REVIEW PAPER

Nanotechnology: The Beginning of a New Revolution in Science and Technology

Oishik Adib

Department of Molecular Sciences
Macquarie University
Sydney NSW 2109, Australia.

Corresponding Email: oishik.adib@students.mq.edu.au

Received: 2/20/2023 / Accepted: 3/19/2023

https://doi.org/10.5281/zenodo.7868748

ABSTRACT

Nanobiotechnology is a multidisciplinary field that involves the integration of nanotechnology and the life sciences to create new materials, devices, and technologies with applications in a variety of fields, including healthcare, and the environment. At its core, nanobiotechnology involves the design and production of nanoscale materials and devices that can interact with biological systems and perform specific functions, such as delivering drugs directly to the site of a disease, monitoring biological processes in real-time, or cleaning up environmental pollutants. One of the key advantages of nanobiotechnology is that it enables scientists to manipulate matter and its properties on the nanoscale, which allows for the development of new materials and devices with unique properties and capabilities. A lot of studies are towards targeted cell therapy and imaging systems now, it is still at its infancy because of the immense diverse potential it holds. A great deal of studies and research are needed in this area to use the nanoparticles properly in biological and medicinal applications without any kind of harm or toxicity to the living body.

Keywords: Nanotechnology, nanoparticle, liposome, dendrimer, carbon nanotube, quantum dot, gold nanoparticle, magnetic nanoparticle, nanodiamond

Cite this article as: *Adib, Oishik. 2023, Nanotechnology: The Beginning of a New Revolution in Science and Technology*, *Bangla J. Interdisciplinary Sci., 1 (1): 30-45.*

ন্যানোবায়োটেকনোলজি: বিজ্ঞান এবং প্রযুক্তিতে নতুন এক বিপ্লবের সূচনা

সারাংশ

ন্যানোবায়োটেকনোলজি একটি বহুমুখী ক্ষেত্র, যা স্বাস্থ্যসেবা এবং পরিবেশসহ আরো বিভিন্ন ক্ষেত্রে নতুন উপকরণ, যন্ত্র এবং প্রযুক্তি তৈরি করছে। ন্যানোবায়োটেকনোলজি মূলত ন্যানোস্কেল (অতিক্ষুদ্র) উপকরণসমূহ এবং যন্ত্রাদির নকশা তৈরি করে; যেগুলো জৈবিক প্রক্রিয়ার সাথে মিথস্ক্রিয়া ঘটাতে পারে এবং রোগে আক্রান্ত শরীরের নির্দিষ্ট স্থানে কার্য সম্পাদন করতে সক্ষম হয়। কোনো বিশেষ একটি রোগে আক্রান্ত জায়গাটুকুতে সরাসরি ওষুধ সরবারহ করা, সরাসরি জৈবিক প্রক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করা অথবা পরিবেশদূষকসমূহ অপসারণ করাসহ বিভিন্ন কার্য সম্পাদন করার ক্ষেত্রে ন্যানোবায়োটেকনোলজির বিশেষ ভূমিকা রয়েছে। ন্যানোবায়োটেকনোলজির মূল সুবিধাসমূহের একটি হলো এটি বিজ্ঞানীদের ন্যানোস্কেলে পদার্থ এবং পদার্থের ধর্ম নিয়ন্ত্রণের ক্ষমতা প্রদান করে; যা অনন্য বৈশিষ্ট্য এবং ক্ষমতাসম্পন্ন নতুন উপকরণ এবং যন্ত্রাদি তৈরির পথ খুলে দেয়। এই উপায়ে অনেক ক্ষেত্রে বিজ্ঞানীরা পদার্থের ধর্ম বদলানো পর্যন্ত চলে যাচ্ছেন, যাকে জাদুকরিই বলা চলে। যদিও বর্তমান সময়ে অসংখ্য গবেষণা চলছে নির্দিষ্ট জীবকোষ চিকিৎসা এবং ইমেজিং পদ্ধতির ওপরে; এই বিচারে ন্যানোটেকনোলজি এখনও তার বৈচিত্র্যময় সম্ভবনা নিয়ে শৈশবেই অবস্থান করছে। চিকিৎসা ক্ষেত্রে ন্যানোপারটিকেলের সঠিক, নির্ভরযোগ্য, পার্শ্বপ্রতিক্রিয়াহীন এবং সর্বনিম্ন বিষাক্ততাসম্পন্ন ব্যবহারের জন্য আরো গভীর অধ্যয়ন এবং গবেষণা প্রয়োজন।

মূল শব্দগুলি: ন্যানোটেকনোলজি, ন্যানোপারটিকেল, লাইপোজোম, ডেনড্রাইমার, কার্বন ন্যানোটিউব, কোয়ান্টাম ডট, গোল্ড ন্যানোপার্টিকেল, চৌম্বকীয় ন্যানোপার্টিকেল, ন্যানোডায়মন্ড

ভূমিকা:

ন্যানোপার্টিকেল হলো ১-১০০ ন্যানোমিটার পরিসরের কণা (১ ন্যানোমিটার = ১/১০০০,০০০,০০০ মিটার)। এই কণাগুলির রয়েছে অনন্য ভৌত এবং রাসায়নিক বৈশিষ্ট্য; যা তাদেরকে বিভিন্ন প্রযুক্তিতে ব্যবহার উপযোগী করে তোলে। ন্যানোস্কেল উপকরণগুলোকে এমনভাবে ডিজাইন করা যায়, যাতে থাকবে উচ্চ পৃষ্ঠতল-আয়তন অনুপাত। এই পৃষ্ঠতল-আয়তন অনুপাত উপকরণগুলোকে বিভিন্ন প্রয়োগক্ষেত্রে- যেমন: ওষুধ সরবরাহ, সেন্সিং এবং শক্তি উৎপাদনে অত্যন্ত কার্যকরী করে তুলবে (Mandal et al., 2005)। ন্যানোবায়োটেকনোলজির মাধ্যমে রোগ নির্ণয় এবং রোগ নিরাময় পদ্ধতিতে আমূল পরিবর্তন আনার সম্ভাবনা রয়েছে। বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন রকম ন্যানোস্কেল ডিভাইস তৈরি করছেন, যা সরাসরি রোগাক্রান্ত স্থানে ওষুধ সরবরাহ করতে ব্যবহার করা যেতে পারে। এতে করে চিকিৎসার কার্যকারিতা ব্যাপকভাবে বৃদ্ধি পাবে এবং ওষুধের পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস পাবে। এর একটি প্রায়োগিক উদাহরণ হচ্ছে ক্যান্সার কোষের চিকিৎসা

(Ruoslahti, 2012)। এছাড়াও নতুন চিকিৎসা সরঞ্জাম তৈরিতে ন্যানোবায়োটেকনোলজি ব্যবহৃত হচ্ছে, যা প্রচলিত পদ্ধতির তুলনায় দ্রুত ও সঠিকভাবে রোগ শনাক্ত করতে পারে। পরিবেশে দূষকসমূহ অপসারণ এবং নবায়নযোগ্য পানির উৎস তৈরির মতো গুরুত্বপূর্ণ ক্ষেত্রগুলোতে বর্তমানে ন্যানোবায়োটেকনোলজি ব্যবহৃত হচ্ছে। পানি, বায়ু এবং মাটি থেকে বিভিন্ন রকমের দূষক অপসারণ করতে এর মাধ্যমে ন্যানোস্কেল ফিল্টার তৈরি হচ্ছে। এর ফলে আমাদের পরিবেশের গুণগত মান এবং আমাদের স্বাস্থ্যের ব্যাপক উন্নতি সম্ভব হবে (Li et al., 2008)। ন্যানোবায়োটেকনোলজি একটি দ্রুত বিকশিত ক্ষেত্র; যা বিভিন্ন ধরনের শিল্পের অগ্রগতিতে উল্লেখযোগ্য অবদান রাখবে এবং সেইসাথে আমাদের জীবনযাত্রার অভূতপূর্ব উন্নয়ন ঘটাবে অগণিত উপায়ে। তবে সম্ভাবনাময় এই ক্ষেত্রে সতর্কতার সাথে বিচরণ করা প্রয়োজন। কেননা এ থেকে উদ্ভূত হতে পারে এমন কিছু সম্ভাব্য নৈতিক এবং নিরাপত্তা জনিত উদ্বেগ; যা মানবজীবন ও পরিবেশের জন্য হুমকির কারণ হয়ে দাঁড়াতে পারে।

চিকিৎসা ক্ষেত্রে ন্যানো ম্যাজিক:

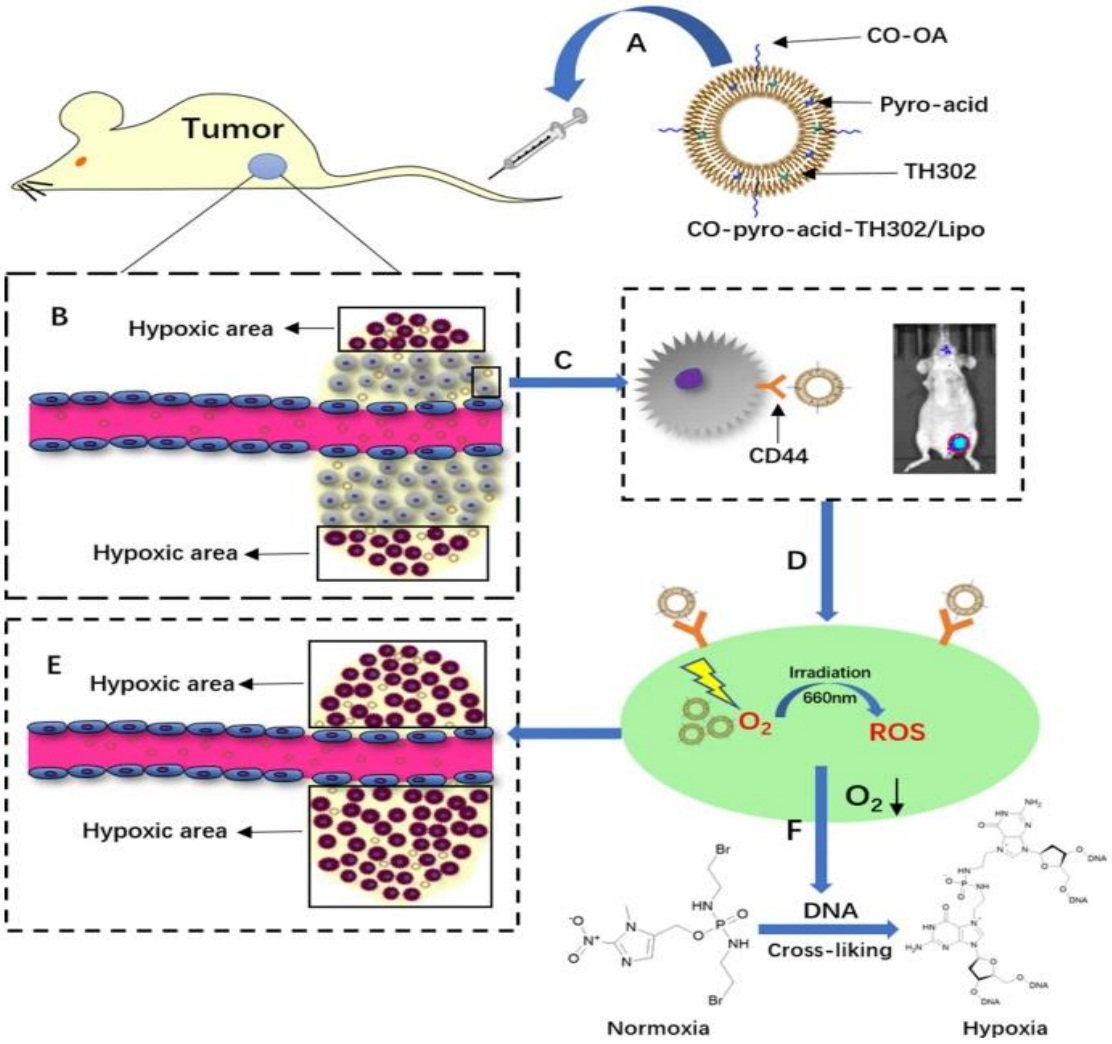
সাম্প্রতিক বছরগুলোতে ওষুধ সরবরাহ, ইমেজিং এবং রোগ নিরাময়সহ স্বাস্থ্যসেবার বিভিন্ন ক্ষেত্রে ন্যানোপার্টিকেলস ব্যবহারের জন্য ন্যানোপার্টিকেলগুলোর তৈরিতে দেখা দিয়েছে ক্রমবর্ধমান আগ্রহ। বর্তমানে ব্যবহৃত কিছু জাদুকরি ন্যানোস্কেলড পণ্য নিম্নরূপ:

1. **লাইপোজোম (Liposome):** লাইপোজোম হলো লিপিড বাইলেয়ার দ্বারা তৈরি গোলাকার ন্যানোস্কেল কণা; যা ওষুধ, ভ্যাকসিন এবং অন্যান্য থেরাপিউটিক এজেন্টের বাহক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। যেসব উপায়ে চিকিৎসা ক্ষেত্রে লাইপোজোম ব্যবহৃত হচ্ছে তা নিম্নে উল্লেখ করা হলো: চিত্র-১

    - **ওষুধ সরবরাহ:** ওষুধগুলোকে ক্যাপসুলের মধ্যে আবৃত করতে লাইপোজোম ব্যবহার করা যেতে পারে। এটি ওষুধগুলোকে একটি প্রতিরক্ষামূলক স্তর প্রদান করার মাধ্যমে তাদের স্থিতিশীলতা বাড়াবে এবং নির্দিষ্ট টিস্যু বা কোষগুলোতে তা পৌঁছে দিবে। এটি মানবদেহে ওষুধের কার্যকারিতা নিশ্চিত করে এবং এর পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করতে সাহায্য করে। এছাড়াও লাইপোজোমগুলোকে এমনভাবে ডিজাইন করা যেতে পারে, যা নির্দিষ্ট ট্রিগারের (যেমন: pH বা তাপমাত্রায় পরিবর্তন) প্রতিক্রিয়া হিসেবে ওষুধ ছেড়ে দিতে সক্ষম হবে (Li et al., 2022)।

    - **ভ্যাকসিন সরবরাহ:** লাইপোজোম ভ্যাকসিনের বাহক হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে। এটি ভ্যাকসিনের কার্যকারিতা নিশ্চিত করে মানুষের শরীরে রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা বৃদ্ধি করে । যক্ষ্মা এবং হিউম্যান ইমিউনো ডেফিসিয়েন্সি ভাইরাস (HIV) এর মতো সংক্রামক রোগ প্রতিরোধের জন্য লাইপোজোম আবৃত ভ্যাকসিন তৈরির বিষয়টি এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় (Chopra et al., 2013)।

- **ইমেজিং:** বিভিন্ন ইমেজিং এজেন্ট, যেমন: ফ্লুরোসেন্ট রঞ্জকগুলোর সাথে লাইপোজোম কার্যকর করার মাধ্যমে শরীরের নির্দিষ্ট টিস্যু বা অঙ্গের উচ্চ রেজ্যুলেশন সমৃদ্ধ ইমেজ সংগ্রহ করা সম্ভব (Petersen et al., 2012)।



চিত্র-১: একটি লাইপোজোম ব্যাবহার পরিকল্পনা (Credit: Ding et al., 2021)

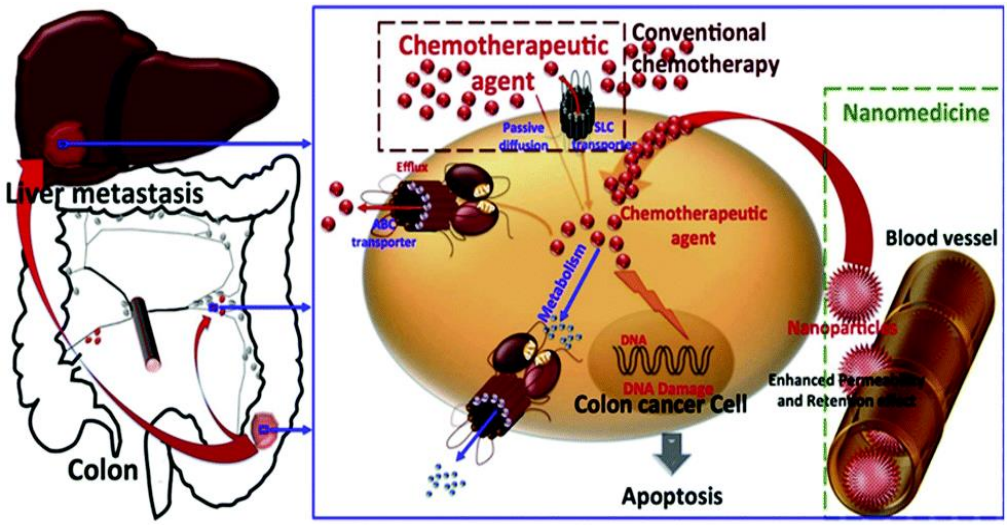
2. **ডেনড্রাইমার (Dendrimer):** ডেনড্রাইমার হলো অসংখ্য শাখাযুক্ত ন্যানোস্কেল পরিসরের পলিমারকণা, যা চিকিৎসাশাস্ত্রের বিভিন্ন ক্ষেত্রে ক্রমবর্ধমানভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। চিকিৎসাক্ষেত্রে যেভাবে ডেনড্রাইমার ব্যবহৃত হচ্ছে (চিত্র-২) তার কয়েকটি ক্ষেত্র এখানে উল্লেখ করা হলো:

- **ওষুধ সরবরাহ:** লাইপোজোমের মতো ডেনড্রাইমারও ওষুধগুলোকে ক্যাপসুলের মধ্যে আবৃত করতে সাহায্য করে। এর মাধ্যমে তাদের একটি প্রতিরক্ষামূলক স্তর তৈরি হয়; যা তাদের স্থিতিশীলতা বৃদ্ধি করে এবং নির্দিষ্ট টিস্যু বা কোষগুলোতে তাদের পৌঁছে দেয়। এটি

মানুষের শরীরে ওষুধ সরবরাহের মাধ্যমে ওষুধের কার্যকারিতা বৃদ্ধি করে এবং তার পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করে। এন্টিবডির মতো সুনির্দিষ্ট টার্গেট অণুর সাথে ডেনড্রাইমারকে কার্যকর করার মাধ্যমে ওষুধ সরবরাহকে আরো সুনির্দিষ্ট করা যেতে পারে (Mignani et al., 2019)।

- **ভ্যাকসিন সরবরাহ:** ডেনড্রাইমার ভ্যাকসিনের বাহক হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে, যা ভ্যাকসিনের অনাক্রমন্যতা এবং কার্যকারিতা বৃদ্ধি করবে। এখানে উল্লেখ্য, হেপাটাইটিস বি এবং হিউম্যান প্যাপিলোমা ভাইরাস (HPV) এর মতো সংক্রামক রোগ প্রতিরোধের জন্য ডেনড্রাইমার আবৃত ভ্যাকসিন তৈরি করা হয়েছে। (Mhlwatika and Aderibigbe, 2018; Chowdhury et al., 2022)।

- **ইমেজিং:** বিভিন্ন ইমেজিং এজেন্ট, যথা: ফ্লুরোসেন্ট রঞ্জক বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাথে ডেনড্রাইমার কার্যকর করার মাধ্যমে শরীরের নির্দিষ্ট টিস্যু বা অঙ্গের উচ্চ রেজ্যুলেশন সমৃদ্ধ ইমেজ সংগ্রহ করা সম্ভব। এর মাধ্যমে রোগ নির্ণয় এবং নিরাময়ের মূল্যবান তথ্য পাওয়া সম্ভব (Anwaier et al., 2017)।



চিত্র-২: একটি ডেনড্রাইমারের ন্যানোমেডিসিন হিসেবে পরিকল্পিত ডিজাইন (Credit: Carvalho et al., 2020)।

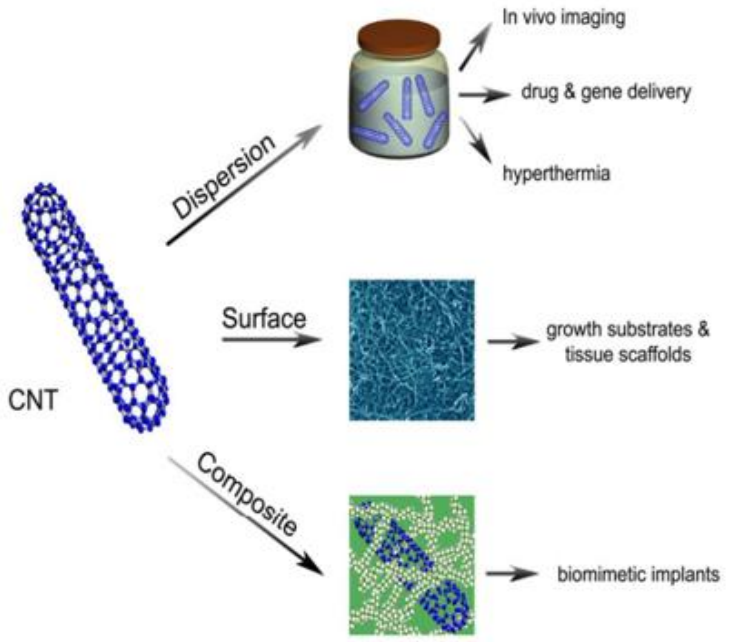
3. **এক-পরমাণু কার্বন ন্যানোটিউবের (Carbon Nanotube - CNT) সাথে সম্ভাবনাময় বিশ্ব:** কার্বন ন্যানোটিউব হলো কার্বন পরমাণু দ্বারা তৈরি নলাকার কাঠামো যার অনন্য যান্ত্রিক, বৈদ্যুতিক এবং তাপীয় বৈশিষ্ট্য রয়েছে। এই বৈশিষ্ট্যগুলোই এক-পরমাণু কার্বন ন্যানোটিউবকে চিকিৎসার বিভিন্ন ক্ষেত্রে ব্যবহারের জন্যে আকর্ষণীয় করে তুলেছে (চিত্র ৩)।

- **ওষুধ সরবরাহ:** কার্বন ন্যানোটিউব দ্বারা ওষুধগুলোকে ক্যাপসুলের মধ্যে আবৃত করা যায়। এটি তাদেরকে একটি প্রতিরক্ষামূলক স্তর প্রদান করে, যা তাদের স্থিতিশীলতা বাড়ায় এবং নির্দিষ্ট টিস্যু বা কোষগুলোতে পৌঁছে দেয়। এটি ওষুধ সরবরাহের কার্যকারিতা এবং নির্দিষ্টতা বাড়ায় এবং তার পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করে। ফলে রোগীর অবস্থার উন্নতি হয় (Kushwaha et al., 2013)।

- **রোগ নির্ণয়:** রোগ শনাক্তকরণের জন্য অত্যন্ত সংবেদনশীল এবং সুনির্দিষ্ট বায়োসেন্সর তৈরি করতে এন্টিবডির মতো বিভিন্ন টার্গেট অণুর সাথে কার্বন ন্যানোটিউবগুলোকে কার্যকর করা যেতে পারে। ক্যান্সারের মতো রোগের প্রাথমিক পর্যায়ে শনাক্তকরণ এবং নির্ণয়ের জন্য এটি ব্যবহার করা যেতে পারে (Veetil and Ye, 2008)।

- **টিস্যু ইঞ্জিনিয়ারিং:** কার্বন ন্যানোটিউবগুলোকে টিস্যু ইঞ্জিনিয়ারিংয়ের ক্ষেত্রে স্ক্যাফোল্ড হিসেবে ব্যবহার করা যেতে পারে, যা ক্ষতিগ্রস্ত বা রোগাক্রান্ত টিস্যু মেরামত বা প্রতিস্থাপনের জন্য কার্যকরী। এটি সুস্থ টিস্যু তৈরিতেও সহায়তা করে (Veetil and Ye, 2009)।

- **চিকিৎসাক্ষেত্রে ব্যবহৃত যন্ত্র:** কার্বন ন্যানোটিউবের অনন্য বৈদ্যুতিক এবং যান্ত্রিক বৈশিষ্ট্যগুলোর কারণে সেন্সর এবং ইলেক্ট্রোডের মতো বিভিন্ন ধরনের মেডিকেল ডিভাইস তৈরি করতে এটি ব্যবহার করা যেতে পারে। এই যন্ত্রগুলো বাস্তব সময়ে জৈবিক প্রক্রিয়া পর্যবেক্ষণ এবং নিয়ন্ত্রণ করাসহ চিকিৎসার আরো বিভিন্ন ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যেতে পারে (Endo et al., 2006)।



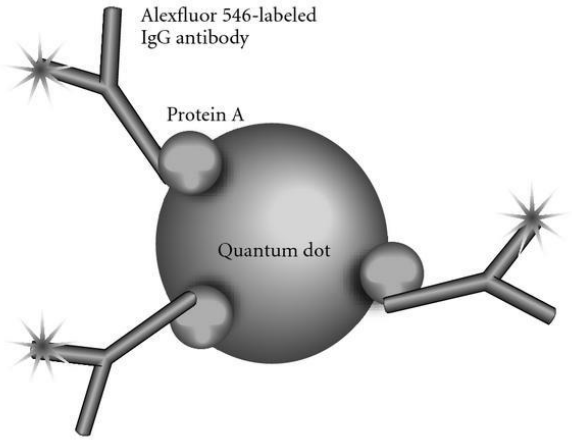
চিত্র ৩: ন্যানোটিউব এর বিভিন্ন ধরনের ব্যাবহার (Credit: Heister et al., 2013)।

4. **কোয়ান্টাম ডট (Quantum Dot - CD):** কোয়ান্টাম ডট হলো ন্যানোস্কেলড সেমিকনডাক্টর কণা, যার উচ্চ উজ্জ্বলতা এবং টিউনযোগ্য ফ্লুরোসেন্টের মতো অনন্য অপটিক্যাল এবং ইলেকট্রনিক বৈশিষ্ট্য রয়েছে। এই বৈশিষ্ট্যেসমূহ QDকে চিকিৎসার বিভিন্ন ক্ষেত্রে, বিশেষ করে ইমেজিং এবং রোগ নির্ণয়ে ব্যবহারের জন্যে আকর্ষণীয় করে তুলেছে।

    - **বায়োইমেজিং:** QDগুলোকে বায়োইমেজিংয়ে ফ্লুরোসেন্ট প্রোব হিসেবে ব্যবহার করা হয়, যেখানে তাদেরকে বিভিন্ন টার্গেট অণুর সাথে কার্যকর করা হয়, যেন সেগুলো সুনির্দিষ্টভাবে রোগাক্রান্ত কোনো টিস্যুর সাথে আবদ্ধ হতে পারে। কোয়ান্টাম ডটের উচ্চ উজ্জ্বলতা এবং টিউনযোগ্য প্রতিপ্রভ ধর্ম অতি সংবেদনশীলতা এবং নির্দিষ্টতার সাথে জীবের জৈবিক প্রক্রিয়াগুলো দৃষ্টিগোচর করে তোলে খুব সহজে (Luo et al., 2013)।

    - **রোগ নির্ণয়ে QD:** QD ক্যান্সার এবং সংক্রামক রোগের মতো বিভিন্ন রোগের মাত্রা নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়েছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, কোয়ান্টাম ডটগুলো এন্টিবডি বা অন্যান্য জৈব অণুগুলোর সাথে কার্যকরী করা যেতে পারে, যা রোগ শনাক্তকারী অণুর সাথে আবদ্ধ হয়ে উচ্চ সংবেদনশীলতা এবং নির্দিষ্টতার সাথে রোগ শনাক্ত করবে (চিত্র ৪) (Zhang et al., 2014)।

    - **ইন-ভিভো ইমেজিং:** QD ইন-ভিভো ইমেজিং এ ব্যবহার করা হয়েছে, যেখানে নির্দিষ্ট টিস্যু বা অঙ্গগুলো দৃষ্টিগোচর করতে জীবদেহে কোয়ান্টাম ডটকে পরিচালনা করা হয়। এটি বাস্তব সময়ে জৈবিক প্রক্রিয়াগুলোর নিরাপদ ইমেজিংয়ের পথ খুলে দেয় এবং রোগ নির্ণয় ও নিরাময়ের জন্য মূল্যবান তথ্য প্রদান করে (Liu et al., 2009)।



চিত্র ৪: একটি এন্টিবডিযুক্ত কোয়ান্টাম ডট ন্যানোপার্টিকেল (Credit: Mazumder et al., 2009)।

5. **স্বর্ণখনি কিন্তু নেনো, গোল্ড ন্যানোপার্টিকেল (Gold Nanoparticle - GNP):** GNP হলো স্বর্ণের ক্ষুদ্র কণা, যার অনন্য অপটিক্যাল এবং ইলেকট্রনিক বৈশিষ্ট্য রয়েছে। এই বৈশিষ্ট্যগুলি তাদেরকে চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহারের জন্যে আকাঙ্ক্ষিত করে তুলেছে। চিকিৎসাক্ষেত্রে এদের নানাবিধ ব্যবহার নিম্নরূপ:

    - **রোগ নির্ণয়ে গোল্ড ন্যানোপার্টিকেল:** রোগ শনাক্তকরণের জন্য অত্যন্ত সংবেদনশীল এবং সুনির্দিষ্ট বায়োসেন্সর তৈরি করতে এন্টিবডির মতো বিভিন্ন টার্গেট অণুর সাথে GNPগুলোকে কার্যকর করা যেতে পারে। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ক্যান্সার শনাক্তকরণ পরীক্ষায় ক্যান্সার নির্দিষ্ট এন্টিবডির সাথে GNP সংযুক্ত করা হয়েছে। এতে করে উচ্চ সংবেদনশীলতা এবং নির্দিষ্টতার সাথে এই রোগের প্রাথমিক শনাক্তকরণ সম্ভব হয়েছে (Nakhleh et al., 2014)।

    - **ওষুধ সরবরাহ:** শরীরের রোগাক্রান্ত স্থানে সরাসরি ওষুধ সরবরাহ করতে GNPকে বাহক হিসেবে ব্যবহার করা যেতে পারে। এটি ওষুধ সরবরাহের কার্যকারিতা এবং নির্দিষ্টতা বাড়াতে পারে এবং পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করে রোগীর সার্বিক পরিস্থিতির উন্নতি করতে পারে। এছাড়াও GNP ওষুধকে দ্রুত নষ্ট হয়ে যাওয়া থেকে রক্ষা করে এবং শরীরের এদের কার্যকারিতা ও লভ্যতা বৃদ্ধি করতে সাহায্য করে (Daraee et al., 2014)।

    - **ফটোথার্মাল থেরাপি:** GNP ফটোথার্মাল থেরাপির জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে। এখানে কণাগুলো অবলোহিত বিকিরণের (Near Infrared Radiation) সংস্পর্শে আসে। ফলে পার্টিকেলগুলো উত্তপ্ত হয়ে কাছাকাছি থাকা ক্যান্সার কোষগুলোকে ধ্বংস করে। এটি একটি যৎসামান্য আক্রমণাত্মক চিকিৎসা পদ্ধতি যা ক্যান্সার নিরাময়ের অন্যান্য পদ্ধতির সাথে একত্রিত করে ব্যবহার করা যেতে পারে (Riley and Day, 2017)।

    - **ইমেজিং:** শরীরের রোগাক্রান্ত টিস্যু বা অঙ্গের উচ্চ রেজ্যুলেশন সমৃদ্ধ ইমেজ সংগ্রহ করার উদ্দেশ্যে বিভিন্ন ইমেজিং এজেন্ট- যথা: ফ্লুরোসেন্ট রঞ্জকগুলোর সাথে GNP কার্যকর করা যেতে পারে, যা রোগ নির্ণয় এবং নিরাময়ের জন্য মূল্যবান তথ্য সরবরাহ করবে (Sharifi et al., 2019)।

6. **ক্ষুদ্র চুম্বকের শক্তিশালী রূপ- চৌম্বকীয় ন্যানো পার্টিকেল (Magnetic Nanoparticle - MNP):** চৌম্বক ন্যানো পার্টিকেল হলো চুম্বক পদার্থের (যেমন: আয়রন অক্সাইড) তৈরি ক্ষুদ্র কণা, যাকে চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রণ করা যায়। এই বৈশিষ্ট্যটির কারণে চিকিৎসার বিভিন্ন ক্ষেত্রে MNP এর ব্যবহার লক্ষণীয়। যেমন:

    - **রোগ নির্ণয়ে MNP:** রোগ শনাক্তকরণের জন্য অত্যন্ত সংবেদনশীল এবং সুনির্দিষ্ট বায়োসেন্সর তৈরি করতে এন্টিবডির মতো বিভিন্ন টার্গেট অণুর সাথে MNP গুলোকে কার্যকর করা যেতে পারে। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ক্যান্সার শনাক্তকরণ পরীক্ষায় ক্যান্সার নির্দিষ্ট এন্টিবডির সাথে

MNP সংযুক্ত করা হয়েছে। এতে করে উচ্চ সংবেদনশীলতা এবং নির্দিষ্টতার সাথে এই রোগের প্রাথমিক শনাক্তকরণ সম্ভব হয়েছে (Haun et al., 2010)।

- **ওষুধ সরবরাহ:** শরীরের রোগাক্রান্ত স্থানে সরাসরি ওষুধ সরবরাহ করতে MNPকে বাহক হিসেবে ব্যবহার করা যেতে পারে। এটি ওষুধ সরবরাহের কার্যকারিতা এবং নির্দিষ্টতা বাড়াতে পারে এবং পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করে রোগীর সার্বিক পরিস্থিতির উন্নতি করতে পারে। চৌম্বকীয় ক্ষেত্র ব্যবহার করে চৌম্বকীয় ন্যানো পার্টিকলকে টার্গেট সাইটে নির্দেশিত করা যেতে পারে; যার ফলে ওষুধের যথাযথ সুনির্দিষ্ট এবং সুনিশ্চিত সরবরাহ সম্ভব হবে (Klostergaard and Seeney, 2012)।

- **ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজিং (MRI):** রোগাক্রান্ত টিস্যু বা অঙ্গের উন্নত ইমেজ সংগ্রহের জন্য MRIতে MNPকে কনট্রাস্ট এজেন্ট হিসেবে ব্যবহার করা যেতে পারে। এর ফলে রোগ নির্ণয় এবং চিকিৎসার জন্য সঠিক তথ্য পাওয়া সম্ভব (Manchev, 2019)।

- **হাইপারথার্মিয়া থেরাপি:** হাইপারথার্মিয়া থেরাপির ক্ষেত্রে MNP ব্যবহার করা যেতে পারে; যেখানে কণাগুলো পর্যায়ক্রমে চৌম্বক ক্ষেত্রের সংস্পর্শে আসে এবং উত্তপ্ত হয়। ফলস্বরূপ এদের কাছাকাছি থাকা ক্যান্সার কোষগুলো ধ্বংস হয়ে যায়। এটিও যৎসামান্য আক্রমণাত্মক চিকিৎসা পদ্ধতি, যা ক্যান্সার রোগ নিরাময়ের অন্যান্য পদ্ধতির সাথে একত্রিকরণ করার মাধ্যমে চিকিৎসার কার্যকারিতা বৃদ্ধি করা যেতে পারে (Raouf et al., 2020)।

7. **গুপ্তরত্ন-ন্যানোডায়মন্ড (Nanodiamond):** ন্যানোডায়মন্ড হলো ন্যানোস্কেল পরিসরের হীরাকণা, যার রয়েছে বায়োকম্প্যাটিবিলিটি, বায়োডিগ্রেডিবিলিটি এবং বিভিন্ন ধরনের অণু বহন করার মতো অনন্য কিছু বৈশিষ্ট্য ও ক্ষমতা। এসব অভিন্ন ধর্মের কারণে ক্যান্সার প্রতিরোধের সম্ভাব্য হাতিয়ার হিসেবে ন্যানোডায়মন্ডের অনুসন্ধান করা হচ্ছে। ক্যান্সার থেরাপিতে তাদের কার্যকরী ব্যবহারের সম্ভাবনা রয়েছে বলে চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত ন্যানোপার্টিকেলগুলোর মধ্যে এদেরকে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হিসেবে বিবেচনা করা হয়।

    - **ওষুধ সরবরাহ পদ্ধতি:** নির্দিষ্ট টিস্যু বা কোষে লক্ষ্যবস্তু সরবরাহের উদ্দেশ্যে ওষুধ বা থেরাপিউটিক এজেন্টের সাথে ন্যানোডায়মন্ডগুলোকে কার্যকর করা যেতে পারে। এটি ওষুধ সরবরাহের কার্যকারিতা এবং নির্দিষ্টতা বাড়াতে পারে এবং পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হ্রাস করে রোগীর সার্বিক পরিস্থিতির উন্নতি করতে পারে। ক্যান্সার প্রতিরোধের প্রেক্ষাপটে গতানুগতিক ধারার কেমোথেরাপি সুস্থ কোষকে বিষাক্ত করে তোলে এবং পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া তৈরি হয়। কিন্তু ন্যানোডায়মন্ডগুলো সরাসরি ক্যান্সার কোষে ক্যান্সার প্রতিরোধী ওষুধ সরবরাহ করতে পারে। তাই কোনো সুস্থ কোষ ক্ষতিগ্রস্ত হয় না (Uthappa et al., 2020)।

- **ইমেজিং:** শরীরের নির্দিষ্ট টিস্যু বা অঙ্গগুলোর উচ্চ রেজ্যুলেশন ইমেজিংয়ের জন্য ন্যানোডায়মন্ডগুলোকে ইমেজিং এজেন্টের- যেমন: ফ্লুরোসেন্টরঞ্জক বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ইত্যাদির সাথে কার্যকরী করা যেতে পারে। ক্যান্সার প্রতিরোধের কৌশলগুলোর কার্যকারিতা নিরীক্ষণের পাশাপাশি ন্যানোডায়মন্ড রোগ নির্ণয় এবং নিরাময়ের জন্য মূল্যবান তথ্য সরবরাহ করতে পারে (Perevedentseva et al., 2013)।

- **জৈব উপকরণ:** ন্যানোডায়মন্ডগুলোর বায়োকমপ্যাটিবিলিটি, বায়োডিগ্রেডেবিলিটি এবং কোষের বৃদ্ধিকে উন্নীত করার বৈশিষ্ট্যের কারণে তাদের সম্ভাব্য ব্যবহারের জন্য জৈব উপাদান হিসেবে ন্যানোডায়মন্ডগুলোকে ব্যবহার করা হয়েছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, টিস্যু ইঞ্জিনিয়ারিং এবং পুনরুৎপাদনের জন্য ন্যানোডায়মন্ডগুলোকে স্ক্যাফোল্ডের সাথে যুক্ত করা হয়। ক্যান্সার প্রতিরোধের প্রেক্ষাপটে, ন্যানোডায়মন্ডগুলোকে সুস্থ টিস্যুর বৃদ্ধি এবং মেরামতে উৎসাহিত করতে এবং ক্যান্সার বিকাশের ঝুঁকি হ্রাস করতে ব্যবহার করা যেতে পারে (Zhu et al., 2012)।

- **ন্যানোডায়মন্ডের এন্টিঅক্সিডেন্ট ধর্ম:** ন্যানোডায়মন্ডগুলোতে রয়েছে এন্টিঅক্সিডেন্ট বৈশিষ্ট্য, যা অক্সিডেটিভ স্ট্রেস এবং কোষের ক্ষতি হ্রাস করে। অক্সিডেটিভ স্ট্রেস ক্যান্সার বিকাশের জন্য একটি পরিচিত ঝুঁকির কারণ। তাই ন্যানোডায়মন্ডের অক্সিডেটিভ স্ট্রেস হ্রাস করার মাধ্যমে ক্যান্সারের বিকাশ প্রাথমিক পর্যায়েই প্রতিরোধ করা সম্ভব । এর ফলে ন্যানোডায়মন্ড হয়ে ওঠেছে ক্যান্সার প্রতিরোধের একটি সম্ভাব্য হাতিয়ার (Pfaff et al., 2018)।

- **ইমিউন সিস্টেম বুস্ট:** ক্যান্সার কোষের সাথে লড়াই করা শরীরের প্রাকৃতিক ক্ষমতা বাড়িয়ে ন্যানোডায়মন্ড ইমিউন সিস্টেমকে উদ্দীপিত করতে সক্ষম। ক্যান্সার প্রতিরোধ প্রেক্ষাপটে এটি অভাবনীয় পরিবর্তন আনবে। কারণ শক্তিশালী ইমিউন সিস্টেম ক্যান্সার কোষগুলোকে হুমকিস্বরূপ হয়ে ওঠার আগেই শনাক্ত এবং ধ্বংস করতে সক্ষম হবে (Bilyy et al., 2021)।

ন্যানোপার্টিকেল- পরিবেশ সংক্রান্ত নানা সমস্যার যুদ্ধক্ষেত্রে এক নতুন সৈনিক

ন্যানোপার্টিকেলগুলোর ক্ষুদ্র আকার এবং তাদের বৃহৎ পৃষ্ঠতল, উচ্চ প্রতিক্রিয়াশীলতা এবং উচ্চ স্থিতিশীলতা ইত্যাদি অনন্য বৈশিষ্ট্যের কারণে পরিবেশগত বিভিন্ন প্রয়োগের ক্ষেত্রে ন্যানোপার্টিকেলগুলো আদর্শ হয়ে ওঠেছে। পরিবেশগত সুরক্ষা এবং সংরক্ষণে ন্যানোবায়োটেকনোলজির ব্যবহার নানা সমস্যা যেমন: পানিদূষণ, বায়ুদূষণ, শক্তি উৎপাদন, বর্জ্য ব্যবস্থাপনা এবং কার্বন ক্যাপচার ইত্যাদি বিষয়ে রাখতে পারে অনবদ্য ভূমিকা।

1. **পানি পরিশোধন:** ন্যানোবায়োটেকনোলজির অন্যতম পরিবেশগত সুবিধাগুলোর একটি হচ্ছে পানি বিশুদ্ধকরণ সক্ষমতা। ন্যানোপার্টিকেল পানি থেকে দূষক অপসারণ করার মাধ্যমে পানিকে ব্যবহার উপযোগী এবং সেচের জন্য নিরাপদ করে তোলে। উদাহরণস্বরূপ, পানি থেকে ভারি ধাতু অপসারণ করতে ব্যবহার করা যেতে পারে আয়রন অক্সাইডের ন্যানো পার্টিকেল। অন্যদিকে কার্বন ভিত্তিক

ন্যানোপার্টিকেল ব্যবহার করে পানি থেকে জৈব দূষক অপসারণ করা যেতে পারে। এছাড়াও ন্যানো-প্রযুক্তি ভিত্তিক পানি পরিশোধন ব্যবস্থাকে এমন উপায়ে ডিজাইন করা যেতে পারে যেন তারা অত্যন্ত দক্ষতার সঙ্গে এবং সাশ্রয়ী মূল্যে কাজ করতে সক্ষম হয়। এতে করে পানি বিশুদ্ধকরণে প্রথাগতভাবে যে শক্তি এবং অর্থের প্রয়োজন হয় তা হ্রাস পাবে (Kunduru et al., 2017)।

2. **বায়ু পরিশোধন:** বায়ুর গুণগত মান বৃদ্ধি করতেও ন্যানোবায়োটেকনোলজি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ন্যানোটেকনোলজি ভিত্তিক বায়ু ছাঁকনিগুলো ভারি ধাতু এবং উদ্বায়ী জৈব যৌগের মতো ক্ষতিকারক কণা আটকাতে পারে, যা বায়ুকে পরিষ্কার এবং শ্বসনযোগ্য করে তোলে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, ন্যানোপার্টিকেল ভিত্তিক ফিল্টারগুলো এয়ার পিউরিফায়ার এবং এয়ার কন্ডিশনার সিস্টেমে ব্যবহার করার মাধ্যমে বায়ু থেকে দূষক অপসারণ করা যেতে পারে। এছাড়াও ন্যানো-প্রযুক্তি যানবাহনের জন্য দক্ষ অনুঘটক তৈরিতে ব্যবহার করা যেতে পারে যা বায়ুমন্ডলে ক্ষতিকারক গ্যাসের নির্গমন কমাতে পারবে (Kaushik and Dhau, 2022)।

3. **নবায়নযোগ্য শক্তি:** সোলার প্যানেলের মতো নবায়নযোগ্য শক্তির উৎসগুলোর দক্ষতা বৃদ্ধি এবং অর্থনৈতিকভাবে একে আরো কার্যকর করার ক্ষেত্রে ন্যানোবায়োটেকনোলজির রয়েছে অপার সম্ভাবনা। দৃষ্টান্তস্বরূপ, ন্যানোপার্টিকেল ফটোভোলাটাইক কোষগুলোর শক্তি রূপান্তর দক্ষতা বৃদ্ধির মাধ্যমে তাদের সার্বিক কার্যক্ষমতা বাড়াতে সক্ষম। ন্যানোপার্টিকেলগুলো নবায়নযোগ্য শক্তি সঞ্চয়ে ব্যবহৃত সিস্টেমের জন্য আরো দক্ষ ব্যাটারি তৈরি করতে পারে যা শক্তি সঞ্চয়ে সিস্টেমের খরচ এবং এর দ্বারা পরিবেশে যে নেতিবাচক প্রভাব পড়ে, তা হ্রাস করবে (Hussein, 2016)।

4. **কার্বন ক্যাপচার এবং সংরক্ষণ:** গ্রীনহাউজ গ্যাস নির্গমন এবং পরিবেশে এর প্রভাব হ্রাস করা বর্তমান বিশ্বের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ চ্যালেঞ্জগুলোর একটি। ন্যানোবায়োটেকনোলজি বিভিন্ন শিল্পকারখানা বা যানবাহন হতে নির্গত কার্বন ডাই অক্সাইড ক্যাপচার করে এবং নিরাপদে সংরক্ষণ করে। ফলে সার্বিকভাবে কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গমনের পরিমাণ হ্রাস পায়। উদাহরণস্বরূপ, ন্যানোপার্টিকেল ভিত্তিক সিস্টেম পাওয়ার প্ল্যান্ট থেকে নির্গত *[ফ্লু]* গ্যাস থেকে কার্বন ডাই অক্সাইড ক্যাপচার করে এবং পরবর্তীতে এটি ভূগর্ভস্থ জলাধারে সংরক্ষণ করতে ব্যবহার করা যেতে পারে। উপরন্তু, গ্রীনহাউজ গ্যাস নির্গমন কমানোর জন্য গৃহীত পদক্ষেপের সামগ্রিক খরচ কমিয়ে আরো দক্ষ এবং সাশ্রয়ী কার্বন ক্যাপচার সিস্টেম তৈরি করতে ন্যানো প্রযুক্তি ব্যবহার করা যেতে পারে (Ashley et al., 2012)।

5. **বর্জ্য ব্যবস্থাপনা:** ন্যানোবায়োটেকনোলজি বর্জ্য ব্যবস্থাপনা পদ্ধতির উন্নয়নেও গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করতে পারে। বিভিন্ন বিপজ্জনক বর্জ্যকে ছোটো এবং কম ক্ষতিকারক কণায় পরিণত করার মাধ্যমে এটিকে পুনর্ব্যবহার করা যেতে পারে। এর একটি দৃষ্টান্ত হচ্ছে ইলেকট্রিক বর্জ্য (ই-বর্জ্য)। এছাড়াও ন্যানোপ্রযুক্তি বায়োডিগ্রেডেবল এবং কম্পোস্টেবল উপকরণ তৈরি করতে ব্যবহার করা

যেতে পারে, যা বর্জ্য ব্যবস্থাপনা অনুশীলনের ফলে পরিবেশে যে নেতিবাচক প্রভাব পড়ে তা হ্রাস করে (Ibrahim et al., 2016)।

ন্যানো-বিপ্লবের বিপত্তি

ন্যানোবায়োটেকনোলজির ব্যবহার ওষুধ, শক্তি এবং পরিবেশের সুরক্ষাসহ বিভিন্ন ক্ষেত্রে আনতে পারে নানা সুবিধা। তা সত্ত্বেও অন্যান্য যেকোন প্রযুক্তির মতো, ন্যানোবায়োটেকনোলজির ব্যবহারও বিভিন্ন ঝুঁকির উদ্ভব ঘটাতে পারে; যেগুলো সতর্কতার সাথে বিবেচনা করা প্রয়োজন। ন্যানোপার্টিকেলগুলোর ক্ষুদ্র আকার, উচ্চ প্রতিক্রিয়াশীলতা এবং জীবন্ত কোষ ও টিস্যুতে প্রবেশ করার মতো ক্ষমতাগুলো অনিয়ন্ত্রিতভাবে ব্যবহার করলে ঘটতে পারে অনাকাঙ্ক্ষিত ঘটনা। তাই ন্যানোপার্টিকেলগুলো অত্যন্ত যত্ন এবং সতর্কতার সাথে ব্যবহার করা জরুরি। ন্যানোবায়োটেকনোলজি ব্যবহারের সাথে যুক্ত প্রধান কিছু ঝুঁকি নিম্নরূপ:

1. **বিষাক্ততা:** ন্যানোটেকনোলজি ব্যবহারের ক্ষেত্রে অনেকগুলো উদ্বেগের একটি হলো ন্যানোপার্টিকেলগুলোর সম্ভাব্য বিষাক্ততা। ক্ষুদ্রাকৃতির হওয়ার কারণে ন্যানোপার্টিকেলগুলো খুব সহজেই জীবন্ত কোষ এবং টিস্যুতে প্রবেশ করতে পারে এবং শরীরের ক্ষতি করতে পারে। যেমন: ন্যানোপার্টিকেলগুলো ডিএনএ এর ক্ষতি করতে পারে, প্রদাহ সৃষ্টি করতে পারে এবং কোষ ও টিস্যুগুলোর স্বাভাবিক কার্যকারিতা ব্যাহত করতে পারে। নিরাপদ ও সঠিকভাবে ব্যবহারের জন্যে ন্যানোপার্টিকেলগুলোর বিষাক্ততার সঠিক মাত্রা নির্ধারণে আরো গবেষণা প্রয়োজন (Handy and Shaw, 2007)।

2. **পরিবেশগত প্রভাব:** ব্যবহারের পর পরিবেশে ন্যানো কণা মুক্ত অবস্থায় ছড়িয়ে পড়ে, যা পানি, মাটি এবং বাতাসের দূষণ ঘটাতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, ন্যানোপার্টিকেলগুলো খাদ্য শৃঙ্খলে জমা হয়ে বন্যপ্রাণী ও মানুষের শরীরে জমা হতে হতে মাত্রাতিরিক্ত পর্যায়ে পৌঁছিয়ে যেতে পারে। যার ফলে সৃষ্টি হতে পারে নানারকম অকল্পনীয় সমস্যা এবং ব্যাধি। এছাড়াও পরিবেশের ওপর ন্যানো পার্টিকেলগুলোর প্রভাব এখনো স্পষ্ট নয়। তাই তাদের ব্যবহারের সাথে সম্পর্কিত সম্ভাব্য ঝুঁকিগুলো মূল্যায়ন করার জন্য আরো গবেষণা প্রয়োজন (Hannah and Thompson, 2008)।

3. **স্বাস্থ্যে প্রভাব:** চিকিৎসাক্ষেত্রে ন্যানোপার্টিকেলগুলোর ব্যবহার শরীর এবং স্বাস্থ্যে দীর্ঘমেয়াদী প্রভাব ফেলতে পারে। যেমন: ন্যানোপার্টিকেল নিঃশ্বাসের সঙ্গে ফুসফুসে প্রবেশ করলে শ্বাসকষ্ট হতে পারে। আবার খাদ্যের সঙ্গে গ্রহণ করলে হজমের সমস্যা দেখা দিতে পারে। উপরন্তু, ন্যানোপার্টিকেলগুলোর ত্বকে এবং অভ্যন্তরীণ অঙ্গে খুব সহজেই প্রবেশ করার সম্ভাবনা একটি উদ্বেগের বিষয়। তাই চিকিৎসা ক্ষেত্রে তাদের ব্যবহারের সাথে সম্পর্কিত সম্ভাব্য ঝুঁকিগুলো মূল্যায়ন করে গবেষণা প্রয়োজন (Zhang et al., 2018)।

4. **নিয়মের সাথে নিয়ন্ত্রিত ব্যবহার:** ন্যানোবায়োটেকনোলজি একটি দ্রুত বিকশিত ক্ষেত্র এবং এর ব্যবহারের জন্য সুনির্দিষ্ট নীতি এবং বিধানগুলোর যথার্থ প্রকাশ হয়নি। এই বিধানের অভাবে যথাযথ

নিয়ন্ত্রণ এবং তদারকি ব্যতীত ন্যানোপার্টিকেল ব্যবহৃত হয় এবং পরিবেশে মুক্ত হয়; যা পরিবেশ ও জনস্বাস্থ্যের ক্ষতির ঝুঁকি বহুগুণে বৃদ্ধি করে। স্পষ্ট প্রবিধানের অভাব ন্যানোবায়োটেকনোলজির ব্যবহারকে করবে সীমিত এবং এর নতুন পণ্য ও প্রয়োগগুলোর বিকাশ এবং বাণিজ্যিকীকরণকে বাধাগ্রস্ত করবে (Boucher, 2018)।

5. **সামাজিক এবং নৈতিক প্রভাব:** সামাজিক এবং নৈতিক ক্ষেত্রেও ন্যানোটেকনোলজির অবাধ ব্যবহার প্রশ্নবিদ্ধ হয়ে ওঠেছে। যেমন: নতুন প্রযুক্তিতে অসম এক্সেসের সম্ভাবনা, কর্মসংস্থানের ওপর এর প্রভাব এবং ক্ষতি করার উদ্দেশ্যে ন্যানোপ্রযুক্তির অপব্যবহার। উদাহরণস্বরূপ, গোপনীয়তা এবং নিরাপত্তা লঙ্ঘনের উদ্দেশ্যে নতুন অস্ত্র তৈরি করতে ন্যানো প্রযুক্তি ব্যবহার করা হতে পারে (Boucher, 2018)।

উপসংহার

যুগের পরিবর্তন আসছে এখন ন্যানো রূপে। জীবনের বিভিন্ন ক্ষেত্রে এবং উন্নতিতে ন্যানো পারটিকেল এখন প্রধান উপায় হয়ে দাঁড়াচ্ছে। ন্যানোবায়োটেকনোলজির সম্ভাব্য অসংখ্য সুবিধা থাকা সত্ত্বেও এর নিরাপদ ও নিয়ন্ত্রিত ব্যবহার সুনিশ্চিত করা প্রয়োজন, যাতে করে পরিবেশ বা জনস্বাস্থ্য ক্ষতিগ্রস্ত না হয়। পরিশেষে বলা যায়, ন্যানোবায়োটেকনোলজি বিষয়ে আরো গভীর অধ্যয়ন ও গবেষণার প্রয়োজন রয়েছে। পাশাপাশি এর যথাযথ ব্যবহার সম্পর্কিত নিয়ম-কানুন বিকাশেরও প্রয়োজন আছে; যা উপর্যুক্ত ঝুঁকিগুলোকে হ্রাস করবে। এভাবে এই টেকনোলজির সম্ভাব্য সর্বোচ্চ সুবিধাগুলো প্রয়োগ করার মাধ্যমে মানবজাতির সামগ্রিক উন্নতি সাধন সম্ভব হবে।

তথ্যসূত্র

Anwaier, G., Chen, C., Cao, Y., & Qi, R. 2017, A review of Molecular Imaging of atherosclerosis and the potential application of Dendrimer in imaging of plaque. International Journal of Nanomedicine, 12: 7681-7693.

Ashley, M., Magiera, C., Ramidi, P., Blackburn, G., Scott, T. G., Gupta, R., Wilson, K., Ghosh, A., & Biswas, A. (2012). Nanomaterials and processes for carbon capture and conversion into useful by-products for a sustainable energy future. Greenhouse Gases: Sci. Tech., 2 (6): 419-444.

Bilyy, R., Pagneux, Q., François, N., Bila, G., Grytsko, R., Lebedin, Y., Barras, A., Dubuisson, J., Belouzard, S., Séron, K., Boukherroub, R., Szunerits, S. 2021, Rapid Generation of Coronaviral Immunity Using Recombinant Peptide Modified Nanodiamonds. Pathogens, 10 (7): 861.

Boucher, P. M. 2018, Nanotechnology: legal aspects, CRC Press.

Carvalho, M. R., Reis, R. L., Oliveira, J. M. 2020, Dendrimer nanoparticles for colorectal cancer applications. J. Mat. Chem. B, 8 (6): 1128-1138.

Chopra, S., Venkatesan, N., & Betageri, G. V. 2013, Liposomes as nanocarriers for anti-HIV therapy. Drug Del. Trans. Res., 3 (5): 471-478.

Chowdhury, S., Toth, I., Stephenson, R. J. 2022, Dendrimers in vaccine delivery: Recent progress and advances. Biomaterials, 280: 121303.

Daraee, H., Eatemadi, A., Abbasi, E., Fekri Aval, S., Kouhi, M., Akbarzadeh, A. 2014, Application of gold nanoparticles in biomedical and drug delivery. Artificial Cells Nanomed. Biotech., 44 (1): 410-422.

Ding, Y., Yang, R., Yu, W., Hu, C., Zhang, Z., Liu, D., An, Y., Wang, X., He, C., Liu, P., Tang, Q., Chen, D. 2021, Chitosan oligosaccharide decorated liposomes combined with TH302 for photodynamic therapy in triple negative breast cancer. J. Nanobiotechnol., 19: 147.

Endo, M., Hayashi, T., Kim, Y.A. 2006, Large-scale production of carbon nanotubes and their applications. Pure and Applied Chemistry, 78 (9): 1703-1713.

Handy, R. D., Shaw, B. J. 2007, Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: Implications for public health, risk assessment and the public perception of nanotechnology. Health Risk Soc., 9 (2): 125-144.

Hannah, W., Thompson, P. B. 2008, Nanotechnology, risk and the environment: a review. Journal of Environmental Monitoring, 10 (3): 291.

Haun, J. B., Yoon, T.-J., Lee, H., Weissleder, R. 2010, Magnetic nanoparticle biosensors. Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology, 2 (3): 291-304.

Heister, E., Brunner, E. W., Dieckmann, G. R., Jurewicz, I., Dalton, A. B. 2013, Are Carbon Nanotubes a Natural Solution? Applications in Biology and Medicine. ACS Appl. Mater. Interfaces, 5 (6): 1944-8244, https://doi.org/10.1021/am302902d

Hussein, A. K. 2016, Applications of nanotechnology to improve the performance of solar collectors – Recent advances and overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62: 767-792.

Ibrahim, R. K., Hayyan, M., AlSaadi, M. A., Hayyan, A., Ibrahim, S. 2016, Environmental application of nanotechnology: air, soil, and water. Environmental Science and Pollution Research, 23(14): 13754-13788.

Kaushik, A. K., & Dhau, J. S. 2022, Photoelectrochemical oxidation assisted air purifiers; perspective as potential tools to control indoor SARS-CoV-2 Exposure. Appl. Surface Sci. Advan., 9: 100236.

Klostergaard, J., Seeney, C. E. 2012, Magnetic nanovectors for drug delivery. Nanomedicine: Nanotechnology. Biol. Med., 8: S37-S50.

Kunduru, K. R., Nazarkovsky, M., Farah, S., Pawar, R. P., Basu, A., Domb, A. J. 2017, Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment. Water Purification, 33-74.

Kushwaha, S. K., Ghoshal, S., Rai, A. K., Singh, S. 2013, Carbon nanotubes as a novel drug delivery system for anticancer therapy: A Review. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 49(4): 629-643.

Li, L., He, D., Guo, Q., Zhang, Z., Ru, D., Wang, L., Gong, K., Liu, F., Duan, Y., Li, H. 2022, Exosome-liposome hybrid nanoparticle codelivery of TP and mir497 conspicuously overcomes chemoresistant ovarian cancer. Journal of Nanobiotechnology, 20 (1): 50.

Li, Q., Mahendra, S., Lyon, D. Y., Brunet, L., Liga, M. V., Li, D., Alvarez, P. J. J. 2008, Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. Water Res., 42 (18): 4591-4602.

Liu, Z., Tabakman, S., Welsher, K., Dai, H. 2009, Carbon Nanotubes in Biology and Medicine: In vitro and in vivo Detection, Imaging and Drug Delivery. Nano Res., 2 (2): 85-120.

Luo, P. G., Sahu, S., Yang, S.-T., Sonkar, S. K., Wang, J., Wang, H., LeCroy, G. E., Cao, L., Sun, Y. P. 2013, Carbon “quantum” dots for optical bioimaging. Journal of Materials Chemistry B, 1 (16): 2116.

Manchev, L. 2019, Magnetic Resonance Imaging. In *Google Books*. BoD – Books on Demand. https://books.google.com.au/books?hl=en&lr=&id=Jpj8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=MNP+nanoparticles+for+MRI&ots=S_OGnQQaqZ&sig=fAYn5BR_Q2YpbVhvL_P8VNLR1Ks#v=onepage&q=MNP%20nanoparticles%20for%20MRI&f=false

Mandal, D., Bolander, M. E., Mukhopadhyay, D., Sarkar, G., Mukherjee, P. 2005, The use of microorganisms for the formation of metal nanoparticles and their application. Applied Microbiology and Biotechnology, 69 (5): 485-492.

Mazumder, S., Dey, R., Mitra, M. K., Mukherjee, S., Das, G. C. 2009, Review: Biofunctionalized Quantum Dots in Biology and Medicine. J. Nanomaterials, 2009: 1-17.

Mhlwatika, Z., Aderibigbe, B. 2018, Application of dendrimers for the treatment of infectious diseases. Molecules, 23 (9): 2205.

Mignani, S., Shi, X., Zablocka, M., & Majoral, J.P. 2019, Dendrimer-enabled therapeutic antisense delivery systems as innovation in medicine. Bioconjugate Chem., 30 (7): 1938-1950.

Nakhleh, M. K., Broza, Y. Y., Haick, H. 2014, Monolayer-capped gold nanoparticles for disease detection from breath. Nanomed., 9 (13): 1991-2002.

Perevedentseva, E., Lin, Y. C., Jani, M., Cheng, C. L. 2013, Biomedical applications of nanodiamonds in imaging and therapy. Nanomed., 8 (12): 2041-2060.

Petersen, A. L., Hansen, A. E., Gabizon, A., & Andresen, T. L. 2012, Liposome Imaging Agents in Personalized Medicine. Adv. Drug Del. Rev., 64 (13): 1417-1435.

Pfaff, A., Beltz, J., Ercal, N. 2018, Nanodiamonds as antioxidant carriers: applications for drug delivery. Free Rad. Biol. Med., 128: S48.

Raouf, I., Khalid, S., Khan, A., Lee, J., Kim, H. S., Kim, M.-H. 2020, A review on numerical modeling for magnetic nanoparticle hyperthermia: Progress and challenges. J. Thermal Biol., 91: 102644.

Riley, R. S., Day, E. S. 2017, Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy: applications and opportunities for multimodal cancer treatment. Wiley Interdisciplinary Reviews. Nanomed. Nanobiotechnol., 9 (4): 10.1002/wnan.1449.

Ruoslahti, E. 2012, Peptides as targeting elements and tissue penetration devices for nanoparticles. Adv. Materials, 24 (28): 3747–3756.

Sharifi, M., Attar, F., Saboury, A. A., Akhtari, K., Hooshmand, N., Hasan, A., El-Sayed, M. A., Falahati, M. 2019, Plasmonic gold nanoparticles: Optical manipulation, imaging, drug delivery and therapy. J. Controlled Release, 311-312: 170-189.

Uthappa, U.T., Arvind, O.R., Sriram, G., Losic, D., Ho-Young-Jung, Kigga, M., Kurkuri, M.D. 2020, Nanodiamonds and their surface modification strategies for drug delivery applications. J. Drug Delivery Sci. Technol., 60: 101993.

Veetil, J. V., Ye, K. 2008, Development of immunosensors using carbon nanotubes. Biotechnol. Prog., 23 (3): 517-531.

Zhang, M., Xu, C., Jiang, L., Qin, J. 2018, A 3D human lung-on-a-chip model for nanotoxicity testing. Toxicol. Res., 7 (6): 1048-1060.

Zhang, P., Lu, H., Chen, J., Han, H., Ma, W. 2014, Simple and Sensitive Detection of HBsAg by Using a Quantum Dots Nanobeads Based Dot-Blot Immunoassay. Theranostics, 4 (3): 307-315.

Zhu, Y., Li, J., Li, W., Zhang, Y., Yang, X., Chen, N., Sun, Y., Zhao, Y., Fan, C., Huang, Q. 2012, The Biocompatibility of Nanodiamonds and Their Application in Drug Delivery Systems. Theranostics, 2 (3): 302-312.