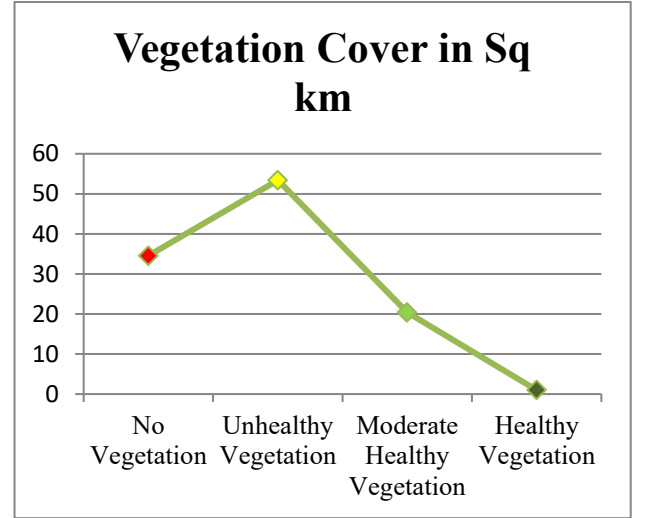
2015 மற்றும் 2025 ஆம் ஆண்டுகளில் பசுமைப் போர்வை எவ்வாறு காணப்பட்டது என்பதை, முக்கிய அளவீட்டுத் தகவல்களுடன் எடுத்து நோக்கும் போது, 2015 ஆம் ஆண்டு கொழும்பு மாவட்டத்தில் காணப்பட்ட தாவரப் போர்வையில், ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வையின் (Healthy Vegetation) அளவு 0.9%, நடுத்தர ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வையின் (Moderate Healthy Vegetation) அளவு 18.7%, ஆரோக்கியமற்ற தாவரப் போர்வையின் (Unhealthy Vegetation) அளவு 48.9% மற்றும் தாவரமற்ற நிலையின் அளவு (No Vegetation) 31.5% குறிப்பிடத்தக்க அளவில் இருந்துள்ளது.

நகர்ப்புறச் சூழலுக்கு இது ஒரு முக்கிய சொத்தாகக் கருதப்படுகிறது. இந்தப் பகுதிகள், நகர்ப்புற வெப்பத் தீவு விளைவைக் கட்டுப்படுத்துவதிலும், மழை நீரை உறிஞ்சி நிலத்தடி நீரை நிரப்புவதிலும், வெள்ளப் பெருக்க அபாயத்தைக் குறைப்பதிலும் இன்றியமையாத செயல்பாட்டுத் திறனைக் கொண்டிருக்கின்றன.



உரு 2: தாவரப் போர்வை 2015

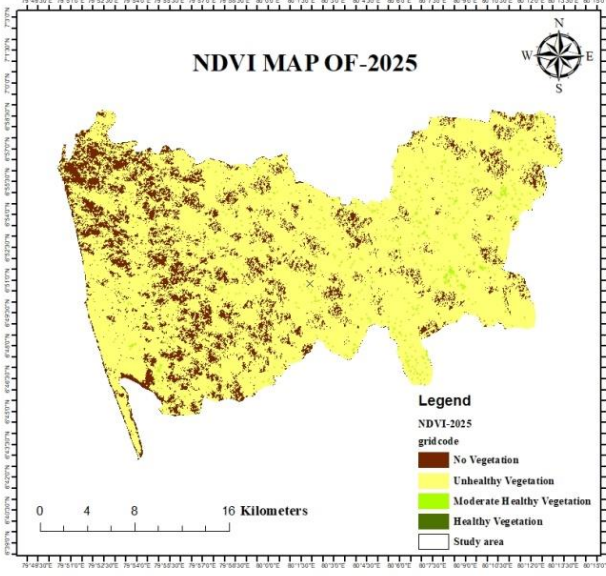
மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.



உரு 3: தாவரப் போர்வை 2015

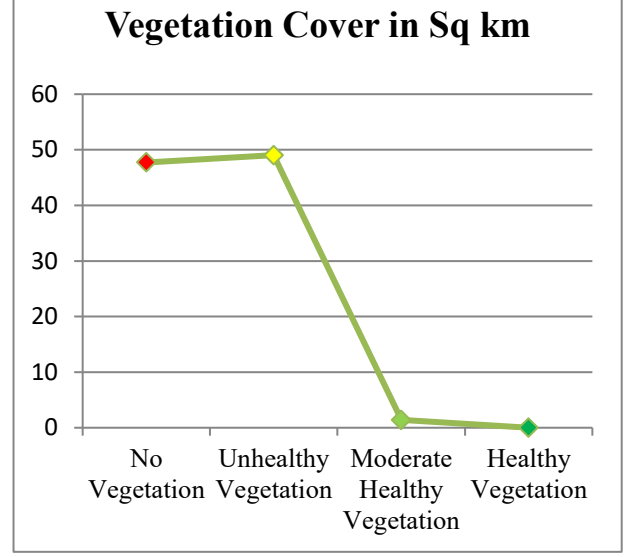
மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.

2025 ஆம் ஆண்டு கொழும்பு மாவட்டத்தின் தாவரப்போர்வை கணிசமான நிகரத் தரக்குறைவை (Net Degradation) எதிர்கொண்டுள்ளது. 2015 ஆம் ஆண்டிலிருந்து ஆரோக்கியமான (Healthy Vegetation) மற்றும் மிதமான ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வையின் (Moderate Healthy Vegetation) பெரும்பகுதி அழிக்கப்பட்டு, அது தாவரமற்ற நிலைக்கு (No Vegetation) மாற்றப்பட்டதே இதற்குக் காரணம் அதாவது, முதிர்ந்த மரங்கள் இருந்த நிலம், கட்டிடங்கள் மற்றும் கான்கிரீட் பரப்புகளாக மாறியுள்ளது. விகித அளவில் எடுத்து நோக்கும் போது, 2025 ஆம் ஆண்டு கொழும்பு மாவட்டத்தில் காணப்படுகின்ற தாவரப் போர்வையில், ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வையின்; (Healthy Vegetation) அளவு 0.1%, நடுத்தர ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வையின் (Moderate Healthy Vegetation) அளவு 1.4%, ஆரோக்கியமற்ற தாவரப் போர்வையின் (Unhealthy Vegetation) அளவு 49.9% மற்றும் தாவரமற்ற நிலையின் அளவு (No Vegetation) 48.6% ஆகக் காணப்படுகிறது.



உரு 4: தாவரப் போர்வை 2025

மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது



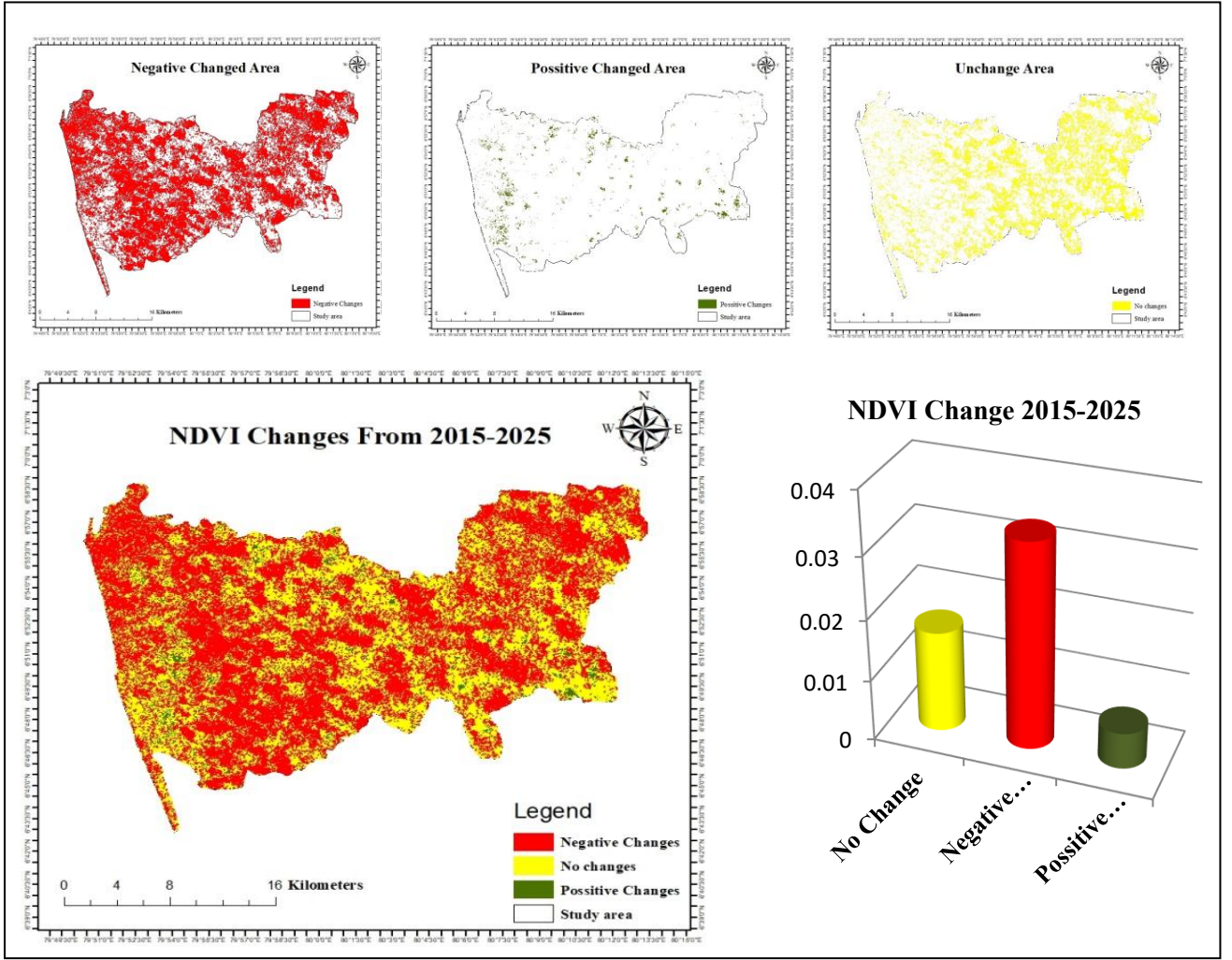
உரு 5: தாவரப் போர்வை 2025

மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது

தாவரமற்றிருந்த பகுதிகளில் புதிய அல்லது இளைய செடிகள் மற்றும் புற்களின் வளர்ச்சி (Positive Change) காணப்பட்டாலும், இந்த புதிய அடைவு, இழந்த முதிர்ந்த மரங்களின் செயல்பாட்டுத் திறனுக்கு ஈடாகவில்லை.

## 5.2. கொழும்பு மாவட்டத்தில் 10 ஆண்டு கால இடைவெளியில் பசுமைப்போர்வை மாற்றம்

2015 தொடக்கம் 2025 ஆகிய பத்து ஆண்டுகளில் பசுமைப்போர்வை இழந்த பகுதியின் மொத்த அளவு புதிதாக வளர்ந்த அல்லது மீண்ட பகுதியின் அளவை விட அதிகமாக உள்ளது. இதன் மூலம், கொழும்பு மாவட்டம் ஒட்டுமொத்தமாக, சூழலுக்கு மிகவும் நன்மை பயக்கும் பசுமைப் போர்வையை இழந்துள்ளது என்பது உறுதி செய்யப்படுகிறது.



## உரு 6: தாவரப் போர்வை மாற்றம்

மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.

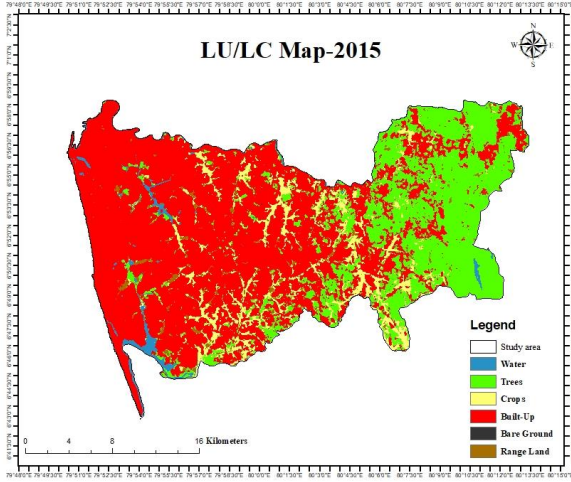
அதாவது, முதிர்ந்த மரங்கள் மற்றும் அடர்த்தியான பசுமைப்பகுதிகள் அகற்றப்பட்டு, அவை கொன்கிரீட் நிலங்களாகவும் தரம் குறைந்த புல்வெளிகளாகவும் மாற்றப்பட்டுள்ளன. இந்த இழப்பு, நகர்ப்புற விரிவாக்கத்தின் நேரடி விளைவாகும்.

மேலும் தாவரமற்ற நிலை (No Vegetation) என இருந்த இடங்களில் புதிய பசுமை உருவாகியுள்ளது. இது புதிய நடவு முயற்சிகளையோ அல்லது தற்செயலான வளர்ச்சியையோ குறிக்கிறது. இருப்பினும், இந்த புதிய வளர்ச்சி, இழந்த முதிர்ந்த மரங்களோடு ஒப்பிடும் போது அழிவையே அதிகம் கொண்டுள்ளது.

### 5.3. ஆய்வுப் பரப்பில் நகர விரிவாக்கம்

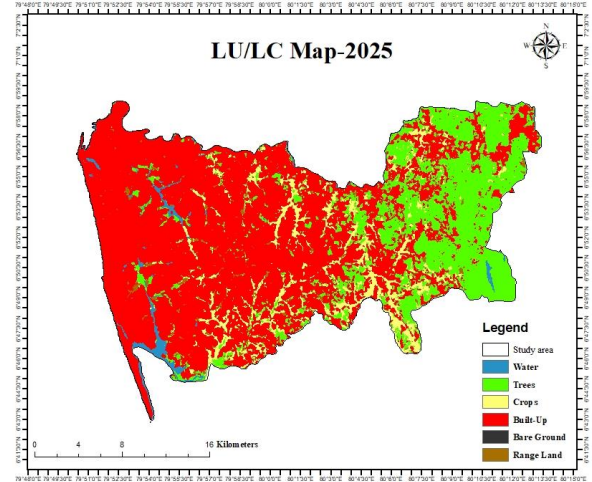
கடந்த 2015- 2025 வரையிலான காலகட்டத்தில், கொழும்பு மாவட்டமானது மக்கள்தொகை வளர்ச்சி, பொருளாதார மையப்படுத்தல் மற்றும் உள்கட்டமைப்பு மேம்பாடு ஆகியவற்றால் தூண்டப்பட்ட தீவிரமான நகர்ப்புற விரிவாக்கத்திற்கு (intensive urban expansion) உட்பட்டுள்ளது. இந்த விரிவாக்கம் ஆய்வில் LU/LC பகுப்பாய்வு மூலம் தெளிவாக

நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆரம்பத்தில் பசுமைப்போர்வையாக இருந்த நிலப்பரப்புகள் படிப்படியாக கட்டியெழுப்பப்பட்ட பகுதிகளாக (Built-up Areas) மாற்றப்பட்டுள்ளன.



**உரு 7: LU/LC Map-2015**

மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.



**உரு 8: LU/LC Map-2025**

மூலம்: Arc GIS 10.8 இல் ஆய்வாளனால் தயாரிக்கப்பட்டது.

2015 ஆம் ஆண்டில் 415Km<sup>2</sup> ஆக காணப்பட்ட கட்டப்பட்ட பகுதி (Built-up Areas) 2025 ஆம் ஆண்டாகும் போது 441.9Km<sup>2</sup> ஆக விரிவடைந்துள்ளது. இந்த நகர்ப்புறமயமாக்கல் நகரின் மையத்தில் இருந்து வெளிப்புறமாக, குறிப்பாக களனி, கோட்டே போன்ற புறநகர்ப் பகுதிகளை இலக்காகக் கொண்டு விரிவடைந்துள்ளது. இதன் நேரடி விளைவாக, ஆய்வுக் காலப்பகுதியில் பசுமைப்பரப்பு குறைந்துள்ளது. அதாவது, கடந்த பத்தாண்டுகளின் நகர்ப்புறமயமாக்கல் போக்கு, பசுமைப்பரப்பை விரைவாக இழக்கும் நிலைக்கு மாவட்டத்தைக் கொண்டு சென்றுள்ளது என்பதை LU/LC தரவுகள் உறுதிப்படுத்துகின்றன.

## 6. முடிவுரை

இந்த ஆய்வு, GIS (புவியியல் தகவல் அமைப்பு) மற்றும் தொலைநிலை உணர்தல் (Remote Sensing) தொழில்நுட்பங்களின் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி, கொழும்பு மாவட்டத்தின் நகர்ப்புறப் பகுதியில் உள்ள பசுமைப்போர்வையின் காலப் போக்கிலான மாற்றங்களை வெற்றிகரமாக மதிப்பிட்டுள்ளது. ஆய்வின் பிரதான நோக்கம் மற்றும் குறிக்கோள்களை நிறைவேற்றும் வகையில், 2015 மற்றும் 2025 ஆம் ஆண்டுகளுக்கான NDVI வரைபடங்கள் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டு, வகைப்படுத்தப்பட்டன. பகுப்பாய்வின் பிரதான கண்டுபிடிப்பானது, கொழும்பு மாவட்டம் கடந்த 10 ஆண்டுகளில், வேகமான நகரமயமாக்கல் மற்றும் Built-up Area விரிவாக்கம் (3.6%) காரணமாக அதன் அடர்த்தியான தாவரப் போர்வையின் குறிப்பிடத்தக்க வீழ்ச்சியை (26.9 ஏக்கர் வீழ்ச்சி) எதிர்கொண்டுள்ளதை உறுதிப்படுத்துகிறது. அதாவது, 2015 ஆம் ஆண்டில் 31.5% தாவரப் போர்வையற்ற பரப்பாகக் காணப்பட்டதுடன் 2025 ஆம் ஆண்டில் 48.6% ஆக அதிகரித்துள்ளது. இந்த இழப்பானது, மாவட்டத்தின் சூழலியல் ஒருமைப்பாடு, பல்லுயிர் மற்றும் குடிமக்களின் வாழ்க்கைத் தரம் ஆகியவற்றில் அச்சுறுத்தலை ஏற்படுத்துவதுடன், நகர்ப்புற வெப்பத்தீவு (UHI) விளைவையும் அதிகப்படுத்துகிறது.

எனவே, இந்த ஆய்வின் மூலம் பெறப்பட்ட தரவுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு, கொழும்பு மாவட்டத்தின் நிலையான நகர்ப்புற அபிவிருத்தி (Sustainable Urban Development) இலக்குகளை அடைவதற்குப் பின்வரும் பரிந்துரைகள் அவசியமாகின்றன:

- ✓ NDVI பகுப்பாய்வின் மூலம் ஆரோக்கியமான தாவரப் போர்வை என அடையாளம் காணப்பட்ட பகுதிகளில், உயர் மதிப்புள்ள பசுமைச் சொத்துக்களைப் பாதுகாக்க கடுமையான சட்டப் பாதுகாப்பு மண்டலங்களை (Green Zones) செயல்படுத்த வேண்டும்
- ✓ வெறும் சுற்றுச்சூழல் பாதுகாப்பாக அல்லாமல், பசுமைப் போர்வையின் சமூக மற்றும் பொருளாதார மதிப்பை பணரீதியாக மதிப்பிடுவதற்கு Hedonic Price Modeling போன்ற பொருளாதார முறைகளைத் திட்டமிடல் செயல்பாடுகளில் முறைப்படுத்த வேண்டும் இது பாதுகாப்பிற்கான வலுவான நிதி நியாயத்தை வழங்குகிறது மேலும், பொதுப் பங்கேற்பை ஊக்குவிக்க வரிச் சலுகைகள் அல்லது அபராதங்கள் (Tax system) போன்ற வழிமுறைகள் பரிந்துரைக்கப்படலாம்.
- ✓ புவியியல் தகவல் முறைமை (GIS) மற்றும் தொலை உணர்வு தொழிநுட்ப (RS) தரவுகளைப் பயன்படுத்தி நிகழும் மாற்றங்களை (Change Detection) தொடர்ந்து கண்காணிக்கும் ஒரு மையப்படுத்தப்பட்ட அமைப்பை நிறுவுவதன் ஊடாக நகர்ப்புறத் திட்டமிடல் அதிகாரசபைக்கு இது செயல்திறன் மிக்க மற்றும் ஆதாரம் சார்ந்த முடிவெடுப்பதற்கு உதவும்.
- ✓ வெள்ள அபாயம் போன்ற நெருக்கடிகளைத் தணிப்பதன் மீது கவனம் செலுத்தும் இலக்கு வைக்கப்பட்ட பசுமையாக்கல் முயற்சிகளில் ஈடுபட வேண்டும். அதிக மழை நீர் ஊடுருவல் மற்றும் அதிக நிழலை வழங்கும் ஆழமான வேரூன்றிய, உயர் விதான மர இனங்களை (high-canopy tree species) குறிப்பாக அதிக இழப்புப் பகுதிகளில் நட்புவது அவசியம்.

மொத்தத்தில், இந்த ஆய்வு GIS மற்றும் தொலைநிலை உணர்வல் முறைகளின் துல்லியத்தையும் முக்கியத்துவத்தையும் நிரூபிப்பதுடன், பசுமையின் நிலைத்தன்மையை உறுதிப்படுத்துவதானது கொழும்பு மாவட்டத்தின் எதிர்காலச் சூழல் ஆரோக்கியத்திற்கு எவ்வளவு இன்றியமையாதது என்பதை வலியுறுத்துகிறது.

### உசாத்துணைகள்

- Balram, S., & Dragičević, S. (2005). Attitudes toward urban green spaces: integrating questionnaire survey and collaborative GIS techniques to improve attitude measurements. *Landscape and urban planning*, 71(2-4), 147-162.
- Jim, C. Y., & Liu, H. H. T. (2000). Statutory measures for the protection and enhancement of the urban forest in Guangzhou City, China. *Forestry*, 73(4), 311-329,
- Lwin, K. K., & Murayama, Y. (2011). Modelling of urban green space walkability. *Eco-friendly walk score calculator. Computers, Environment and urban systems*, 35(5), 408-420.
- Mondal, B.K. (2019). Destruction of Urban Greenery of Indian Cities - A Study of the Two Wards of Kolkata through GIS and Remote Sensing, 63(4), 93- 110. <https://www.researchgate.net/publication/331476426>

- Noor, N. M., Abdullah, A., & Manzahani, M. N. H. (2013). Land cover change detection analysis on urban green area loss using GIS and remote sensing techniques. *Planning Malaysia*, 11.
- Pouya, S., & Aghlmand, M. (2022). Evaluation of urban green space per capita with new remote sensing and geographic information system techniques and the importance of urban green space during the COVID-19 pandemic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(9), 633.
- Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., & Nadeeka, P. (2013). Assessment of green space requirement and site analysis in Colombo, Sri Lanka- A remote sensing and GIS approach. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(12), 29-34.
- Sendo, T., Kanechi, M., Uno, Y., & Inagaki, N. (2010). Evaluation of growth and green coverage of ten ornamental species for planting as urban rooftop greening. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 79(1), 69-76.
- Vimukthi, A. A. D. A. S., & Dissanayake, I. A. J. K. (2022). Spatial and Temporal Variation in Land Use Patterns and Their Influence on Urban Green Spaces in a Metropolitan University: An Assessment Using GIS and Remote Sensing Techniques.

