জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয় ভূগোল ও পরিবেশ সমীক্ষণ ৪৩:২০২৪ (পৃ. ৮৭-৯৯)
Jahangirnagar Bishwavidyalay Bhugol O Paribesh Samikkhan 43:2024 (pp 87-99) ISSN 1027-8567

বান্দরবান সদর উপজেলার উদ্ভিদ আচ্ছাদনের বিঘ্নতা সনাক্তকরণে BFAST মডেলের প্রয়োগ

এবাদুল্লাহ খান[১], মোহাম্মদ সোহেল আকতার সুমন[২], মোহাম্মাদ আলী[৩]

[১]সহযোগী অধ্যাপক, ভূগোল ও পরিবেশ বিভাগ, জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়, সাভার, ঢাকা-১৩৪২
[২-৩]এমএসসি গবেষক, ভূগোল ও পরিবেশ বিভাগ, জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়, সাভার, ঢাকা-১৩৪২

সারসংক্ষেপ: বাংলাদেশের প্রেক্ষাপটে পাহাড়ি ও সংরক্ষিত বনাঞ্চলের মধ্যে চট্টগ্রাম পার্বত্য অঞ্চল (CHT) একটি গুরুত্বপূর্ণ এলাকা, যেখানে পরিবেশগত ভারসাম্য রক্ষায় বন ভূমিকা রাখছে। গবেষণায় দেখা গেছে, এই অঞ্চলে মানবসৃষ্ট ও প্রাকৃতিক কারণে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটেছে, যার মধ্যে রয়েছে অবৈধ বসতি স্থাপন, কৃষি সম্প্রসারণ, কাঠ সংগ্রহ এবং ভূমি দখল। এসব কারণে বন উজাড় এবং প্রাকৃতিক পরিবেশের ক্ষতি হয়েছে। এই পরিবর্তন চিহ্নিত করতে গবেষণায় রিমোট সেন্সিং এবং জিওগ্রাফিক ইনফরমেশন সিস্টেম (GIS)-এর সাহায্যে Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) বিশ্লেষণ করা হয়েছে। এছাড়া, BFAST (Breaks For Additive Season and Trend) মডেল ব্যবহার করে সময়ভিত্তিক পরিবর্তনের প্রবণতা মূল্যায়ন করা হয়েছে, যা নির্দিষ্ট সময়সীমায় বন ক্ষয় বা পরিবর্তনের প্রকৃতি নির্ধারণে সহায়তা করেছে। এই মডেল নিখুঁতভাবে পর্যায়ক্রমিক উপগ্রহ চিত্র বিশ্লেষণের মাধ্যমে পিক্সেল ভিত্তিক উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাত সনাক্ত কওে যেখানে কোন তথ্য ঘাটতি থাকে না। গবেষণায় দেখা গেছে, NDVI এর মান সর্বোচ্চ ০.৬০ থেকে সর্বনিম্ন -০.৩৬, যা ২০০০ থেকে ২০২৪ সাল পর্যন্ত সময়ের মধ্যে উদ্ভিদ আচ্ছাদনের বৃদ্ধি ও হ্রাস নির্দেশ করে। মূলত ২০০৬, ২০০৭, ২০০৮ ও ২০০৯ সালে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন লক্ষ্য করা গেছে, যেখানে যথাক্রমে ৫৮.০৫ হেক্টর, ৯৪.৩২ হেক্টর, ৬৮.৪০ হেক্টর এবং ৬৯.৩০ হেক্টর এলাকায় ভূমি আচ্ছাদনে ব্যাঘাত পরিলক্ষিত হয়েছে। BIC ও LWZ এর মান -৫০ থেকে -৩০০ দেখায় যে, মডেলটি নির্দিষ্ট এলাকাগুলোর পরিবর্তন নির্ভুলভাবে সনাক্ত করতে পেরেছে। এই পরিবর্তনের পেছনে কারণ হিসেবে দেখা গেছে নগরায়ণ, বসতি সম্প্রসারণ, স্থানান্তরিত চাষাবাদ, কাঠ সংগ্রহ এবং অনিয়ন্ত্রিত ভূমি ব্যবস্থাপনা। তাই, BFAST মডেলটি উদ্ভিদ আচ্ছাদনের পরিবর্তন সনাক্তকরণে কার্যকর এবং সংশ্লিষ্ট কর্তৃপক্ষের জন্য ভবিষ্যৎ পরিকল্পনা, যেমন ভূমি ব্যবস্থাপনা জোনিং এবং প্রচলিত আইন প্রয়োগে কার্যকর দিকনির্দেশনা দিতে সক্ষম।

মূলশব্দঃ BFAST মডেল, NDVI, উদ্ভিদ আচ্ছাদন, রিমোট সেনসিং, জিওগ্রাফিক ইনফরমেশন সিস্টেম

ভূমিকা

বাংলাদেশের পরিবেশগত ভারসাম্য এবং স্থানীয় জনগণের জীবিকা চট্টগ্রাম পার্বত্য অঞ্চলের (CHT) বনগুলোর উপর বিশেষ করে বান্দরবান সদর উপজেলায় অনেকাংশে নির্ভরশীল। বিগত কয়েক দশকে, এই বনাঞ্চল প্রাকৃতিক ও মানবসৃষ্ট কারণে মারাত্মক বিপর্যয়ের সম্মুখীন হয়েছে, যার মধ্যে রয়েছে স্থানান্তরিত চাষ, বন উজাড় এবং জলবায়ু পরিবর্তন। বন সংরক্ষণ ও টেকসই ব্যবস্থাপনার জন্য এই বিপর্যয়ের গতিশীলতা বোঝা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। উদ্ভিদের স্বাস্থ্য পর্যবেক্ষণের একটি কার্যকর কৌশল হল রিমোট সেন্সিং প্রযুক্তি এবং এর সাথে সংশ্লিষ্ট Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) সূচক। এটি উদ্ভিদের সবুজত্ব পরিমাপ করে এবং বন পরিস্থিতির একটি কার্যকর সূচক প্রদান করে (Sumiya et al., 2024)। এই গবেষণায় ২০০০ থেকে ২০২৪ সালের NDVI ডাটা বিশ্লেষণ করে বন বিপর্যয়ের গতিশীলতা নির্ধারণ করা হয়েছে, যেখানে ২০০৩ এবং ২০১৮ সালকে প্রধান বিপর্যয়ের বছর হিসেবে চিহ্নিত করা হয়েছে। এছাড়া, নির্দিষ্ট পিক্সেলভিত্তিক পরিবর্তন বিশ্লেষণের মাধ্যমে ২৪ বছর সময়কালে বন পরিস্থিতির পরিবর্তন উদঘাটন করা হয়েছে। BFAST (Breaks For Additive Season and Trend) মডেলের ব্যবহার দীর্ঘমেয়াদী স্যাটেলাইট ডাটা পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে উদ্ভিদের সবুজত্ব উদঘাটনে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এটি সময়ের সাথে উদ্ভিদের সবুজত্ব পর্যবেক্ষণের জন্য কার্যকর একটি কৌশল (Verbesselt et al., ২০১০)। প্রাকৃতিক, মানবসৃষ্ট এবং জলবায়ুগত কারণগুলো উদ্ভিদের আচ্ছাদনকে নিয়ন্ত্রণ করে।

বিশ্বব্যাপী ১৯৮০ থেকে ১৯৯০ সালের মধ্যে ক্রমবর্ধমান হারে

গ্রীষ্মমন্ডলীয় বন ধ্বংস ও অবনতি ঘটেছে (Keenan et al., 2015; Langner et al., 2018)। বন সংরক্ষণে উদ্ভিদ আচ্ছাদনের পরিবর্তন বোঝা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, কারণ এটি বন ধ্বংস, অবক্ষয় এবং পুনরুদ্ধার প্রক্রিয়ার সাথে সম্পর্কিত। NDVI সূচক বন বিপর্যয় নিরীক্ষণের জন্য অত্যন্ত কারর্যকর, কারণ এটি সবুজত্বের পরিবর্তন নির্ধারণ করতে পারে যা বন উজাড় বা পুনরুদ্ধার প্রক্রিয়ার সাথে সম্পর্কিত। গ্রীষ্মমন্ডলীয় বনগুলোর গুরুত্ব সম্পর্কে একটি গবেষণা সংযুক্ত করা প্রয়োজন। গ্রীষ্মমন্ডলীয় বন জীববৈচিত্র সংরক্ষণ, বৈশ্বিক জলবায়ুর স্থিতিশীলতা এবং মৌলিক বাস্তুতান্ত্রিক সেবাগুলোর জন্য অপরিহারর্য। তবে, মানবসৃষ্ট কার্যক্রম (যেমন: কাঠ আহরণ ও কৃষি সম্প্রসারণ) এবং প্রাকৃতিক দুর্যোগ (যেমন: ভূমিধস ও ঘূর্ণিঝড়) গ্রীষ্মমন্ডলীয় বনগুলোর উপর ক্রমবর্ধমান হুমকি সৃষ্টি করছে। উদ্ভিদের আচ্ছাদনের টেকসই সংরক্ষণ ও ব্যবস্থাপনা কৌশল বাস্তবায়নের জন্য এই বিপর্যয় পর্যবেক্ষণ করা জরুরি।

বাংলাদেশ একটি ছোট দক্ষিণ এশীয় দেশ, যেখানে জাতীয় বনভূমির ৪৪% অঞ্চল গ্রীষ্মমন্ডলীয় বন দ্বারা আচ্ছাদিত এবং ২০১৬ সালের হিসাবে দেশের মোট ভূমির ১০.৯৬% গ্রীষ্মমন্ডলীয় রেইন ফরেস্টের অন্তর্ভুক্ত (Islam et al., 2014)। বাংলাদেশের প্রধান বনগুলোও দ্রুত হ্রাস পাচ্ছে জনসংখ্যার অত্যধিক বৃদ্ধি, দারিদ্র্য, জ্বালানি কাঠ, চারণভূমি ও আসবাবপত্র কাঠের সংকট, জুম চাষ, অতিরিক্ত কাঠ আহরণ, ভূমি দখল, জনবসতি সম্প্রসারণ, নগরায়ন এবং দুর্বল বন ব্যবস্থাপনা পদ্ধতির কারণে (Hossen et al., 2019)। ভূমি আচ্ছাদন (Land cover) পৃথিবীর ভূ-পৃষ্ঠের ভৌত বৈশিষ্ট্য নির্দেশ করে এবং ভূমি ব্যবহার (Land use) বলতে মানুষের দ্বারা কৃষি, নগরায়ন ও শিল্পায়নের জন্য ভূমির ব্যবহার বোঝায়, যা একে অপরের সাথে সম্পর্কিত (Kaul & Ingle, 2012)। উদ্ভিদের স্বাস্থ্য ও বনভূমির পরিবর্তন পর্যবেক্ষণে NDVI একটি ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত রিমোট সেন্সিং পদ্ধতি, যা দৃশ্যমান ও নিয়ার-ইনফ্রারেড বেন্ডের প্রতিফলন বিশ্লেষণ করে উদ্ভিদ বায়োমাস ও সবুজত্বের পরিবর্তন নিরূপণ করে (Tucker, 1979)। গ্রীষ্মমন্ডলীয় বন গবেষণায় NDVI -এর কার্যকারিতা বিভিন্ন গবেষণায় প্রমাণিত হয়েছে, যেমন Asner et al. (2005) আমাজনে বন ধ্বংস সনাক্তকরণে, এবং DeFries et al. (2007) দক্ষিণ-পূর্ব এশিয়ায় কৃষি সম্প্রসারণ নিরীক্ষণে NDVI ব্যবহার করেছেন। বাংলাদেশে পূর্ববর্তী গবেষণাগুলোতে পার্বত্য চট্টগ্রাম বন আচ্ছাদন পরিবর্তনের ক্ষেত্রে বিভিন্ন রিমোট সেন্সিং কৌশল প্রয়োগ করা হয়েছে (Rahman et al., 2017)। বন আচ্ছাদন প্রাকৃতিক, মানবসৃষ্ট এবং জলবায়ুগত বিভিন্ন উপাদান দ্বারা প্রভাবিত একটি গুরুত্বপূর্ণ জীববৈজ্ঞানিক প্রক্রিয়ার সাথে সংযুক্ত, যেখানে শ্বসন, বাষ্পীভবন ও সালোকসংশ্লেষণ উদ্ভিদের বৃদ্ধি এবং স্থানিক পরিবর্তনের সাথে সরাসরি সম্পর্কিত (McCall & Bishop-Hurley, 2003)।

বিভিন্ন গবেষণায় রিমোট সেন্সিং, বিশেষত NDVI ব্যবহার করে বন ধ্বংস, অবক্ষয় ও পুনরুদ্ধারের প্রক্রিয়া বিশ্লেষণ করা হয়েছে। তবে বাংলাদেশের বিশেষত বান্দরবান সদর উপজেলার NDVI -ভিত্তিক দীর্ঘমেয়াদি বন পরিবর্তন নিরীক্ষা তুলনামূলকভাবে সীমিত। এই গবেষণায় ২০০০ থেকে ২০২৪ সালের মধ্যে বন আচ্ছাদন পরিবর্তন সনাক্তে NDVI ও BFAST মডেল ব্যবহার করা হয়েছে, যেখানে স্যাটেলাইট চিত্র, গুগল আর্থ ইঞ্জিন প্ল্যাটফর্ম এবং পিক্সেল-ভিত্তিক বিশ্লেষণ প্রয়োগ করা হয়েছে।

গবেষণার লক্ষ্য ও উদ্দেশ্য

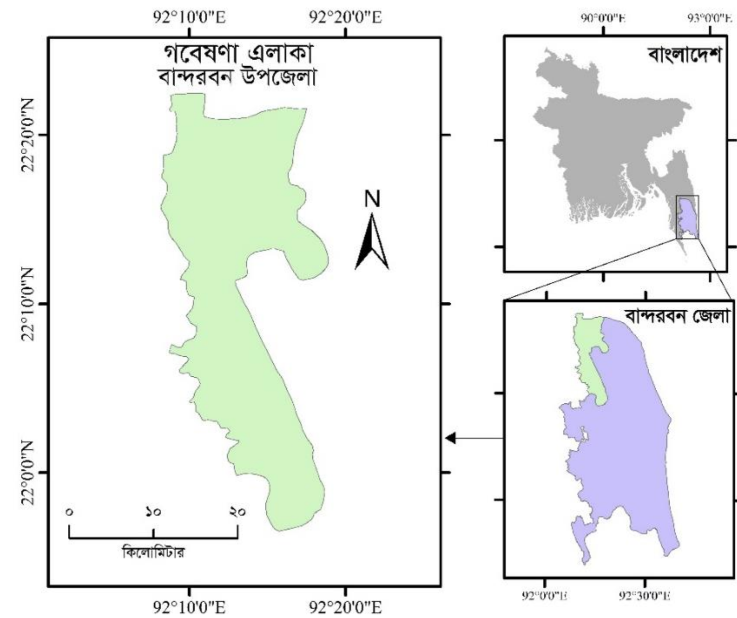
এই গবেষণার লক্ষ্য হলো BFAST মডেল প্রয়োগের মাধ্যমে বন বিপর্যযের মাত্রা শনাক্তকরণ ও এর পরিবর্তনের দিক নির্ধারণ।

১) NDVI ইনডেক্স প্রয়োগের মাধ্যমে গড় (mean) এবং ভেরিয়েন্স (variance) গণণাপূর্বক পূর্ববর্তী বছর হিসেবে ২০০৩, ২০১০ এবং ২০১৮ সালের উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাত চিহ্নিতকরণ।

২) ২০০০ থেকে ২০২৪ সালের পর্যায়ক্রমিক ডাটা ব্যবহার করে পিক্সেল-ভিত্তিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উদ্ভিজ্জ আচ্ছাদনের মান (Magnitude), পরিবর্তনের দিক (trend), এবং চিহ্নিত করণের বছর (year of detection) সনাক্তকরণ।

গবেষণা এলাকা

বান্দরবান জেলা বাংলাদেশের দক্ষিণ-পূর্বাঞ্চলের পার্বত্য চট্টগ্রাম এলাকার একটি অংশ, যার অন্তর্গত বান্দরবান সদর উপজেলা উত্তরে রুমা, পশ্চিমে লামা, দক্ষিণে মিয়ানমারের সীমানা এবং পূর্বে পার্বত্য চট্টগ্রামের পাহাড়ি ভূ-প্রকৃতির সাথে সীমাবদ্ধ। চিত্র ১ থেকে দেখা যায়, অত্র এলাকার অবস্থান ২১° ৫৫' থেকে ২২°২২' উত্তর অক্ষাংশ এবং ৯২° ০৮' থেকে ৯২° ২০' পূর্ব দ্রাঘিমাংশ। এ অঞ্চলের উচ্চতা প্রায় ৩০০ থেকে ১,০০০ মিটার, ভূ-প্রকৃতি মূলত বালুকণা শিলা, শেল ও কংগ্লোমারেট দ্বারা গঠিত, যা বর্ষাকালে ক্ষয়প্রবণ (Islam et al., 2014)। পাহাড়ি নদী ও খালের মধ্যে সাঙ্গু নদী অন্যতম প্রধান জলপথ, যা কৃষি, সেচ এবং বসতি স্থাপনে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। জলবায়ু ক্রান্তীয় মৌসুমি, বার্ষিক গড় বৃষ্টিপাত প্রায় ৩,৫০০ মিমি, গ্রীষ্মকালে তাপমাত্রা ৩০-৩৫° এবং শীতে ১৫-২০° থাকে, গড় আর্দ্রতা সারা বছর ৮০% এর বেশি।



চিত্র ১ ঃ গবেষণা এলাকা বান্দরবান সদর উপজেলা। [উৎস: লেখক কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫]

সমুদ্র সমতল থেকে উচ্চতার কারণে এলাকা তুলনামূলক শীতল ও অধিক বৃষ্টিপাতপ্রবণ, যা বৈচিত্র্যময় মাইক্রোক্লাইমেট তৈরি করে। প্রধান বৃক্ষ প্রজাতির মধ্যে Swintonia floribunda, Dipterocarpus turbinatus (গর্জন) এবং Artocarpus chaplasha (চাপালিশ) উল্লেখযোগ্য। এছাড়া Bambusa tulda বাঁশ প্রজাতি স্থানীয় অর্থনীতি ও সংস্কৃতিতে গুরুত্বপূর্ণ অবদান রাখে (Hossen et al., 2019)। পাহাড়ি ঢাল ও উপত্যকায় চিরসবুজ ও আধা-চিরসবুজ বন বিদ্যমান। জুম চাষ এ অঞ্চলের প্রচলিত কৃষি পদ্ধতি, যা বন উজাড় ও ভূমিক্ষয়ের কারণ হলেও কিছু এলাকায় পুনঃবনায়ন কার্যক্রম চালু রয়েছে, যা বন পুনরুদ্ধারে সহায়ক।

উপাত্ত ও গবেষণা পদ্ধতি

এই গবেষণায় পার্বত্য চট্টগ্রামের বান্দরবান সদর উপজেলার বন বিপর্যয়ের গতিশীলতা বিশ্লেষণের জন্য দীর্ঘমেয়াদী রিমোট সেন্সিং উপাত্ত এবং বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়েছে। MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) উপাত্ত একধরণের হাইপার টেমপোরাল মডারেট রেজুলেশন উপাত্ত যা উদ্ভিদেও স্থানিক এবং কালিক পরিবর্তনের ক্ষেত্রে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। MODIS ভিত্তিক NDVI উপাত্ত এই গবেষণার মূল ভিত্তি হিসেবে ব্যবহৃত হয়েছে, যা ২০০০ থেকে ২০২৪ সালের মধ্যে সংগৃহীত ৫৬৩টি উপগ্রহ চিত্র বিশ্লেষণের মাধ্যমে উদ্ভিদের আচ্ছাদন পরিবর্তনের ধরণ বুঝতে সহায়তা করে। MODIS NDVI উপাত্ত Google Earth Engine (GEE) ভিত্তিক উপাত্ত আর্কাইভ থেকে সংগ্রহ করা হয়েছে যা NASA LP DAAC থেকে সরবরাহকৃত, যার স্থানিক রেজোলিউশন ২৫০ মিটার এবং বিস্তৃত বনভূমির পরিবর্তন পর্যবেক্ষণের জন্য উপযুক্ত। বন বিপর্যয়ের ধরণ ও সময়কাল চিহ্নিত করার জন্য BFAST (Breaks For Additive Season and Trend) মডেল অ্যালগরিদম ব্যবহার করা হয়েছে। BFAST মডের হলো একটি শক্তিশালী টাইম-সিরিজ ব্রেকপয়েন্ট সনাক্তকরণ পদ্ধতি, যা উদ্ভিদের সবুজত্বের দীর্ঘমেয়াদী পরিবর্তন ও হঠাৎ ঘটিত পরিবর্তন শনাক্ত করতে কার্যকর।

গবেষণা পদ্ধতি চারটি প্রধান ধাপে বিভক্ত। প্রথমত, MODIS NDVI উপাত্ত সংগ্রহ ও প্রক্রিয়াকরণ করা হয়েছে যাতে উপাত্তের স্থায়িত্ব ও নির্ভুলতা নিশ্চিত করা যায়। দ্বিতীয়ত, BFAST অ্যালগরিদম প্রয়োগের মাধ্যমে NDVI ব্রেকপয়েন্ট ও ট্রেন্ড বিশ্লেষণ করা হয়েছে, যা নির্দিষ্ট সময়কালে বন বিপর্যয়ের মাত্রা নির্ধারণ করে। তৃতীয়ত, ফলাফল বিশ্লেষণ করে NDVI-এর

গড়, বৈচিত্র্য ও পরিবর্তনের তীব্রতা নির্ণয় করা হয়েছে। চতুর্থত, Bayesian Information Criterion (BIC), Liu-Wu-Zidek (LWZ), Residual Sum of Squares (RSS) পদ্ধতি ব্যবহার করে মডেল কার্যকারিতা যাচাই করে গবেষণার ফলাফলের নির্ভরযোগ্যতা যাচাই করা হয়েছে। এই গবেষণা বন বিপর্যয়ের সময়গত ও ভৌগোলিক বৈশিষ্ট্য চিহ্নিত করতে পিক্সেল-ভিত্তিক বিশ্লেষণ ব্যবহার করেছে, যা নির্দিষ্ট এলাকায় উদ্ভিদের পরিবর্তন সম্পর্কে বিস্তারিত তথ্য প্রদান করে।

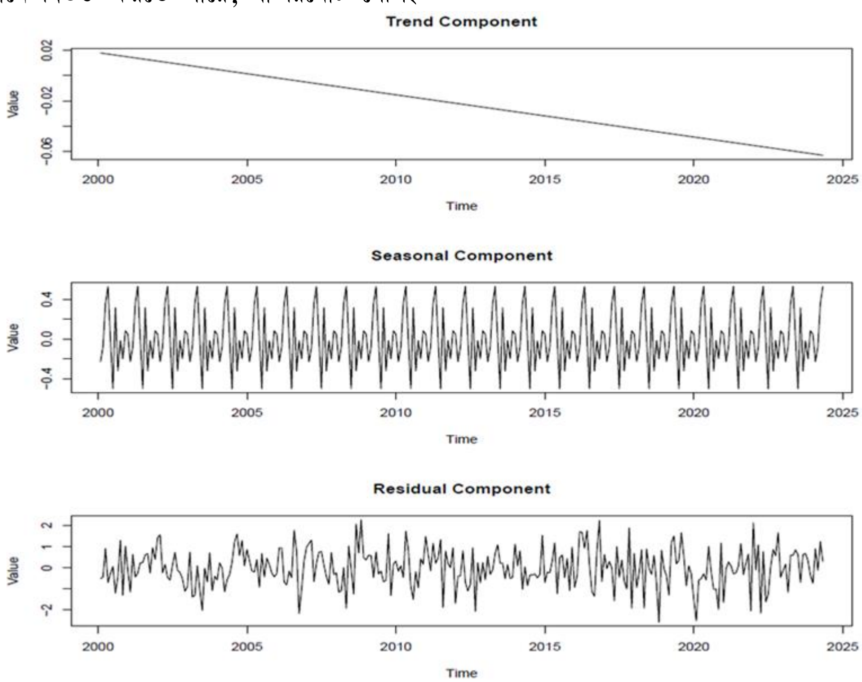
BFAST মডেলের উপাদান সমূহ

Breaks For Additive Season and Trend (BFAST) মডেল একটি সময়-সারি বিশ্লেষণ পদ্ধতি, যা বিশেষভাবে পরিবেশগত তথ্যের পরিবর্তন নির্ধারণের জন্য তৈরি করা হয়েছে। বিশেষ করে NDVI-এর মতো উদ্ভিদের সূচক বিশ্লেষণের জন্য এটি অত্যন্ত কার্যকর। BFAST মডেলের মূল বৈশিষ্ট্য হলো এটি একটি টাইম সিরিজকে ট্রেন্ড, সিসনাল এবং রেসিডুয়াল উপাদানে বিভক্ত করতে পারে, যা রিমোট সেন্সিং গবেষণায় কাঠামোগত পরিবর্তন চিহ্নিত করার ক্ষেত্রে সহায়ক (Verbesselt et al., 2010a)। BFAST মডেল NDVI Time-Series উপাত্ত কে তিনটি মূল উপাদানে বিভক্ত করে:

Trend Component- দীর্ঘমেয়াদী পরিবর্তনগুলো বিশ্লেষণ করে, যা জলবায়ু পরিবর্তন বা অন্যান্য পরিবেশগত কারণে ধীরে ধীরে উদ্ভিদের পরিবর্তন নির্দেশ করে।

Seasonal Component- বছরের বিভিন্ন সময়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধির পরিবর্তন বিবেচনায় নেয়, যা প্রাকৃতিক ঋতুগত পরিবর্তনের কারণে হতে পারে।

Residual Component- যেকোনো মডেল উদ্ভূত রেসিডুয়াল ডিসট্রিবিউশন যা টাইম সিরিজে সনাক্ত করা হয়, এটি মূলত মডেল কার্যকারিতার সীমাবদ্ধতা নির্দেশ করে (Verbesselt et al., 2010b)। এই বিভাজন পদ্ধতির মাধ্যমে, বন বিপর্যয়ের মূল কারণগুলো বোঝা সহজ হয় এবং বন পুনরুদ্ধারের হার নির্ধারণ করা সম্ভব হয়।



চিত্র ২ঃ BFAST মডেলের উপাদান সমূহ [উৎস ঃ Verbesselt et al., 2010 পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

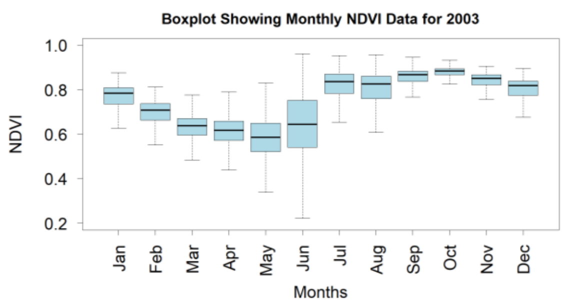
ব্রেকপয়েন্ট শনাক্তকরণ

BFAST মডেলের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য হলো এটি ব্রেকপয়েন্ট অর্থাৎ যে সুনির্দিষ্ট বছরের যে সময়ে উদ্ভিদের আচ্ছাদনের পরিবর্তণ হয়েছে তা চিহ্নিত করতে সক্ষম। এই মডেল কেবল বন উজাড় বা পুনরুদ্ধারের সময় শনাক্ত করে না,

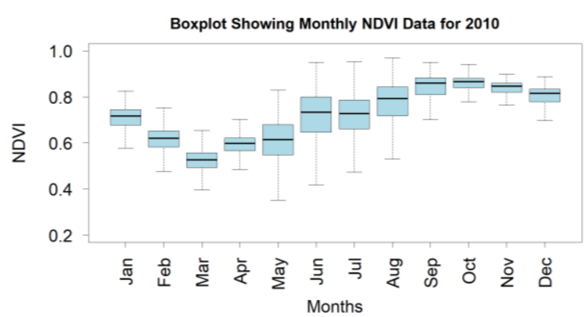
বরং পরিবর্তনের মাত্রাও নির্ধারণ করে। প্রতিটি ব্রেকপয়েন্টে NDVI পরিবর্তনের হার গণনা করা হয়, যা বন বিপর্যয়ের তীব্রতা নির্দেশ করে। উদাহরণস্বরূপ, যদি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে NDVI-এ বড় ধরনের হ্রাস ঘটে, তবে এটি সম্ভাব্য বৃহৎ বন ধ্বংস বা প্রাকৃতিক দুর্যোগ নির্দেশ করে (Housman et al., 2018)। এই মাত্রাগত বিশ্লেষণের মাধ্যমে কোনো নির্দিষ্ট অঞ্চলে কি পরিমাণে বন উজাড় হয়েছে এবং এর পুনরুদ্ধার কতটা কার্যকর হয়েছে তা বোঝা সহজ হয়। এই গবেষণার ফলাফল বিভিন্ন পরিসংখ্যানিক পদ্ধতি ব্যবহার করে যাচাই করা হয়েছে, যাতে BFAST মডেলের নির্ভুলতা নিশ্চিত করা যায়। RSS এবং BIC পরিমাপ করা হয়েছে মডেলের কার্যকারিতা সনাক্তকরণের জন্য।

ফলাফল ও আলোচনা

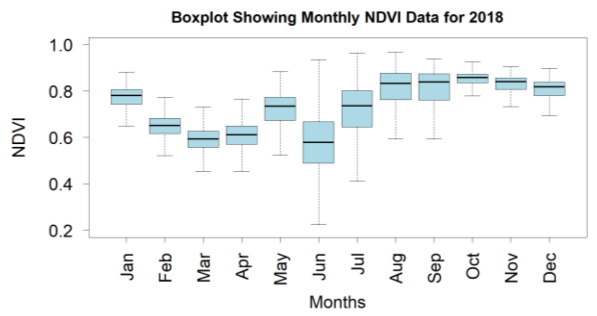
বক্স প্লট ১ যেখানে ২০০৩ সালের জানুয়ারি থেকে ডিসেম্বর পর্যন্ত প্রতিমাসের NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) মান উপস্থাপন করা হয়েছে। NDVI একটি সূচক যা স্যাটেলাইট ব্যবহার করে উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ঘনত্ব ও স্বাস্থ্য নির্ধারণ করে। এই মান ০ থেকে ১ এর মধ্যে থাকে এবং যত বেশি মান, তত বেশি সবুজত্ব বা উদ্ভিদের ঘনত্ব বোঝায়।



(১)



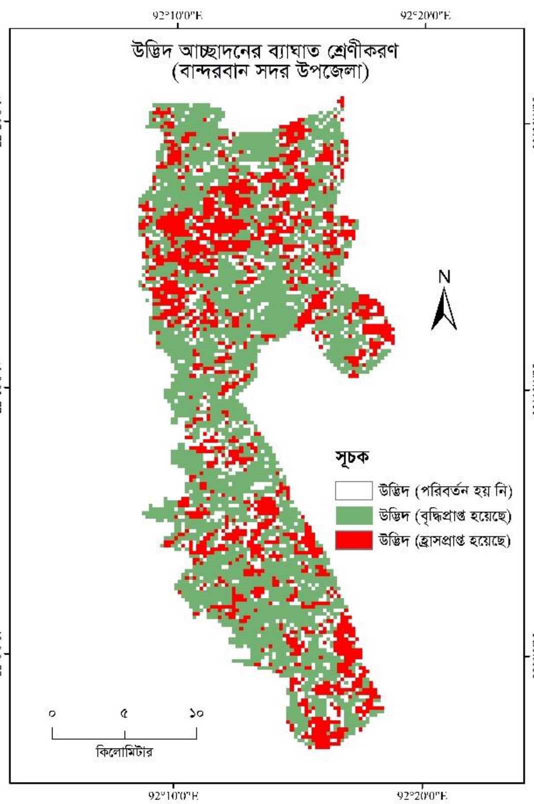
(২)



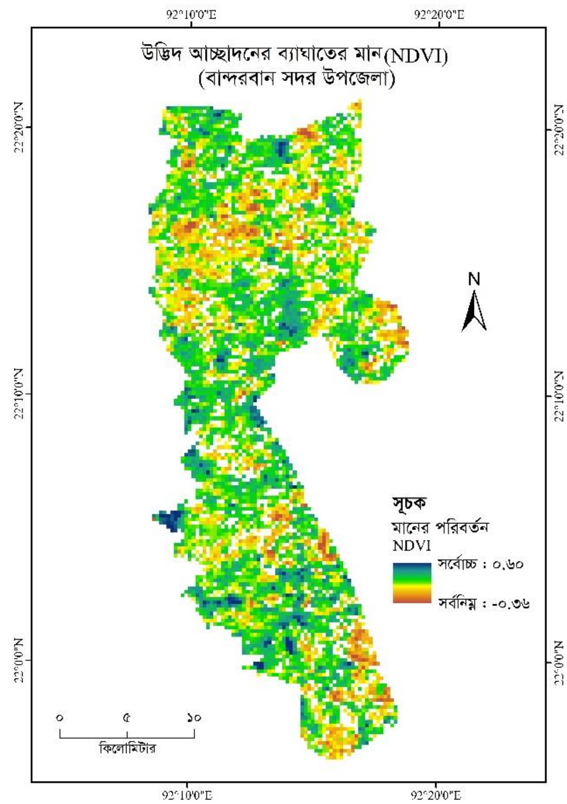
(৩)

বক্সপ্লট ১, ২ ও ৩ ঃ ২০০৩, ২০১০ ও ২০১৮ সালের NDVI এর মাসিক বিন্যাসের মাধ্যমে উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ঘনত্ব ও স্বাস্থ্য উপাস্থাপন: জানুয়ারি মাসে NDVI মান তুলনামূলকভাবে বেশি (প্রায় ০.৮ এর কাছাকাছি), যার মানে হলো বছরের শুরুতে উদ্ভিদের ঘনত্ব ছিল বেশি। তবে ফেব্রুয়ারি থেকে মে মাস পর্যন্ত এই মান ধীরে ধীরে কমে যেতে দেখা যায়, এবং মে মাসে এটি সর্বনিম্ন পর্যায়ে (প্রায় ০.৫৫) পৌঁছে। এটি গ্রীষ্মকালীন খরার প্রভাব বা ফসল কাটা সংক্রান্ত কার্যকলাপের কারণে হতে পারে, যার ফলে সবুজত্ব কমে যায়। জুন মাসে NDVI মানের বিস্তৃতি (variance) সর্বাধিক দেখা যাচ্ছে, অর্থাৎ ওই সময়ে বিভিন্ন স্থানে উদ্ভিদের স্বাস্থ্যের তারতম্য ছিল অনেক বেশি। এর মানে হতে পারে কিছু স্থানে বর্ষাকাল শুরু হয়ে গাছপালা বাড়তে শুরু করেছে, আবার কিছু স্থানে এখনো শুষ্ক অবস্থাই বিরাজ করছে। জুলাই থেকে অক্টোবর মাস পর্যন্ত NDVI মান দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং আগস্ট থেকে অক্টোবর পর্যন্ত সময়ে প্রায় ০.৯ এর উপরে পৌঁছে। এটি বাংলাদেশে বর্ষাকালে উদ্ভিদ আচ্ছাদন বৃদ্ধির ফল, যখন উদ্ভিদ ঘনত্ব সর্বোচ্চ পর্যায়ে থাকে। নভেম্বর ও ডিসেম্বর মাসে NDVI মান আবার সামান্য কমে যায়, তবে তা এখনও তুলনামূলকভাবে উচ্চ মানে (প্রায় ০.৮ এর কাছাকাছি) অবস্থান করছে। এই বাক্সচিত্রটি NDVI-এর ঋতুভিত্তিক তারতম্যকে সুন্দরভাবে উপস্থাপন করে। বছরের প্রথমার্ধে সবুজত্ব কমলেও বর্ষাকালের আগমনের সঙ্গে সঙ্গে উদ্ভিদের ঘনত্ব উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায় এবং শীতের আগমনে তা কিছুটা কমে যায়। জুন মাসে সর্বাধিক বিচ্যুতি বা variability দেখা গেছে, যা সেই সময়ের ভৌগলিকভাবে বৈচিত্রময় পরিবেশগত প্রতিক্রিয়াকে নির্দেশ করে।

উপস্থাপিত বক্সপ্লট ২, ২০১০ সালের প্রতিমাসের NDVI মানের তারতম্য ও প্রবণতা চিত্রিত করে। জানুয়ারি মাসে NDVI-এর গড় মান তুলনামূলকভাবে বেশি (প্রায় ০.৭৫), যা জানায় যে শীতকালেও সবুজত্ব মোটামুটি ভালো ছিল। তবে ফেব্রুয়ারি ও



চিত্র ২ ঃ উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাতের মান চিত্রায়ণ



চিত্র ৩ ঃ উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাতের শ্রেণীকরণ [উৎস ঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

মার্চে এই মান ধীরে ধীরে কমে গিয়ে ০.৫৫-এর নিচে নেমে যায়, যা শুষ্ক মৌসুমের ফলে উদ্ভিদ কমে যাওয়ার ইঙ্গিত দেয়। এপ্রিল ও মে মাসে NDVI মানে কিছুটা উর্ধ্বগতি দেখা যায়, তবে এই সময়ে বিভিন্ন স্থানে পার্থক্য (variance) বেশি ছিল, যা চিত্রের IQR (Inter Qurartile Range) এর বিস্তৃত পরিসর দেখে বোঝা যায়। জুন থেকে আগস্ট মাসের মধ্যে NDVI মান উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পেয়েছে এবং বেশ বিস্তৃতি (wide range) দেখা গেছে। এটি নির্দেশ করে যে, বর্ষাকাল শুরু হওয়ার সাথে সাথে বিভিন্ন অঞ্চলে উদ্ভিদ আচ্ছাদন দ্রুত বৃদ্ধি পেতে থাকে, তবে এই বৃদ্ধির হার স্থানভেদে ভিন্ন ছিল। সেপ্টেম্বর থেকে নভেম্বর পর্যন্ত NDVI মান সবচেয়ে বেশি, প্রায় ০.৯ এর কাছাকাছি পৌঁছেছে, যা নির্দেশ করে যে, বর্ষাকালের শেষে গাছপালা সর্বোচ্চ ঘনত্বে পৌঁছায়। ডিসেম্বর মাসে মান সামান্য কমলেও (প্রায় ০.৮), তবুও তা স্থিতিশীল অবস্থায় ছিল। ২০১০ সালের NDVI চিত্র বিশ্লেষণে দেখা যায় যে বছরের প্রথমার্ধে NDVI কম থাকলেও বর্ষাকাল থেকে উদ্ভিদ ঘনত্ব দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং বছর শেষে ভালো সবুজত্ব বজায় থাকে। জুন থেকে আগস্ট পর্যন্ত সময়ে NDVI-এর মধ্যে সর্বাধিক তারতম্য লক্ষ্য করা যায়, যা পরিবেশগত পার্থক্য এবং ফসলচক্রের ভিন্নতার প্রতিফলন হতে পারে। বর্ষাকাল পরবর্তী মাসগুলোতে NDVI মানে স্থিতিশীলতা প্রতিফলিত হয়েছে, যা একটি চির সবুজ বৃক্ষের আধিক্যের উপস্থিতি নির্দেশ করে।

উপস্থাপিত বক্সপ্লট ৩ এ ২০১৮ সালের জানুয়ারি থেকে ডিসেম্বর পর্যন্ত প্রতিমাসের NDVI মান উপস্থাপন করা হয়েছে। জানুয়ারি মাসে NDVI মান তুলনামূলকভাবে অনেক বেশি (প্রায় ০.৮), যা শীত মৌসুমেও ঘন সবুজত্ব নির্দেশ করে। ফেব্রুয়ারি থেকে এপ্রিল পর্যন্ত NDVI মানে ধীরে ধীরে হ্রাস দেখা যায়, যেখানে মার্চ মাসে সর্বনিম্ন কেন্দ্রীয় মান (median) ছিল প্রায় ০.৬-এর নিচে। মে মাসে NDVI হঠাৎ বেড়ে গেছে (প্রায় ০.৭৫), যা বর্ষার আগমন বা প্রথম বৃষ্টিপাতের ইঙ্গিত হতে পারে। তবে জুন মাসে NDVI মানে সবচেয়ে বেশি বৈচিত্র্য (variance) লক্ষ্য করা যায়। কেন্দ্রীয় মান ছিল প্রায় ০.৫৮, কিন্তু সর্বনিম্ন মান প্রায় ০.২-এর নিচে নেমে গেছে, যা স্থানভেদে গাছপালার অবস্থার বড় পার্থক্য নির্দেশ করে। জুলাই থেকে সেপ্টেম্বর পর্যন্ত NDVI দ্রুত বৃদ্ধি পেয়েছে এবং আগস্ট ও অক্টোবর মাসে তা ০.৯-এর কাছাকাছি পৌঁছে গেছে। এই সময়টি বর্ষাকালের মধ্য ও পরবর্তী সময় হওয়ায় সবুজত্ব সবচেয়ে বেশি থাকে। অক্টোবর থেকে ডিসেম্বর পর্যন্ত NDVI মান স্থিতিশীল ছিল এবং খুব ধীরে কমেছে। ডিসেম্বরেও NDVI মান ছিল প্রায় ০.৮, যা বছরের শেষভাগে গাছপালার সুস্থ অবস্থাকে নির্দেশ করে। ২০১৮ সালে NDVI প্রবণতা স্পষ্টভাবে মৌসুমভিত্তিক পরিবর্তনের প্রতিফলন ঘটিয়েছে। জুন মাসে সর্বাধিক তারতম্য বা বিচ্যুতি ছিল, যা বর্ষা পূর্ববর্তী বৈচিত্রময় পরিবেশগত অবস্থার প্রমাণ বহন করে। বর্ষার সময় (জুলাই সেপ্টেম্বর) এবং তার পরবর্তী মাসগুলোতে NDVI অনেক বেশি ও স্থিতিশীল ছিল, যা গ্রীষ্মকাল ও বর্ষার প্রভাব এবং পর্যাপ্ত বৃষ্টিপাতের কারণে গাছপালার বৃদ্ধি নিশ্চিত করে।

(২০০৩, ২০১০ এবং ২০১৮ সাল) তুলনামূলক বিশ্লেষণ: ২০০৩, ২০১০ এবং ২০১৮ সালের NDVI ডেটা বিশ্লেষণ করে দেখা যায় যে প্রতিটি বছরেই মৌসুমভিত্তিক সবুজত্বের (vegetation) একটি সুস্পষ্ট চক্র বিদ্যমান। জানুয়ারি মাসে তিন বছরেই তুলনামূলকভাবে উচ্চ NDVI মান লক্ষ্য করা গেছে, যার মানে শীতকালেও গাছপালার ঘনত্ব ছিল ভালো। তবে মার্চ থেকে মে পর্যন্ত সময়ে NDVI ধীরে ধীরে হ্রাস পেয়েছে, যা বাংলাদেশে শুষ্ক ও গ্রীষ্মকালীন আবহাওয়ার প্রতিফলন। জুন মাসে প্রতিবারেই NDVI মানে সবচেয়ে বেশি বৈচিত্র্য দেখা গেছে- বিশেষ করে ২০১৮ সালে, যেখানে সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ মানের মধ্যে বড় ব্যবধান লক্ষ্য করা গেছে। বর্ষাকালের (জুলাই-সেপ্টেম্বর) সময়ে NDVI দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং সর্বোচ্চ মানে পৌঁছায়, যা নিয়মিত বৃষ্টিপাত এবং গাছপালার পুনরুদ্ধার প্রক্রিয়ার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। অক্টোবর থেকে ডিসেম্বর পর্যন্ত সময়ে NDVI মান স্থিতিশীল থেকে কিছুটা কমে এলেও তা উচ্চ অবস্থানেই রয়ে গেছে। তিনটি বছরের মধ্যে ২০১৮ সালে বর্ষাকালীন ও পরবর্তী সময়ে NDVI সর্বোচ্চ এবং সবচেয়ে স্থিতিশীল দেখা যায়। সার্বিকভাবে, এই তুলনামূলক বিশ্লেষণ থেকে বোঝা যায় যে NDVI সূচক মৌসুমভিত্তিক পরিবর্তনের সূচক হিসেবে অত্যন্ত কার্যকর, এবং সময়ের সাথে সাথে নির্দিষ্ট বছরে পরিবেশগত পরিবর্তনের প্রতিফলন ঘটায়।

উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাতের মান ও সনাক্তকরণের বছর:

চিত্র ২ বান্দরবান সদর উপজেলা এলাকায় উদ্ভিদ বা বনভূমির ব্যাঘাত (Vegetation Disturbance) নির্ণয়ের জন্য NDVI পরিবর্তনের মাত্রা (Magnitude) তুলে ধরেছে। মানচিত্রে NDVI পরিবর্তনের মান সর্বোচ্চ ০.৬০ (সবুজ রং) থেকে সর্বনিম্ন -০.৩৬ (লাল-কমলা রং) পর্যন্ত দেখানো হয়েছে, যা ২০০০ থেকে ২০২৪ সালের মধ্যে BFAST মডেলের মাধ্যমে নিরূপণ করা হয়েছে। মানচিত্র বিশ্লেষণ করলে দেখা যায়, উপজেলার বেশিরভাগ এলাকাজুড়ে সবুজ ও হলুদ রং অধিক পরিমাণে ছড়িয়ে আছে, যা নির্দেশ করে সামান্য থেকে মাঝারি মাত্রার NDVI পরিবর্তন অর্থাৎ স্বাভাবিক বা হালকা উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাত ঘটেছে। বিশেষ করে কেন্দ্রীয় ও দক্ষিণাঞ্চলের কিছু অংশে গাঢ় নীল এবং লাল রং দেখা যাচ্ছে,

যা তীব্র উদ্ভিদ ক্ষয়ের ইঙ্গিত দেয়। উত্তর-পূর্ব এবং দক্ষিণ-পূর্বাংশে তুলনামূলক বেশি লাল রং পরিলক্ষিত হচ্ছে, যা সেখানে পরিবেশগত চাপ অথবা মানবসৃষ্ট কর্মকাণ্ডের (যেমন, কৃষি সম্প্রসারণ, বসতি স্থাপন, জুম চাষ ইত্যাদি) ফলে গাছপালা বা বনভূমির ঘনত্বে উল্লেখযোগ্য হ্রাস নির্দেশ করে।

এই বিশ্লেষণ থেকে ধারণা পাওয়া যায় যে, বান্দরবান সদর উপজেলায় সামগ্রিকভাবে NDVI মানে নেতিবাচক পরিবর্তন ঘটেছে, যা স্থানীয় বাস্তুতন্ত্রের জন্য হুমকিস্বরূপ হতে পারে। এই ধরনের ব্যাঘাত পরিবেশগত ভারসাম্য নষ্ট করতে পারে এবং দীর্ঘমেয়াদে ভূমিধস বা মাটির ক্ষয় ইত্যাদির সম্ভাবনা বাড়াতে পারে। ফলে, এই অঞ্চলে টেকসই বন ব্যবস্থাপনা এবং পুনর্বনায়নের উদ্যোগ গ্রহণ জরুরি। এই মানচিত্রের তথ্য

পরিবেশগত পর্যবেক্ষণ ও নীতিনির্ধারণে সহায়ক হতে পারে। বনভূমির ব্যাঘাত শনাক্তকরণে BFAST মডেল কার্যকরভাবে ব্যবহৃত হয়েছে এবং এটি ভবিষ্যতের বন সংরক্ষণ পরিকল্পনায় ভিত্তি হিসেবে বিবেচিত হতে পারে।

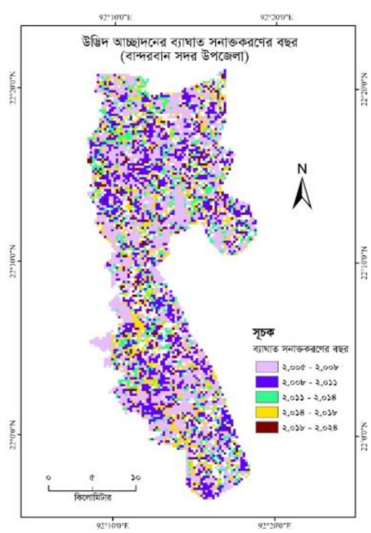
উপস্থাপিত চিত্র ৩ বান্দরবান সদর উপজেলা উদ্ভিদ ব্যাঘাত শ্রেণিবিন্যাস (Vegetation Disturbance Class) চিত্রায়িত করেছে, যা BFAST মডেলের সাহায্যে উদ্ভিদের পরিবর্তনের ধরন নির্ধারণ করে তৈরি করা হয়েছে। এ চিত্রে তিনটি শ্রেণি চিহ্নিত করা হয়েছে: উদ্ভিদের কোন পরিবর্তন হয়নি (সাদা রং), উদ্ভিদ বৃদ্ধি পেয়েছে (সবুজ রং), এবং উদ্ভিদ হ্রাস পেয়েছে (লাল রং)। এ উপজেলার অধিকাংশ অংশজুড়ে সবুজ রং বিদ্যমান, যা নির্দেশ করে যে সেখানে NDVI মান বৃদ্ধি পেয়েছে, অর্থাৎ অত্র এলাকায় সবুজত্ব বা উদ্ভিদের ঘনত্ব বেড়েছে। এটি একটি ইতিবাচক পরিবেশগত পরিবর্তনের ইঙ্গিত দেয়, যা হয়তো বন সংরক্ষণ, জুম চাষ হ্রাস, অথবা পুনর্বনায়ন কার্যক্রমের ফল হতে পারে। তবে লাল রঙে চিহ্নিত এলাকাগুলোর পরিমাণও উল্লেখযোগ্য। এই অঞ্চলগুলোতে উদ্ভিদের ঘনত্ব বা সবুজত্ব হ্রাস পেয়েছে, যা পরিবেশগত ঝুঁকির লক্ষণ। এসব এলাকার মধ্যে উত্তরের কিছু অংশ এবং দক্ষিণ ও দক্ষিণ-পূর্বাঞ্চলের বিস্তীর্ণ জায়গায় উদ্ভিদ হ্রাস স্পষ্টভাবে লক্ষ্য করা যাচ্ছে। এটি মানুষের বসতি সম্প্রসারণ, কৃষি সম্প্রসারণ বা অব্যবস্থাপনার কারণে হয়ে থাকতে পারে। সাদা রঙের ছোট ছোট অঞ্চলগুলো নির্দেশ কওে যে, সেখানে উল্লেখযোগ্য কোনো পরিবর্তন ঘটেনি এবং পরিবেশগত অবস্থা স্থিতিশীল রয়েছে। বান্দরবান সদর উপজেলায় একদিকে যেমন কিছু এলাকায় পুনরায় সবুজত্ব ফিরছে, তেমনি অন্যদিকে কিছু এলাকায় উদ্ভিদের ক্ষয় এখনও গুরুতর। তাই অঞ্চলভিত্তিক পরিকল্পনার মাধ্যমে ক্ষতিগ্রস্ত এলাকায় পুনর্বনায়ন এবং সবুজায়ন কর্মসূচি বাস্তবায়ন অত্যন্ত জরুরি।

সারণী ১ঃ উদ্ভিদ ব্যাঘাতের শ্রেণীকরণ এবং তাদের অধীকৃত এলাকা

উদ্ভিদের শ্রেণীকরণ এলাকা	পিক্সেল কাউন্ট	অধিকৃত এলাকা (হেক্টর)
উদ্ভিদ (কোন পরিবর্তন হয় নি)	১১৯০	১০৭.১০
উদ্ভিদ (বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়েছে)	৪০১৯	৩৬১.৭১
উদ্ভিদ (হ্রাসপ্রাপ্ত হয়েছে)	১৯০০	১৭১.০০

[উৎসঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

সারণী ১ বান্দরবান সদর উপজেলার উদ্ভিদ ব্যাঘাত শ্রেণিবিন্যাস অনুযায়ী পিক্সেল সংখ্যা এবং দখলকৃত এলাকার পরিমাণ (হেক্টরে) তুলে ধরেছে। এতে স্পষ্টভাবে দেখা যাচ্ছে, কোন শ্রেণির উদ্ভিদ পরিবর্তন কতটুকু এলাকার উপর প্রভাব ফেলেছে। উদ্ভিদ বৃদ্ধিপ্রাপ্ত শ্রেণি সবচেয়ে বেশি এলাকা জুড়ে রয়েছে, যেখানে মোট ৪,০১৯ পিক্সেল শনাক্ত হয়েছে যা প্রায় ৩৬১.৭১ হেক্টর জায়গা দখল করেছে। এটি নির্দেশ কওে যে, গবেষণা এলাকায় সবুজত্ব বা উদ্ভিদের ঘনত্ব উল্লেখযোগ্য হারে বেড়েছে, যা পরিবেশগত দৃষ্টিকোণে ইতিবাচক। এর বিপরীতে, উদ্ভিদ হ্রাসপ্রাপ্ত শ্রেণি অংশে ১,৯০০ পিক্সেল চিহ্নিত হয়েছে, যার মোট এলাকা ১৭১.০০ হেক্টর। এই তথ্য অনুযায়ী, উল্লেখযোগ্য একটি অংশে সবুজত্ব বা গাছপালার ঘনত্ব হ্রাস পেয়েছে। এটি পরিবেশগত অবনমন এবং সম্ভাব্য ভূমি ব্যবস্থাপনা সমস্যার ইঙ্গিত দেয়। অন্যদিকে, উদ্ভিদে কোনো পরিবর্তন ঘটেনি এমন পিক্সেল সংখ্যা ছিল ১,১৯০, যা ১০৭.১০ হেক্টর এলাকার প্রতিনিধিত্ব করে। অর্থাৎ, এই অংশে NDVI সূচকে উল্লেখযোগ্য কোনো পরিবর্তন হয়নি এবং পরিবেশ স্থিতিশীল ছিল। সারনী ১ এর তথ্য, চিত্র ১ এর বিশ্লেষণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ এবং পরিসংখ্যানভিত্তিক উপস্থাপনাও নিশ্চিত কওে যে বান্দরবান সদর উপজেলার একটি বড় অংশে বনভূমি বা উদ্ভিদের ঘনত্ব বৃদ্ধি পেয়েছে, তবে এক্ষেত্রে কিছু এলাকায় এখনও নেতিবাচক পরিবর্তন অব্যাহত রয়েছে। এই ধরনের তথ্য স্থানীয় বন ব্যবস্থাপনা, পুনর্বনায়ন পরিকল্পনা এবং পরিবেশ সংরক্ষণ কৌশল নির্ধারণে সহায়ক হতে পারে।



চিত্র ৫ ঃ উদ্ভিদ আচ্ছাদনের ব্যাঘাত সনাক্তকরণের সময় উদঘাটন
[উৎস ঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

চিত্র ৫ বান্দরবান সদর উপজেলায় উদ্ভিদের ব্যাঘাত ঘটার সময়কাল (Year of Vegetation Disturbance Detection) চিহ্নিত করেছে, যা BFAST মডেলের মাধ্যমে NDVI ভিত্তিক টাইমসিরিজ বিশ্লেষণ করে তৈরি করা হয়েছে। বিভিন্ন সময়কালকে বিভিন্ন রঙে চিত্রায়িত করা হয়েছে, যা ২০০৫ থেকে ২০২৪ সাল পর্যন্ত সময়কে পাঁচটি পর্যায়ে ভাগ করে উপস্থাপন করেছে।

চিত্র অনুযায়ী, ২০০৫-২০০৮ সময়কালে (হালকা বেগুনি রং) সর্বাধিক এলাকায় উদ্ভিদ ব্যাঘাত ঘটেছে। এ সময়ে বান্দরবান সদর উপজেলায় ব্যাপক বনভূমি বা উদ্ভিদ ক্ষয় হয়েছে, যা হয়তো জুম চাষ, বসতির সম্প্রসারণ বা কাঠ সংগ্রহের ফলে হয়ে থাকতে পারে। ২০০৮-২০১১ (গাঢ় বেগুনি) এবং ২০১১-২০১৪ (সবুজ) সময়কালেও যথেষ্ট পরিমাণে ব্যাঘাত লক্ষ্য করা যাচ্ছে, যদিও তুলনামূলকভাবে পরিমাণে কম। বিশেষ করে দক্ষিণ-পশ্চিম এবং কেন্দ্রীয় অংশে এই সময়কালের ব্যাঘাত ছড়িয়ে রয়েছে। ২০১৪-২০১৮ (হলুদ রং) এবং ২০১৮-২০২৪ (গাঢ় বাদামী রং) সময়কালে কিছুটা বিচ্ছিন্নভাবে ব্যাঘাত ঘটেছে, বিশেষ করে দক্ষিণাঞ্চল এবং দক্ষিণ-পূর্বাংশে। তবে এই সময়ের ব্যাঘাত পূর্ববর্তী সময়ের তুলনায় অপেক্ষাকৃত কম। এই বিশ্লেষণ থেকে বোঝা যায় যে, বান্দরবান সদর উপজেলায় প্রধানত ২০০৫-২০০৮ সময়কালে সর্বাধিক উদ্ভিদ ব্যাঘাত সংঘটিত হয়েছে এবং সময়ের সাথে সাথে ব্যাঘাতের পরিমাণ কিছুটা হ্রাস পেয়েছে। এটি হয়তো সরকারি বন সংরক্ষণ নীতিমালা বা স্থানীয় সচেতনতা বৃদ্ধির কারণে হয়ে থাকতে পারে।

সারণী ২ঃ বছর ভিত্তিক উদ্ভিদের ব্যাঘাত সনাক্তকরণ এবং তাদের অধীকৃত অঞ্চল

সনাক্তকরণের বছর	পিক্সেল কাউন্ট	অধীকৃত এলকা (হেক্টর)
২০০৫	১৫১	১৩.৫৯
২০০৬	৬৪৫	৫৮.০৫
২০০৭	১০৪৮	৯৪.৩২
২০০৮	৭৬০	৬৮.৪০
২০০৯	৭৭০	৬৯.৩০
২০১০	৪৭৩	৪২.৫৭
২০১১	৪৮৫	৪৩.৬৫
২০১২	৩৬৪	৩২.৭৬
২০১৩	২৮০	২৫.২০
২০১৪	১৯৪	১৭.৪৬
২০১৫	১৫০	১৩.৫০
২০১৬	২৭১	২৪.৩৯
২০১৭	৪৩০	৩৮.৭০
২০১৮	৬৮	৬.১২
২০১৯	৬৯	৬.২১
২০২০	৮৭	৭.৮৩
২০২১	৬৭	৬.০৩
২০২২	৩৭	৩.৩৩
২০২৩	৩৫	৩.১৫
২০২৪	৭	০.৬৩

[উৎস ঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

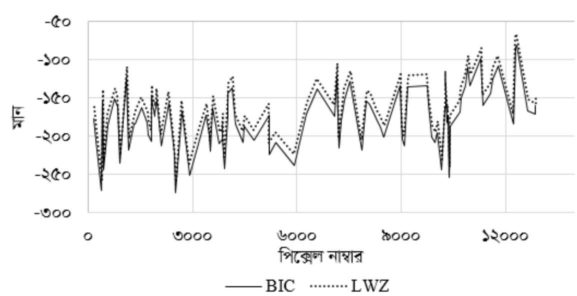
উপস্থাপিত সারণি-২ এ বান্দরবান সদর উপজেলায় উদ্ভিদের ব্যাঘাত সনাক্তের বছর অনুযায়ী মোট পিক্সেল সংখ্যা এবং সংশ্লিষ্ট দখলকৃত এলাকা (হেক্টরে) উপস্থাপন করা হয়েছে। এই তথ্য BFAST মডেলের ভিত্তিতে ২০০৫ থেকে ২০২৪ সাল পর্যন্ত সময়কালকে অন্তর্ভুক্ত করে, যা সময়ের সাথে উদ্ভিদ পরিবর্তনের গতিপ্রকৃতি বিশ্লেষণে সহায়ক। সারণি বিশ্লেষণ কওে দেখা যায়, ২০০৭ সাল ছিল সর্বাধিক ব্যাঘাত সনাক্তকৃত বছর, যেখানে ১,০৪৮ পিক্সেল এর মাধ্যমে মোট ৯৪.৩২ হেক্টর এলাকা ব্যাঘাতপ্রাপ্ত হিসেবে চিহ্নিত হয়েছে। এর পরপরই ২০০৯ (৭৭০ পিক্সেল, ৬৯.৩০ হেক্টর) এবং ২০০৮ (৭৬০ পিক্সেল, ৬৮.৪০ হেক্টর) সালগুলো উল্লেখযোগ্য ব্যাঘাতের সময়কাল হিসেবে চিহ্নিত হয়। এই সময়কাল (২০০৫-২০০৯) বন উজাড়, জুম চাষ সম্প্রসারণ বা নির্মাণ কার্যক্রমের জন্য গুরুত্বপূর্ণ পরিবেশগত চাপে ভুগেছে বলে ধরে নেওয়া যায়। ২০১০-২০১৪ সময়কালে ব্যাঘাতের প্রবণতা কমতে থাকে, যেখানে প্রতিটি বছরের ব্যাঘাতের হার মোটামুটি মাঝারি। উদাহরণস্বরূপ, ২০১০ সালে ৪৭৩ পিক্সেল (৪২.৫৭ হেক্টর) এবং ২০১৩ সালে ২৮০ পিক্সেল (২৫.২০ হেক্টর) ব্যাঘাত সনাক্ত করা হয়েছে। এটি হয়তো বন সংরক্ষণ উদ্যোগ বা প্রাকৃতিক পুনর্বাসনের কারণে হয়ে থাকতে পারে। অন্যদিকে, ২০১৮ সাল থেকে ২০২৪ সাল পর্যন্ত সময়কালে ব্যাঘাতের পরিমাণ অত্যন্ত কম, যার মধ্যে ২০২৪ সালে মাত্র ৭ পিক্সেল (০.৬৩ হেক্টর) চিহ্নিত হয়েছে। ধারাবাহিকভাবে কমে আসা এই ব্যাঘাত প্রবণতা ইঙ্গিত দেয় যে বন সংরক্ষণের কার্যক্রম কার্যকরভাবে বাস্তবায়িত হয়েছে কিংবা পাহাড়ি এলাকায় মানব হস্তক্ষেপ কিছুটা হ্রাস পেয়েছে। এই তথ্যসমূহ BFAST মডেল ও মানচিত্র বিশ্লেষণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণভাবে নিশ্চিত কওে যে, বান্দরবান সদর উপজেলায় সর্বোচ্চ উদ্ভিদ ব্যাঘাত ২০০৫ থেকে ২০০৯ সময়কালের মধ্যে সংঘটিত হয়েছে এবং পরবর্তীকালে এই হার ক্রমান্বয়ে হ্রাস পেয়েছে। সময়ভিত্তিক এই বিশ্লেষণ ভবিষ্যতের বন ব্যবস্থাপনা পরিকল্পনা এবং পরিবেশ সংরক্ষণ কার্যক্রম পরিচালনার জন্য নির্দেশনা প্রদানে ভূমিকা রাখতে সহায়ক।

BFAST মডেলের কার্যকারিতা যাচাই

বান্দরবান সদর উপজেলায় BFAST মডেলের মাধ্যমে সনাক্তকৃত উদ্ভিদ ব্যাঘাতের নির্ভরযোগ্যতা ও কার্যকারিতা

মূল্যায়নের জন্য বিভিন্ন পরিসংখ্যানিক সূচক ব্যবহার করে বিশ্লেষণ উপস্থাপন করা হয়েছে। এই সূচকসমূহের মধ্যে রয়েছে BIC, LWZ ক্রাইটেরিয়ন এবং RSS। প্রতিটি সূচকই মডেলের ফিটনেস ও নির্ভুলতা যাচাইয়ে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। উপস্থাপিত মানচিত্র ও মান বিশ্লেষণের মাধ্যমে মডেল কতটা নির্ভুলভাবে NDVI ভিত্তিক উদ্ভিদ ব্যাঘাত শনাক্ত করতে সক্ষম হয়েছে, তা নির্ণয় করা হয়েছে। চিত্র ২ এ BFAST মডেল মূল্যায়নের জন্য BIC এবং LWZ সূচকের পরিবর্তনশীলতা উপস্থাপন করা হয়েছে। চিত্রায়নের সুবিধার্থে দৈবচয়ন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ১২,০০০ টি পিক্সেল সিলেক্ট করা হয়েছে। এখানে X-অক্ষে পিক্সেল নম্বর এবং Y-অক্ষে BIC ও LWZ এর মান চিত্রায়িত হয়েছে। চিত্রে লক্ষ্য করা যায় যে BIC (পূর্ণরেখা) এবং LWZ (বিন্দুযুক্ত রেখা) এর মান প্রায় অভিন্ন এবং উভয় সূচকই একটি অনুরূপ ওঠানামার প্রবণতা অনুসরণ করেছে।

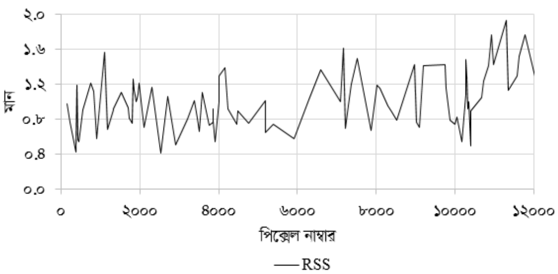
BIC এবং LWZ এর মান সাধারণত -১০০ থেকে -৩০০-এর মধ্যে ওঠানামা করেছে, যেখানে কিছু ক্ষেত্রে মান -২৫০-এর নিচে নেমে গেছে। BIC ও LWZ কম হলে সেটি নির্দেশ করে যে মডেল সংশ্লিষ্ট পিক্সেল উপাত্তের জন্য তুলনামূলকভাবে উপযুক্ত ও নির্ভরযোগ্যভাবে ফিট হয়েছে। একই সঙ্গে চিত্রে দেখা যায় যে উচ্চ পিক্সেল নম্বরের ক্ষেত্রে BIC এবং LWZ এর মান অপেক্ষাকৃত বেশি হয়েছে, যা নির্দেশ করে যে ঐসব অঞ্চলে মডেল তুলনামূলকভাবে ভালো ফিট হয়েছে। এই সূচকদ্বয়ের প্রায় অভিন্ন ধারা এবং পারস্পরিক সামঞ্জস্যতা BFAST মডেলের স্থায়িত্ব এবং নির্ভরযোগ্যতা নিশ্চিত করে।



চিত্র ৬ঃ BIC, LWZ সূচকের মাধ্যমে BFAST মডেল মূল্যায়ন এবং এর নির্ভরযোগ্যাতা নিশ্চিতকরণ

[উৎস ঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

উভয় সূচকের ওঠানামা স্বাভাবিক এবং প্রবণতা-ভিত্তিক, যা BFAST মডেল কর্তৃক টাইম সিরিজ উপাত্তে ব্রেক ও প্রবণতা ধরার সক্ষমতা প্রমাণ করে। চিত্র ৩-এ BFAST মডেলের কার্যকারিতা RSS সূচকের মাধ্যমে উপস্থাপন করা হয়েছে। RSS হলো প্রকৃত মান এবং মডেল দ্বারা পূর্বানুমানকৃত মানের মধ্যকার পার্থক্যের বর্গফলের যোগফল। এই সূচকের মান যত কম হয়, মডেল তত ভালোভাবে উপাত্ত ফিট করতে সক্ষম হয়।



চিত্র ৭ঃ RSS সূচকের মাধ্যমে BFAST মডেল মূল্যায়ন এবং এর নির্ভরযোগ্যাতা নিশ্চিতকরণ [উৎস ঃ BFAST মডেল থেকে উদ্ভূত এবং পরবর্তী লেখক প্রণীত, ২০২৫]

চিত্রে দেখা যায় যে RSS এর মান পিক্সেল নম্বর অনুযায়ী বিভিন্নতা প্রদর্শন করেছে। প্রাথমিক পিক্সেল নম্বরগুলোতে RSS সাধারণত ১.০-এর নিচে ছিল, যা নির্দেশ করে যে ঐসব এলাকায় মডেলের পূর্বানুমান যথেষ্ট নির্ভুল ছিল। তবে পিক্সেল নম্বর ৮০০০-এর পর থেকে RSS মান ১.৫-এর উর্ধ্বে চলে যায় এবং কিছু ক্ষেত্রে ২.০ তে পৌঁছায়। এই ফলাফল থেকে বোঝা যায় যে পিক্সেল নম্বর বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কিছু অঞ্চলে মডেল পারফর্মেন্সের নির্ভুলতা হ্রাস পেয়েছে। উপরোক্ত সূচক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে BFAST মডেল অধিকাংশ ক্ষেত্রে কার্যকরভাবে টাইম সিরিজ উপাত্তকে বিশ্লেষণ করতে পেরেছে এবং পরিবেশগত পরিবর্তনের সূক্ষ্ম সংকেত শনাক্ত করতে সক্ষম হয়েছে। BIC ও LWZ সূচকের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক মডেলের স্থায়িত্বকে নির্দেশ করে। সর্বোপরি, BFAST মডেলটি একটি নির্ভরযোগ্য টাইম সিরিজ ব্রেক শনাক্তকারী মডেল হিসেবে কাজ করেছে, যা বনভূমি বা ভূপ্রকৃতি পরিবর্তনের সময়কাল ও গতিপ্রকৃতি বিশ্লেষণে অত্যন্ত উপযোগী। তবে আরও নিখুঁত ফলাফলের জন্য নির্দিষ্ট অঞ্চলে উপাত্তের মান যাচাই ও অতিরিক্ত মডেল সমন্বয়ের প্রয়োজন রয়েছে।

উপসংহার

উপরোক্ত তিনটি সূচক বিশ্লেষণ থেকে স্পষ্টভাবে বোঝা যায় যে, BFAST মডেলটি বান্দরবান সদর উপজেলার অধিকাংশ অঞ্চলে অত্যন্ত দক্ষতার সাথে NDVI ভিত্তিক উদ্ভিদ ব্যাঘাত শনাক্ত করতে সক্ষম হয়েছে। গবেষণা এলাকার বেশির ভাগ উদ্ভিদ চিরহরিৎ বৃক্ষ হওয়ায় BFAST মডেলের Seasonal Component তেমন একটা দৃশ্যমান না হলেও অন্যান্য উপাদানগুলো খুব ভালভাবে ফিট করেছে। BIC এবং LWZ সূচকসমূহ মডেল ফিটের গুণমান যাচাইয়ে ইতিবাচক ইঙ্গিত দিয়েছে এবং RSS সূচক দ্বারা মডেলের টাইম সিরিজ উপাত্ত পর্যবেক্ষণের নির্ভুলতা নিশ্চিত করা হয়েছে। যদিও কিছু অঞ্চলে তুলনামূলকভাবে দুর্বল মডেল ফিট লক্ষ্য করা গেছে, তবুও সার্বিকভাবে মডেলটির কার্যকারিতা গ্রহণযোগ্য এবং গবেষণার উদ্দেশ্য পূরণে এটি কার্যকর প্রমাণিত হয়েছে। এই বিশ্লেষণ গবেষণার ফলাফল অংশকে আরও দৃঢ়তা দিয়েছে এবং ভবিষ্যতের জন্য স্থানিক ও সময়ভিত্তিক পরিবেশগত মডেলিংয়ের পথ সুগম করেছে। এই গবেষণা যথাযথ কর্তৃপক্ষকে গবেষণা এলাকার কোন অংশে উদ্ভিদ আচ্ছাদন বেশি বিপর্যস্ত হচ্ছে সেটি সনাক্তকরণ পূর্বক প্রয়োজনীয় পদক্ষেপ নেয়ার ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করবে।

তথ্যসূত্র

Asner, G. P., et al. (2005). Selective Logging in the Brazilian Amazon. Science, 310(5747), 480-482.

Chowdhury, M. S. H., et al. (2014). Patterns and drivers of deforestation in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh. Environmental Monitoring and Assessment, 186(1), 393-404.

DeFries, R. S., et al. (2007). Land-use change around protected areas in tropical forests. Ecological Applications, 17(4), 1031-1048.

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. (2013). "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." Science, 342(6160), 850-853.

Hermosilla, T.; Wulder, M.A.; White, J.C.; Coops, N.C.; Hobart, G.W. An integrated Landsat time series protocol for change detection and generation of annual gap-free surface reflectance composites. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *158*, 220–234.

Hossen, S., Hossain, M. K., & Uddin, M. F. (2019). Land cover and land use change detection by using remote sensing and GIS in Himchari National Park (HNP), Cox’s Bazar, Bangladesh. *Journal of Science, Technology and Environment Informatics*, 7(2), 544–554. https://doi.org/10.18801/jstei.070219.56

Islam, M.R., Miah, M.G., & Inoue, Y. (2014). Analysis of Land Use and Land Cover Changes in the Coastal Area of Bangladesh Using Landsat Imagery. *Land Degradation & Development*, 27(3), 899–909. https://doi.org/10.1002/ldr.2339

Kaul, H.A., & Ingle, S.T. (2012). Land Use Land Cover Classification and Change Detection Using High Resolution Temporal Satellite Data. *Journal of Environment*, 1(4), 146–152.

Keenan, T. F., Gray, J., Friedl, M. A., Toomey, M., Bohrer, G., Hollinger, D. Y., ... & Richardson, A. D. (2015). Net carbon uptake has increased through warming-induced changes in temperate forest phenology. Nature Climate Change, 4(7), 598–604. https://doi.org/10.1038/nclimate2253

Kennedy, R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). "Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—Temporal segmentation algorithms." *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897-2910.

Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). "Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions." Annual Review of Environment and Resources, 28(1), 205-241.

Langner, A., Mikita, T., Suzuki, R., & Ostapowicz, K. (2018). Assessment of vegetation changes in the protected areas of the Polish Carpathians using satellite remote sensing. Remote Sensing, 10(2), 184. https://doi.org/10.3390/rs10020184

McCall, D.G., & Bishop-Hurley, G.J. (2003). A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agricultural Systems*, 76(3), 1183–1205. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00104-X

Murillo-Sandoval, P.J.; Hilker, T.; Krawchuk, M.A.; Hoek, J.V.D. Detecting and Attributing Drivers of Forest Disturbance in the Colombian Andes Using Landsat Time-Series. Forests 2018, 9, 269.

Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J., & Marshak, A. L. (1995). "The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33(2), 481-486.

Pan, Y.; Birdsey, R.A.; Phillips, O.L.; Jackson, R.B. The Structure, Distribution, and Biomass of the World’s Forests. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **2013**, *44*, 593–622.

Rahman, M. R., & Rahman, M. M. (2020). Forest degradation in the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh: implications for sustainable forest management. *Sustainability*, 12(14), 5601.

Rahman, S., et al. (2017). Land use change in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh: A spatiotemporal analysis. Remote Sensing, 9(2), 197.

Reiche, J.; De Bruin, S.; Hoekman, D.; Verbesselt, J.; Herold, M. A Bayesian Approach to Combine Landsat and ALOS PALSAR Time Series for Near Real-Time Deforestation Detection. Remote Sens. 2015, 7, 4973–4996.

Sumiya, N. N., Hasan, M. U., Nusrat, M., & Hossain, M. S. (2024). A Review on Remote Sensing Based Forest Vegetation Health Assessment: Bangladesh Perspective. *The Dhaka University Journal of Earth and Environmental Sciences*, *12*(1), 107–121. https://doi.org/10.3329/dujees.v12i1.70560

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127-150.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010a). "Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series." *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 106-115.

Verbesselt, J., Zeileis, A., & Herold, M. (2010b). "Near real-time disturbance detection using satellite image time series." *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 18-29.

জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয় ভূগোল ও পরিবেশ সমীক্ষণ ৪৩:২০২৪ (পৃ. ৮৭-৯৯)
Jahangirnagar Bishwavidyalay Bhugol O Paribesh Samikkhan 43:2024 (pp 87-99) *ISSN 1027-8567*

Application of BFAST Model in Detecting Vegetation Disturbance of Bandarban Sadar Upazila, Bnagladesh

Ebadullah Khan[1], Md. Sohel Akter Sumon[2], Mohammad Ali[3]

[1]Associate Professor, Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Savar, Dhaka-1342
[2-3]MSc researcher, Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Savar, Dhaka-1342

Abstract: Bangladesh's ecological balance and the livelihoods of the local populations depend heavily on the vegetation of the Chattogram Hill Tracts (CHT) area. Particularly, in Bandarban Sadar Upazila, over the last few decades, vegetation have seen major disruptions brought about by both natural and human influences, including shifting farming, deforestation, and climate change. Sustainable forest management requires an understanding of the dynamics of these disturbances. An effective technique for detecting and evaluating the vegetation disturbance over time is the use of remote sensing technologies, particularly the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). In this research BFAST model is applied for detecting trends in vegetation activity using long-term satellite observations, providing insights into its effectiveness and potential in monitoring vegetation Greenness. Besides, this model is significant to demarcate pixel based changes of vegetation disturbance using continuous observations of satellite imageries without any information gap which has been considered as the novelty of this research. There is substantial change in magnitude of NDVI occupying the area of 171 hectares where the highest magnitude is -0.36. This vegetation disturbance mainly occurred from 2006, 2007, 2008, and 2009 including the area of 58.05 ha, 94.32 ha, 68.40 ha, and 69.30 ha respectively. BIC and LWZ indicate lower values from -50 to -300 which prove the better performance of the model for the particular pixel areas where disturbance occurred. This changes might happen due to urban and settlement expansion, increase of shifting cultivation, and indiscriminate collection of wood, encroachment, and improper land management techniques. Therefor, BFAST model is precisely able to detect the vegetation disturbance of the study are and can give a proper guideline to the concerned authority to plan future action including land management zoning and application of existing legislations.

Keywords: BFAST model, NDVI, land cover, remote sensing, Geographic Information System

---