



REVIEW PAPER

Climate Change and Water Security of Bangladesh

Ali Shafqat Akanda¹, Wahid Palash²

¹Associate Professor, Civil and Environmental Engineering, University of Rhode Island
Kingston, RI 02881, USA

²Water Resources Engineer, Integrated Sustainability, Calgary, AB T2P 4H2, Canada

*Corresponding Author: Ali Shafqat Akanda
Corresponding Email: akanda@uri.edu

Received: 12/27/2023 / Accepted: 1/14/2024

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10511611>

ABSTRACT

Bangladesh is one of the most vulnerable countries in the world due to Climate Change. The climate, weather, and environment are intricately linked to the rivers of this deltaic riverine nation. The societal structure, economic development, and public health of the population are also completely dependent on these water resources. The world is already experiencing the adverse impacts of climate change. Bangladesh is no exception and is facing the impacts through three main pathways. These are: Water scarcity and intense droughts in the summer season, increase in rainfall intensity and worsening floods during the monsoon, and salinity intrusion and water resources contamination across the coastline due to Sea-Level Rise. These impacts have collectively put the water resources of Bangladesh and the dependent population at great risk, from the foothills of the Himalayas to the coastline of the Bay of Bengal. This essay is an effort to highlight the adverse multi-dimensional effects of climate change and the challenge of future water security and economic development in Bangladesh.

Keywords: Climate Change, Sea-level Rise, Water Security, Floods, Droughts, Salinity

Cite this article as: Akanda, A.S., Palash, W. 2023, Climate Change and Water Security of Bangladesh, Bangla J. Interdisciplinary Sci., 1 (2): 51-62.

জলবায়ু পরিবর্তন এবং বাংলাদেশের পানিসম্পদ নিরাপত্তা

সারাংশ

জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে পৃথিবীর সবচেয়ে প্রাকৃতিক পরিবেশ-বিপদাপন্ন দেশগুলির মধ্যে বাংলাদেশ অন্যতম। এদেশের জলবায়ু, পানিসম্পদ, আবহাওয়া, এবং পরিবেশ সম্পূর্ণভাবে এই নদীমাতৃক দেশের নদী গুলোর সাথে জড়িত। একই সাথে এই দেশের সামাজিক প্রেক্ষাপট, অর্থনৈতিক উন্নয়ন এবং জনস্বাস্থ্য এই পানিসম্পদের উপর সম্পূর্ণভাবে নির্ভরশীল। বর্তমানকালে সমগ্র বিশ্বে জলবায়ু পরিবর্তনের বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হচ্ছে। জলবায়ু পরিবর্তন বাংলাদেশের পানি সম্পদের উপর যে সব প্রতিকূল প্রভাব বিস্তার করতে পারে তা হলো শুষ্ক মৌসুমে পানি স্বল্পতা, মাটির শুষ্কতা, এবং অতিরিক্ত খরার প্রবনতা; বর্ষা মৌসুমে তীব্র বৃষ্টিপাত এবং বন্যা পরিস্থিতির অবনতি; এবং সমুদ্রের উচ্চতা বৃদ্ধির কারণে সমগ্র বাংলাদেশ উপকূলে লবণাক্ততা এবং পানিসম্পদ দূষণ বৃদ্ধি। এই প্রভাবগুলি একত্রে হিমালয় পর্বতমালার পাদদেশ থেকে বঙ্গোপসাগরের উপকূল পর্যন্ত পানি সম্পদ এবং জনসাধারণকে বিশাল এক ঝুঁকির মধ্যে এনেছে। এই পর্যালোচনাটিতে জলবায়ু পরিবর্তনের ত্রিমাত্রিক প্রতিকূলতার পরিপ্রেক্ষিতে পানিসম্পদ নিরাপত্তা এবং বাংলাদেশের অর্থনৈতিক উন্নয়ন-প্রতিকূলতার একটি চিত্র তুলে ধরার প্রচেষ্টা করা হয়েছে।

মূলশব্দগুলি: জলবায়ু পরিবর্তন, সমুদ্রের উচ্চতা বৃদ্ধি, পানিসম্পদ নিরাপত্তা, পানি স্বল্পতা, বন্যা, লবণাক্ততা

ভূমিকা

বাংলাদেশ হিমালয় পর্বতমালার খুব কাছে অবস্থিত একটি নদীমাতৃক দেশ। হিমালয় পর্বত থেকে প্রবাহিত নদীর অববাহিকা নিয়ে সমুদ্রের প্রায় একই উচ্চতায় অবস্থিত পৃথিবীর সর্ববৃহৎ ব-দ্বীপ বাংলাদেশ। এই দেশের সিংহভাগ আয়তন নিয়ে ছড়িয়ে আছে গঙ্গা-ব্রহ্মপুত্র-মেঘনা (Ganges-Brahmaputra-Meghna or GBM) নদীর বেসিন। এই নদী গুলো হিমালয়ের পাদদেশ থেকে ভারত, চীন, নেপাল, এবং ভুটানের পর্বতমালা থেকে প্রচুর পরিমাণে বৃষ্টিপাত জনিত পানি উজান থেকে ভাটিতে নিয়ে আসে (Chowdhury et al., 2004)। বাংলাদেশের পানি নিরাপত্তা অনেকাংশে দক্ষিণ এশিয়ার প্রতিবেশী দেশসমূহের উপর নির্ভরশীল (Akanda, 2012)।

বাংলাদেশের জনসংখ্যা বর্তমানে প্রায় ১৭ কোটি। এই বিশাল জনসংখ্যা তাদের ভরণপোষণ, কৃষিকাজ, শিল্প উৎপাদন, এবং পানির চাহিদা মিটানোর জন্য এই নদী সমূহের উপর পুরোপুরিভাবে নির্ভরশীল (Biswas et al., 2020)। বাংলাদেশে অনেক নদী-নালা এবং সামগ্রিকভাবে অনেক পানিসম্পদ থাকার পরেও সুপেয় পানির অভাব চির বিদ্যমান (Getirana et al., 2022; Akanda, 2012)। এর অন্যতম কারণ হলো এ অঞ্চলের মৌসুমি বৃষ্টিপাত এবং নদীর পানি প্রবাহ। বাংলাদেশের কৃষিকাজ কয়েক দশক আগে পর্যন্ত প্রধানত বৃষ্টিপাত নির্ভরশীল ছিলো। আমন এবং আউশ ধানের ফলন এখনো অধিকাংশ ক্ষেত্রেই

বৃষ্টিপাতের উপর নির্ভরশীল। গত কয়েক দশকে খাদ্য নিরাপত্তা নিশ্চিত করণে শুষ্ক মৌসুমে বোরো ধান, শাকসবজি, ও শীতকালীন রবিশস্যের উৎপাদন বহুগুণ বেড়েছে। কিন্তু তা করতে গিয়ে বাংলাদেশ বর্তমানে সেচ-নির্ভর কৃষি ব্যবস্থায় নির্ভরশীল হয়ে উঠছে, যা মূলত ভূগর্ভস্থ পানি সেচের মাধ্যমে পূরণ করা হয় (Shamsudduha et al., 2022)। কিন্তু, শুষ্ক মৌসুমে ভূগর্ভস্থ পানির যোগান বর্ষা মৌসুমে বৃষ্টিপাতের এবং নদী প্রবাহের উপর নির্ভরশীল। এছাড়া গ্রামাঞ্চলের পুকুর, খাল-বিল, হাওর, এবং নদীনালা পানিপ্রবাহ এবং নিত্য-নিয়মিত ব্যবহারযোগ্য পানির পরিমাণ অনেকটাই বৃষ্টিপাতের উপর নির্ভরশীল (Getirana et al., 2022)। একই সাথে বাংলাদেশের অধিকাংশ স্থানেই খাবার পানির চাহিদা বর্তমানে টিউবওয়েলের মাধ্যমে ভূগর্ভস্থ পানি দিয়ে মিটানো হয় (Shamsudduha et al., 2022)।

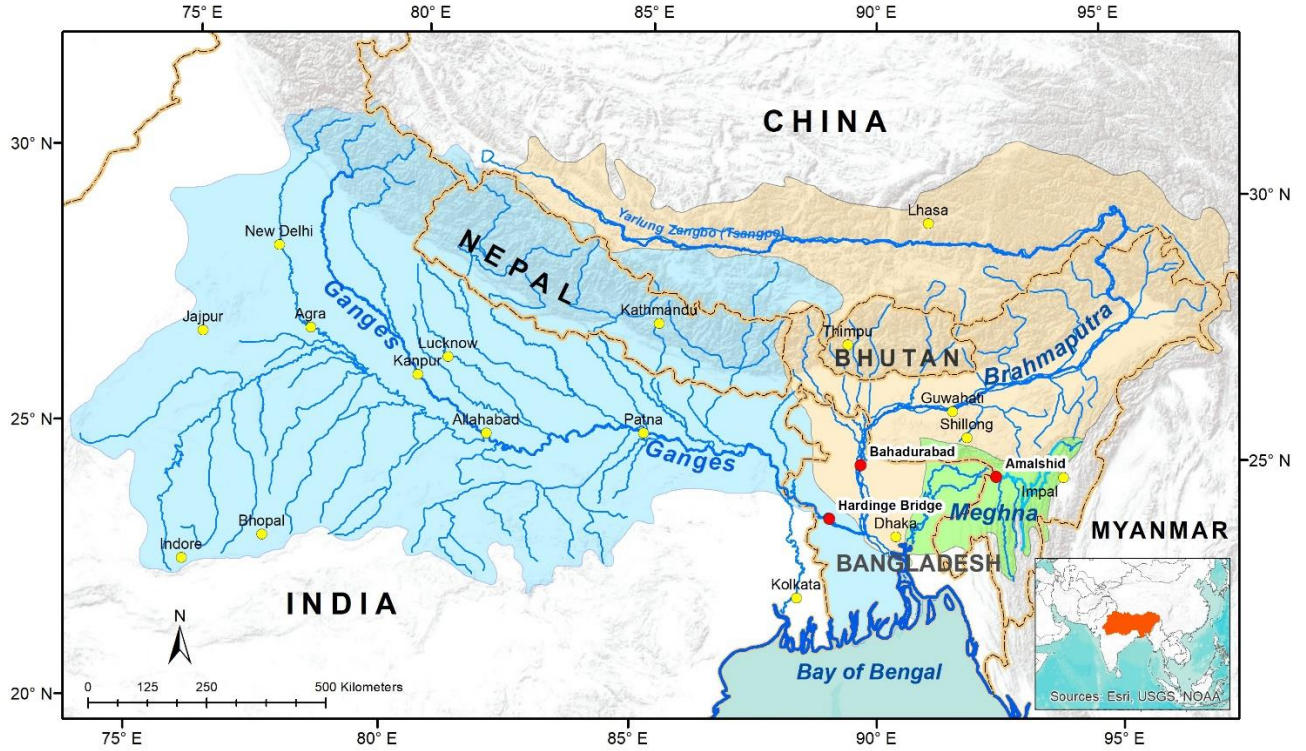
বিশ্বখ্যাত আমাজন এবং কঙ্গো নদীর পরেই পৃথিবীর তৃতীয় বৃহত্তম মিঠা পানির প্রবাহ পরিবহণ করে এই গঙ্গা-ব্রহ্মপুত্র-মেঘনা নদীর অববাহিকা (Akanda, 2012)। তবে এই দুটো বিশ্বখ্যাত নদীর পানি প্রবাহ সারা বছর জুড়ে প্রায় সমপরিমাণের, কিন্তু বাংলাদেশের মধ্য দিয়ে বয়ে যাওয়া পদ্মা (ভারতে যা গঙ্গা নামে পরিচিত), যমুনা (ভারতে যা ব্রহ্মপুত্র নামে পরিচিত), ও মেঘনা নদীর পানি ভিন্ন ভাবে পরিবাহিত হয়। তীব্র মৌসুমি আবহাওয়ার কারণে এই নদীগুলোর অববাহিকাতে জুন থেকে সেপ্টেম্বর - বছরের এই চার মাস সময়ের মধ্যে সিংহভাগ (৮৫%) পানি বয়ে যায়, বাকি ১৫% পানি প্রবাহিত হয় বছরের বাকি আট মাস ধরে। মৌসুমি বৃষ্টিপাত ও নদীর প্রবাহ বছরের মাত্র ৪ মাসের মধ্যে সীমাবদ্ধ হওয়ার কারণে পানি সম্পদ প্রতিরক্ষা এবং নিরাপত্তা বাংলাদেশের জন্য একটি কঠিন সংকট (Chowdhury et al., 2004)। প্রতি বছর খরা মৌসুমে পানি-স্বল্পতা এবং বর্ষা মৌসুমে বন্যা একটি বাৎসরিক ঘটনা (Palash et al. 2020)। এই কারণে বাংলাদেশের বন্যা, পানিসম্পদ ব্যবস্থাপনা ও নিরাপত্তা নিয়ে সরকারি ও বেসরকারি উদ্যোগে গবেষণা পরিচালিত হচ্ছে এবং শিক্ষা প্রতিষ্ঠানগুলোও দীর্ঘদিন ধরে এ বিষয়ে কাজ করে চলেছে।

জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব (Impacts of Climate Change)

জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে বাংলাদেশে ইতোমধ্যে গড় তাপমাত্রা অনেক বৃদ্ধি পেয়েছে। বিগত ৪০ বছরে দেশের সামগ্রিক তাপমাত্রা গড়ে প্রায় ২ ডিগ্রি সেলসিয়াস বেড়ে গেছে (Imran et al., 2023), এবং সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন তাপমাত্রা প্রতি দশকে গড়ে ০.৩৮ এবং ০.২৩ ডিগ্রি সেলসিয়াস বেড়ে গেছে। এর ফল স্বরূপ বাংলাদেশে প্রধানত তিনটি কারণে পরিবেশ এবং পানিসম্পদের উপর প্রতিকূল চাপ পড়বে। এই তিনটি কারণ হলো: (১) শুষ্ক মৌসুমে পানি স্বল্পতা, মাটির শুষ্কতা, এবং অতিরিক্ত খরার প্রবনতা; (২) বর্ষা মৌসুমে তীব্র বৃষ্টিপাত বৃদ্ধি এবং বন্যা পরিস্থিতির দ্রুত অবনতি; এবং (৩) সমুদ্রের উচ্চতা বাড়ার কারণে সমগ্র বাংলাদেশ উপকূলে লবণাক্ততা এবং পানিসম্পদ দূষণ বৃদ্ধি পাওয়া। জলবায়ু পরিবর্তনের এই ত্রিমাত্রিক প্রতিকূলতার ভিত্তিতে বাংলাদেশের পানিসম্পদের বর্তমান এবং ভবিষ্যৎ নিরাপত্তা একটি গুরুত্বপূর্ণ গবেষণার ক্ষেত্র (Getirana et al., 2022)।

উপর্যুক্ত কারণগুলো একত্রে বিশ্লেষণ করে বলা যায় যে বাংলাদেশে আর্থ-সামাজিক প্রেক্ষাপট এবং জনগণের ভরণপোষণ এবং অর্থনৈতিক উন্নয়ন এই পানিসম্পদের উপর গভীরভাবে নির্ভরশীল। বাংলাদেশের ভৌগোলিক অবস্থানের কারণে বাংলাদেশের পানি নিরাপত্তা দক্ষিণ এশিয়ার প্রতিবেশী দেশসমূহের উপর

নির্ভরশীল (চিত্র ১)। মৌসুমী জলবায়ুর কারণে শুষ্ক মৌসুমে প্রতি বছর পানি-স্বল্পতা দেখা যায়, আবার এই নদীর গুলোর অববাহিকাতে উজান থেকে বয়ে আসা পানির প্রবাহে বর্ষা মৌসুমে নিয়মিত বন্যা দুর্ঘোণ দেখা যায়। একই সাথে উপকূল এলাকাসমূহে শুষ্ক মৌসুমে উজানের পানি কমে যাবার কারণে সমুদ্র থেকে লবনাক্ত পানির প্রবেশ পরিবেশের উপর একটি মারাত্মক প্রতিকূল ভাব ফেলে।



চিত্র ১: দক্ষিণ এশিয়া এবং বাংলাদেশের প্রধান নদীসমূহের অবস্থান

বাংলাদেশের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা হলো এদেশের জনস্বাস্থ্য অনেকাংশেই দেশের পানিপ্রবাহের উপর নির্ভরশীল। বেশ কয়েকটি গবেষণায় দেখা গেছে বাংলাদেশের কলেরা, ডিসেন্ট্রি এবং অন্যান্য পানি বাহিত আমাশয় রোগের প্রকোপ খরা এবং বন্যার কারণে বিশেষভাবে ওঠা নামা করে (Akanda et al., 2011)। শুষ্ক মৌসুমে দেশের উত্তর-পশ্চিমাঞ্চলে এবং দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলে বিশুদ্ধ পানির অভাবে আমাশয় রোগের তীব্র প্রকোপ দেখা যায়। আবার বর্ষা মৌসুমে দেশের উত্তর-পূর্ব, দক্ষিণ-পূর্ব, এবং ঢাকার আশেপাশে নদী সংলগ্ন জেলা সমূহে বন্যার কারণে প্রচুর পরিমাণে পানি বাহিত রোগের প্রকোপ দেখা যায়। এছাড়া উপকূল এলাকাগুলোতে লবণাক্ততার কারণে প্রতিবছর একটি বিশাল এলাকা জুড়ে, বিশেষ করে দেশের দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলে খুলনা এবং বরিশাল বিভাগ এলাকায়, পানি সম্পদের সংকট, কলেরা রোগের প্রাদুর্ভাব, এবং জনস্বাস্থ্যের উপর প্রভাব দেখা যায় (Akanda et al., 2018)।

একই সাথে, বাংলাদেশের দীর্ঘমেয়াদি উন্নয়ন লক্ষ্য (Sustainable Development Goals) অর্জনের পথে জলবায়ু পরিবর্তন এবং ভবিষ্যৎ পানি নিরাপত্তা একটি প্রধান বাধা হয়ে দাঁড়াতে পারে। জনস্বাস্থ্য, কৃষি

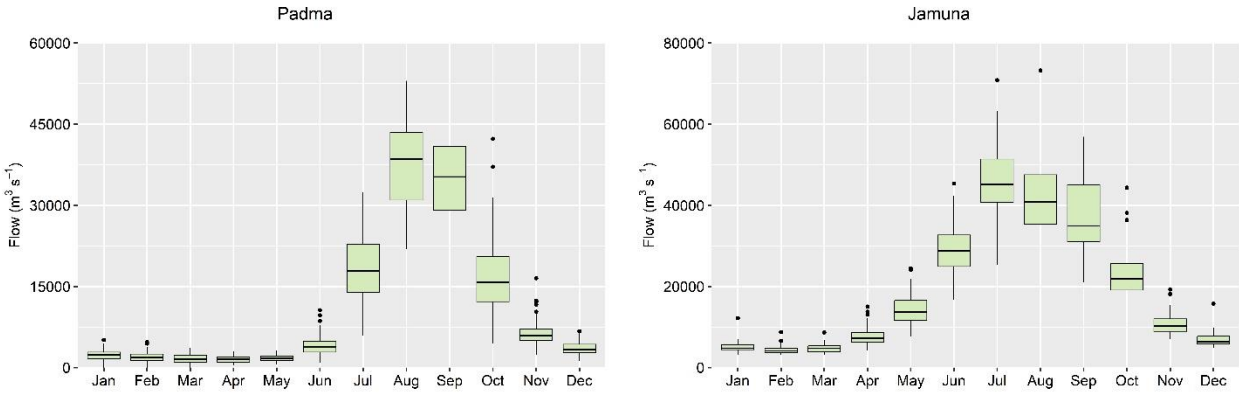
উৎপাদন, পানিসম্পদ এবং পরিবেশ বিষয়ক দীর্ঘমেয়াদি লক্ষগুলো জলবায়ু পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল। বাংলাদেশে জলবায়ু পরিবর্তন নিয়ে অনেক গবেষণা হলেও সামগ্রিকভাবে পানিসম্পদের উপর ঠিক কী ধরনের প্রভাব পড়তে পারে সেই বিষয়ে গবেষণামূলক রচনা খুব বেশি নেই, বিশেষ করে জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে। তাছাড়া, তাপমাত্রা বৃদ্ধি, খরার প্রবণতা বৃদ্ধি, বড় ধরনের বন্যার বৈশিষ্ট্যপূর্ণ পরিবর্তন, স্থানীয় বৃষ্টিপাতের তীব্রতা বৃদ্ধি, এবং তার সাথে সমুদ্রের উচ্চতা বৃদ্ধির কারণে উপকূলীয় এলাকায় পানিসম্পদের তীব্র সংকট এই বিষয়গুলো নিয়ে একসাথে আলোচনা পাওয়া দুষ্কর। এক্ষেত্রে সামগ্রিক ভাবে অস্ট্রেলিয়ার Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) এবং বাংলাদেশের Institute of Water Modeling (IWM), Center for Environment and Geographic Information Services (CEGIS) সংস্থার ২০১৪-এর গবেষণাটি প্রাধান্য পেতে পারে (Kirby et al, 2014)। পৃথিবীর অন্যান্য অঞ্চলের মতো বাংলাদেশের জন্যও জলবায়ু পরিবর্তনের অভিক্ষেপ (projection) অনিশ্চিত, এবং তাদের গবেষণা মতে বৃষ্টিপাতের ১৮% পর্যন্ত সম্ভাব্য বৃদ্ধি, আবার কোনো ক্ষেত্রে প্রায় ৪% হ্রাসের ইঙ্গিত দেয়, যদিও বৃদ্ধির সম্ভাবনাই বেশি (Kirby et al., 2014)।

সাম্প্রতিক গবেষণা গুলোর মধ্যে বাংলাদেশের Institute of Water and Flood Management (IWFM) এবং প্রতিবেশী দেশ নেপালের International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) থেকে প্রকাশিত দুটি গবেষণা জলবায়ু পরিবর্তন কিভাবে যমুনা নদীর অববাহিকার উপর প্রভাব ফেলতে পারে সেই বিষয়ে আলোকপাত করেছে (Imran et al., 2023, Palash et al., 2023)। আমাদের এই প্রবন্ধে কীভাবে শুষ্ক মৌসুমে পানি স্বল্পতা ও অতিরিক্ত খরার প্রবণতা, বর্ষা মৌসুমে তীব্র বৃষ্টিপাত ও বন্যা পরিস্থিতির দ্রুত অবনতি, এবং উপকূলে লবণাক্ততা এবং পানিসম্পদ দূষণ - এই তিনটি বিষয় জড়িত এবং কীভাবে সামগ্রিকভাবে বাংলাদেশের আর্থসামাজিক উন্নয়নকে ব্যাহত করতে পারে তার একটি পর্যালোচনা করা হচ্ছে।

শুষ্ক মৌসুমে পানি স্বল্পতা (Water Scarcity in the Dry Season)

বাংলাদেশের বৃষ্টিপাত পর্যালোচনা করলে দেখা যায় দেশের উত্তর-পশ্চিম এবং দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলে অপেক্ষাকৃতভাবে অনেক কম বৃষ্টিপাত হয় (Chowdhury et al., 2004)। এদেশের মৌসুমি আবহাওয়া এবং আঞ্চলিক পরিবেশ বিশেষভাবে এই বৃষ্টিপাতের সাথে জড়িত। এই বৃষ্টিপাতের পরিমাণ পশ্চিমাঞ্চলে বাৎসরিক ১৫০০ মিলিমিটার থেকে উত্তর-পূর্বাঞ্চলে ৪০০০ মিলিমিটার পর্যন্ত হয়ে থাকে (Akanda, 2012)। একই সাথে, এই বৃষ্টিপাত মূলত জুন থেকে সেপ্টেম্বর - এই চার মাস সময়ের মধ্যে হয়। যার ফলে প্রধান নদীগুলোতে জানুয়ারী থেকে মে মাস পর্যন্ত পানিপ্রবাহ অনেক কমে যায় (চিত্র ২)। বিশেষ করে পদ্মা নদীর এলাকা সমূহ এবং উত্তরবঙ্গের বরেন্দ্রভূমি শুষ্ক মৌসুমে দেশের উত্তর-পশ্চিমাঞ্চলে, এবং দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলে তীব্র পানি স্বল্পতা এবং সামগ্রিক পানিসম্পদ নিরাপত্তার অভাবে ভুগে (Getirana et al., 2022)। জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে এই শুষ্ক মৌসুমের পানি স্বল্পতা প্রতি দশকে তীব্রতর হয়ে আসছে। একই সাথে বৃষ্টিপাতের পরিবর্তন দেখা যাচ্ছে যেখানে লম্বা সময় কোন বৃষ্টিপাত হয় না এবং মাটি এবং পরিবেশে তীব্র পানি সংকট এবং খরায় প্রতিকূল পরিস্থিতি তৈরি হয় (Hasan et al., 2018)। পদ্মা এবং

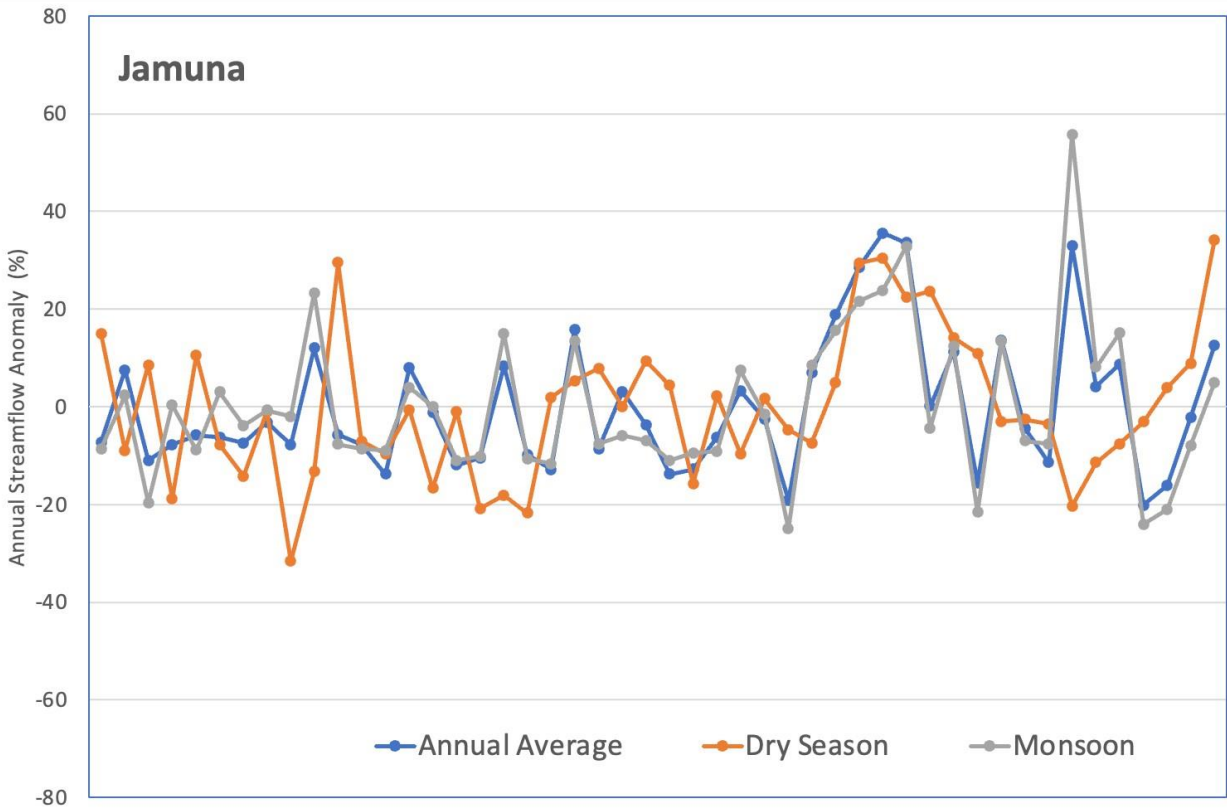
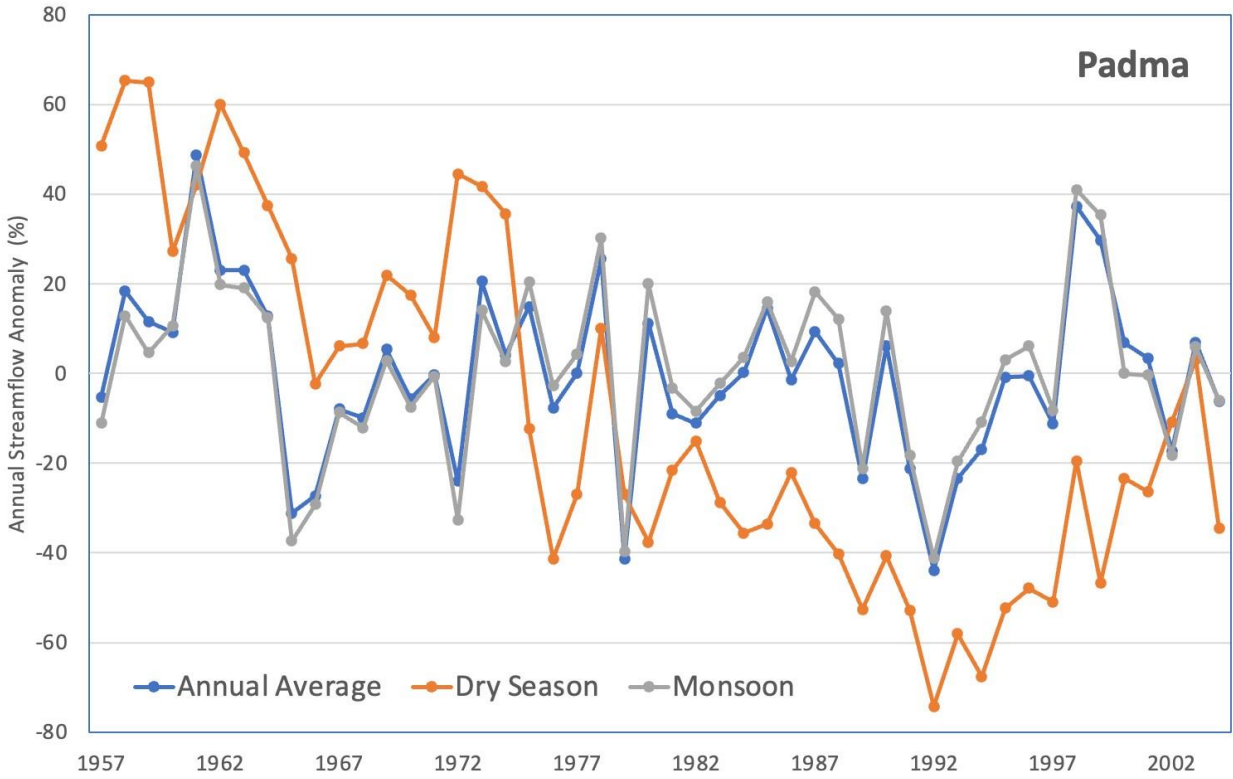
যমুনা নদীর বাৎসরিক পানিপ্রবাহ দেখলে বোঝা যায় যে শুষ্ক মৌসুমে প্রবাহিত পানির পরিমাণ প্রতি দশকেই কমে আসছে (চিত্র ৩)।



চিত্র ২: পদ্মা এবং যমুনা নদীর গড় মাসিক পানি প্রবাহের চিত্র

উষ্ণায়ন এবং বর্ধিত সম্ভাব্য বাষ্পীভবনের কারণে, সকল জলবায়ু পরিবর্তনের গাণিতিক মডেলের অভিক্ষেপ অনুযায়ী বাংলাদেশের সমস্ত অঞ্চলে অধিকতর সেচের পানির চাহিদা তৈরি হবে, যার ফলে ভূগর্ভস্থ পানির ব্যবহার বেশি হবে (Getirana et al., 2022)। বিশেষ করে, উত্তর-পশ্চিমাঞ্চলে শুষ্ক মৌসুমের পানির ঘাটতিজনিত সমস্যাগুলিকে আরও বাড়িয়ে তুলবে। তাদের এই গবেষণায় আরও বলা হয়েছে, শুকনো মৌসুমে ভারত কর্তৃক উজানের নদীগুলোর পানি সরিয়ে নেয়া জলবায়ু পরিবর্তনের তুলনায় বেশী প্রভাব রাখবে।

বাংলাদেশে ভূগর্ভস্থ পানির স্তর হ্রাস নিয়ে বেশ উদ্বেগ রয়েছে। এর জন্য মূলত দায়ী করা যেতে পারে ঢাকা এবং আশেপাশের অঞ্চলে ভূগর্ভস্থ পানির অতিরিক্ত ব্যবহার এবং উত্তরে বরেন্দ্র অঞ্চলের সেচ ব্যবস্থায় ভূগর্ভস্থ পানির অতিরিক্ত ব্যবহার। এই গবেষণায়, জলবায়ু পরিবর্তন কীভাবে আঞ্চলিক বৃষ্টিপাত, বাষ্পীভবন, আঞ্চলিক পানির ভারসাম্য এবং আঞ্চলিক ভূগর্ভস্থ পানির স্তরের উপর প্রভাব ফেলবে তার ফলাফল প্রকাশ করা হয়েছে (Kirby et al., 2014)। অন্য আরেকটি গবেষণায়, তারা জলবায়ু পরিবর্তন কীভাবে বার্ষিক নিয়মিত বন্যা পরিস্থিতিতে তীব্র (extreme) করে তুলবে তার একটি বিশদ বিবরণ উপস্থাপন করেছে। একই সাথে, সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির উপর জলবায়ুর প্রভাব এবং উপকূলীয় অঞ্চলে তৎসংশ্লিষ্ট ভূ-পৃষ্ঠের পানির লবণাক্ততা বৃদ্ধি নিয়েও আলোচনা করা হয়েছে। গবেষণাটি দেশের প্রধান নদীগুলির শুষ্ক মৌসুমের পানিপ্রবাহের উপর জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবগুলিও উপস্থাপন করেছে (Imran et al., 2023)।



চিত্র ৩: শুষ্ক ও বর্ষা মৌসুমে পদ্মা এবং যমুনা নদীর বাৎসরিক পানি প্রবাহের ওঠা নামা

বর্ষা মৌসুমে বন্যা দুর্যোগ (Flood Hazards in the Monsoon Season)

বন্যা বাংলাদেশের একটি নিয়মিত প্রাকৃতিক দুর্যোগ। নদীমাতৃক বাংলাদেশে প্রতিবছর মৌসুমি বৃষ্টিপাতের কারণে নদী-নালা এবং অন্যান্য জলাশয় সম্পূর্ণভাবে পানিতে ভরে যায় এবং প্রায় বছরেই বন্যা পরিস্থিতির তৈরি হয় (Palash et al., 2020)। এই বন্যা শুধু স্থানীয় বৃষ্টিপাতের কারণে পরিলক্ষিত হয় না। বাংলাদেশের প্রতিবেশী দেশ ভারত, নেপাল, ও ভুটান থেকে পরিবাহিত নদীগুলো উজানের অববাহিকা থেকে বঙ্গোপসাগরে বর্ষার মৌসুমি বৃষ্টিপাত বয়ে নিয়ে আসে (Akanda, 2012)।

জুন থেকে সেপ্টেম্বর পর্যন্ত ব্রহ্মপুত্র নদীতে (বাংলাদেশে যমুনা নামে পরিচিত) এবং জুলাই থেকে অক্টোবর পর্যন্ত পদ্মা নদীতে বর্ষা কালে অতিরিক্ত পানি প্রবাহ হয়ে থাকে (Palash et al., 2018)। বছরের এই সময়ে প্রায়সই এই নদীগুলোর কুল উপচে পার্শ্ববর্তী জেলা সমূহে বন্যা দুর্যোগের সৃষ্টি করে। এছাড়া খরা মৌসুমে জমে ওঠা পলির কারণে এই নদীর অববাহিকাগুলোতে যে সমস্ত চর গঠিত হয়, তা বর্ষাকালীন সময়ে সঠিকভাবে পানি প্রবাহ ব্যাহত করে এবং বন্যা পরিস্থিতির অবনতি ঘটায় (Palash et al., 2020)।

বাংলাদেশে উল্লেখযোগ্য বন্যা দুর্যোগ দেখা যায় ১৯৫৪, ১৯৫৫, এবং সাম্প্রতিক সময়ে ১৯৮৭, ১৯৮৮, ১৯৯৮, এবং ২০০৭ সালে। এই বছরগুলোতে দেশের সিংহভাগ জেলা সমূহ বন্যা কবলিত হয়, কোনো কোনো অঞ্চল পানি কবলিত হয়ে মাসাধিক সময় পানি পায়, এবং অসংখ্য মানুষ বন্যা দুর্যোগে ক্ষতিগ্রস্ত হয়। বিশেষ করে ১৯৮৮ সালে ঢাকা শহর সম্পূর্ণভাবে পানির নিচে তলিয়ে যায়। যে কারণে পরবর্তীতে ঢাকা শহর ঘিরে শহর রক্ষা বাঁধ নির্মাণ প্রকল্প গ্রহণ করা হয়। এই শহর রক্ষা বাঁধ ২০০৪, ২০০৭, এবং ২০১৭ সালে তীব্র বন্যা হওয়ার পরেও ঢাকা শহরকে রক্ষা করতে সমর্থ হয়।

জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে বাংলাদেশের এই নিয়মিত বন্যা দুর্যোগের চরিত্র এবং বৈশিষ্ট্য পরিবর্তন হতে শুরু করেছে (Imran et al., 2022)। গত ৫০ থেকে ৭০ বছরের পানি প্রবাহ পর্যালোচনা করে দেখা যায় যে, সাম্প্রতিক দশক গুলোতে বন্যার সংখ্যা অনেকাংশে বৃদ্ধি পেয়েছে (চিত্র - ৩)। যেখানে আগে প্রতি দশকে একটি বড় বন্যা আশঙ্কা করা হতো, সেখানে সাম্প্রতিককালে প্রতি তিন থেকে চার বছরে একই রকম বড় বন্যা দুর্যোগ দেখা যাচ্ছে (Palash et al., 2020)। একই সাথে মৌসুমি বৃষ্টির তীব্রতা বৃদ্ধি পেয়েছে, যার ফলস্বরূপ খুব সল্প সময়ের বৃষ্টিপাতের কারণেও উজান থেকে বয়ে আসা পানির পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়েছে, পাশাপাশি স্থানীয় বন্যার আশঙ্কা মারাত্মকভাবে বৃদ্ধি পেয়েছে (Kirby et al., 2014)। মোটামুটি, সামগ্রিক ভাবে বর্ষা মৌসুমে উজান থেকে বয়ে আসা পানির পরিমাণে পরিবর্তন না হলেও তীব্র বৃষ্টির কারণে দেশে খুব দ্রুত এবং ঘন ঘন বন্যা পরিস্থিতির আগমন হচ্ছে।

এক সাম্প্রতিক গবেষণায় (Imran et al., 2023) দেখা গেছে যে ২০৩০ থেকে ২০৫০ সাল নাগাদ সামগ্রিক বাৎসরিক বৃষ্টিপাত প্রতি দশকে প্রায় ২২৫ মিলিমিটার বেড়ে যেতে পারে। একই সাথে দক্ষিণের উপকূলীয় জেলা সমূহের ভারী বৃষ্টিপাতের দিন (এক দিনের মধ্যে ২০ মিলিমিটারের অধিক বৃষ্টিপাত) প্রতি দশকে প্রায় ২.২৫ দিন বৃদ্ধি পাবে। জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে, সামগ্রিকভাবে পুরো বাংলাদেশের নদ-নদী এবং জলাশয় সমূহে আট থেকে ১২ শতাংশ পানিপ্রবাহ বৃদ্ধি পাবে বলে ধারণা করা হচ্ছে (Kirby et al., 2014)। জলবায়ু পরিবর্তনের উপরোক্ত কারণগুলো বাংলাদেশের জন্য একটি মারাত্মক সমস্যা হয়ে দাঁড়িয়েছে। তার সাথে এটাও লক্ষণীয় যে মৌসুমি বৃষ্টির তীব্রতা পরিবর্তনের কারণে বাংলাদেশ পানি উন্নয়ন বোর্ড এবং

অন্যান্য স্থানীয় সংস্থার জন্য বন্যা পূর্বাভাস এবং সতর্কীকরণ পদক্ষেপগুলো নেয়া কঠিন হয়ে উঠেছে। এর ফলাফল স্বরূপ বাংলাদেশে বন্যার কারণে দুর্ভোগ এবং জনগণের বন্যা প্রকোপ জনিত ক্ষয় ক্ষতির পরিমাণ প্রতিবছরই বেড়ে চলেছে।

উপকূলীয় এলাকায় সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি (Sea-level Rise in Coastal Areas)

জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে বাংলাদেশের আরেকটি মারাত্মক সমস্যা হলো উপকূলীয় অঞ্চলে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বেড়ে ওঠা এবং দক্ষিণের জেলাগুলোতে পানিসম্পদের দূষণ বৃদ্ধি। এই রচনার আগের অংশে বলা হয়েছে যে, শুষ্ক মৌসুমে উজান থেকে বয়ে আসা নদীগুলোতে পানির পরিমাণ আশঙ্কাজনক ভাবে কমে গেছে (Akanda, 2012)। ভারত থেকে বয়ে আসা পদ্মা নদীতে ফারাক্কা বাঁধের কারণে শুষ্ক মৌসুমে পানি প্রবাহ যখন অতিরিক্ত মাত্রায় কমে যায়, তখন দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলের অন্যতম প্রধান নদী গড়াই এবং মধুমতি নদীতে খুব অল্প পরিমাণ পানি প্রবেশ করতে পারে (Babel and Wahid, 2011)। আর উজান থেকে বয়ে আসা মিষ্টি পানির প্রবাহ কমানোর কারণে উপকূলীয় জেলা সমূহে ফেব্রুয়ারি থেকে মে মাস পর্যন্ত সমুদ্রের লবণাক্ত পানি প্রায় ১০০ কিলোমিটার পর্যন্ত ভেতরে প্রবেশ করে থাকে। এই সময়ে উপকূলের বিভিন্ন জলাশয়, নদী এবং অন্যান্য পানি সম্পদে লবণাক্ততার প্রভাব পড়ে এবং মিষ্টি পানির অভাব পরিলক্ষিত হয় (Getirana et al., 2022)।

বাংলাদেশে উপকূলীয় অঞ্চলের লবণাক্ততার সমস্যা মূলত দুই ভাবে বৃদ্ধি পাচ্ছে। (১) শুষ্ক মৌসুমে উজান থেকে বয়ে আসা নদীগুলোতে পানি প্রবাহ কমে আসার কারণে সমুদ্র থেকে লবণাক্ত পানি প্রবেশ করার সুযোগ পাচ্ছে, (২) সমুদ্র স্তর বেড়ে ওঠার কারণে এই লবণাক্ত পানি নদীর অববাহিকাগুলোতে আরো গভীরে প্রবেশ করছে। এই দুটি কারণ মিলিয়ে উপকূলের এক বিস্তীর্ণ এলাকার পৃষ্ঠ এবং ভূগর্ভস্থ পানি - উভয় সম্পদ-ই লবণাক্ততার প্রভাবে দূষিত হচ্ছে। বছরের এই মাসগুলোতে দক্ষিণাঞ্চলের নদীর পানি এবং নদীর আশেপাশের জলাশয়ের পানি, এমন কি ভূগর্ভস্থ পানি পানের অযোগ্য হয়ে ওঠে (Akanda et al., 2018)। একই সাথে, চাষাবাস, পৌরসভার পানি সরবরাহ বা অন্যান্য কাজে এই লবণাক্ত পানি ব্যবহারের অযোগ্য হয়ে ওঠে (Getirana et al., 2022)।

সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির বিভিন্ন গবেষণায় দেখা গেছে যে, দক্ষিণ এশিয়ার বিভিন্ন উপকূল সমূহে বিশেষ করে বঙ্গোপসাগরের উপকূল এলাকাতে প্রতিবছরে ৪ মিলিমিটার অথবা এই শতাব্দীর শেষনাগাদ প্রায় ৪০ সেন্টিমিটার সমুদ্রের উচ্চতা বৃদ্ধি পেতে পারে (Sreeraj et al., 2022)। আপাতদৃষ্টিতে এই ৪০ সেন্টিমিটার বৃদ্ধি নগণ্য মনে হলেও সামগ্রিকভাবে এই পরিমাণ সমুদ্রস্তর বৃদ্ধি এই এলাকার জন্য আশঙ্কাজনক হয়ে দাঁড়াবে। IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), যা জাতিসংঘের একটি অঙ্গসংগঠন, এবং বিশ্বব্যাংকের এক সমীক্ষা অনুযায়ী ২১০০ সাল নাগাদ প্রায় ৪৫ সেন্টিমিটার সমুদ্র স্তর বৃদ্ধির কারণে বাংলাদেশের প্রায় ১৭.৫% ভূখণ্ড সমুদ্রগর্ভে হারিয়ে যেতে পারে (World Bank, 2011)।

দেশের দক্ষিণাচলে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির পরিপ্রেক্ষিতে জমির অবনমন (subsidence) এবং সংকোচন (compaction) বিষয়টিও উল্লেখ করা প্রয়োজন। জলবায়ু এবং দীর্ঘমেয়াদে বাংলাদেশের দক্ষিণ বা

দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি ও তৎসংশ্লিষ্ট লবনাক্ততা নিয়ে যতোটা আলোচনা হয়, এই অঞ্চলের জমির অবনমন এবং সংকোচন নিয়ে তা হয় না। Steckler et al. (2022) তাদের একটি সাম্প্রতিক গবেষণায় প্রকাশ করেছেন যে, হ্যান্ড-ড্রিল করা নলকূপগুলো বছরে প্রায় ১-৫ মিলিমিটার, নদীর তলদেশ মাপার গেজগুলো ৪-৮ মিলিমিটার, এবং ভূগর্ভস্থ তল মাপার কূপ (Borehole) গুলো ৯-১০ মিলিমিটার পর্যন্ত অবনমন এবং সংকোচন হচ্ছে, যা সমুদ্রপৃষ্ঠের বৃদ্ধির হারের থেকে দুই থেকে তিন গুন বেশি। আশংকা রয়েছে যে ভবিষ্যৎ দশকগুলোতে বাংলাদেশের দক্ষিণাঞ্চলে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি এবং মাটি অবনমন এবং সংকোচনের একটি সামগ্রিক প্রভাব লক্ষ্য করা যাবে।

উপকূলের একটি বিস্তীর্ণ এলাকা জুড়ে নদীর লবনাক্ততা বৃদ্ধি পাবে, নদীর আশেপাশের জলাশয় সমূহে পানি ব্যবহারের অযোগ্য হয়ে পড়বে, এবং একটি বড় জনসংখ্যার জন্য মিঠা পানির তীব্র সংকট দেখা দিবে (Babel and Wahid, 2011)। একই সাথে দেশের দক্ষিণ-পশ্চিমাঞ্চলের কৃষিকাজ এবং মাছ চাষে পানি সরবরাহ ব্যাহত হবে। বাংলাদেশের মতো ঘনবসতিপূর্ণ দেশের ক্ষেত্রে এই ৪০ সেন্টিমিটার সমুদ্রের উচ্চতা বৃদ্ধি প্রায় পাঁচ থেকে ছয় কোটি মানুষের চাষাবাদ, মিঠা পানির উৎস, এবং সামগ্রিক অর্থনৈতিক উন্নয়নের বাধার সম্মুখীন হয়ে দাঁড়াবে (Getirana et al., 2022)।

জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে, আশঙ্কা করা যায় যে ঘূর্ণিঝড় এবং অন্যান্য উপকূলীয় ঝড়ের প্রভাব আরো বেশি পরিলক্ষিত হবে। দক্ষিণ পশ্চিম অঞ্চলের উপকূলীয় জেলাসমূহে ২০০৭, ২০০৯, এবং ২০২৩ সালে ঘূর্ণিঝড় সিডর (Sidr), আইলা (Aila), এবং মোকা (Mocha) - এর ক্ষেত্রে আমরা দেখেছি লবনাক্ত পানির প্রভাবে এবং ঝড়ের কারণে অনেক উপকূলীয় জনগোষ্ঠী ক্ষতিগ্রস্ত হচ্ছে। জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে সমুদ্র উপকূলীয় এবং ঘূর্ণিঝড়ের তীব্রতা সংখ্যা বৃদ্ধি এবং সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির কারণে উপকূলীয় এলাকায় পরিবেশ এবং জনসাধারণের ক্ষতি আরও বাড়বে বলে আশঙ্কা প্রকাশ করেছে বিভিন্ন গবেষণা প্রকাশনা (Sarkar et al., 2021)।

উপসংহার (Conclusion)

জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাব বাংলাদেশের পরিবেশে ইতোমধ্যেই স্পষ্টভাবে বিদ্যমান। সামগ্রিক তাপমাত্রা গত ৪০ বছরে গড়ে দুই ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি পেয়েছে এবং আগামীতে প্রতি দশকে ০.২৩ থেকে ০.৩৮ ডিগ্রি বেড়ে যেতে পারে। গত ৫০ বছরের জলবায়ু এবং আবহাওয়া বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় যে, জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে শুষ্ক মৌসুমে খরার প্রবণতা এবং তীব্রতা, এবং একই সাথে বর্ষা মৌসুমে বৃষ্টির তীব্রতা এবং বন্যার প্রবণতা ক্রমশ বৃদ্ধি পাচ্ছে। সমগ্র দেশজুড়ে বর্ষা মৌসুমের বৃষ্টিপাত প্রতি দশকে ৮ থেকে ১২ শতাংশ বৃদ্ধি পেতে পারে। একই সাথে বৃষ্টিহীন দিনের সংখ্যা এবং ভারী বৃষ্টির দিনের সংখ্যা (rainfall extremes) দুটোই ভবিষ্যতে বৃদ্ধি পাওয়ার আশঙ্কা রয়েছে।

উপকূলীয় অঞ্চল সমূহে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির কারণে লবনাক্ততা সমস্যা এবং পানি সম্পদ দূষণ বিগত দশকগুলিতে আরো বৃদ্ধি পেয়েছে। ভবিষ্যতে সমুদ্রস্তর বৃদ্ধি এবং মাটি অবনমনের কারণে উপকূলীয় জেলাসমূহে লবনাক্ত পানির প্রবেশ আরো বৃদ্ধি পাবে। জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে বাংলাদেশের পানিসম্পদ

নিরাপত্তা এবং ভবিষ্যৎ প্রাকৃতিক পরিবেশ অনেকভাবে প্রভাবিত হবে। এই বিষয়ে স্থানীয়ভাবে আরও গবেষণা হওয়া উচিত এবং বিশেষ করে পরিবেশ এবং জনসাধারণের উপর প্রভাব বিশ্লেষণ করা প্রয়োজন।

জলবায়ু পরিবর্তন বর্তমানে পৃথিবীতে সবচেয়ে বড় পরিবেশগত সমস্যাগুলির একটি। বাংলাদেশেও জলবায়ু পরিবর্তন একটি চরম আশঙ্কার কারণ। কিন্তু এই পরিপ্রেক্ষিতে বলে রাখা প্রয়োজন যে বিভিন্ন গবেষণায় এবং সংবাদপত্রের প্রকাশনায় পরিবেশের সমস্যা এবং প্রাকৃতিক দুর্ঘটনার অনেক ঘটনাকে উপযুক্ত প্রমাণ ছাড়াই জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে সংশ্লিষ্ট করা হয়। এই প্রবণতাটি একই সাথে যেমন জলবায়ু পরিবর্তনের বিজ্ঞান ও গবেষণার জন্য ক্ষতিকর, সেই সাথে জনসাধারণ এবং সরকারের বিভিন্ন কার্যকলাপকেও ভুল পথে প্রভাবিত করে। বাংলাদেশের জলবায়ুর পরিপ্রেক্ষিতে প্রতিবছর খরা এবং বন্যা হওয়া, এবং একই সাথে অভ্যন্তরীণ ও উপকূলীয় এলাকাতে পানি স্বল্পতা, পানি দূষণ, ও লবণাক্ততা বাৎসরিক ঘটনা। যদিও জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে এই দুর্ঘটনাগুলি তীব্রতর হয়ে উঠছে, তবুও সমস্ত পরিবেশ-দুর্ঘটনা জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে সংশ্লিষ্ট নয়। শুধু উপযুক্ত গবেষণা এবং প্রমাণসহ এই দুর্ঘটনাগুলি জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে সংশ্লিষ্ট করা উচিত। একই সাথে শিক্ষা, গবেষণা, ও সরকারি প্রতিষ্ঠানগুলো পানি সম্পদ ব্যবস্থাপনা, পরিবেশ আইনের প্রয়োগ, এবং জনসাধারণের সচেতনতা বৃদ্ধির লক্ষ্যে কাজ করা উচিত।

তথ্যসূত্র

Akanda, A.S. 2012, South Asia's water conundrum: hydroclimatic and geopolitical asymmetry, and brewing conflicts in the Eastern Himalayas. *International journal of river basin management*, 10(4), pp.307-315.

Akanda, A.S., Jutla, A.S., Alam, M., De Magny, G.C., Siddique, A.K., Sack, R.B., Huq, A., Colwell, R.R., Islam, S. 2011, Hydroclimatic influences on seasonal and spatial cholera transmission cycles: implications for public health intervention in the Bengal Delta. *Water Resources Research*, 47(3).

Akanda, A.S., Aziz, A., Jutla, A., Huq, A., Alam, M., Asham, G.U., Colwell, R.R. 2018, Satellites and cell phones form a cholera early-warning system. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 99.

Babel, M.S., Wahid, S.M. 2011, Hydrology, management and rising water vulnerability in the Ganges–Brahmaputra–Meghna River basin. *Water International*, 36(3), pp.340-356.

Biswas, N.K., Hossain, F., Bonnema, M., Aminul Haque, A.M., Biswas, R.K., Bhuyan, A., Hossain, A. 2020, A computationally efficient flash flood early warning system for a mountainous and transboundary river basin in Bangladesh. *Journal of Hydroinformatics*, 22(6), pp.1672-1692.

Chowdhury, M.R., Ward, N. 2004, Hydro-meteorological variability in the greater Ganges–Brahmaputra–Meghna basins. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(12), pp.1495-1508.

Getirana, A., Biswas, N.K., Qureshi, A.S., Rajib, A., Kumar, S., Rahman, M., Biswas, R.K. 2022, Avert Bangladesh's looming water crisis through open science and better data. *Nature*, 610 (7933), pp.626-629.

Hasan, M.A., Islam, A.S., Akanda, A.S. 2018, Climate projections and extremes in dynamically downscaled CMIP5 model outputs over the Bengal delta: a quartile-based bias-correction approach with new gridded data. *Climate Dynamics*, 51, pp.2169-2190.

Imran, H.M., Kala, J., Uddin, S., Islam, A.S., Acharya, N. 2023, Spatiotemporal analysis of temperature and precipitation extremes over Bangladesh using a novel gridded observational dataset. *Weather and Climate Extremes*, 39, p.100544.

Kirby, M., Mainuddin, M., Palash, W., Qadir, E., Shah-Newaz, S.M. 2014, Bangladesh Integrated Water Resources Assessment supplementary report: approximate regional water balances.

Palash, W., Jiang, Y., Akanda, A.S., Small, D.L., Nozari, A., Islam, S. 2018, A streamflow and water level forecasting model for the Ganges, Brahmaputra, and Meghna Rivers with requisite simplicity. *Journal of Hydrometeorology*, 19(1), pp.201-225.

Palash, W., Akanda, A.S., Islam, S. 2020, The record 2017 flood in South Asia: state of prediction and performance of a data-driven requisitely simple forecast model. *Journal of Hydrology*, 589, p.125190.

Sarkar, B., Islam, A., Majumder, A. 2021, Seawater intrusion into groundwater and its impact on irrigation and agriculture: Evidence from the coastal region of West Bengal, India. *Regional Studies in Marine Science*, 44, p.101751.

Shamsudduha, M., Taylor, R.G., Haq, M.I., Nowreen, S., Zahid, A., Ahmed, K.M.U. 2022, The Bengal water machine: Quantified freshwater capture in Bangladesh. *Science*, 377(6612), pp.1315-1319.

Sreeraj, P., Swapna, P., Krishnan, R., Nidheesh, A.G., Sandeep, N. 2022, Extreme Sea level rise along the Indian Ocean coastline: Observations and 21st century projections. *Environmental Research Letters*, 17(11), p.114016.

Steckler, M.S., Oryan, B., Wilson, C.A., Grall, C., Nooner, S.L., Mondal, D.R., Akhter, S.H., DeWolf, S. and Goodbred, S.L. 2022, Synthesis of the distribution of subsidence of the lower Ganges-Brahmaputra Delta, Bangladesh. *Earth-Science Reviews*, 224, p.103887.

World Bank, 2011. Climate Change and Adaptation Country Profile for Bangladesh. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2018-10/wb_gfdr climate_change_country_profile_for_BGD.pdf