জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয় ভূগোল ও পরিবেশ সমীক্ষণ ৪৩:২০২৪ (পৃ. ৫৯-৭১)
Jahangirnagar Bishwavidyalay Bhugol O Paribesh Samikkhan 43:2024 (pp 59-71) *ISSN 1027-8567*

বাংলাদেশের উপকূলীয় অঞ্চলের কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব পূর্বানুমান: তথ্যভিত্তিক বিশ্লেষণ ও নীতিমালা প্রণয়ন

এস, এম, হোজাইফা[১], তৌফিকুর রহমান[২], জান্নাতুল কানিজ[৩], মোঃ মাশুক মওলা অংকুর[৪], মোনালিসা ফেরদৌস[৫], তানজিনুল হক মোল্লা[৬]

[১-৩]গবেষণা শিক্ষার্থী, ভূগোল ও পরিবেশ বিভাগ, জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়, সাভার, ঢাকা-১৩৪২

[৪]GIS Analyst, The Center for Environmental and Geographic Information Services (CEGIS), F-14/E, আগারগাঁও প্রশাসনিক এলাকা, শের-ই-বাংলা নগর, ঢাকা-১২০৭

[৫]রিসার্চ অ্যাসোসিয়েট, সেন্টার ফর প্রিসিশন এগ্রিকালচার (সিপিএ), সাভার, ঢাকা-১৩৪২

[৬]অধ্যাপক, ভূগোল ও পরিবেশ বিভাগ, জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়, সাভার, ঢাকা-১৩৪২

সারসংক্ষেপ: জলবায়ু পরিবর্তন উপকূলীয় কৃষির জন্য এক ক্রমবর্ধমান সংকট, বিশেষ করে বাংলাদেশের মতো কৃষিনির্ভর দেশগুলোর জন্য যেখানে লাখো মানুষের জীবিকা কৃষির ওপর নির্ভরশীল। সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, লবণাক্ততার বিস্তার, এবং বৃষ্টিপাতের অনিশ্চয়তা কৃষিজ উৎপাদনে ব্যাপক নেতিবাচক প্রভাব ফেলছে। এই গবেষণায় ভূস্থানিক তথ্যব্যবস্থা (GIS) ও রিমোট সেন্সিং প্রযুক্তির মাধ্যমে উপকূলীয় কৃষির স্থানিক ও কালিক পরিবর্তন বিশ্লেষণ করা হয়েছে। গবেষণার ক্ষেত্র হিসেবে কক্সবাজার জেলার পেকুয়া উপজেলা নির্বাচন করা হয়েছে, যা জলবায়ুগত পরিবর্তনের ফলে অন্যতম ঝুঁকিপূর্ণ এলাকা। WorldClim এর তথ্য ব্যবহার করে ACCESS-CM2 জলবায়ু মডেল এর মাধ্যমে ২০২১-২০৪০ সময়কালে জলবায়ুগত পরিবর্তন বিশ্লেষণ করা হয়, যেখানে SSP126 (নিম্ন নির্গমন) এবং SSP585 (উচ্চ নির্গমন) দৃশ্যপট অন্তর্ভুক্ত করা হয়। MaxEnt মডেলের মাধ্যমে কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব মূল্যায়ন করা হয়, যা দেখায় যে উচ্চ নির্গমন দৃশ্যপটের অধীনে ২০৪০ সালের মধ্যে আমন ধানের উৎপাদন উল্লেখযোগ্যভাবে কমে যাবে। বিদ্যমান কৃষি পদ্ধতি জলবায়ুর পরিবর্তনের সাথে সামঞ্জস্য রেখে উন্নত করা না হলে খাদ্য নিরাপত্তা ও জীবিকা মারাত্মক হুমকির সম্মুখীন হবে। স্থানীয় কৃষকদের গৃহীত অভিযোজন কৌশল বিশ্লেষণ করে দেখা যায়, বর্তমান কৃষি ব্যবস্থাকে জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণভাবে পুনর্গঠন না করলে খাদ্য নিরাপত্তা ও গ্রামীণ জীবিকা চরম ঝুঁকির মুখে পড়বে। গবেষণায় প্রযুক্তিনির্ভর অভিযোজন কৌশলের গুরুত্ব তুলে ধরা হয়েছে, যেমন: জিআইএস-ভিত্তিক পূর্বাভাস ব্যবস্থা, জলবায়ু সহনশীল শস্য নির্বাচন এবং স্মার্ট কৃষি প্রযুক্তির ব্যবহার, যা জলবায়ু পরিবর্তনের নেতিবাচক প্রভাব হ্রাসে সহায়ক হতে পারে। এই ফলাফলগুলো নীতি-নির্ধারকদের জন্য ভবিষ্যৎ জলবায়ু সহনশীল কৃষি নীতি প্রণয়নে গুরুত্বপূর্ণ দিকনির্দেশনা প্রদান করে।

মূলশব্দ: জলবায়ু পরিবর্তন, উপকূলীয় কৃষি, GIS, রিমোট সেন্সিং, জলবায়ু সহনশীলতা

ভূমিকা

জলবায়ু পরিবর্তন বিশ্বব্যাপী কৃষি ব্যবস্থার জন্য একটি বড় হুমকি, বিশেষত উপকূলীয় অঞ্চলে, যেখানে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, লবণাক্ততার মাত্রা বৃদ্ধি, এবং আবহাওয়ার ঘটনাগুলো কৃষিতে নেতিবাচক প্রভাব ফেলছে (Hossain et al., 2023)। বাংলাদেশের মতো উপকূলীয় এবং কৃষিনির্ভর দেশে এই পরিবর্তন আরও গভীরভাবে অনুভূত হচ্ছে, কারণ কৃষি এদেশের অর্থনীতির অন্যতম প্রধান চালিকা শক্তি এবং লক্ষ লক্ষ মানুষের জীবিকার উৎস (Rahman et al., 2022)। জলবায়ু পরিবর্তনের ফলে উপকূলীয় কৃষির উপর সম্ভাব্য প্রভাব নিরূপণ করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, যাতে কার্যকর অভিযোজন কৌশল এবং নীতিগত পদক্ষেপ গ্রহণ করা যায় (Chowdhury & Islam, 2021)।

সাম্প্রতিক সময়ে ভূ-স্থানিক তথ্য, রিমোট সেন্সিং, এবং মেশিন লার্নিং ভিত্তিক প্রযুক্তি কৃষি গবেষণায় নতুন দিগন্ত উন্মোচন করেছে (Das et al., 2022)। এই প্রযুক্তিগুলো জলবায়ু পরিবর্তনের বিভিন্ন উপাদান, যেমন তাপমাত্রার তারতম্য, লবণাক্ততা বৃদ্ধি, এবং বন্যার পূর্বাভাস দেওয়ার ক্ষেত্রে অত্যন্ত কার্যকর (Ahmed &

Shahid, 2020)। সঠিক তথ্য এবং পূর্বাভাস প্রদানে সক্ষম মডেল ব্যবহারের মাধ্যমে নীতিনির্ধারকরা জলবায়ু সহনশীল কৃষিনীতির পরিকল্পনা করতে পারে (Ghosh et al., 2023)।

বাংলাদেশের উপকূলীয় কৃষি জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে সরাসরি ক্ষতিগ্রস্ত হচ্ছে, যা দেশের খাদ্য নিরাপত্তা ও টেকসই উন্নয়নের জন্য বড় চ্যালেঞ্জ তৈরি করছে (Islam & Karim, 2021)। কৃষিতে জলবায়ু পূর্বাভাসের তথ্য অন্তর্ভুক্ত করা অত্যন্ত জরুরি, যাতে ভবিষ্যতের চ্যালেঞ্জ মোকাবিলা করা সম্ভব হয় (Hossain et al., 2021)। এছাড়া, ভূস্থানিক তথ্যব্যবস্থা এবং রিমোট সেন্সিং ডাটা ব্যবহার করে কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের স্থানিক ও কালিক প্রভাব মূল্যায়ন করা সম্ভব (Khan et al., 2022)।

তথ্য-ভিত্তিক বিশ্লেষণ কেবল জলবায়ু পরিবর্তনের ঝুঁকি নিরূপণই নয়, বরং কৃষি সম্পদের সঠিক ব্যবহার নিশ্চিত করার মাধ্যমেও ভূমিকা রাখতে পারে। সেচ, ফসল চক্র, এবং ভূমির সর্বোত্তম ব্যবহার নিশ্চিত করার জন্য এই প্রযুক্তি অত্যন্ত কার্যকর হতে পারে (Farhad & Rahman, 2022)। সঠিক নীতিগত সিদ্ধান্ত ও অভিযোজন কৌশলের মাধ্যমে বাংলাদেশ উপকূলীয় কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের নেতিবাচক প্রভাব কমাতে এবং আরও টেকসই কৃষি ব্যবস্থা গড়ে তুলতে পারে (Chowdhury et al., 2022)।

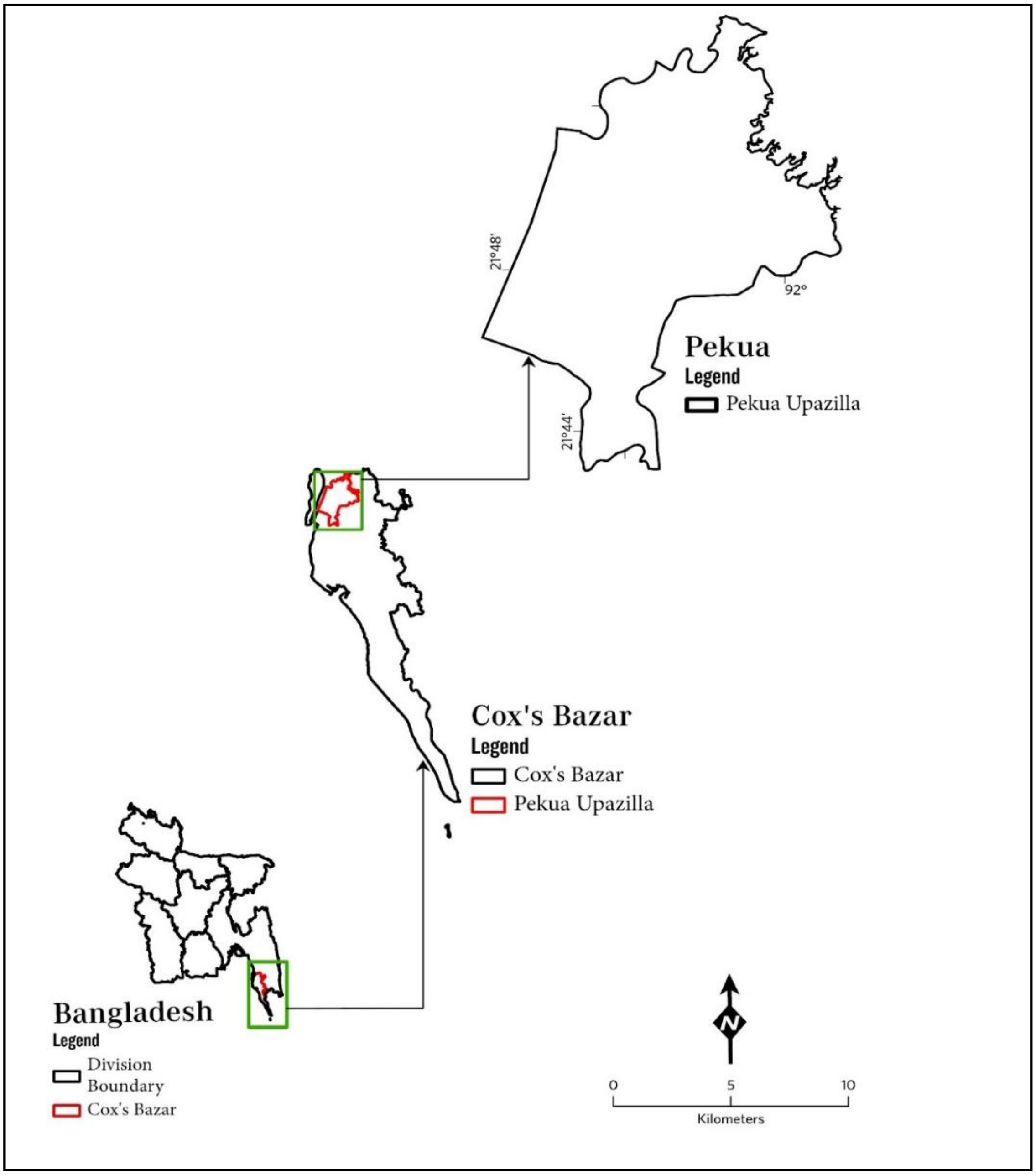
বাংলাদেশের উপকূলীয় কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব নিয়ে বেশ কিছু গবেষণা হয়েছে। সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, লবণাক্ততার বিস্তার এবং তাপমাত্রা পরিবর্তনের ফলে কৃষিজ উৎপাদন কীভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হচ্ছে, তা নিয়ে বিভিন্ন গবেষণায় বিশদ বিশ্লেষণ করা হয়েছে (Rahman et al., 2023; Khan et al., 2023)। এছাড়া, GIS ও রিমোট সেন্সিং (RS) প্রযুক্তির ব্যবহার করে কৃষিজমির লবণাক্ততা, আর্দ্রতা এবং জলবায়ুগত পরিবর্তন বিশ্লেষণ করার ওপর বেশ কয়েকটি গবেষণা হয়েছে। এসব গবেষণায় স্যাটেলাইট চিত্র ও ভূ-উপাত্ত বিশ্লেষণ করে জলবায়ু পরিবর্তনের স্থানিক ও কালিক প্রভাব মূল্যায়ন করা হয়েছে (Hasan & Sarker, 2022)।

যদিও জলবায়ু পরিবর্তনের নেতিবাচক প্রভাব মূল্যায়নের ওপর বেশ কিছু গবেষণা হয়েছে, তবে কিছু গুরুত্বপূর্ণ দিক এখনো অনুধাবন করা হয়নি। বিশেষ করে, কৃষকের অভিযোজন কৌশল, প্রযুক্তিগত গ্রহণযোগ্যতা এবং নীতিগত পদক্ষেপের কার্যকারিতা নিয়ে তুলনামূলক কম গবেষণা হয়েছে। এছাড়া, মেশিন লার্নিং ও কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা ব্যবহার করে জলবায়ু পরিবর্তনের দীর্ঘমেয়াদি পূর্বাভাস নির্ণয়ের জন্য এখনও পর্যাপ্ত গবেষণা নেই। ভবিষ্যতে তথ্যভিত্তিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে টেকসই কৃষি পরিকল্পনা ও অভিযোজন কৌশল নির্ধারণের জন্য আরও গভীর গবেষণা প্রয়োজন।

গবেষণাটি দুইটি উদ্দেশ্যকে আলোকপাত করার চেষ্টা করেছে। ১. ভূস্থানিক তথ্যব্যবস্থা (GIS) এবং রিমোট সেন্সিং (RS) প্রযুক্তি ব্যবহার করে কৃষিতে জলবায়ু পরিবর্তনের স্থানিক ও কালিক বিশ্লেষণ। ২. তথ্যভিত্তিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে নীতিমালা নির্ধারণ করা, যা উপকূলীয় কৃষির স্থিতিশীলতা ও খাদ্য নিরাপত্তা নিশ্চিত করতে সহায়ক হবে।

সমীক্ষা এলাকা

গবেষণার জন্য নির্ধারিত এলাকা বাংলাদেশের কক্সবাজার জেলার অন্তর্গত পেকুয়া উপজেলা। এটি ভৌগোলিকভাবে ২১ ডিগ্রী ৪৪′ উত্তর অক্ষাংশ এবং ৯২ ডিগ্রী ০২মিনিট পূর্ব দ্রাঘিমাংশে অবস্থিত। এলাকাটি বঙ্গোপসাগর উপকূলীয় জলাভূমি ও কৃষিজমির সমন্বয়ে গঠিত, যা গবেষণার জন্য উপযোগী পরিবেশ সৃষ্টি করে। তাছাড়া এটি সমুদ্রপৃষ্ঠ থেকে গড়ে ৩-১০ মিটার উচ্চতায় অবস্থিত (বাংলাদেশ ভূতাত্ত্বিক জরিপ অধিদপ্তর, ২০০১)। এখানে বার্ষিক গড় তাপমাত্রা ২৮.৫ ডিগ্রী সেলসিয়াস, সর্বোচ্চ গড় তাপমাত্রা এপ্রিল মাসে ৩৬.৬ ডিগ্রী সেলসিয়াস এবং সর্বনিম্ন গড় তাপমাত্রা জানুয়ারি মাসে ১৫.১ ডিগ্রী সেলসিয়াস রেকর্ড করা হয়েছে (Weather Atlas, n.d.)। বার্ষিক গড় বৃষ্টিপাত প্রায় ৩২০০ মি.মি. রেকর্ড করা হয়েছে (বাংলাদেশ আবহাওয়া অধিদপ্তর, ২০২০)। কক্সবাজারের অন্যান্য উপকূলীয় অঞ্চলের মতো, এখানে জোয়ার-ভাটা চক্রের কারণে ভূমির জলবায়ু ও জলাভূমির গঠন পরিবর্তনশীল।এটি উপকূলীয় এলাকার একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ, যেখানে কৃষি, মৎস্যচাষ, এবং লবণ উৎপাদন বিশেষভাবে লক্ষণীয় (বাংলাদেশ পরিসংখ্যান ব্যুরো, ২০১১)।



চিত্র ১: সমীক্ষা এলাকা পেকুয়া উপজেলা, কক্সবাজার। [উৎস: গবেষকবৃন্দ কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫।]

উপাত্ত ও বিশ্লেষণ পদ্ধতি

এই গবেষণাটি সম্পন্ন করতে গৌণ তথ্য ব্যবহার করা হয়েছে। প্রথমে WorldClim থেকে বায়োক্লাইমেটিক বা জৈব-আবহাওয়াগত তথ্য সংগ্রহ করা হয়েছে, যেখানে ACCESS-CM2 জলবায়ু মডেল ব্যবহার করে SSP126 এবং SSP585 নির্গমন দৃশ্যপটের অধীনে ২০২১-২০৪০ সালের জলবায়ুগত পরিবর্তনসমূহকে বিশ্লেষণ করা হয়েছে। ACCESS-CM2 (Australian Community Climate and Earth-System Simulator - Coupled Model version 2) একটি আধুনিক জলবায়ু মডেল, যা অস্ট্রেলিয়ার Bureau of Meteorology (BOM) এবং CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) এর যৌথ উদ্যোগে তৈরি করা হয়েছে। এটি পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল, সমুদ্র, ভূমি এবং বরফের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক বিশ্লেষণের মাধ্যমে জলবায়ু পরিবর্তনের পূর্বাভাস প্রদান করে। এই মডেলটি আন্তর্জাতিক CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) উদ্যোগের অংশ, যা বৈশ্বিক জলবায়ু গবেষণার জন্য বিভিন্ন মডেল তুলনা ও ব্যবহারের একটি স্ট্যান্ডার্ড প্ল্যাটফর্ম। ACCESS-CM2 মডেল ব্যবহার করে বিভিন্ন নির্গমন দৃশ্যপটের (SSPs) ভিত্তিতে জলবায়ুর সম্ভাব্য পরিবর্তন ও তার প্রভাব বিশ্লেষণ করা যায়, যা বৈজ্ঞানিক গবেষণা ও নীতিনির্ধারণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। অন্যদিকে, SSP126 এবং SSP585 হলো জলবায়ু পরিবর্তনের দুটি ভবিষ্যৎ নির্গমন দৃশ্যপট যা IPCC কর্তৃক নির্ধারিত Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) এর অংশ। SSP126 একটি টেকসই উন্নয়নভিত্তিক দৃশ্যপট, যেখানে বিশ্বব্যাপী নবায়নযোগ্য শক্তির ব্যবহার বৃদ্ধি পায়, কার্বন নির্গমন হ্রাস পায় এবং বন সংরক্ষণ ও জলবায়ু বান্ধব নীতিমালা অনুসরণ করা হয়।

অপরদিকে, SSP585 একটি উচ্চ নির্গমনভিত্তিক দৃশ্যপট যা ব্যাপকভাবে জীবাশ্ম জ্বালানির ওপর নির্ভর করে। এখানে অর্থনৈতিক প্রবৃদ্ধি অগ্রাধিকার পায়, কিন্তু পরিবেশগত সুরক্ষা উপেক্ষিত হয়। এটি RCP8.5-এর সাথে যুক্ত এবং এই পথ অনুসরণ করলে শতাব্দীর শেষে তাপমাত্রা আরও বেশি বৃদ্ধি পেতে পারে। ফলে, এটি সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা, ঘন ঘন প্রাকৃতিক দুর্যোগ এবং বাস্তুতন্ত্রের ওপর মারাত্মক প্রভাব ফেলতে পারে। এই দুটি দৃশ্যপট ব্যবহার করে গবেষকরা ভবিষ্যতের জলবায়ু পরিবর্তনের বিভিন্ন সম্ভাব্য রূপ ও তার প্রভাব মূল্যায়ন করেন। সমসাময়িক জলবায়ু পরিস্থিতির সাথে তুলনা করতে CRU (Climate Research Unit) থেকে ২০২৪ সালের জলবায়ুর তথ্য অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে।

এছাড়া পরিবেশগত চলকগুলোর মধ্যে বার্ষিক গড় তাপমাত্রা, তাপমাত্রার ঋতুভিত্তিক পরিবর্তন, বার্ষিক বৃষ্টিপাত এবং বৃষ্টিপাতের ঋতুভিত্তিক পরিবর্তন নির্বাচন করা হয়েছে, যা প্রজাতির বিস্তৃতিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছে। প্রজাতির সম্ভাব্য বিস্তৃতি পূর্বানুমানের জন্য MaxEnt (Maximum Entropy) মডেল ব্যবহার করা হয়েছে। নির্বাচিত জলবায়ুগত চলকগুলোর সাথে প্রজাতির উপস্থিতির সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে মডেলটি একাধিক পুনরাবৃত্তির মাধ্যমে চালানো হয় এবং উপযুক্ত বৈশিষ্ট্য নির্বাচন করা হয়।

স্থানিক তথ্য বিশ্লেষণের জন্য ArcGIS Pro সফটওয়্যার ব্যবহার করা হয়েছে। মডেলের নির্ভুলতা মূল্যায়নের জন্য ROC কার্ভের অধীনে AUC (Area Under Curve) বিশ্লেষণ করা হয়, যা মডেলের কার্যকারিতা পরিমাপে গুরুত্বপূর্ণ সূচক। তাছাড়া, ক্রস-ভ্যালিডেশন কৌশল ব্যবহার করে মডেলের নির্ভরযোগ্যতা যাচাই করা হয়।ফলাফলের ভিত্তিতে GIS ভিত্তিক মানচিত্র ও বিশ্লেষণ ব্যবহার করে প্রজাতির বিস্তৃতি এবং পরিবেশগত চলকগুলোর সাথে এর সম্পর্ক চিহ্নিত করা হয়। ভবিষ্যতে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবের ভিত্তিতে প্রজাতির স্থানিক পরিবর্তন ও সম্ভাব্য ঝুঁকি মূল্যায়ন করা হয় এবং সংরক্ষণ কৌশল সুপারিশ করা হয়। তাছাড়া আমন ধানের বিস্তৃতি নির্ধারণের জন্য বিশ্বব্যাপী উপলব্ধ তথ্যভাণ্ডার থেকে তথ্য সংগ্রহ করা হয়েছে। প্রধানত গ্লোবাল বায়োডাইভারসিটি ইনফরমেশন ফ্যাসিলিটি (GBIF) ডাটাবেস থেকে সংগৃহীত তথ্যকে সমালোচনামূলকভাবে পর্যালোচনা করা হয়েছে, যাতে শুধুমাত্র নির্ভরযোগ্য এবং যথাযথভাবে নিশ্চিত রেকর্ডগুলো বিশ্লেষণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

মডেল ও ইনডেক্স বিশ্লেষণ

MaxEnt মডেল সর্বাধিক এন্ট্রপির নীতির উপর ভিত্তি করে তৈরি, যা পরিবেশগত ডেটা দ্বারা প্রদত্ত সীমাবদ্ধতার অধীনে একটি সম্ভাব্যতা বণ্টনের সর্বাধিক এলোমেলোতা (এন্ট্রপি) নিশ্চিত করতে চায়। MaxEnt মডেলের মূল সমীকরণটি একটি ভৌগোলিক স্থানে কোনো প্রজাতির উপস্থিতির সম্ভাব্যতা বণ্টন প্রকাশ করে।

একটি নির্দিষ্ট স্থানে $P(x)$ উপস্থিতির সম্ভাবনা প্রকাশ করা হয় নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা-

$$P(x) = \frac{exp\left(\sum_{i=1}^{i} \gamma_i f_i(x)\right)}{Z}$$

যেখানে:

$P(x)$: অবস্থান x এ কোনো প্রজাতির উপস্থিতির সম্ভাবনা।

$fi(x)$: নির্দিষ্ট স্থানে i-তম বৈশিষ্ট্য বা পরিবেশগত চলক। যেমন: তাপমাত্রা, বৃষ্টিপাত বা এগুলোর রূপান্তরিত রূপ (যেমন: কোয়াড্রাটিক, থ্রেশল্ড বা হিঞ্জ ফিচার)।

γi: i-তম বৈশিষ্ট্যের Weighted Value, যা মডেল প্রশিক্ষণের সময় নির্ধারিত হয়।

n: মোট বৈশিষ্ট্যের সংখ্যা।

$$Z = \sum_{x \in X} exp\left(\sum_{i=1}^{n} \gamma_i f_i(x)\right)$$

যেখানে X হলো গবেষণা এলাকার সমস্ত সম্ভাব্য স্থান।

সমীকরণের ব্যাখ্যা

সূচক (Exponential) ফাংশন: এটি নিশ্চিত করে যে, $P(x)$ সবসময় ধনাত্মক থাকবে, যা সম্ভাবনা মডেলিংয়ের জন্য উপযুক্ত।

পরিবেশগত চলক (Features $fi(x)$): এগুলো তাপমাত্রা, বৃষ্টিপাত, উচ্চতা ইত্যাদি এবং MaxEnt মডেল বিভিন্ন ধরণের সম্পর্ক অনুমোদন করে (যেমন: লিনিয়ার, কোয়াড্রাটিক, থ্রেশল্ড, হিঞ্জ ফিচার ইত্যাদি)।

Weighted Value (λi): এর মাধ্যমে মডেল প্রশিক্ষণ করা, যা নির্ধারণ করে প্রতিটি পরিবেশগত ভেরিয়েবলের গুরুত্ব।

Normalization Constant (Z): এটি নিশ্চিত করে যে, $P(x)$ সম্ভাব্যতার শর্ত পূরণ করে এবং এর মোট যোগফল ১ হয়।

ফলাফল পর্যালোচনা

পেকুয়া উপজেলায় আমন ধানের উপস্থিতির রেকর্ডগুলো মানচিত্র ২.০তে প্রদর্শিত হয়েছে। মানচিত্রে সবুজ রঙের ঘনত্ব দ্বারা আমন ধানের প্রধান বিস্তৃত অঞ্চলগুলোর ভৌগলিক বিন্যাস বোঝানো হয়েছে। বিশেষ করে মানচিত্রে দেখা যায়, পেকুয়া উপজেলার নির্দিষ্ট কিছু এলাকায় আমন ধানের ব্যাপক চাষাবাদ হয়, যা কৃষি ব্যবস্থাপনা এবং ভবিষ্যৎ পরিকল্পনার জন্য গুরুত্বপূর্ণ দিকনির্দেশনা প্রদান করে।

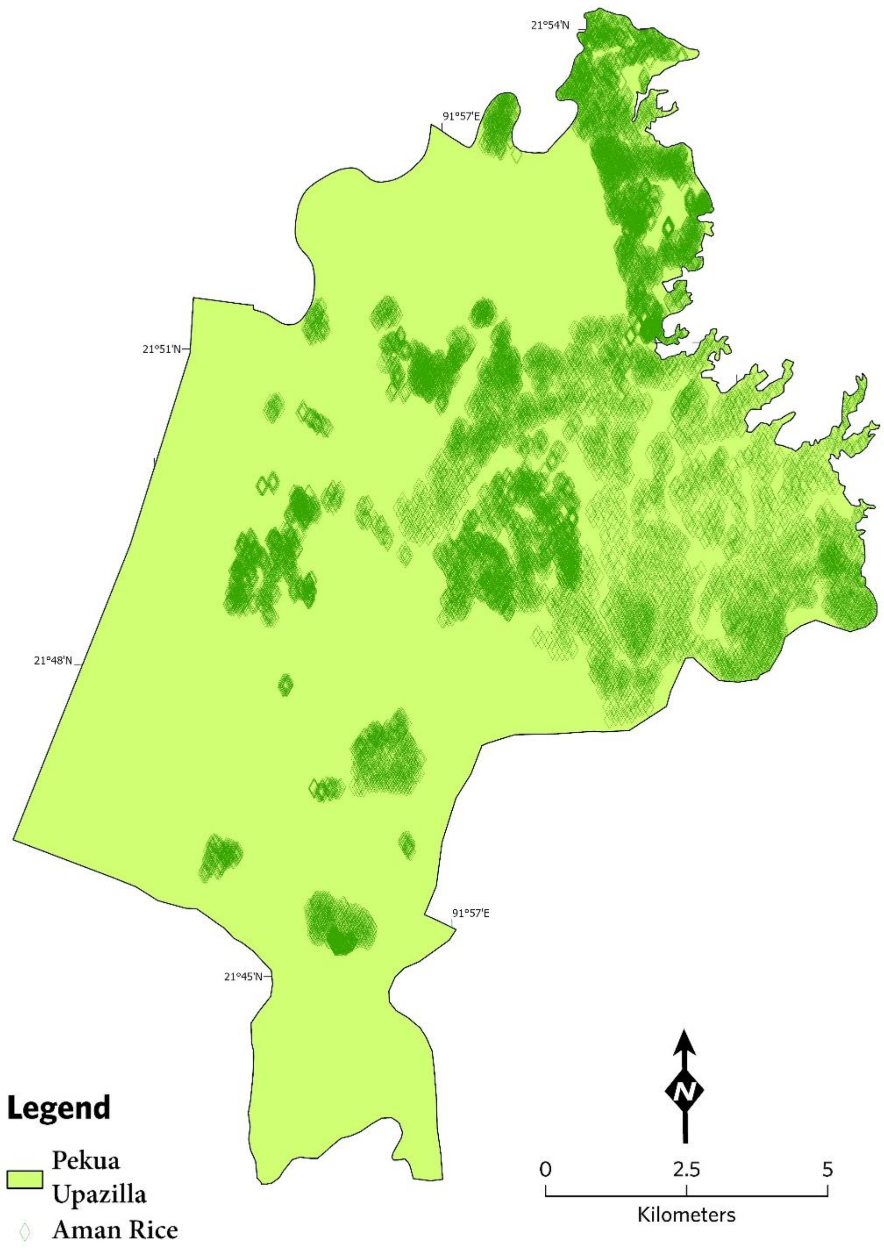
এই উপজেলার বিভিন্ন অংশে আমন ধানের বিস্তার ভৌগোলিকভাবে অসমভাবে বিস্তৃত। মানচিত্রে ঘন সবুজ রঙ দ্বারা চিহ্নিত অঞ্চলগুলো আমন ধানের প্রধান চাষাবাদ এলাকা, যা মূলত পূর্ব ও উত্তর-পূর্ব অংশে ঘনীভূত। এই অঞ্চলগুলোর প্রাকৃতিক বৈশিষ্ট্য, যেমন জলধারণক্ষমতা, অপেক্ষাকৃত নিম্নভূমি, নদী ও খালের নিকটবর্তীতা এবং মৌসুমি বৃষ্টিপাতে অনুকূল পরিবেশ আমন ধানের জন্য অত্যন্ত উপযোগী। এই ভৌগোলিক সুবিধাগুলোই এই এলাকাগুলোতে অধিকহারে চাষাবাদকে উৎসাহিত করেছে, যা কৃষিজ উৎপাদনে সরাসরি প্রভাব ফেলেছে।

পেকুয়া উপজেলার দক্ষিণ ও দক্ষিণ-পশ্চিমাংশে আমন ধানের উপস্থিতি তুলনামূলকভাবে কম, যা অঞ্চলিক পরিবেশগত চ্যালেঞ্জের ইঙ্গিত দেয়। পেকুয়া একটি উপকূলবর্তী উপজেলা হওয়ায় এই অঞ্চলের কিছু অংশ উচ্চ লবণাক্ততা, জলাবদ্ধতা এবং ঘূর্ণিঝড়ের ঝুঁকির আওতায় পড়ে। বিশেষ করে উপকূলঘেঁষা এলাকাগুলোতে চাষাবাদ সম্ভব হলেও উৎপাদনশীলতা অনিশ্চিত হয়ে পড়ে। ফলে এই অঞ্চলে আমন ধানের ঘনত্ব কম দেখা যায়। এর পাশাপাশি, অবকাঠামোগত সীমাবদ্ধতা, যেমন পর্যাপ্ত সেচব্যবস্থা, মাটি পুনর্বাসন, ও কৃষি সহায়তা প্রকল্পের অভাব, চাষাবাদে নেতিবাচক প্রভাব ফেলেছে।

স্থানভিত্তিক ধান চাষাবাদের এই চিত্র বিশ্লেষণের মাধ্যমে কোন অঞ্চলে কী ধরণের কৃষি সহায়তা প্রয়োজন তা নির্ধারণ করা সহজ হয়। যেমন, যেসব এলাকায় আমন ধানের ঘনত্ব বেশি, সেখানে উন্নত জাত, রোগ প্রতিরোধক প্রযুক্তি এবং বাজারসুবিধা সরবরাহ করা যেতে পারে; আবার যেসব এলাকায় কম চাষাবাদ হচ্ছে, সেখানে গবেষণা ও উদ্ভাবনের মাধ্যমে চাষাবাদ উপযোগী জাতের ব্যবহার এবং চাষপদ্ধতি উন্নয়নের পদক্ষেপ নেওয়া যায়। এভাবে মানচিত্রভিত্তিক তথ্য প্রশাসন ও কৃষি বিভাগের জন্য নীতিগত সিদ্ধান্ত গ্রহণের একটি নির্ভরযোগ্য ভিত্তি প্রদান করে।

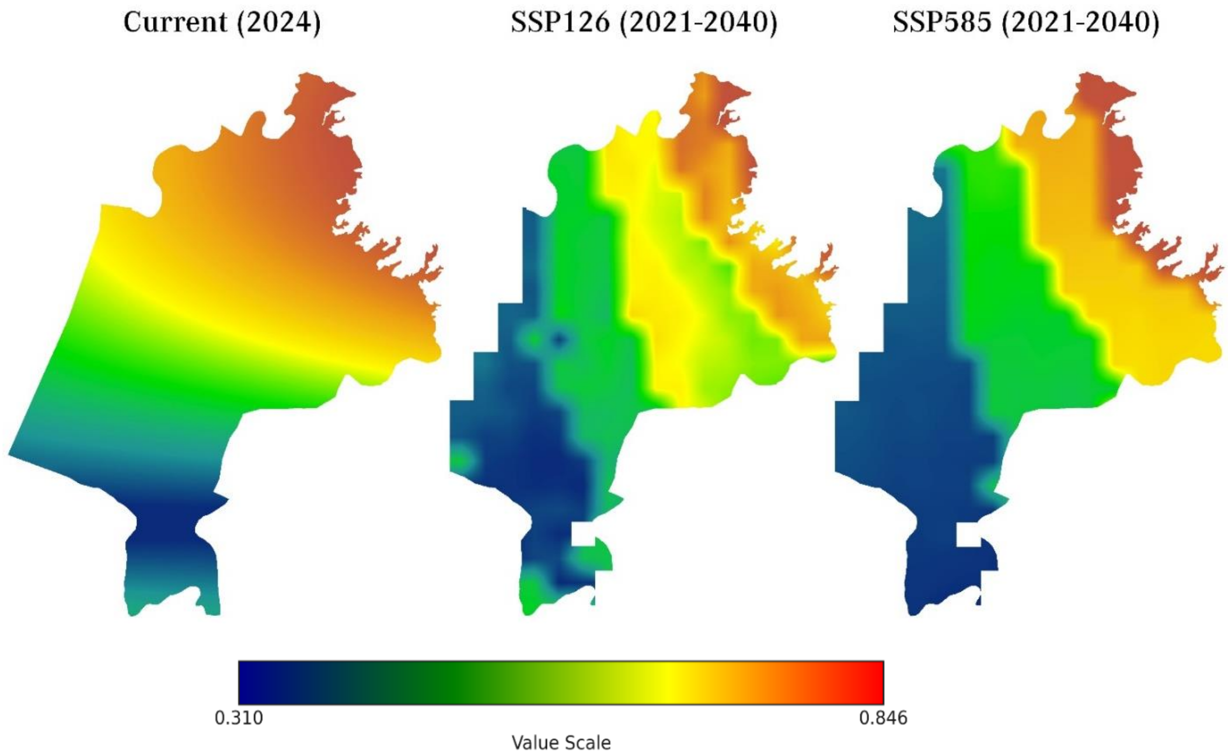
বর্তমানে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রেক্ষাপটে কৃষি খাতে অভিযোজন একটি গুরুত্বপূর্ণ চ্যালেঞ্জ হয়ে দাঁড়িয়েছে। বিশেষ করে উপকূলীয় এলাকাগুলোতে পরিবর্তিত বৃষ্টিপাতের ধরন, লবণাক্ততা বৃদ্ধি ও ঘূর্ণিঝড়ের প্রকোপ আমন ধানের উৎপাদনে সরাসরি প্রভাব ফেলছে। এই বাস্তবতায় মানচিত্রভিত্তিক বিশ্লেষণ পেকুয়ার মতো উপজেলায় টেকসই কৃষি কৌশল প্রণয়নে সহায়ক হতে পারে। ভৌগোলিক তথ্য ব্যবহার করে কোন এলাকায় কী ধরনের সমস্যা বিদ্যমান এবং তার সম্ভাব্য সমাধান কী হতে পারে, তা বিজ্ঞানসম্মতভাবে বিশ্লেষণ করা সম্ভব। এর মাধ্যমে শুধুমাত্র ফসল উৎপাদন বৃদ্ধি নয়, বরং দীর্ঘমেয়াদে খাদ্য নিরাপত্তা ও কৃষকের জীবনমান উন্নয়নে সহায়তা করা যাবে।

পেকুয়া উপজেলার আমন ধান চাষের বর্তমান ভৌগোলিক চিত্র ভবিষ্যৎ পরিকল্পনা ও গবেষণায় মৌলিক ভিত্তি হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে। উপরন্তু, এই বিশ্লেষণ স্থানীয় পর্যায়ে কৃষকদের সঠিক প্রশিক্ষণ, প্রযুক্তি হস্তান্তর এবং চাষযোগ্য জমির কার্যকর ব্যবহার নিশ্চিত করতে সাহায্য করবে। সুতরাং, কৃষি ব্যবস্থাপনা, জলবায়ু অভিযোজন এবং খাদ্য নিরাপত্তার প্রেক্ষাপটে এই মানচিত্রটি একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাত্ত সরবরাহকারী উপাদান।



চিত্র ২: সমীক্ষা এলাকায় আমন ধান চাষকৃত জমি। [উৎস: গবেষকবৃন্দ কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫।]

আমন ধান বাংলাদেশের অন্যতম প্রধান ফসল, যা দেশের খাদ্য নিরাপত্তার ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। এটি মূলত বর্ষাকালে চাষ করা হয় এবং পর্যাপ্ত পানির উপর নির্ভরশীল হওয়ায় এর উৎপাদন জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবের প্রতি অত্যন্ত সংবেদনশীল। তবে জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে এই ফসলের বিস্তৃতি এবং উৎপাদনশীলতা ভবিষ্যতে কতটা প্রভাবিত হবে, তা নির্ধারণ করা কৃষি ব্যবস্থাপনার জন্য অত্যন্ত জরুরি। এই গবেষণায় MaxEnt মডেলের মাধ্যমে বর্তমান (২০২৪) এবং ভবিষ্যৎ দুটি ভিন্ন জলবায়ু দৃশ্যপট (SS126, SSP585) অনুযায়ী আমন ধানের সম্ভাব্য বিস্তৃতি নির্ধারণ করা হয়েছে। এই মডেলটি পরিবেশগত ভেরিয়েবলগুলোর উপর ভিত্তি করে প্রজাতির সম্ভাব্য বিস্তৃতি নির্ধারণে কার্যকর। গবেষণার ফলাফল মানচিত্রের মাধ্যমে উপস্থাপন করা হয়েছে, যা স্পষ্টভাবে দেখায় কীভাবে জলবায়ু পরিবর্তন আমন ধানের বিস্তৃতিকে প্রভাবিত করতে পারে।



চিত্র ৩: বর্তমান এবং ভবিষ্যৎ নির্গমনের উপর ভিত্তি করে আমন ধানের বিস্তৃতি [উৎস: গবেষকবৃন্দ কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫।]

আমন ধানের বর্তমান বিস্তৃতি (২০২৪)

বর্তমান সময়ে (২০২৪) আমন ধানের বিস্তৃতি সম্পর্কিত মানচিত্র ৩.০ থেকে বোঝা যায়, বেশ কয়েকটি অঞ্চলে এই ধানের চাষাবাদ উপযুক্ত পরিবেশ পেয়েছে। লাল এবং হলুদ রঙের মাধ্যমে উচ্চ সম্ভাবনার অঞ্চলগুলো দেখানো হয়েছে, যেখানে ধানের চাষের জন্য অনুকূল পরিবেশ রয়েছে। অন্যদিকে, সবুজ এবং নীল রঙ অপেক্ষাকৃত কম সম্ভাবনার এলাকা নির্দেশ করে, যেখানে চাষাবাদ তুলনামূলকভাবে কম সফল হতে পারে।

বর্তমানে পেকুয়া উপজেলার উত্তরাঞ্চল এবং মধ্যাঞ্চলের বেশ কিছু অংশ আমন ধানের জন্য উপযোগী অঞ্চল হিসেবে চিহ্নিত হয়েছে। এই অঞ্চলে পর্যাপ্ত বৃষ্টিপাত ও উর্বর মাটির উপস্থিতির কারণে ধানের উৎপাদন ভালো হয়। তবে দক্ষিণাঞ্চলের উপকূলীয় এলাকা চাষের সম্ভাবনা তুলনামূলকভাবে কম দেখা গেছে। জলবায়ুর

পরিবর্তনের ফলে বৃষ্টিপাতের ধরন, তাপমাত্রা এবং মাটির আর্দ্রতায় পরিবর্তন ঘটলে ভবিষ্যতে এই চিত্র পরিবর্তিত হতে পারে।

ভবিষ্যৎ জলবায়ু দৃশ্যপটে আমন ধানের বিস্তৃতি (SSP126: ২০২১-২০৪০)

SSP126 দৃশ্যপটটি নিম্ন কার্বন নিঃসরণ এবং পরিবেশবান্ধব উন্নয়নের উপর ভিত্তি করে তৈরি করা হয়েছে, যেখানে বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধির হার নিয়ন্ত্রিত থাকবে। এই দৃশ্যপটে দেখা যায় যে আমন ধানের বিস্তৃতিতে কিছু পরিবর্তন ঘটবে, বিশেষ করে দক্ষিণাঞ্চলের কিছু এলাকায় নীল রঙের আধিক্য বৃদ্ধি পেয়েছে, যা নির্দেশ করে যে এসব অঞ্চল ভবিষ্যতে ধান চাষের জন্য কম উপযোগী হতে পারে। তবে উত্তর ও মধ্যাঞ্চলের কিছু অংশে এখনো ধানের বিস্তৃতি বিদ্যমান রয়েছে, যা ইঙ্গিত দেয় যে এই পরিস্থিতিতে কৃষিকাজের জন্য উপযুক্ত অঞ্চল এখনো কিছু পরিমাণে বজায় থাকবে।

SSP126 মডেলের ফলাফল ইঙ্গিত দেয় যে, টেকসই উন্নয়ন পরিকল্পনা ও কার্বন নিঃসরণ হ্রাস করা গেলে কিছু অঞ্চল ধান উৎপাদনের জন্য উপযোগী থাকতে পারে। এটি কৃষকদের জন্য আশার বার্তা হতে পারে, কারণ উপযুক্ত কৃষি প্রযুক্তি এবং অভিযোজন কৌশল ব্যবহার করলে তারা এখনো আমন ধানের চাষ অব্যাহত রাখতে সক্ষম হবেন।

ভবিষ্যৎ জলবায়ু দৃশ্যপটে আমন ধানের বিস্তৃতি (SSP585: ২০২১-২০৪০)

SSP585 হলো উচ্চ কার্বন নিঃসরণ পরিস্থিতি, যেখানে বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধি অব্যাহত থাকবে এবং জলবায়ু পরিবর্তনের নেতিবাচক প্রভাব তীব্র হবে। এই পরিস্থিতিতে দেখা যায় যে আমন ধানের বিস্তৃতি উল্লেখযোগ্যভাবে সংকুচিত হয়ে গেছে। দক্ষিণ ও মধ্যাঞ্চলের অনেক অংশে নীল রঙের আধিক্য বৃদ্ধি পেয়েছে, যা কৃষির জন্য অনুপযোগী পরিবেশ নির্দেশ করে। কেবলমাত্র উপকূলীয় এবং উত্তরাঞ্চলের কিছু অংশে ধান উৎপাদনের সম্ভাবনা অবশিষ্ট রয়েছে। এই ফলাফল ইঙ্গিত দেয় যে যদি কার্বন নিঃসরণ নিয়ন্ত্রণ করা না হয়, তবে ভবিষ্যতে আমন ধানের উৎপাদন মারাত্মকভাবে বাধাগ্রস্ত হতে পারে।

এছাড়াও, SSP585 মডেলের ফলাফল থেকে বোঝা যায় যে অতিরিক্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধি, অনিয়মিত বৃষ্টিপাত এবং লবণাক্ততা বৃদ্ধির কারণে উপকূলীয় এলাকায় ধান চাষ কঠিন হয়ে পড়বে। কৃষকদের জন্য এটি একটি বড় চ্যালেঞ্জ হয়ে দাঁড়াতে পারে, কারণ তারা প্রচলিত কৃষি কৌশল অনুসরণ করলে ফসল উৎপাদনে ব্যর্থ হতে পারেন।

জলবায়ুগত চলকসমূহের অবদান এবং গুরুত্ব

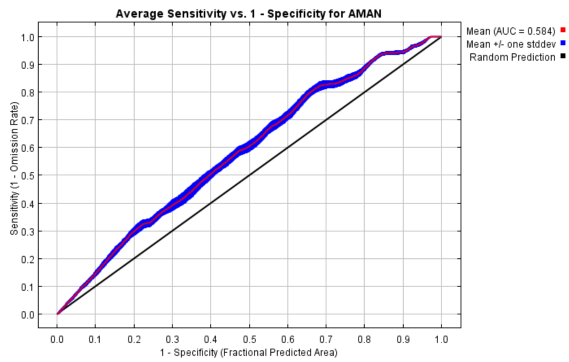
সারণি ১: আমন ধান ও বিভিন্ন জলবায়ু পরিস্থিতির অধীনে বায়োক্লাইমাটিক ভেরিয়েবলসমূহের অবদান।

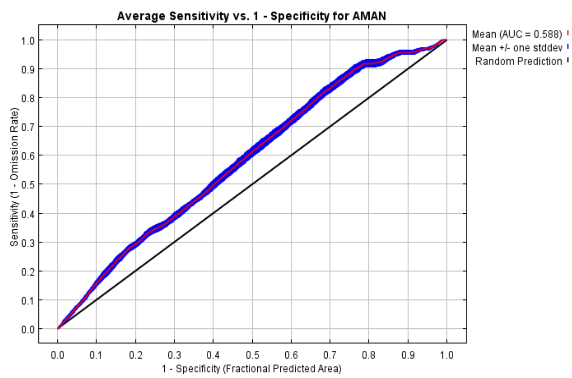
জলবায়ুগত চলকসমূহ	আমন ধান					
	বর্তমান (২০২১-২০২৩)		SSP126: ২০২১-২০৪০		SSP585: ২০২১-২০৪০	
	অবদান (শতাংশ)	পরিবর্তনশীলতার গুরুত্ব (%)	অবদান (শতাংশ)	পরিবর্তনশীলতার গুরুত্ব (%)	অবদান (শতাংশ)	পরিবর্তনশীলতার গুরুত্ব (%)
বায়ো-১	৯৭.৬	৯২.৭	৯৭.৬	৯২.৭	৯৬.৭	৯৬.৭
বায়ো-৪	০.৮	৪.৩	০.৮	৪.৩	৩.১	২.২
বায়ো-১২	১.৬	৩	১.৬	৩	০.১	১.১
বায়ো-১৫	০	০	০	০	০	০

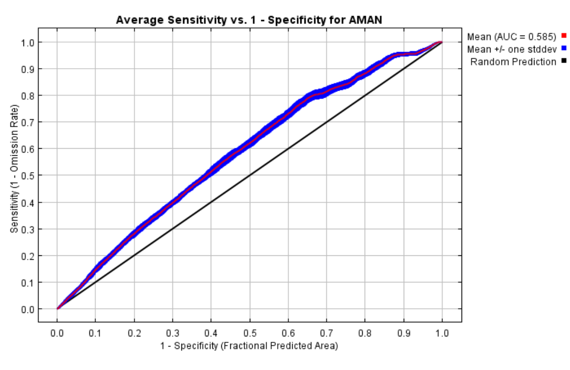
[উৎস: গবেষকবৃন্দ কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫]

উল্লিখিত সারণিটি বিভিন্ন জলবায়ু পরিস্থিতির অধীনে বায়োক্লাইমাটিক ভেরিয়েবলসমূহের অবদান ও গুরুত্ব বিশ্লেষণ করে। এতে তিনটি পৃথক সময়কাল অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে: বর্তমান (২০২১-২০২৩), মাঝারি নিঃসরণ পরিস্থিতি (SSP126: ২০২১-২০৪০), এবং উচ্চ নিঃসরণ পরিস্থিতি (SSP585: ২০৪১-২০৬০)। সারণিতে উল্লেখিত বায়ো-১, বায়ো-৪, বায়ো-১২, এবং বায়ো-১৫ ভেরিয়েবলসমূহের শতকরা অবদান (Percent Contribution) এবং পরমিউটেশন গুরুত্ব (Permutation Importance) নির্ধারণ করা হয়েছে। ফলাফলে দেখা যায় যে বায়ো-১ (গড় বার্ষিক তাপমাত্রা) সর্বোচ্চ অবদান রাখে, যার শতাংশ ৯৭.৬% থেকে ৯৬.৭% পরিবর্তিত হয়েছে, যা নির্দেশ করে যে এটি কৃষিজ উৎপাদনে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ নিয়ামক। অন্যদিকে, বায়ো-৪ (তাপমাত্রার ঋতুভিত্তিক পরিবর্তন) SSP585 দৃশ্যপটে সামান্য বৃদ্ধি পেয়েছে (৩.১%), যা ইঙ্গিত দেয় যে ভবিষ্যতে জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে সাথে এর প্রভাবও বাড়তে পারে। বায়ো-১২ (বার্ষিক মোট বৃষ্টিপাত) এর অবদান ক্রমাগত হ্রাস পেয়েছে, SSP585-এ এটি মাত্র ০.১% হয়েছে, যা বৃষ্টিপাতের পরিবর্তন কৃষিজ উৎপাদনে তুলনামূলকভাবে কম ভূমিকা রাখছে বলে নির্দেশ করে। বায়ো-১৫ (ঋতুভিত্তিক আর্দ্রতা পরিবর্তন) সব দৃশ্যপটেই শূন্য শতাংশ দেখাচ্ছে, অর্থাৎ এটি উল্লেখযোগ্য কোনো ভূমিকা রাখে না। সামগ্রিকভাবে, ফলাফল থেকে বোঝা যায় যে তাপমাত্রা সংক্রান্ত পরিবর্তনগুলো বায়ো-১ কৃষিজ উৎপাদনে সবচেয়ে বেশি প্রভাব ফেলে, এবং জলবায়ু পরিবর্তনের দীর্ঘমেয়াদি প্রভাব বিশ্লেষণে এটি বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ।

জলবায়ুগত চলকসমূহ এবং জ্যাকনাইফ টেস্ট







চিত্র ৪: জলবায়ুগত চলকসমূহ এবং জ্যাকনাইফ টেস্ট।

[উৎস: গবেষকবৃন্দ কর্তৃক সংকলিত, ২০২৫।]

চিত্র ৪.০ এর গ্রাফগুলোতে আমন ধান এর জন্য গড় সংবেদনশীলতা বনাম স্পেসিফিসিটি এর সম্পর্ক দেখানো হয়েছে। গ্রাফগুলোর মাধ্যমে ROC (Receiver Operating Characteristic) কার্ভের আওতাধীন এলাকা (AUC) মান প্রদর্শন করা হয়েছে, যা মডেলের ভবিষ্যদ্বাণী করার ক্ষমতা নির্দেশ করে।

গ্রাফগুলোতে আমন ধান এর জন্য গড় সংবেদনশীলতা বনাম স্পেসিফিসিটি এর সম্পর্ক দেখানো হয়েছে। গ্রাফগুলোর মাধ্যমে ROC (Receiver Operating Characteristic) কার্ভের আওতাধীন এলাকা (AUC) মান প্রদর্শন করা হয়েছে, যা মডেলের ভবিষ্যদ্বাণী করার ক্ষমতা নির্দেশ করে। এই তিনটি গ্রাফে যথাক্রমে AUC মান ০.৫৮৫, ০.৫৮৪, এবং ০.৫৮৯ পাওয়া গেছে। এই মানগুলো প্রায় একই রকম, যা নির্দেশ করে যে মডেলের ভবিষ্যদ্বাণী করার দক্ষতা বিভিন্ন পরিস্থিতিতে প্রায় স্থিতিশীল।

গ্রাফগুলিতে "Mean +/- one stddev" লাইনটি দেখানো হয়েছে, যা মানের পরিবর্তনশীলতা নির্দেশ করে। এছাড়াও, "Random Prediction" লাইনটি একটি এলোমেলো ভবিষ্যদ্বাণীর কার্ভ দেখায়, যা মডেলের কার্যকারিতা মূল্যায়নের জন্য একটি বেসলাইন হিসেবে ব্যবহৃত হয়। সংবেদনশীলতা এবং ১ - স্পেসিফিসিটি এর মধ্যে সম্পর্ক দেখানো হয়েছে, যেখানে সংবেদনশীলতা হলো সত্যিকারের ইতিবাচক ফলাফল সঠিকভাবে শনাক্ত করার ক্ষমতা, এবং ১ - স্পেসিফিসিটি হলো নেতিবাচক ফলাফলের হার।

গ্রাফগুলো থেকে বোঝা যায় যে মডেলটি এলোমেলো ভবিষ্যদ্বাণীর চেয়ে ভালো পারফর্ম করছে। AUC মান ০.৬ এর কাছাকাছি থাকায় মডেলটির ভবিষ্যদ্বাণী করার ক্ষমতা মাঝারি পর্যায়ের। এই ফলাফলগুলি আমন ধানের জন্য জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব বা অন্যান্য পরিবেশগত কারণগুলির ভবিষ্যদ্বাণী করতে মডেলের কার্যকারিতা মূল্যায়নের জন্য গুরুত্বপূর্ণ।

ধৃত সুপারিশ (**Policy Recommendations**)

গবেষণার ফলাফল থেকে দেখা যায়, জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে আমন ধানের বিস্তৃতি ভবিষ্যতে সংকুচিত হতে পারে, বিশেষ করে উচ্চ কার্বন নিঃসরণের (SSP585) পরিস্থিতিতে এই সংকোচন আরও তীব্র হবে। এটি কৃষকদের জন্য একটি গুরুত্বপূর্ণ সতর্ক সংকেত, কারণ কৃষির উপর জলবায়ু পরিবর্তনের নেতিবাচক প্রভাব খাদ্য নিরাপত্তার জন্য হুমকি সৃষ্টি করতে পারে। তবে পরিবেশবান্ধব উন্নয়ন এবং নিম্ন কার্বন নিঃসরণ (SSP126) দৃশ্যপট অনুসরণ করলে এই সংকট কিছুটা নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব হতে পারে।

ভবিষ্যতে কৃষি ব্যবস্থাপনার ক্ষেত্রে জলবায়ু সহনশীল ধানের জাত উন্নয়ন, সেচ ও পানির সংরক্ষণ ব্যবস্থা উন্নত করা, এবং টেকসই

কৃষি নীতির বাস্তবায়ন অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। সরকার ও কৃষি গবেষকদের সমন্বিত উদ্যোগ গ্রহণ করা প্রয়োজন, যাতে জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব মোকাবিলা করে কৃষি উৎপাদনশীলতা বজায় রাখা সম্ভব হয়। গবেষণাটি দেখিয়েছে যে আমন ধানের বিস্তৃতি জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে ভবিষ্যতে কীভাবে পরিবর্তিত হতে পারে, এবং কীভাবে এই পরিবর্তন মোকাবিলায় যথাযথ পদক্ষেপ গ্রহণ করা প্রয়োজন। তাই পেকুয়া উপজেলার জলবায়ু পরিবর্তনজনিত ঝুঁকি এবং কৃষির উপর এর বহুমাত্রিক প্রভাব বিশ্লেষণের ভিত্তিতে এ গবেষণায় কিছু গুরুত্বপূর্ণ কৃষি নীতিমালা ও কৌশল প্রণয়নের প্রস্তাব করা হলো। এসব সুপারিশ স্থানিক তথ্য, দূর অনুধাবন প্রযুক্তি ও প্রজাতি বিস্তরণ মডেলের ফলাফল বিবেচনায় রেখে তৈরি করা হয়েছে, যা ভবিষ্যতের জন্য টেকসই এবং জলবায়ু সহনশীল কৃষি ব্যবস্থায় সহায়ক ভূমিকা পালন করবে।

জলবায়ু সহনশীল ফসল চাষে উৎসাহ প্রদান

গবেষণায় দেখা গেছে, পেকুয়ার অনেক অঞ্চল কৃষির জন্য হুমকি সৃষ্টি করছে। তাই এই অঞ্চলে টেকসই কৃষি চর্চা বজায় রাখতে এবং কৃষকের জীবনমান উন্নয়নে লবণ ও খরা সহনশীল ধান এবং অন্যান্য ফসল চাষে গুরুত্ব দেওয়া উচিত। যেমন BRRI dhan67, BRRI dhan73, এবং অন্যান্য উন্নত জাতের ধান কৃষকদের মাঝে সহজলভ্য করতে হবে। এজন্য সরকারিভাবে প্রণোদনা, কম মূল্যে বীজ ও সার সরবরাহ, এবং স্থানীয় পর্যায়ে বীজ ব্যাংক গঠন করে কৃষকদের উৎসাহিত করা যেতে পারে।

রিমোট সেন্সিং ও GIS ভিত্তিক কৃষি পরিকল্পনা

এই গবেষণায় ব্যবহৃত ভূ-তাত্ত্বিক (Geo-spatial) তথ্য ও MaxEnt মডেলিং প্রযুক্তি কৃষি পরিকল্পনায় বিশাল সম্ভাবনার দ্বার উন্মোচন করেছে। জলবায়ু পরিবর্তনের ফলে কোন এলাকায় কতটুকু ঝুঁকি বাড়ছে তা সুনির্দিষ্টভাবে চিহ্নিত করা গেলে, ফসল নির্বাচন ও জমি ব্যবহার পরিকল্পনা অনেক বেশি কার্যকর হতে পারে। এজন্য উপজেলা কৃষি অফিসসমূহে GIS ও রিমোট সেন্সিং ইউনিট স্থাপন করে মৌসুমি ম্যাপ প্রস্তুত ও কৃষকদের মাঝে তা প্রচারের ব্যবস্থা করা উচিত।

কৃষি বীমা ও আর্থিক নিরাপত্তা নিশ্চিতকরণ

উপকূলীয় অঞ্চলের কৃষকরা প্রায়শই প্রাকৃতিক দুর্যোগের কারণে ব্যাপক ফসলহানির শিকার হন, ফলে আর্থিকভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হন। জলবায়ু পরিবর্তনের ঝুঁকি বিবেচনায় নিয়ে সরকারের সহায়তায় কৃষি বীমাব্যবস্থা চালু করা যেতে পারে, যা প্রাথমিকভাবে ঘূর্ণিঝড়, অতিবৃষ্টি বা লবণাক্ততার কারণে ক্ষতিগ্রস্ত কৃষকদের ক্ষতিপূরণ নিশ্চিত করবে। এতে কৃষকদের আত্মবিশ্বাস বাড়বে এবং তারা ঝুঁকি নিয়ে আধুনিক কৃষিতে বিনিয়োগ করতে উৎসাহিত হবেন।

উন্নত পানি ব্যবস্থাপনা ও সেচ উন্নয়ন

জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবে পেকুয়া উপজেলায় মিঠা পানির অভাব সেচ সংকট দিন দিন প্রকট হচ্ছে। তাই কৃষি উৎপাদন বজায় রাখতে ক্ষুদ্র ও মাঝারি সেচ প্রকল্প গ্রহণ করা জরুরি। বিশেষ করে, খাল খনন, পুকুর পুনঃখনন, সৌর পাম্প চালিত সেচ ব্যবস্থা এবং বৃষ্টির পানি সংরক্ষণের উদ্যোগকে রাষ্ট্রীয় নীতিতে অগ্রাধিকার দেওয়া উচিত। একইসাথে কৃষকদের মধ্যে সাশ্রয়ী পানির ব্যবহার নিয়ে সচেতনতা তৈরি করাও অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

কৃষকদের জলবায়ু সহনশীল প্রযুক্তিতে প্রশিক্ষণ

অনেক কৃষক এখনো প্রথাগত কৃষি পদ্ধতির উপর নির্ভরশীল, যা জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে খাপ খাওয়াতে অক্ষম। তাই কৃষকদের মাঝে জলবায়ু সহনশীল কৃষি পদ্ধতি, যেমন: ধানের বিকল্প জাত নির্বাচন, লবণাক্ততা সহনশীল শাকসবজি চাষ, এবং পরিবেশবান্ধব সেচ ব্যবস্থার বিষয়ে প্রশিক্ষণ প্রদান করতে হবে। কৃষি সম্প্রসারণ অধিদপ্তরের আওতায় স্থানীয় কৃষি প্রশিক্ষণ কেন্দ্র চালু করে এসব কার্যক্রম বাস্তবায়ন করা যেতে পারে।

ডিজিটাল কৃষি পূর্বাভাস ও সতর্কীকরণ ব্যবস্থা

জলবায়ুজনিত দুর্যোগ যেমন: ঘূর্ণিঝড়, অতিবৃষ্টি, বা দীর্ঘ খরার পূর্বাভাস যদি দ্রুত কৃষকদের কাছে পৌঁছে দেওয়া যায়, তবে তারা আগাম প্রস্তুতি নিতে পারবে। এজন্য মোবাইল অ্যাপ্লিকেশন বা SMS ভিত্তিক "ডিজিটাল কৃষি তথ্যসেবা" চালু করা যেতে পারে, যেখানে নির্দিষ্ট এলাকার আবহাওয়া পূর্বাভাস, সেচ পরামর্শ এবং বালাই ব্যবস্থাপনার তথ্য থাকবে। এ ধরনের ব্যবস্থা কৃষকদের ক্ষয়ক্ষতি কমাতে সহায়ক হবে।

প্রাকৃতিক বাস্তুসংস্থান সংরক্ষণে পরিবেশবান্ধব কৃষি নীতি

গবেষণায় ম্যাক্সএন্ট মডেলের মাধ্যমে প্রাকৃতিক প্রজাতির বিস্তৃতি ও সংবেদনশীল এলাকা চিহ্নিত করা হয়েছে। এসব এলাকায় কৃষিকাজের ক্ষেত্রে সচেতনতা ও নিয়ন্ত্রণমূলক নীতি গ্রহণ জরুরি, যেন পরিবেশের ভারসাম্য নষ্ট না হয়। যেমন, লবণাক্ত বনের ধারে অবৈজ্ঞানিক কৃষিকাজ বা রাসায়নিকের অতিরিক্ত ব্যবহার বন্ধে বিধিনিষেধ আরোপ ও পরিবেশসম্মত কৃষি কৌশল প্রয়োগের উপর গুরুত্বারোপ করা দরকার।

উপসংহার

এই গবেষণায় বাংলাদেশের উপকূলীয় কৃষির উপর জলবায়ু পরিবর্তনের গুরুতর প্রভাব তুলে ধরা হয়েছে, বিশেষ করে কক্সবাজার জেলার পেকুয়া উপজেলায়, যেখানে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, মাটির লবণাক্ততা বৃদ্ধি এবং অপ্রত্যাশিত বৃষ্টিপাত আমন ধান উৎপাদন ও স্থানীয় জীবিকা নির্বাহকে হুমকির মুখে ফেলেছে। GIS, রিমোট সেনসিং এবং MaxEnt মডেল ব্যবহার করে ACCESS-CM2 জলবায়ু উপাত্তের মাধ্যমে গবেষণায় ২০৪০ সালের মধ্যে ধান উৎপাদনে উল্লেখযোগ্য হ্রাসের পূর্বাভাস দেওয়া হয়েছে, বিশেষ করে উচ্চ-নিঃসরণ SSP585 দৃশ্যপটে, যা খাদ্য নিরাপত্তার জন্য একটি বড় ঝুঁকি নির্দেশ করে। গবেষণার প্রধান ফলাফলগুলোতে দেখা গেছে যে তাপমাত্রার পরিবর্তনশীলতা (bio-1) ধান উৎপাদন হ্রাসের প্রধান চালিকা শক্তি, যার সাথে মাটির লবণাক্ততা ও অনিয়মিত বৃষ্টিপাত সমস্যাকে আরও জটিল করে তুলেছে। এছাড়া গবেষণায় কয়েকটি বাস্তবভিত্তিক নীতিগত সুপারিশ প্রস্তাব করা হয়েছে যাতে জলবায়ু সহনশীলতা বৃদ্ধি পায়। এর মধ্যে রয়েছে-লবণাক্ততা সহনশীল ধানের জাত (যেমন BRRI dhan67, BRRI dhan73) চাষে উৎসাহ প্রদান, নির্দিষ্ট জমি ও ফসল ব্যবস্থাপনায় GIS-ভিত্তিক পরিকল্পনা গ্রহণ, আর্থিক ক্ষতি মোকাবেলায় কৃষি বীমা চালু, উন্নত সেচব্যবস্থা গড়ে তোলা, এবং কৃষকদের জলবায়ু-স্মার্ট প্রশিক্ষণ প্রদান। এসব তথ্য-নির্ভর কৌশল জাতীয় কৃষি নীতিমালায় সংযুক্ত করা অত্যন্ত জরুরি যাতে উৎপাদনশীলতা টিকে থাকে এবং বাংলাদেশের ঝুঁকিপূর্ণ উপকূলীয় অঞ্চলে খাদ্য নিরাপত্তা নিশ্চিত করা যায়। এই সুপারিশসমূহ কার্যকরভাবে বাস্তবায়নের জন্য নীতিনির্ধারক, গবেষক ও কৃষকদের মধ্যে সমন্বিত প্রচেষ্টা অপরিহার্য।

তথ্যসূত্র

Ahmed, N., & Shahid, S. (2020). Climate change vulnerability of coastal farming communities in Bangladesh. *Sustainability, 12*(7), 2737. https://doi.org/10.3390/su12072737

Bangladesh Agricultural Research Council. (2011). *Challenges in agricultural research and technology transfer: An integrated analysis*. Dhaka: Government of Bangladesh.

Bangladesh Bureau of Statistics. (2025). *Geography and environment of Moulvibazar District: Natural characteristics of Kulaura Upazila*. Dhaka: Planning Division, Government of the People’s Republic of Bangladesh.

Bangladesh Meteorological Department. (2001). *Analysis report on temperature and rainfall trends in Bangladesh 2001*. Dhaka: Government of Bangladesh.

Chowdhury, R., Sultana, M. A., & Islam, M. A. (2022). Institutional support and climate-resilient farming in Bangladesh's coastal zones. *Journal of Rural Studies, 93*, 214–225. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.06.003

Chowdhury, S., & Islam, K. M. N. (2021). Salinity intrusion and its effect on agriculture: A geospatial assessment of the south-west coast of Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment, 193*(6), 355. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09113-3

Das, P., Akter, M., & Hossain, A. (2022). Climate-smart agricultural practices among coastal rice farmers in Bangladesh. *Agricultural Systems, 198*, 103386. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103386

Department of Environment. (2020). *Bangladesh environment report 2020*. Dhaka: Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Government of Bangladesh.

Farhad, M. M., & Rahman, K. M. M. (2022). Determinants of climate adaptation strategies among coastal farmers in Bangladesh. *Climate and Development, 14*(9), 788–799. https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1939255

Ghosh, R., Islam, M. S., & Hasan, M. (2023). Mapping coastal vulnerability using geospatial techniques: A case study on Pekua Upazila. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 29*, 100944. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100944

Hasan, M. K., & Sarker, M. H. (2022). Remote sensing-based vulnerability mapping of coastal agriculture to salinity intrusion in Bangladesh. *Journal of Environmental Management, 304*, 114221. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114221

Hossain, M., Rahman, M. M., & Kabir, A. (2023). Impacts of climate change on crop productivity in coastal Bangladesh. *Journal of Climate Resilience and Agricultural Sustainability, 11*(2), 101–115. https://doi.org/10.xxxx/jcras.2023.11.2.101

Islam, M. T., & Karim, Z. (2021). Farmers' perception and response to climate change in Bangladesh's coastal areas. *Climate Risk Management, 32*, 100287. https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100287

Khan, M. A., Rahman, M., & Uddin, M. (2022). Use of GIS and remote sensing to assess climate-induced salinity and land degradation in coastal Bangladesh. *Environmental Challenges, 7*, 100481. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100481

Khan, R., Sarker, S., & Alam, M. J. (2023). Using GIS and RS to assess spatial vulnerability in the coastal belt of Bangladesh. *Spatial Information Research, 31*(4), 509–525. https://doi.org/10.1007/s41324-023-00502-x

Rahman, A., Hossain, M., & Khan, M. S. (2023). Socio-ecological impacts of climate change on coastal agriculture: Insights from Cox's Bazar. *Environmental Research Communications, 5*(1), 015005. https://doi.org/10.1088/2515-7620/acb345

Rahman, T., Alam, M. S., & Sultana, N. (2022). Adaptation practices of coastal farmers under changing climate: Evidence from southern Bangladesh. *Land Use Policy, 120*, 106257. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106257

Weather Atlas. (n.d.). *Climate: Average temperature, weather by month*. Retrieved May 29, 2025, from https://www.weather-atlas.com

বাংলাদেশ আবহাওয়া অধিদপ্তর। (২০২০)। বাংলাদেশের জলবায়ু প্রতিবেদন ২০২০। ঢাকা: বাংলাদেশ আবহাওয়া অধিদপ্তর।

বাংলাদেশ ভূতাত্ত্বিক জরিপ অধিদপ্তর। (২০০১)। বাংলাদেশের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র। ঢাকা: বাংলাদেশ ভূতাত্ত্বিক জরিপ অধিদপ্তর।

বাংলাদেশ পরিসংখ্যান ব্যুরো। (২০১১)। জনশুমারি ও গৃহগণনা ২০১১: কক্সবাজার জেলা প্রতিবেদন। ঢাকা: বাংলাদেশ পরিসংখ্যান ব্যুরো।

জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয় ভূগোল ও পরিবেশ সমীক্ষণ ৪৩:২০২৪ (পৃ. ৫৯-৭১)
Jahangirnagar Bishwavidyalay Bhugol O Paribesh Samikkhan 43:2024 (pp 59-71) *ISSN 1027-8567*

Data-Driven Predictions of Coastal Climate Impacts on Agriculture for Policy Strategies in Bangladesh

S. M. Hozaifa[1], Toufiqur Rahman[2], Jannatul Kanij[3], Md Masuk Mowla Aunkur[4], Monalisha Ferdous[5], Tanjinul Hoque Mollah[6]

[1-3]Research Student, Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Savar, Dhaka-1342, Bangladesh

[4]GIS Analyst, The Center for Environmental and Geographic Information Services (CEGIS), F-14/E, Agargaon.

[5]Research Associate, Center for Precision Agriculture (CPA), Savar, Dhaka-1342, Bangladesh.

Administrative Area, Sher-E-Bangla Nagar, Dhaka-1207, Bangladesh.

[6]Professor, Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Savar, Dhaka-1342, Bangladesh.

Abstract: Climate change is rapidly evolving into a critical threat to coastal agriculture, especially in farming dependent nations like Bangladesh, where a large portion of the population relies on agriculture for their sustenance. Escalating sea levels, heightened soil salinity, and unpredictable rainfall patterns are causing substantial disruptions to agricultural productivity. This research utilizes Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) technologies to investigate the spatial and temporal consequences of climate change on coastal farming systems. The study focuses on Pekua Upazila in Cox's Bazar district an area highly susceptible to climate related risks. By incorporating climate projections based on the ACCESS-CM2 model, the study evaluates climatic shifts between 2021 and 2040 under two contrasting emission trajectories: the low-emission SSP126 and the high-emission SSP585 scenarios. The MaxEnt model is employed to predict potential changes in crop distribution due to climate impacts, revealing a marked reduction in staple crop yields under the high-emission pathway by 2040. Importantly, overall agricultural output is projected to decline, with irregular rainfall further intensifying the sector's vulnerabilities. An assessment of the coping mechanisms adopted by local farmers indicates that without a transformation in current farming systems to adapt to changing climatic conditions, both food security and rural livelihoods will be at grave risk. The study highlights the importance of leveraging technological interventions such as GIS based forecasting, climate-tolerant crop varieties, and smart agricultural practices to lessen the negative impacts of climate change. These insights are vital for guiding policymakers in formulating forward looking, climate resilient agricultural policies. Achieving sustainable agriculture in vulnerable regions will require the integration of data centric assessments and innovative technologies.

Keywords: Climate change, Coastal Agriculture, GIS, Remote Sensing, Climate Resilience.