An open-access APC-free journal
ISSN: 2981-8184

REVIEW PAPER

The Sundarbans, the World's Largest Tidal Halophytic Mangrove Forest: Its Economic and Ecological Significance

M. S. Zaman[1,2], Tabina H. Chowdhury[3]

[1]Department of Biological Sciences, Alcorn State University, Lorman, MS 39096
[2]Department of Biology, South Texas College, McAllen, TX 78501
[3]Edmond Memorial Highschool, Edmond, OK 73013

**Correspondence: M. S. Zaman*
Emails: zaman@alcorn.edu, mzaman@southtexascollege.edu

Received: 6/14/2024 / Accepted: 7/7/2024

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13251085

Abstract

The Sundarbans, located along the southwestern coast of Bangladesh and southeastern India, is a remarkable ecosystem characterized by extensive mangrove forests, marshlands, and waterways, spreading across approximately 10,000 square kilometers. This vast area is recognized as the world's largest tidal halophytic mangrove forest, known for its ability to thrive in warm, humid climates and its unique assortment of salt-resistant plant life. The Sundarbans mangroves are essential for the livelihoods of coastal communities, supporting fishing industries and offering resources like timber, fuel woods, honey, and medicinal plants. Moreover, the mangroves play a crucial role in coastal protection, shielding against cyclones, storm surges, tidal waves, and erosion. Additionally, the mangroves serve essential ecological functions, including carbon sequestration, and providing habitats for various plant and animal species. Despite the pivotal functions, the mangroves face significant threats from human activities, notably pollution, land use changes, and the impacts of climate change. The escalating demand for resources has led to extensive deforestation resulting in habitat degradation and a reduction in the Sundarbans' size. This review delves into the economic and ecological features of the Sundarbans, examining its landscapes, biodiversity, and the obstacles posed by resource exploitation, and climate change, while also considering potential strategies for mitigation.

Keywords: Sundarbans, mangrove forest, ecological and economic significance, climate change

(For access to full English version: https://doi.org/10.5281/zenodo.12735918)

Citation: *Ullah, M. Iftekhar. 2024, A Review of the Effectiveness and Safety of Intermittent Fasting, Bangla J. Interdisciplinary Sci., 2 (1): B51-B69.*

সুন্দরবন, পৃথিবীর সর্ববৃহৎ জোয়ার-ভাটা সমন্বিত, লবণাক্ততা সহনশীল, ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল: এর অর্থনৈতিক ও পরিবেশগত গুরুত্ব

সারাংশ

সুন্দরবন বাংলাদেশের দক্ষিণ-পশ্চিম এলাকায় এবং ভারতের পশ্চিমবঙ্গের প্রায় ১০,০০০ বর্গ কি.মি. জুড়ে বিস্তৃত ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল (Mangrove forests)- যা ভূমি, জলাভূমি, নদী, শাখানদী, খাল এবং বনাঞ্চলের একটি বিচিত্র সমন্বয়। জলবায়ু এখানে আর্দ্র ও গরম এবং এখানে রয়েছে বিচিত্র প্রাণী এবং উদ্ভিদের সমন্বয়ে গঠিত একটি জটিল ইকোসিস্টেম। এ ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলটি উপকূলবর্তী জনপদের জীবন ধারণের অপরিহার্য অঙ্গ। বেঁচে থাকার এ উৎসগুলো হলো মাছ ব্যবসা, বাড়ি-ঘর বানানোর কাঠ, জ্বালানী কাঠ, ও মধু সংগ্রহ। বিভিন্ন ধরনের ঔষুধ তৈরির গাছগাছড়াও এখানে পাওয়া যায়। এ এলাকাটির ইকোলজিক্যাল গুরুত্বও অপরিসীম। এ বনাঞ্চল কার্বন প্রক্রিয়াকরণ (Sequestration), ও প্রাকৃতিক দুর্যোগে স্থলভাগ সংরক্ষণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এছাড়া, বিভিন্ন ধরণের গাছগাছড়া, এবং বন্য প্রানীর আবাসস্থল এ এলাকাটি। কিন্তু বর্তমানে মানুষের পরিবেশ বিরোধী আচরণ, পরিবেশ দূষণ, স্থলভাগের অপব্যবহার, এবং জলবায়ু পরিবর্তন সুন্দরবনের অস্তিত্বের জন্য বিশাল হুমকি হয়ে দাড়িয়েছে। নিয়ন্ত্রণবিহীন গাছপালা কেটে ফেলার কারণে বনাঞ্চলের আকৃতি ক্রমশ ছোট হয়ে আসছে এবং বন্য পশুপাখীরা আবাসস্থল হারাচ্ছে। এ প্রবন্ধের লক্ষ্য হলো সুন্দরবনের অর্থনৈতিক ও পরিবেশগত গুরুত্ব পর্যালোচনা করা এবং বনাঞ্চল নিধন এবং তার অবৈধ ব্যবহারের প্রেক্ষাপটে কিছু যৌক্তিক সমাধান প্রস্তাব করা।

মূল শব্দগুলি: সুন্দরবন, ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল, ইকোলজিক্যাল ও অর্থনৈতিক গুরুত্ব, জলবায়ু পরিবর্তন,

ভূমিকা

সুন্দরবন বাংলাদেশের দক্ষিণ-পশ্চিম এবং ভারতের দক্ষিণ-পূর্ব সমুদ্র উপকূলে অবস্থিত। এটি পৃথিবীর সবচেয়ে আকর্ষণীয় ও গুরুত্বপূর্ণ ইকোলজিক্যাল সিস্টেমগুলোর মধ্যে একটি। সমুদ্রের উপকূলে বেড়ে ওঠা, লবণাক্ততা সহনশীল গাছপালা, জলাভূমি, এবং নদীনালার সমন্বয়ে গড়ে উঠা বিশাল সুন্দরবন হলো পৃথিবীর সর্ববৃহৎ ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল। গ্রীষ্ম এবং উপ-গ্রীষ্মমণ্ডলী অঞ্চলের গরম ও আর্দ্র জলবায়ুর পরিবেশে বেড়ে ওঠা এ ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলটি একটি উপকূলবর্তী গুরুত্বপূর্ণ ইকোলজিক্যাল সিস্টেমের সৃষ্টি করেছে- যা অঞ্চলটির নিয়ত পরিবর্তনশীল আবহাওয়ার সাথে ভালোভাবে মানিয়ে নিয়েছে (Mukhopadthyay et.al., 2015) (Figure 1)।



Figure 1: The majestic and magnificent Sundarbans, Bangladesh. (A) An intricate web of forests, rivers, and channels, Credit: Tauhid Biplob, Wikimedia Commons (WC), 2018a; (B) Partially submerged Nipa palm in hightide, Credit: Ferdous, WC, 2014; (C) The mangrove flora, Credit: Syed Sajidul Islam, WC, 2016a.

এছাড়া এ বনাঞ্চল পরিবেশ থেকে কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে শোষণ করে ও সঞ্চয় করে রাখে- যা পরিবেশ প্রতিরক্ষার একটি অতি গুরুত্বপূর্ণ দিক। পাশাপাশি এ বনাঞ্চল স্থলভাগের ভাঙ্গন বা ক্ষয়কে প্রতিরোধ করে এবং শক্তিশালী ঝড় বা প্রাকৃতিক দুর্যোগের বিরুদ্ধে একটি শক্তিশালী ও গুরুত্বপূর্ণ প্রতিরক্ষা হিসেবে কাজ করে (Islam et.al., 2019)। উপকূলবর্তী অধিবাসীদের জীবন ধারণের জন্যও এ সামুদ্রিক বনাঞ্চল একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এ বনাঞ্চলগুলোর পানিতে মাছ এবং শামুক জাতীয় (Shellfish) প্রাণীর প্রাচুর্য রয়েছে- যার বাণিজ্যিক মূল্য বিশাল। এছাড়া স্থানীয় মাছ শিকারেও এ বনাঞ্চলের উল্লেখযোগ্য ভূমিকা আছে। বিশ্বব্যাপী খাদ্য উৎপাদনেও রয়েছে এর একটি উল্লেখযোগ্য ভূমিকা।

ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল স্থানীয় অর্থনীতি প্রবৃদ্ধিরও একটি গুরুত্বপূর্ণ উৎস। বাড়িঘর নির্মাণের কাঠ, জ্বালানী এবং ঔষুধ উৎপাদনসহ জীবন ধারণের প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদির উৎপাদনের ক্ষেত্রেও এ বনাঞ্চল একটা বিশাল ভূমিকা রাখে। সুন্দরবনের অর্থনৈতিক এবং ইকোলজিক্যাল বাস্তবতা, ঐতিহ্য বা প্রতিবন্ধকতাকে বুঝতে হলে এখানকার ভূ-তাত্ত্বিক চরিত্র-বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে ভালোভাবে জানা অপরিহার্য। ইউনেস্কোর (UNESCO) ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ (World Heritage) এবং র‍্যামাসার সাইট (Ramsar site) হিসেবে স্বীকৃতি পাওয়ার মধ্য দিয়ে সুন্দরবন পৃথিবীর ইকোলজিক্যাল গুরুত্বের ক্ষেত্রে একটা গুরুত্বপূর্ণ এলাকায় পরিণত হয়েছে।

১৯৯২ সালে, র‍্যামসার কনভেনশনে জলাভূমিপূর্ণ (Wetland) সুন্দরবনের বাংলাদেশ অঞ্চলটিকে সারা বিশ্বে বাস্তবতার প্রেক্ষাপটে একটি অতি গুরুত্বপূর্ণ এলাকা হিসেবে ঘোষণা করা হয়। ১৯৯৭ সালে ইউনেস্কো বাংলাদেশের সুন্দরবন এলাকার গুরুত্ব অনুধাবনের মাধ্যমে এ এলাকাকে ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ হিসেবে স্বীকৃতি দেয়। তার মধ্যে তিনটি অঞ্চলের ৩২,৪০০ হেক্টর এলাকাকে জীব-জন্তুর অভয়ারণ্য হিসেবে নির্বাচন করা হয়। কারণ এ তিনটি এলাকা কিছু বিলপ্তপ্রায় জীবজন্তুর মূল প্রজনন স্থান। ইউনেস্কোর ভাষ্য অনুযায়ী এখনো টিকে থাকা কয়েকটি ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলের মধ্যে সুন্দরবন বৃহত্তম, যা জল ও স্থলভাগের জৈব বৈচিত্র্যের বেঁচে থাকার অন্যতম প্রধান উৎস। ১৯৮৭ সালে ভারতের অন্তর্ভূক্ত সুন্দরবন এলাকাকেও ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ এবং র‍্যামসার সাইট হিসেবে ঘোষণা করা হয় (Sundorbon Wetland, 2019)।

দুঃখজনক হলেও সত্য আমাদের পরিবেশের ক্ষতিকারক কার্যাবলীর কারণে সুন্দরবন এবং তার সংবেদনশীল ইকোলজিক্যাল সিস্টেম বিশাল হুমকির সম্মুখীন হয়েছে। এ কার্যাবলীর মধ্যে রয়েছে পরিবেশ

দূষণ, বনাঞ্চল ধ্বংস করা এবং সে কারণেই পরিবেশের বিরূপ পরিবর্তন (Saoun and Sarkar, 2024)। জনসাধারণের ক্রমবর্ধমান চাহিদার কারণে সুন্দরবনের প্রাকৃতিক সম্পদের উৎসগুলো ক্রমাগত ক্ষতিগ্রস্ত হচ্ছে। যেমন: অধিক খাদ্যশস্য উৎপাদনের জন্য বনাঞ্চল পরিষ্কার করে সেখানে কৃষিকাজ করা হচ্ছে, চিংড়ি মাছের চাষ করা হচ্ছে, গাছপালা কেটে ফেলে বাড়িঘর নির্মাণ করা হচ্ছে অথবা গাছপালা কেটে ফেলে অন্য কোনো কাজে ব্যবহার করা হচ্ছে (Islam and Bhuiyan, 2018)।

বর্তমানে সুন্দরবনের আয়তন প্রায় ১০,০০০ বর্গ কি.মি.- যা সারা বিশ্বের ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলের শতকরা তিন ভাগ (Kanan et.al., 2023) অথচ ২০০ বছর আগে সুন্দরবনের আকৃতি ছিল ১৬,৭০০ বর্গ কি.মি. (World Heritage Data sheet, 1997)। এখান থেকেই প্রমাণিত হয়, আমাদের ধ্বংসাত্মক কর্মকাণ্ডের জন্য সুন্দরবন কীভাবে ধ্বংস হয়ে যাচ্ছে।

এ পর্যবেক্ষণমূলক নিবন্ধের মূল লক্ষ্য হচ্ছে সুন্দরবনের ভৌগোলিক চরিত্র-বৈশিষ্ট্যকে তুলে ধরা, এর বিশাল জৈব বৈচিত্র্য, অর্থনৈতিক ও ইকোলজিক্যাল তাৎপর্যের আন্তঃসম্পর্কগত বাস্তবতার উপর অনুসন্ধান করা, সুন্দরবন তার অস্তিত্ব রক্ষায় যে সমস্যাগুলোর সম্মুখীন হচ্ছে যেমন: বনাঞ্চল ধ্বংস, প্রাকৃতিক উৎসগুলোর অপব্যবহার ও তা শনাক্তকরণ এবং এ তথ্য-উপাত্তগুলোর প্রেক্ষাপটে সমাধানের আলোচনা করা।

ভৌগলিক অবস্থান

সুন্দরবন একটি ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল সমৃদ্ধ বিশাল ব-দ্বীপ এলাকা। এটি গঙ্গা (পদ্মা), ব্রহ্মপুত্র (যমুনা) এবং মেঘনা নদীর মিলনস্থানে অবস্থিত এবং এখান থেকেই নদীগুলোর পানি সমুদ্রে প্রবেশ করে। এটি পৃথিবীর সবচেয়ে বড় ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল, যেটি ২১°৩০′- ২১°৩০′ উত্তর দিকে এবং ৮৯°০০′- ৮৩°৫৫′ পূর্ব দিকে অবস্থিত (Rahman et.al., 2015)। সুন্দরবন বাংলাদেশ থেকে প্রসারিত হয়ে ভারতের পশ্চিমবঙ্গ পর্যন্ত বিস্তারিত। প্রায় ৬২% বনাঞ্চল বাংলাদেশে অবস্থিত (৬,২০০ বর্গ কি.মি.) এবং অবশিষ্ট ৩৮% ভাগ (৩,৮০০ বর্গ কি.মি.) ভারতে অবস্থিত (Ghosh et.al., 2015) (Figure 2)।



Figure 2: The map of the Sundarbans, Credit: Nirvik 12, WC, 2015.

সুন্দরবনের ইকোলজি

সুন্দরবন জলাভূমি ও নদী-নালা সমৃদ্ধ, এবং ভাটার সময় পানি সরে যাওয়া (Mud-flat) একটি অঞ্চল, যেখানে জলাভূমি ও নদীনালার একটি জটিল নেটওয়ার্কের সৃষ্টি হয়েছে। জোয়ার-ভাটার কারণে এ ব-দ্বীপ এলাকাটি নিয়ত পরিবর্তনশীল, যে কারণে প্রতিনিয়ত এলাকাটির নতুন অবকাঠামো তৈরি হয়। আগে উল্লেখ করা হয়েছে যে, সুন্দরবনে একটি অত্যন্ত আর্দ্র ট্রপিকাল এবং সাব-ট্রপিকাল জলবায়ু বিদ্যমান, যার বার্ষিক বৃষ্টিপাতের পরিমাণ ১,৯২০ মি.মি. এবং তাপমাত্রা সাধারণত ২১°C থেকে ৩০°C এর মধ্যে থাকে। মৌসুমী বর্ষাকাল সাধারণত মে থেকে অক্টোবর পর্যন্ত বিস্তৃত (Rahman et al., 2009)। বালেশ্বর, পশুর, রাইমঙ্গল, এবং শিবসা এখানে প্রধান নদীগুলোর মধ্যে অন্যতম- যা মিষ্টি পানির প্রধান উৎস হিসাবে কাজ করে। সুন্দরবনের জোয়ার-ভাটা একটি অর্ধ-দৈনিক চক্র অনুসরণ করে, এখানে প্রতিদিন দুবার জোয়ার এবং দুবার ভাটা সংগঠিত হয় (Bandyopadhyay, 2019)। বনাঞ্চলটি তিনটি প্রধান অঞ্চলে বিভক্ত: জোয়ার-ভাটা জলপথ (Tidal waterways), ম্যানগ্রোভ বন (Mangrove Forest), এবং পশ্চাৎভূমি (Hinterland)।

জোয়ার-ভাটা জলপথ

সুন্দরবনের জোয়ার-ভাটার জলপথগুলো নদীনালা বা খালের একটি জটিল সমন্বয় এবং এগুলো সুন্দরবনের প্রাণ। পানি প্রবাহের এ পথগুলো প্রতিদিন জোয়ার-ভাটার দ্বারা প্রভাবিত হয়ে এখানে একটি অনবদ্য ইকোলজিক্যাল সিস্টেমের সৃষ্টি করেছে। এখানে নদীগুলোর মিঠাপানি বঙ্গোপসাগরের নোনা পানির সাথে মিশে এবং জোয়ার-ভাটার ওঠানামার কারণে এলাকাটিতে একটি পলিমাটির অবকাঠামো তৈরি করে- যা এখানে বসবাসকারী জৈব-বৈচিত্র্যের অস্বিত্বের জন্য বিশেষভাবে প্রয়োজনীয়।

ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল

সুন্দরবনের গাছপালার বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এরা লবণাক্ত পানি (Brackish water) সহ্য করে বেঁচে থাকতে পারে। এখানে অনেক প্রজাতির গাছপালা রয়েছে। এ গাছগুলো উপকূলবর্তী স্থলভাগের ভাঙ্গনের বিরুদ্ধে একটি শক্তিশালী প্রাকৃতিক প্রতিরক্ষা তৈরি করে, মূল ভূখণ্ডকে সাইক্লোন এবং সামুদ্রিক ঝড় থেকে প্রতিরক্ষা দেয় এবং বনাঞ্চলের জীববৈচিত্র্য (Flora and fauna) রক্ষায় সহায়তা করে।

পশ্চাৎবর্তী স্থলভাগ

ম্যানগ্রোভ গাছপালার বাইরেও সুন্দরবন এলাকায় রয়েছে স্বল্প উচ্চতার দ্বীপ, কর্দমাক্ত প্রান্তর, ও লবণাক্ত পানির এলাকা। প্রতিনিয়ত জোয়ার-ভাটা এবং নদীগুলোর বয়ে নিয়ে আসা পলিমাটির কারণে এ এলাকাগুলোর আকার ও প্রকৃতি খুব দ্রুত পরিবর্তিত হতে পারে। বিভিন্ন ধরনের প্রতিকূলতা সত্ত্বেও এ এলাকাগুলি বিভিন্ন প্রজাতির পাখি, উভচর, এবং অন্যান্য বন্যপ্রাণীদের জীবন ধারনে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা রাখে।

সুন্দরবনের উদ্ভিদ

মূল বনাঞ্চলগুলো সুন্দরবনের কেন্দ্রে অবস্থিত যা জোয়ার-ভাটা পরিবেশের (Intertidal zone) সাথে খাপ খাইয়ে নিয়েছে। এ গাছগুলো জোয়ার-ভাটার প্রতিনিয়ত চাপকে সাফল্যের সাথে প্রতিহত করে এবং সমুদ্রের লবণাক্ত পানি ও নদীর মিঠাপানির সংমিশ্রণ এলাকায় সুষম ভারসাম্য বজায় রেখে বেঁচে থাকে। সুন্দরবনে এখন পর্যন্ত ৩৩৪ ধরনের বিভিন্ন প্রজাতির গাছপালার সন্ধান পাওয়া গেছে (Prain, 1903)। পরবর্তী সময়ে প্রকাশিত তথ্য অনুযায়ী এখানে ২৩০ প্রজাতির ফ্লোরাল উদ্ভিদ (Siddiqui, 2016) এবং ৫২৮ প্রজাতির ভাস্কুলার উদ্ভিদের (Rahman, et al., 2015) সন্ধান পাওয়া গেছে। সুন্দরবনের গাছপালার মধ্যে সুন্দরী (*Heritiera fomes*), গেওয়া (*Excoecaria agallocha*), গরান (*Ceriops decandra*), পশুর (*Xylocarpus mekongensis*), কেওড়া (*Sonneratia apetala*) এবং খোলসা (*Aegiceras corniculatum*) অন্যতম (Rahman, 2000)।

দর্শনীয় সুন্দরী গাছগুলোর (Figure 3A) নামকরণ করা হয়েছে সম্ভবত সুন্দরবনের নাম থেকেই। এ গাছগুলো সাধারণত লম্বা হয় এবং তাদের শ্বাসমূলগুলো (Pneumatophores) মাটির এবং পানির সীমানার উপর বিস্তৃত থাকে। এ শ্বাসমূলের সাহায্যে গাছগুলো অ্যানারবিক মাটিতে (Anaerobic soil) জন্মেও প্রকৃতির সাথে বায়বীয় উপাদান (Respiratory gas) বিনিময় করতে পারে। এ গাছের কাঠ খুবই উন্নতমানের তাই বছরের পর বছর ধরে এ গাছের অবৈধ নিধন চলছে। গেওয়া গাছের (Figure 3B) বিশদ মূলগুলো লবণাক্ত পানির গভীরে বিস্তৃত থাকে। এ গাছগুলোতে অসংখ্য পাখি বাসা বাঁধে। অন্যদিকে ছোট আকৃতির গরান গাছগুলোর জটিল ও ঘন শিকড় উপকূলবর্তী মাটির ভাঙ্গনকে প্রতিহত করে এবং পশ্চাৎবর্তী স্থলভাগকে সাইক্লোন এবং জোয়ার-ভাটার প্রাবল্য থেকে রক্ষা করে।



Figure 3: (A) The Sundari, Credit: Sarangib, WC, 2016b; (B) Gewa trees, Credit: Vengolis, W.C. 2013.

এ বিশেষ ধরনের গাছগুলো ছাড়াও সুন্দরবনে প্রচুর গাছপালা আছে যেগুলো লবণাক্ত পানিতে টিকে থাকতে পারে। যেমন, নিপা পাম (*Nypa fruticans*), আঞ্চলিক ভাষায় এগুলোকে গোলপাতা বলা হয়; ম্যানগ্রোভ ডেট পাম (*Phoenix paludose*), যার আঞ্চলিক নাম হেতাল; টাইগার ফার্ন (*Acrostichum aureum*), এবং কাঁকড়া (Kankra) (*Bruguiera gymnorhiza*)- এরা প্রত্যেকে এ ইকোসিস্টেমকে টিকিয়ে রাখার জন্য তাদের অপরিহার্য ভূমিকা পালন করে।

সুন্দরবনের প্রাণী

সুন্দরবন একটি বন্যপ্রাণী সমৃদ্ধ বনাঞ্চল। এখানে প্রায় ৫০ প্রজাতির স্তন্যপায়ী প্রাণী, ৫০ প্রজাতির সরীসৃপ, ৮ প্রজাতির উভচর, ৪০০ প্রজাতির মাছ, এবং ৩২০ প্রজাতির পাখি রয়েছে- যাদের মধ্যে পরিযায়ী পাখিরাও অন্তর্ভুক্ত (Acharja, 2024)। এ ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলের সবুজ আচ্ছাদনের নিচে প্রচুর প্রাণীর বাস- যারা এ এলাকার বিচিত্রতা এবং প্রতিকূলতার মাঝে শিকার বা শিকারীর ভূমিকায় নিজেদেরকে মানিয়ে নিয়েছে। তাদের মধ্যে সবচেয়ে বিখ্যাত হলো রয়েল বেঙ্গল টাইগার (*Panthera tigris*) (Figure 4A) যারা এ বনের সর্বোচ্চ শিকারী প্রাণী (Apex predator) এবং এদেরকে সুন্দরবনের আত্মাও বলা হয়। সুন্দরবনের সর্বত্র এদের গতিবিধি। এছাড়া অন্যান্য আকর্ষণীয় প্রাণীদের মধ্যে রয়েছে, চিতল হরিণ (*Axis axis*) (Figure 4B), সামুদ্রিক কুমির (*Crocodylus porosus*) (Figure 4C), ইরাবতি ডলফিন (*Orcaella brevirostris*) (Figure 4D), মাডস্কিপার (*Periophthalmus spp.*), মেছো বিড়াল (*Prionailurus viverrinus*) এবং অজগর সাপ (*Python molurus*)। এছাড়া বনাঞ্চলটি বিভিন্ন প্রজাতির মাছের প্রজনন স্থান।

২০১৫ সালের জুন মাস থেকে ২০১৭ সালের জুলাই মাস পর্যন্ত এক সমীক্ষায় দেখা গেছে, সুন্দরবন এলাকায় ৩২২ ধরনের মাছের প্রজাতি আছে (Habib et al., 2020)- যা এখানে অসংখ্য জেলেকে তাদের অন্নসংস্থানের ব্যবস্থা করে দিয়েছে।

সুন্দরবন ৩০০ প্রজাতির ও বেশি পাখির আবাসস্থল। এদের মধ্যে রয়েছে বিশ্বব্যাপী বিপন্ন কালামুখ প্যারাপাখি (Masked Finfoot) (*Heliopais personata*) এবং রাজকীয় সাদাপেট সামুদ্রিক ঈগল (White-bellied sea eagle) (*Haliaeetus leucogaster*)।



Figure 4: (A) The Royal Bengal Tiger, Credit: Charles J. Sharp, WC, 2020a; (B) Spotted deer, Credit: Charles J. Sharp, WC, 2018b; (C) Estuarine crocodiles, Credit: Bernard Dupont, WC, 2020b; (D) Irrawaddy dolphins, Credit: Dan Koehl, WC, 2011.

অর্থনৈতিক গুরুত্ব

বাংলাদেশের এবং ভারতের সুন্দরবন উপকূলবর্তী এলাকার বাসিন্দাদের অর্থনৈতিক চাহিদা পূরণের ক্ষেত্রে সুন্দরবন গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। লক্ষ লক্ষ স্থানীয় জনসাধারণ মাছ ধরা, কাকঁড়া, মধু, ওষধি গাছ, জ্বালানী কাঠ, কাঠ, এবং গৃহনির্মাণ সামগ্রী সংগ্রহে সুন্দরবনের উপর নির্ভরশীল (Rahman, 2009)। ২০১৮ সালে, বিশ্বব্যাংকের এক প্রতিবেদনে বলা হয়েছে, বাংলাদেশের অর্থনীতির ক্ষেত্রে সুন্দরবনে মাছ ধরা, কাঠ, জ্বালানী কাঠ এবং মধু সংগ্রহ থেকে যথাক্রমে ০.২-৩৫৬, ০.৪, ০.০৬-২৯, এবং ০.০১১-১৯.২৫ মিলিয়ন মার্কিন ডলার সমপরিমাণ অর্থ উপার্জিত হয় (The World Bank, 2018)। একটি সাম্প্রতিক গবেষণাপত্রে জানা যায় যে, সুন্দরবনের প্রতি হেক্টর থেকে মধু, মোম, কাঠ, জ্বালানী কাঠ, গৃহনির্মাণ সামগ্রী, ওষধি গাছ ও পশুখাদ্য থেকে যথাক্রমে: ৪১.৪০, ১১.১২, ৩১.২৪, ১৯.৬৫, ১৩.০৬, ২৩.৪০, ৫৬.০৯ মার্কিন ডলার সমপরিমাণ অর্থ উপার্জিত হয় (Kanan et al., 2024)।

২০২০ সালে, বাংলাদেশ পরিবেশ উন্নয়ন সংস্থার এক প্রতিবেদনে বলা হয়েছে, সুন্দরবন এলাকার প্রায় ৩.৫ মিলিয়ন জনসাধারণ সুন্দরবনের প্রাকৃতিক উৎসগুলো থেকে জীবন ধারণ করে। কিন্তু বর্তমানে এ এলাকা বড় ধরণের সামাজিক ও পরিবেশগত হুমকির সম্মুখীন। দরিদ্র্যতা, স্থলভাগ ব্যবহারের সীমিত অধিকার, বিশুদ্ধ পানির অভাব, বিদ্যুৎ শক্তির অপর্যাপ্ততা, বাড়িঘরের সমস্যা, স্বাস্থ্য সেবা সমস্যা, সীমিত নিরাপত্তা ব্যবস্থা এবং জীব বৈচিত্র্যের হ্রাস বর্তমানে সুন্দরবনের প্রধানতম সমস্যা (Circular Conservation, 2020)।

মাছ ধরা, বনায়ন এবং ইকোট্যুরিজম খাতে কর্মসংস্থানের সুযোগ তৈরি করার মাধ্যমে বনাঞ্চল ধ্বংসকারী কৃষিকাজ ও এ্যাকুয়াকালচার এর উপর স্থানীয় নির্ভরশীলতা কমাতে হবে। এছাড়া, স্থানীয় সম্প্রদায়ের ঐতিহ্যগত জ্ঞান, এবং প্রজন্মের পর প্রজন্ম ধরে চলে আসা অনুশীলনগুলো স্থানীয় জনগণকে সাইক্লোন এবং অন্যান্য প্রাকৃতিক বিপর্যয় মোকাবেলায় সহায়তা করবে।

মাছ উৎপাদন

সুন্দরবনের সবচেয়ে বড় অর্থনৈতিক গুরুত্ব হচ্ছে মাছ উৎপাদন। ম্যানগ্রোভ বনের নদী, শাখানদী ও খালগুলো অসংখ্য প্রজাতির মাছ, চিংড়ি এবং কাঁকড়ার জন্য আদর্শ প্রজনন স্থান হিসেবে কাজ করে। স্থানীয় জেলেরা তাদের জীবিকার জন্য এ মাছ সম্পদের প্রাচুর্যের উপর ব্যাপকভাবে নির্ভরশীল। সুন্দরবন বাংলাদেশের মাছ উৎপাদনে যথেষ্ট অবদান রাখে- যা দেশের অভ্যন্তরীণ ব্যবহারের পরেও রপ্তানি আয়ের উৎস হিসেবে কাজ করে। উল্লিখিত ২০১৮ সালে বিশ্বব্যাংকের প্রকাশিত রিপোর্ট ছাড়াও ২০১৮ সালে প্রকাশিত আরেকটি গবেষণাপত্রে বলা হয়েছে যে, ২০১৭ সালে মাছ রপ্তানির মাধ্যমে বাংলাদেশ ২১৬,৭১ মিলিয়ন মার্কিন ডলার সমমূল্যের অর্থ আয় করেছে (Rahman et.al., 2018)।

কাঠ এবং কাঠ-নিরপেক্ষ বনজ সম্পদ

সুন্দরবনের কাঠ এবং কাঠ-নিরপেক্ষ বনজ সম্পদ স্থানীয় অর্থনীতিতে অবদান রাখে। টেকসই কাঠ সংগ্রহ বেশিরভাগই নিয়ন্ত্রিতভাবে হয়। তবে মধু, মোম, ঔষধি গাছ এবং গৃহনির্মাণ সামগ্রীর সংগ্রহ বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই অনিয়ন্ত্রিত। কারণ তা স্থানীয় লোকজন তাদের দৈনন্দিন প্রয়োজনে সংগ্রহ করে। এ বনজ পণ্যগুলো সুন্দরবনের আশেপাশে বসবাসকারী প্রান্তিক জনগোষ্ঠীর জন্য অতিরিক্ত আয়ের সুযোগ করে দেয় ও দারিদ্র্য বিমোচন এবং গ্রামীণ উন্নয়নে অবদান রাখে। বিশ্বব্যাংক প্রণোদিত ২০১৮ সালের রিপোর্টে, এবং Kannan et al.-এর ২০২৪ সালে প্রকাশিত গবেষণাপত্রে সুন্দরবনে সংগৃহিত জ্বালানী কাঠ এবং মধুর আনুমানিক বার্ষিক মূল্যায়ন সম্পর্কে ইতিঃপূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে।

পর্যটন

সুন্দরবনের অনন্য ইকোসিস্টেম, জীববৈচিত্র্য, এবং আকর্ষনীয় ভূ-বিন্যাস (Landscape) ও প্রাকৃতিক দৃশ্য, সারা বিশ্বের পর্যটকদের বিশেষভাবে আকৃষ্ট করছে। সরকার এবং স্থানীয় কমমিউনিটির জন্য ইকোট্যুরিজম একটি অত্যন্ত সম্ভাবনাময় আয়ের উৎস হিসেবে দেখা দিয়েছে। পর্যটন ক্রিয়াকলাপ, যেমন বন্যপ্রাণী সাফারি, পাখি পর্যবেক্ষণ, গাইডেড ট্যুর, আতিথেয়তা পরিসেবার, এবং বন অন্বেষণ প্রবেশ ফির মাধ্যমে সম্ভাবনাময় রাজস্ব তৈরি হচ্ছে। তাছাড়া ইউনেস্কোর সুন্দরবনকে ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ এবং র‍্যামসার সাইট ঘোষণার মাধ্যমে আন্তর্জাতিক পর্যটকদের কাছে এর আবেদন অনেক বেড়েছে- যা পর্যটনের অর্থনৈতিক অবদানকে আরও বাড়িয়ে তুলেছে। বাংলাদেশে সুন্দরবনের পর্যটন থেকে আনুমানিক বার্ষিক আয় প্রায় ৫৩ মিলিয়ন মার্কিন ডলার (Nobi et al., 2021)।

ইকোসিস্টেমের পরিসেবা মূল্য (Ecosystem Service Value)

গবেষণা থেকে জানা যায় যে, ম্যানগ্রোভ গাছগুলো অসাধারণ দক্ষতার সাথে পরিবেশ থেকে কার্বন শোষণ করে- যার বিশ্বব্যাপী আনুমানিক বার্ষিক আর্থিক মূল্য হেক্টর প্রতি আনুমানিক ১৯৪,০০০ মার্কিন ডলার এবং বিশ্বব্যাপী ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চলগুলো প্রতি বছর আনুমানিক ২.৭ ট্রিলিয়ন মার্কিন ডলারের পরিসেবা প্রদান করে থাকে (Uijttewaal, 2021)। ১৯৭৫, ২০০০, এবং ২০২০ সালে সমগ্র সুন্দরবনের (বাংলাদেশ ও ভারত) মোট ইকোসিস্টেম পরিসেবার আনুমানিক মূল্য ছিল যথাক্রমে ২৭,৪৫০, ২৬,৬৬৬, এবং ২৮,১৪০ মিলিয়ন মার্কিন ডলার। দুঃখজনক হলেও সত্য ১৯৭৫ থেকে ২০২০ সালের মধ্যে ইকোসিস্টেম পরিসেবা মূল্যের আনুমানিক মোট ক্ষতি হয়েছে ৩,৩১১ মিলিয়ন মার্কিন ডলার (Bera et al., 2022)। এছাড়া আগে উল্লেখ করা হয়েছে সুন্দরবন ঝড়ের বিরুদ্ধে উপকূলীয় প্রতিরক্ষায় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, জলবায়ু পরিবর্তনের ক্ষতিকর প্রভাবগুলো হ্রাস করে দেশের অর্থনীতিতে ভূমিকা রাখে। এ বনসম্পদ ঝড় ও জলোচ্ছ্বাস প্রতিরোধের মাধ্যমে উপকূলকে স্থিতিশীল রাখে, কৃষি জমি রক্ষা করে এবং মানুষের বসতি এবং অবকাঠামোকে প্রাকৃতিক দুর্যোগ থেকে রক্ষা করে। যদিও এই ইকোসিস্টেম

পরিসেবাগুলোর সঠিক অর্থনৈতিক মূল্যায়ন করা কঠিন, প্রাকৃতিক বিপর্যয় থেকে উপকূলীয় স্থিতিস্থাপকতা বজায় রাখার ক্ষেত্রে এর উল্লেখযোগ্য ভূমিকা নিঃসন্দেহে প্রশ্নাতীত।

ইকোলজিক্যাল তাৎপর্য

বিশ্বের বৃহত্তম ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল এবং ইউনেস্কো ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ সাইট ও রামসার সাইট হিসাবে, সুন্দরবন একটি প্রাকৃতিক বিস্ময় যা আমাদেরকে অমূল্য ইকোসিস্টেম পরিসেবা দিয়ে আসছে।

কার্বন শোষণ এবং জলবায়ু নিয়ন্ত্রণ

প্রাকৃতিক কার্বন শুষে নিয়ে এবং তা তাদের শরীরে জমা রেখে সুন্দরবন বনাঞ্চলের গাছপালা জলবায়ু ও পরিবেশ নিয়ন্ত্রণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ম্যানগ্রোভ বন বায়ুমণ্ডল থেকে কার্বন ডাইঅক্সাইড শুষে নিয়ে তা তাদের শরীরে এবং সংলগ্ন মাটিতে দক্ষতার সাথে সংরক্ষণ করে। ফলে এরা পরিবেশে গ্রিনহাউস গ্যাসের পরিমাণ কমাতে, বিশ্বের তাপমাত্রা স্থিতিশীল করতে, এবং পরিবেশ ও জলবায়ু সংরক্ষণে সাহায্য করে। বনজ গাছপালা এবং মাটি উভয়ের মধ্যেই কার্বন সঞ্চিত থাকে। বনজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণ ($6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কার্বন ডাইঅক্সাইড শোষণ করে এবং তা কার্বোহাইড্রেট, সেলুলোজ এবং অন্যান্য জৈব কার্বনে রূপান্তরিত করে- যা উদ্ভিদের বিভিন্ন অংশে সংরক্ষিত হয়। মাটির উপরে থাকা গাছের কাণ্ডের শক্ত কাঠের মধ্যে সবচেয়ে বেশি কার্বন (৬৩-৭৭%) সঞ্চিত থাকে। গাছের পাতা, ঝরা পাতা, এবং মাটিতে সঞ্চিত কার্বনের পরিমাণ প্রায় ৪৮% (Webber, 2024)। ২০০৯-২০১০ সালের মধ্যে পরিচালিত বাংলাদেশ বন বিভাগের একটি সমীক্ষা অনুমান করেছে যে, সুন্দরবনের বাংলাদেশের অংশে ৪১১,৬৩৯ হেক্টর বনাঞ্চলে ৩৮৭.৭ মেগাটন কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং ১০৫.৬ মেগাটন কার্বন সঞ্চিত রয়েছে (BD Forest Dept., 2024)।

২০১৫ সালের একটি গবেষণায় দেখা গেছে যে, বিভিন্ন গাছপালা এবং মাটির লবণাক্ততা ভেদে সঞ্চিত কার্বনের পরিমাণ উল্লেখযোগ্য ভাবে পরিবর্তিত হয়। সুন্দরী- যা বনের প্রভাবশালী উদ্ভিদ; অন্যান্য গাছপালার তুলনায় বেশি কার্বন (প্রতি হেক্টরে ৩৬০.১ ± ২২.৭১ মেট্রিক টন) সঞ্চয় করে। মিঠাপানির বনাঞ্চলে সবচেয়ে বেশি কার্বন (প্রতি হেক্টরে ৩৩৬.০৯ ± ১৪.৭৪ মেট্রিক টন) সঞ্চিত রয়েছে, তারপরে মাঝারি এবং বেশি লবণাক্ত অঞ্চলে কার্বন সঞ্চয়ের পরিমাণ ক্রমান্বয়ে কমেছে (Rahman et al., 2015)। সুন্দরী, বাইন, কেওড়া এবং গেওয়া গাছের গড় কার্বন সঞ্চয় ক্ষমতা, যথাক্রমে: ৪১.৩ শতাংশ, ৪০.৭১ শতাংশ, ৪০.৬৮ শতাংশ এবং ৩৯.০৬ শতাংশ নির্ধারণ করা হয়েছে। উপরন্তু, অল্প বয়স্ক এবং দ্রুত বর্ধনশীল বনগুলো বেশি কার্বন সিকোয়েস্টেশন ক্ষমতা দেখিয়েছে (Datta et al., 2021)।

ঘূর্ণিঝড় এবং প্রাকৃতিক দুর্যোগ থেকে প্রাকৃতিক বাধা হিসাবে উপকূলীয় অঞ্চলের সুরক্ষা

প্রাকৃতিক দুর্যোগ, বিশেষ করে বঙ্গোপসাগর থেকে আসা ঘূর্ণিঝড় বাংলাদেশের জন্য অত্যন্ত ঝুঁকিপূর্ণ। এ ধ্বংসাত্মক ঝড়গুলো প্রবল বাতাস, মুষলধারে বৃষ্টি এবং জলোচ্ছ্বাসের সৃষ্টি করে- যা মানুষের জীবন, সম্পত্তি এবং জীবিকার জন্য উল্লেখযোগ্য হুমকি সৃষ্টি করতে পারে। এ দুর্যোগের সময় সুন্দরবন একটি

প্রাকৃতিক প্রতিবন্ধকতা প্রদান করে এবং দুর্যোগ ও ঘূর্ণিঝড়ের প্রকোপ থেকে উপকূলীয় অঞ্চলকে সুরক্ষা দেয়।

ম্যানগ্রোভ উদ্ভিদ নোনা জলের পরিবেশে বড় হয়। তারা উপকূল অঞ্চলের মাটিতে তাদের জটিল শিকড় প্রসারিত করে। সময়ের সাথে সাথে এ শিকড়গুলো একত্রিত হয়ে একটি ঘন নেটওয়ার্ক তৈরি করে- যা পলিমাটিকে ধরে রাখে এবং সমুদ্রের ঢেউ ও উপকূল রেখার মধ্যে একটি প্রতিরক্ষা তৈরি করে (Newcomb, 2024)। সুন্দরবনের ঘন ম্যানগ্রোভ গাছপালাও একইভাবে তাদের ঘন শিকড় এবং বিস্তৃত ডালপালার সাহায্যে ঝড় এবং জলোচ্ছাস থেকে উপকূলকে রক্ষা করে। বনের গাছপালা জলোচ্ছাসের শক্তি শুষে নেয়- যার ফলে মূল ভূখণ্ডে পৌঁছানোর আগে ঢেউয়ের উচ্চতা এবং তীব্রতা হ্রাস পায়। এ প্রতিরক্ষা ব্যবস্থা উপকূলীয় মাটির ক্ষয় কমাতে, নিচু এলাকার জলাবদ্ধতা রোধ করতে, এবং উপকূলীয় অঞ্চলের গুরুত্বপূর্ণ অবকাঠামো এবং মানুষের বসতি রক্ষা করতে সাহায্য করে।

সাধারণভাবে বিভিন্ন প্রাকৃতিক দুর্যোগের বিরুদ্ধে, বিশেষত বঙ্গোপসাগরের সাইক্লোনগুলোর ক্ষেত্রে বাংলাদেশের উপকূলবর্তী এলাকার প্রতিরক্ষা অত্যন্ত দুর্বল। কিন্তু, প্রাকৃতিক দুর্যোগের বিপক্ষে এ বনাঞ্চল একটা শক্তিশালী প্রাকৃতিক প্রতিরক্ষা দেয়।

এ বিধ্বংসী ঝড়গুলো বয়ে নিয়ে আসে শক্তিশালী ঝড়োবাতাস, প্রবল বর্ষণ। ফলে উপকূলবর্তী বাসিন্দাদের প্রচুর ক্ষয়ক্ষতি হয়। বনাঞ্চলের গাছগুলোর ঘন মূল এবং ডালপালাগুলো একটা বিশাল প্রাকৃতিক প্রতিরক্ষা হিসেবে কাজ করে। বনাঞ্চলটি এগিয়ে আসা সাইক্লোনের তীব্র গতি ও শক্তিকে মূল ভূখণ্ডে পৌঁছানোর আগেই দুর্বল করে ফেলে। এ প্রতিরক্ষা উপকূলবর্তী ভাঙ্গনকেও অনেকটা প্রতিহত করে; নিচু অঞ্চলগুলোকে প্রবল বন্যা থেকে অনেকাংশে রক্ষা করে এবং উপকূলবর্তী এলাকার গুরুত্বপূর্ণ আন্তঃযোগাযোগ ও জনবসতি রক্ষার ক্ষেত্রেও প্রতিরক্ষা হিসেবে কাজ করে।

ঝড়োবাতাসের শক্তি শোষণ

ঘূর্ণিঝড়ের সময় ম্যানগ্রোভের বিস্তৃত ডালপালার ক্যানোপি কভার এবং ঘন গাছপালা ঝড়ের বায়ু শক্তি শুষে নিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ম্যানগ্রোভ গাছের বিস্তীর্ণ শাখাগুলো বনের মধ্য দিয়ে বয়ে যাওয়া ঘূর্ণিঝড়ের বাতাসকে মন্থর করে- যা উপকূলীয় মানুষের আবাসস্থল, নৌকা এবং অন্যান্য কাঠামোর ধ্বংসকে প্রতিরোধ করে। বায়ু শক্তিকে দুর্বল করে দিয়ে সুন্দরবন মানুষের ক্ষয়ক্ষতি এবং প্রাণহানি কমাতে সাহায্য করে। গত দুই দশকে সুন্দরবন বেশ কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ঘূর্ণিঝড়ের মোকাবিলা করেছে, যার মধ্যে রয়েছে ২০০৭ সালে *সিডর* (Sidr), ২০০৯ সালে *আইলা* (Aila), ২০১৩ সালে *ফাইলিন* (Phailin), ২০১৪ সালে *হুদহুদ* (Hudhud), ২০১৯ সালে *ফণী* (Fani), ২০১৯ সালে *বুলবুল* (Bulbul), ২০২০ সালে *আম্ফান* (Amphan), ২০২১ সালে *ইয়াস* (Yaas) (Ghosh and Mistri, 2023), এবং ২০২৪ সালের সাম্প্রতিক ঘূর্ণিঝড় *রেমাল* (Remal)। সুপার সাইক্লোন সিডর সুন্দরবনের প্রায় ৪০% ক্ষতিগ্রস্ত করেছে এবং আনুমানিক $১৪২.৯ মিলিয়ন ডলারের ক্ষতি করেছে (Saadi, 2010; Khan et al., 2021)। সুন্দরবনের বনভূমি বাতাসের শক্তির বিরুদ্ধে প্রতিরোধ হিসেবে কাজ না করলে ঘূর্ণিঝড়গুলোর প্রভাব আরও বেশি বিধ্বংসী হতে পারত।

সংরক্ষণ মূল্য (Conservation Value)

সুন্দরবন বিশ্বের বৃহত্তম হ্যালোফাইটিক ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল এবং এটি WWF (ওয়ার্ল্ড ওয়াইল্ডলাইফ ফান্ড) গ্লোবাল ২০০ ইকো-রিজিয়নের সাথে সংযুক্ত। ডাব্লুডাব্লিউএফ গ্লোবাল ২০০ ইকো-রিজিয়ন প্রকল্পটি জীববৈচিত্র্যে সমৃদ্ধ সুনির্দিষ্ট স্থলজ, মিঠাপানি এবং সামুদ্রিক অঞ্চলগুলোকে চিহ্নিত এবং পৃথিবীর জীববৈচিত্র্যকে পর্যবেক্ষণ করে। এ চিহ্নিত অঞ্চলগুলো পৃথিবীর প্রধানতম ইকোসিস্টেমগুলোর উদাহরণ হিসাবে কাজ করে। সুন্দরবনের অভয়ারণ্য এবং এর আশেপাশের অঞ্চলগুলোকে ইউনেস্কো বায়োস্ফিয়ার হিসেবে চিহ্নিত করেছে (Pletcher, 2024)।

আগেই বলা হয়েছে, রামসার জলাভূমি এবং ইউনেস্কো বায়োস্ফিয়ার রিজার্ভ হিসেবে সুন্দরবনের স্বীকৃতি রয়েছে। এ সুরক্ষিত এলাকার মধ্যেই রয়েছে টাইগার রিজার্ভ, ন্যাশনাল পার্ক এবং বন্যপ্রাণী অভয়ারণ্য (ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ ডেটাশিট, 1997)। এ তথ্যগুলো থেকে প্রতীয়মাণ হয় যে, সমৃদ্ধ জীববৈচিত্র্যের জন্য সুন্দরবন বিশ্বে আজ তার একটি স্বতন্ত্র স্থান প্রতিষ্ঠা করতে সক্ষম হয়েছে। এ বন অনেক প্রাণ-প্রজাতির বাসস্থান। বিশেষ করে এ বনে বাস করে বিপন্ন প্রজাতির বাঘ রয়েল বেঙ্গল টাইগার, স্পটেড হরিণ, বন্য শূকর, রিসাস বানর, অসংখ্য প্রজাতির পাখি এবং অনেক প্রজাতির মাছ। উপরন্তু, এ বন অজগর সাপ এবং নোনা পানির কুমিরের মতো অসংখ্য বিপন্ন সরীসৃপের আবাসস্থল (UNESC O, 2024)।

বনের শীর্ষ শিকারি (Apex predator) হওয়ায় রয়েল বেঙ্গল টাইগার হরিণ এবং বন্য শুয়োরের মতো তৃণভোজী প্রাণীর জনসংখ্যা নিয়ন্ত্রণ ও এ অঞ্চলের পরিবেশগত ভারসাম্য বজায় রাখতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। উপরন্তু, ম্যানগ্রোভ ইকোসিস্টেমের শিকড়ের জটিল নেটওয়ার্ক বিভিন্ন সামুদ্রিক ও স্থলজ প্রজাতির জন্য আবাসস্থল এবং প্রজনন ক্ষেত্র হিসেবে কাজ করে- যা জীববৈচিত্র্য সংরক্ষণে অবদান রাখে। সুন্দরবন বেশ কিছু গুরুত্বপূর্ণ পরিবেশগত প্রক্রিয়ারও প্রতিনিধিত্ব করে, যেমন: মৌসুমী বৃষ্টি, বন্যা, ব-দ্বীপ গঠন, জোয়ার- ভাটা প্রভাব এবং উদ্ভিদ উপনিবেশ গঠন।

সুন্দরবনের ক্রমান্বয় অবক্ষয় এবং বাংলাদেশের উপর এর প্রভাব

মানুষের তৈরি কিছু প্রকৃতি বিরোধী কাজ এবং তা থেকে উদ্ভুত সমস্যার কারণে সুন্দরবনের ম্যাংগ্রোভগুলো আজ বিপন্ন। এ ক্রিয়াকলাপ এবং তার ফলশ্রুত সমস্যাগুলোর মধ্যে রয়েছে বন্য-প্রজাতির আবাসস্থল ধ্বংস, পরিবেশ দূষণ, অস্থিতিশীল মাছ ধরা, বন উজাড়, চোরাচালান, সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি, এবং আবহাওয়ার পরিবর্তন। এসব কারণে সুন্দরবনের অখণ্ডতা দ্রুত নষ্ট হচ্ছে। চোরা-শিকারিরা বন্যপ্রাণীর শরীরের মূল্যবান অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের জন্য বাঘ হত্যা করে এবং সে অঙ্গ-প্রতঙ্গ অবৈধ বন্যপ্রাণীর বাজারে উচ্চ মূল্যে বিক্রি হয় । অন্যদিকে হরিণ, উদবিড়াল, এবং কুমিরের মতো প্রাণীরা তাদের চামড়া, মাংস এবং শরীরের অন্যান্য অংশের জন্য শিকারে পরিণত হয়। এ নির্বিচার হত্যা বনের নাজুক ইকোলজিক্যাল ভারসাম্যকে ব্যাহত করে এবং বন্য প্রজাতির বেঁচে থাকাকে বিপন্ন করে।

১৯৭৫ থেকে ২০০৬ খ্রিস্টাব্দ পর্যন্ত ল্যান্ডস্যাট চিত্র (Landsat imagery) ব্যবহার করে একটি গবেষণায় দেখা গেছে যে, সুন্দরবনের প্রায় ৫.৯ শতাংশ বনভূমি ক্ষয় হয়েছে। ১৯৭৭ এবং ১৯৮৮ সালের তীব্র ঘূর্ণিঝড়ে সুন্দরবনের প্রায় ১৯.৩ শতাংশ হ্রাস পায় এবং ঘন বনের প্রায় ৫০ শতাংশ ক্ষতিগ্রস্ত হয়। এ

ক্ষতি থেকে পুনরুদ্ধারের জন্য ২৫ বছরেরও বেশি সময় লেগেছে। গবেষণায় আরও জানানো হয়েছে যে সুন্দরবনের জীববৈচিত্র্য মিঠা পানির প্রবাহের উপর নির্ভরশীল এবং জলবায়ু পরিবর্তনের কারণে এর ভবিষ্যৎ হুমকির মুখে পড়েছে। জলবায়ু পরিবর্তনের ফলে ঘূর্ণিঝড়ের তীব্রতা এবং তৎপরতা বেড়েছে- যা সুন্দরবনের নদীনালায় পানির লবণাক্ততা বাড়াতে পারে (Islam, 2014)।

অবৈধভাবে গাছ কাটা এবং বন উজাড়, কৃষি ও উন্নয়নের জন্য জমি পরিষ্কার করা- এ ধরনের আচরণ, বনের সূক্ষ্ম ইকোসিস্টেমকে নষ্ট করে। সুন্দরবনের ম্যানগ্রোভের ক্ষতি, এর জলবায়ু পরিবর্তনের সাথে লড়াই করার এবং উপকূলীয় অঞ্চলগুলোকে প্রাকৃতিক দুর্যোগ থেকে রক্ষা করার ক্ষমতাকে দুর্বল করে; এবং অসংখ্য উদ্ভিদ ও প্রাণীর আবাসস্থলকে ধ্বংস করে তাদেরকে বিলুপ্তির দিকে ঠেলে দেয়। নগরায়ন, শিল্পায়ন এবং অবকাঠামোগত উন্নয়ন বন্যপ্রাণীর আবাসস্থল ধ্বংসকে ত্বরান্বিত করে। শিল্পবর্জ্য, তেল-স্পিল এবং কঠিন বর্জ্য থেকে দূষণ বনের জলাশয় এবং মাটিকে দূষিত করে এবং জলজ জীবন এবং ম্যানগ্রোভ গাছপালাকে বিপন্ন করে। রাস্তা, বাঁধ এবং বসতি নির্মাণের কারণে বন্যপ্রাণীর আবাসস্থল বিভক্ত হয়; বন্যপ্রাণীর যাতায়াতের পথকে ব্যাহত করে, এবং প্রাণীদেরকে বিচ্ছিন্ন করে জীববৈচিত্র্য নষ্ট করে।

এসব হুমকির কারণে এই ভঙ্গুর ইকোসিস্টেমের ভারসাম্য বিপন্ন হচ্ছে। দারিদ্র্য, দুর্নীতি, দুর্বল আইন প্রয়োগ, অপর্যাপ্ত জ্ঞান ও নীতিবোধ, এবং জলবায়ু পরিবর্তনসহ বিভিন্ন প্রতিকূলতার কারণে সুন্দরবনের সংরক্ষণ প্রচেষ্টা স্থবির হয়ে পড়েছে। উদাহরণস্বরূপ: সুন্দরবনের ১৪ কিলোমিটার উত্তরে রামপালে একটি কয়লা-চালিত তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্র নির্মাণ- যা রামসার কনভেনশন এবং ওয়ার্ল্ড হেরিটেজ সাইটগুলোর জন্য ইউনেস্কোর নিয়ম লঙ্ঘনের জন্য সমালোচিত হয়েছে। এ স্থাপনা সুন্দরবনের জীববৈচিত্র্য এবং পরিবেশগত মূল্যবোধকে বিপন্ন করে। অধিকন্তু, বাধাপ্রাপ্ত মিঠাপানির প্রবাহের কারণে সমুদ্রের লবণাক্ত পানির অনুপ্রবেশ এবং সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধি উল্লেখযোগ্য ঝুঁকির সৃষ্টি করেছে। গবেষণায় দেখা গেছে যে, ১৯৭৫ সালে ভারত কর্তৃক ফারাক্কা ব্যারেজ নির্মাণের কারণে গঙ্গা নদীর মিঠাপানির নিষ্কাশন ১৯৬২ সালে ৩,৭০০ m^3/s থেকে ২০০৬ সালে মাত্র ৩৬৪ m^3/s-এ নেমে এসেছে (Islam and Gnauck, 2008)।

এ বিপুল পরিমাণ পানি সরবরাহের হ্রাস সুন্দরবনের ইকোসিস্টেমের জন্য একটা ভয়ঙ্কর বিপদ-সংকেত। এ কারণে বনাঞ্চলে লোনাপানির অনুপ্রবেশ ঘটছে এবং বনাঞ্চলের ইকোলোজির ওপর তার প্রভাব পড়ছে। গঙ্গার বিভিন্ন প্রজাতির মাছ বিলীন হয়ে যাচ্ছে এবং বিভিন্ন প্রজাতির পাখি ও বন্যপ্রানীদের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটছে (Jahan, et al, 2017)। পানির লবনাক্ততা বৃদ্ধির কারণে বাংলাদেশের সুন্দরবনের উত্তর-পশ্চিম এলাকায় (এটি সুন্দরবনের মূল এলাকা) মাছ উৎপাদন এবং বহুমুখী কৃষি ব্যবস্থা ক্রমশ কমে যাচ্ছে (Gain and Giupponi, 2014)। এ বাধের কারণে বাংলাদেশের প্রায় প্রধান নদী-পানির ইকোলজি ক্ষতিগ্রস্থ হচ্ছে। তাছাড়া সুন্দরবনের উপকূলবর্তী এলাকায় সমুদ্রের পানির উচ্চতা ক্রমশ বাড়ছে; বছরে ৩.৯০±০.৪৬ মি.মি. হারে। গঙ্গা নদীর পানিপ্রবাহ কমে যাওয়া এবং সুন্দরবনের কাছে সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির ফলে বনাঞ্চলের উপর জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবের ঝুঁকি অনেক বেড়ে গিয়েছে। হিসেব বলছে, সমুদ্রের উচ্চতা ১ মিটার বাড়লে ম্যানগ্রোভ এলাকার ৪০-৬০ শতাংশ বিলীন হয়ে যেতে পারে। উপরন্তু, ঘূর্ণিঝড়ের বেড়ে যাওয়া প্রভাব ও তৎপরতা সুন্দরবনের স্থিতিশীলতাকে আরও হুমকির মুখে ফেলে দিয়েছে।

উপসংহার

২০০৪ থেকে ২০২২ সালের মধ্যে সুন্দরবনের বনাঞ্চলের পরিমাণ গড়ে বার্ষিক ২.৬৬ শতাংশ হারে কমে এসেছে। প্রাথমিকভাবে এর কারণ বন উজাড় এবং বনভূমি ব্যবহারের পরিবর্তন (Saoum and Sarkar, 2024)। পরিবেশগত তাৎপর্যের দৃষ্টিকোণ থেকে, সুন্দরবনের ক্রমবর্ধমান অবক্ষয় এবং ক্ষতি একটি গুরুত্বপূর্ণ উদ্বেগের কারণ। সুন্দরবনের ইকোলজি বিশ্বের সবচেয়ে বৈচিত্র্যময় ইকোলজিগুলোর মধ্যে একটি। এটি অসংখ্য উদ্ভিদ এবং প্রাণীর আশ্রয়স্থল- যার মধ্যে অনেকগুলো প্রজাতি অনন্য এবং বিপন্ন। আবাসস্থল অদৃশ্য হওয়ার ফলে অনেক প্রজাতির বিলুপ্তি ঘটবে, পরিবেশগত ভারসাম্য নষ্ট হবে এবং জীবজগতে জেনেটিক বৈচিত্র্য হ্রাস পাবে। উপরন্তু, সুন্দরবন কার্বন সংরক্ষণ, জলবায়ু নিয়ন্ত্রণ এবং উপকূলীয় প্রতিরক্ষায় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এ বনাঞ্চল ছাড়া জলবায়ু পরিবর্তনের প্রভাবগুলো আরও খারাপ আকার ধারণ করবে, প্রাকৃতিক দুর্যোগের তৎপরতা বৃদ্ধি পাবে এবং উপকূলীয় অঞ্চলগুলো আরো বেশি পরিমাণে ক্ষয় ও বন্যার ঝুঁকিতে থাকবে। কার্বন সিঙ্ক হিসাবে কাজ করার ফলে সুন্দরবন জলবায়ু স্থিতিশীলতায় সহায়তা করে, ফলে পরোক্ষভাবে ঘূর্ণিঝড়ের মতো চরম আবহাওয়া জনিত ঘটনাগুলোর তৎপরতা এবং তীব্রতা কমাতে সাহায্য করে।

অর্থনৈতিকভাবে সুন্দরবন বাংলাদেশের জন্য অপরিহার্য। মাছ, পর্যটন, বনায়ন এবং কৃষির মতো সেক্টরগুলো এ ম্যানগ্রোভ ইকোসিস্টেমের উপর অনেক বেশি নির্ভর করে। সুন্দরবন বিলুপ্ত হলে এসব খাত ক্ষতিগ্রস্ত হবে ফলে লাখ লাখ মানুষের জীবন জীবিকার ক্ষতি হবে। সবচেয়ে জলবায়ু ঝুঁকিপূর্ণ দেশগুলোর মধ্যে একটি হওয়ায় বাংলাদেশ ঘূর্ণিঝড়, প্রবল বৃষ্টি এবং সমুদ্রপৃষ্ঠের উচ্চতা বৃদ্ধির বিরুদ্ধে প্রাকৃতিক ঢাল হিসেবে সুন্দরবনের ওপর নির্ভর করে। এটি ছাড়া উপকূলীয় ক্ষয়, বন্যা এবং লবণাক্ততার অনুপ্রবেশের ঝুঁকি বাড়বে- যা জনসংখ্যার স্থানচ্যুতি ঘটাবে, সামাজিক ও অর্থনৈতিক বৈষম্যকে বাড়াবে এবং জলবায়ু পরিবর্তনের বিরূপ প্রভাবকে আরো বাড়িয়ে তুলবে।

বৈশ্বিক স্বীকৃতি সত্ত্বেও, এই বিখ্যাত ম্যানগ্রোভ বনের ইকোলজি আজ মানুষের অস্থিতিশীল কর্মকান্ড এবং দূষণের ফলে মারাত্মক হুমকির সম্মুখীন। বনের পরিবেশগত অখণ্ডতা এবং জীববৈচিত্র্য আজ বিপন্ন। স্থানীয় জনজীবনের উপরও এর উল্লেখযোগ্য প্রভাব রয়েছে। কারণ তারা তাদের জীবিকা নির্বাহের জন্য বন সম্পদের ওপর নির্ভর করে। আদিবাসী মানুষ- যারা খাদ্য, ওষুধ এবং আশ্রয়ের জন্য বনের ওপর নির্ভর করে তারা বন সংকোচন এবং বন সম্পদ হ্রাসের কারণে অসমভাবে বঞ্চিত হয়। তাছাড়া, পরিবেশগত ক্ষতির কারণে ইকোট্যুরিজম ব্যবস্থার অবক্ষয় প্রান্তিক জনগোষ্ঠীকে আয়ের বিকল্প উৎস থেকে বঞ্চিত করতে পারে এবং তাদেরকে আরও দারিদ্র্য ও প্রান্তিকতার দিকে ঠেলে দিতে পারে। আগেই উল্লেখ করা হয়েছে যে বনের চলমান সংরক্ষণ প্রচেষ্টাগুলো অকার্যকর এবং দুর্বল আইন প্রয়োগ, দুর্নীতি, দারিদ্র্য এবং সচেতনতার অভাবসহ অসংখ্য কঠিন সব বাধার সম্মুখীন। বর্ধিত বন-পাহারা, সঙ্গত সংরক্ষণ কর্মসূচি, জনসচেতনতামূলক প্রচারণা এবং টেকসই জীবিকা প্রকল্পের মতো উদ্যোগের মাধ্যমে এ সমস্যাগুলো মোকাবেলা করার জন্য সংরক্ষণ সংস্থা, সরকারী সংস্থা এবং স্থানীয় সম্প্রদায়ের মধ্যে সহযোগিতা অপরিহার্য। সমস্যাগুলোর ব্যাপ্তি এবং জটিলতার পরিপ্রেক্ষিতে এই ম্যানগ্রোভ বনাঞ্চল এবং তাদের মূল্যবান

জীববৈচিত্র্যকে কার্যকরভাবে রক্ষা করার জন্য আঞ্চলিক, জাতীয় এবং আন্তর্জাতিক পর্যায়ে সমন্বিত পদক্ষেপ প্রয়োজন।

সুন্দরবন সংরক্ষণ শুধু বাংলাদেশের অর্থনৈতিক ভবিষ্যতের জন্যই নয়, এর সমৃদ্ধ জীববৈচিত্র্য ও পরিবেশগত ঐতিহ্য রক্ষার জন্যও গুরুত্বপূর্ণ। এই বনাঞ্চলের সঠিক মূল্যায়ন করে এবং এর সংরক্ষণে বিনিয়োগ করে বাংলাদেশ উপকূলীয় ঘূর্ণিঝড়ের বিরুদ্ধে জোরালো প্রতিবন্ধকতা তৈরি করতে পারে এবং তার উপকূলীয় জনগোষ্ঠীর মঙ্গল নিশ্চিত করতে পারে। অবৈধ শিকার ও বনাঞ্চল ধ্বংস বন্ধ করে ভবিষ্যৎ প্রজন্মের জন্য সুন্দরবনকে সংরক্ষণ করতে এবং একটি অমূল্য প্রাকৃতিক সম্পদ হিসেবে এর টিকে থাকা নিশ্চিত করতে অত্যন্ত জরুরি পদক্ষেপ নেবার প্রয়োজন। একটি বিশ্ব সম্প্রদায় হিসাবে আমাদের অবশ্যই সুন্দরবনের অন্তর্নিহিত মূল্যকে স্বীকৃতি দিতে হবে এবং সকলের উপকারের জন্য এটিকে রক্ষা ও সংরক্ষণের জন্য সমন্বিত পদক্ষেপ নিতে হবে।

কৃতজ্ঞতা প্রকাশ

লেখকবৃন্দ রাগিব আহসান খান, রাকীন জামান, ড. নিলুফা আহসান ও মো. সমীর আলি-কে যথাক্রমে গবেষণা পত্রটির বাংলা অনুবাদ, গ্রাফিক্সে, ও প্রুফরিডিং সহায়তার জন্য আন্তরিক কৃতজ্ঞতা জানাচ্ছে।

তথ্যসূত্র

Acharja, A. 2024, Project Sundarbans before it is too late. Daily Observer, URL: https://www.observerbd.com/news.php?id=460009 (Accessed: 6/29/2024).

Bandyopadhyay, S. 2019, Sundarban: A Review of Evolution & Geomorphology. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25774.54084.

BD Forest Department. 2024, সুন্দরবনে কার্বন জরিপ (The Sundarbans Carbon Inventory). Forest Department, Peoples Republic of Bangladesh, URL: https://bforest.gov.bd/site/page/6ec068d0-f8ad-4092-8212-39f5bd733c35/- (Accessed: 6/14/2024).

Bera, B., Bhattacharjee, S., Sengupta, N., Shit, P.K., Adhikary, P.P., Sengupta, D., Saha, S. 2022, Significant reduction of carbon stocks and changes of ecosystem service valuation of Indian Sundarbans. Nature, DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-11716-5 (Accessed 6/13/2024).

Circular Conservation. 2020, Natural, Social and Economic Regeneration in the Sundarbans of Bangladesh, URL: https://www.circularconversations.com/earth-heroes/bangladesh-environment-and-development-society (Accessed 6/12/2024).

Datta, A., Rashid, T., Biswas, M. (2021). Sequestration and Storage Capacity of Carbon in the Mangrove Vegetation of Sundarban Forest, Bangladesh. Int. J. Sci. Eng. Res. 12. 1098-1101. DOI: https://doi.org/10.14299/ijser.2021.02.04.

Gain, A.K., Giupponi, C. 2014, Impact of the Farakka Dam on Thresholds of the Hydrologic Flow Regime in the Lower Ganges River Basin (Bangladesh). *Water, 6*: 2501-2518, DOI: https://doi.org/10.3390/w6082501

Ghosh, A., Schmidt, S., Fickert, T., Nüsser, M. 2015, The Indian Sundarban Mangrove Forests: History, Utilization, Conservation Strategies and Local Perception. Diversity, 7: 149-169.

Ghosh, S., Mistri, B. 2023, Cyclone-induced coastal vulnerability, livelihood challenges and mitigation measures of Matla-Bidya inter-estuarine area, Indian Sundarban. Nat Hazards (Dordr), 116 (3): 3857-3878. DOI: 10.1007/s11069-023-05840-2.

Habib, K.A., Neogi, A.K., Nahar, N., Oh, J., Lee, Y.H., Kim, C.G. 2020, An overview of fishes of the Sundarbans, Bangladesh and their present conservation status. J. Threatened Taxa 12(1): 15154-15172, DOI: https://doi.org/10.11609/jott.4893.11.15.15154-15172, URL: https://threatenedtaxa.org/index.php/JoTT/article/view/4893/6634.

Islam, M.M., Borgqvist, H., Kumar, L. 2019, Monitoring mangrove forest landcover changes in the coastline of Bangladesh from 1976 to 2015. Geocarto Int., 34: 1458–1476, DOI: https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1489423.

Islam, M.T. 2014, Vegetation Changes of Sundarbans Based on Landsat Imagery Analysis Between 1975 and 2006. Landscape Environ., 8 (1): 1-9, URL: https://ojs.lib.unideb.hu/landsenv/article/view/2304.

Islam, S.M.D.U., Bhuiyan, M.A.H. 2018, Sundarbans mangrove forest of Bangladesh: Causes of degradation and sustainable management options. Environ. Sustain., 1: 113–131, DOI: https://doi.org/10.1007/s42398-018-0018-y.

Islam, S.N. and Gnauck, A. 2008, Mangrove Wetland Ecosystems in Ganges-Brahmaputra Delta in Bangladesh. Front. Earth Sci. China, 2: 439-448, DOI: https://doi.org/10.1007/s11707-008-0049-2.

Jahan, I., Lee, S.U., Panta, S., Ritchie, K. 2017, Farakka Barrage Action Initiative and Response, University of Delaware, Regional Watershed Management. URL: https://www.wrc.udel.edu/wp-content/uploads/2017/07/FREE-Farraka-Barrage-Report-2017.pdf (Accessed: 6/16/2024).

Kanan, A.H., Pirotti, F., Masiero, M., Rahman, M.M. 2023, Mapping inundation from sea level rise and its interaction with land cover in the Sundarbans mangrove forest. Clim. Change, 176: 104.

Kanan, A.K., Masiero, M., Pirotti, F. 2024, Estimating Economic and Livelihood Values of the World's Largest Mangrove Forest (Sundarbans): A Meta-Analysis. Forests, 15: 837, DOI: https://doi.org/10.3390/f15050837.

Khan, S.K., Abdullah, S., Salam, M.A., Mandal, T.R., Hossain, M.R. 2021, Review Assessment of Biodiversity Loss of Sundarban Forest: Highlights on Causes and Impacts. Ind. J. Forestry Res., 8 (1): 85-97. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/1e5b/111546e9bd4f6996ab2e260b13fa2382b0eb.pdf (Accessed: 6/29/2024).

Mukhopadhyay, A., Mondal, P., Barik, J., Chowdhury, S.M., Ghosh, T., Hazra, S. 2015, Changes in mangrove species assemblages and future prediction of the Bangladesh Sundarbans using Markov chain model and cellular automata. Environ. Sci. Process Impacts, 17: 1111–1117, DOI: https://doi.org/10.1039/c4em00611a.

Newcomb, T. 2024, Uh-Oh, the Mangroves Are Rapidly Migrating North. Popular Mechanics, URL: https://www.popularmechanics.com/science/environment/a61414294/why-mangroves-are-rapidly-migrating-north/

Nishat, B., Rahman, A.J.M.Z., Mahmud, S. 2019, Landscape Narrative of the Sundarban: Towards Collaborative Management by Bangladesh and India, URL: http://documents.worldbank.org/curated/en/539771546853079693 (Accessed: 12/7/21).

Nobi, M.N., Sarker, A.H.M.R., Nath, B., Roskaft, E., Suza, M., Kvinta, P. 2021., Economic valuation of tourism of the Sundarban Mangroves, Bangladesh. J. Ecol. Nat. Environ., 13 (4): 100-109, DOI: https://doi.org/10.5897/JENE2021.0910.

Pletcher, K. 2024, Sundarbans. Britannica, URL: https://www.britannica.com/place/Sundarbans (Accessed: 5/8/24).

Prain, D. 1903, The flora of Sundarbans. Records Botanical Survey of India, 114: 231-272.
Raha, A.K. 2005, Monitoring Changes in Sundarbans Mangrove Forest using RS/GIS, URL:http:// www.gisdevelopment.net/application/environment/wetland/envwm004.htm (Accessed: 6/29/2024).

Rahman, M., JiangI, Y., Irvine, K. 2018, Assessing wetland services for improved development decision-making: a case study of mangroves in coastal Bangladesh. Wetlands Ecol. Manage., 26: 563-580.

Rahman, L. M. 2000, The Sundarbans: A Unique Wilderness of the World. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-15-VOL-2. 143-148, URL: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_p015_2/rmrs_p015_2_143_148.pdf (Accessed: 5/9/24).

Rahman, M. M., Chongling, Y., Islam, K. S., Haoliang, L. (2009). A brief review on pollution and ecotoxicologic effects on Sundarbans mangrove ecosystem in Bangladesh. Int. J. Environ. Engineering, 1(4), 369-383.

Rahman, M.M., Khan, M.N.I., Hoque, A.F., Ahmed, I. 2015, Carbon stock in the Sundarban mangrove forest: Spatial variations in vegetation types and salinity zones. Wetl. Ecol. Manag., 23, 269–283.

Rahman, M.S., Hossain, G.M., Khan, S.A., Uddin, S.N. 2015, An Annotated Checklist of the Vascular Plants of Sundarban Mangrove Forest of Bangladesh. Bangladesh J. Plant Taxon., 22 (1): 17-41. URL: https://www.semanticscholar.org/reader/354082c8b997a5927e477e1025e0636f3f47580b (Accessed: 6/29/2024).

Saadi MLK (2010) Hurricane Sidr claims beautiful mangroves. URL: http:// www.islamonline.net (Accessed: 6/29/2024).

Saoum, M.R., Sarkar, S.K. 2024, Monitoring mangrove forest change and its impacts on the environment. Ecological Indicators 159: 111666, DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111666.

Siddiqui, A. H. 2016, Flora and faunal resources and ecosystem conservation in the Sundarbans. Int. J. Agric. Inno. Res, 5(3): 1473-2319.

Sundarban Wetland. 2019, Ramsar Sites Information Service, URL: https://rsis.ramsar.org/ris/2370.

The World bank. 2018, Benefits of Cooperation: Focus on the Sundarbans Identification and Assessment, URL: https://documents1.worldbank.org/curated/zh/384881587110084376/pdf/Benefits-of-Cooperation-Focus-on-the-Sundarban-Identification-and-Assessment-Lead.pdf (Accessed: 6/12/2024).

Uijttewaal, I. 2021, World Mangrove Day: The Value of Mangroves for Marine Life, Coastal Communities and Climate Change, Bazaruto Center Scientific Studies, URL: https://bcssmz.org/the-value-of-mangroves/#:~:text=Because%20of%20the%20incredible%20efficiency,trillion%20in%20services%20every%20year (Accessed: 6/11/2024).

UNESCO. 2024, The Sundarbans, URL: https://whc.unesco.org/en/list/798/ (Accessed: 6/12/2024).

Webber, S. 2024. How do trees store carbon. Creating Tomorrows Forests, UK. URL: https://www.creatingtomorrowsforests.co.uk/blog/technical-note-how-do-trees-store-carbon#:~:text=Photosynthesis,convert%20sunlight%20into%20chemical%20energy (Accessed: 6/23/2024).

Wikimedia Commons. 2011, Irrawadi Dolphin (Credit: Dan Koehl, CC BY 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution 3.0 Unported license), URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DKoehl_Irrawaddi_Dolphin_jumping.jpg (Accessed: 6/11/2024).

Wikimedia Commons. 2013, Gewa Tree (Credit: Vengolis, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported), Wikimedia Commons, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Excoecaria_agallocha.jpg (Accessed: 6/11/2024).

Wikimedia Commons. 2014, Sundarban (Credit: Ferdous, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license., URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sundarban_(61).jpg (Accessed: 6/11/2024).

Wikimedia Commons. 2015, Maps of the Sundarbans (Credit: সুন্দরবনের মানচিত্র, Nirvik12, Public domain, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.), Wikimedia Commons, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sundarbans-de.svg (Accessed: 6/11/2024).

Wikimedia Commons. 2016a, The Sundarban forest river channel, Bangladesh.jpg (Credit: Syed sajidul islam, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license., URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sundarban_(61).jpg (Accessed: 6/12/2024).

Wikimedia Commons. 2016b, Sundari Tree (Credit: Sarangib, CC0, via Wikimedia Commons, made available under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication, Wikimedia Commons, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sundari_Tree.JPG (Accessed: 6/10/2024).

Wikimedia Commons. 2018a, Sundarban U shape river (Credit: Touhid biplob, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license., URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:U_shape_river.jpg (Accessed: 6/10/2024).

Wikimedia Commons. 2018b, Spotted Deer (Credit: Charles J. Sharp, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spotted_deer_(Axis_axis)_male.jpg (Accessed: 6/14/2024).

Wikimedia Commons. 2020a, Bengal Tiger (Credit: Charles James Sharp, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license), Wikimedia Commons, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bengal_tiger_(Panthera_tigris_tigris)_female_3_crop.jpg (Accessed: 6/14/2024).

Wikimedia Commons. 2020b, Saltwater Crocodile (Credit: Bernard DUPONT from FRANCE, CC BY-SA 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>, via Wikimedia Commons, licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic license), Wikimedia Commons, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saltwater_Crocodile_(Crocodylus_porosus)_(10106344616).jpg (Accessed: 6/14/2024).

World Heritage Datasheet. 1997, The Sundarbans, URL: http://world-heritage-datasheets.unep-wcmc.org/datasheet/output/site/the-sundarbans/ (Accessed: 5/8/24).