मार्च 2026 अंक

ई-विज्ञानम

e-Vigyanam

एक अंतर्विषयक मासिक विज्ञान पत्रिका

ISSN: 3139-1796 (Online)

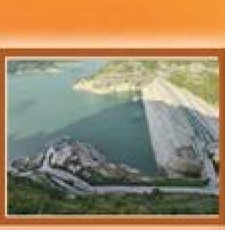
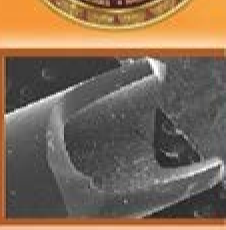
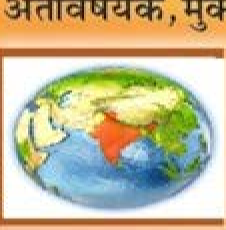
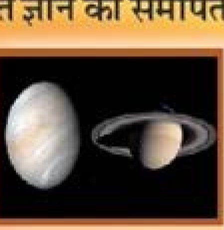
विज्ञान और प्रौद्योगिकी

मुक्ताज्ञानम् प्रकाशन

विज्ञान और नवाचार

खण्ड 3 | अंक 1

अंतर्विषयक, मुक्त ज्ञान को समर्पित

संपादक मंडल

Founder and Editor in Chief (संस्थापक एवं मुख्य संपादक)

डॉ सत्य पाल सिंह (Dr. Satya Pal Singh)

आचार्य, भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३०१० (Professor, Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273010)
संपर्क हेतु पता: ऍम आई जी -२७, गौतम विहार कॉलोनी, राव जिम के पीछे, तारामंडल, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत -२७३०१७
Address for Contact: MIG-27, Gautam Vihar Colony, Behind Rao Gym, Taramandal, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273010
Phone: +91945042250
संस्थान ईमेल (Institute Email): spspms@mmmut.ac.in
सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): satyapal.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.mmmut.ac.in/FacultyList?ab=1
ResearchGate Link-https://www.researchgate.net/profile/Satya-Singh-46

सदस्य संपादक मंडल (Members of Editorial Board)

डॉ अलोक कुमार श्रीवास्तव (Dr. Alok Kumar Srivastav)

आचार्य, रसायन शास्त्र विभाग महात्मा गाँधी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, सिविल लाइन्स, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३००१ (Professor, Department of Chemistry, Mahatama Gandhi Postgraduate College, Civil Lines, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273001)

Phone: +91993616176
संस्थान ईमेल (Institute Email): alok.chem@mgpgc.ac.in
सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): alok.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://mgpgc.ac.in/faculties-of-chemistry/

डॉ आशीष अवस्थी (Dr. Aashees Awasthi)

आचार्य, भौतिकी विभाग, लखनऊ विश्वविद्यालय, लखनऊ, उत्तर प्रदेश, भारत- २२६००७ (Professor, Department of Physics, Lucknow University, Lucknow, Uttar Pradesh, India- 226007)

Phone: +919415003753
संस्थान ईमेल (Institute Email): awasthi_asheesh@lkouniv.ac.in
सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): aashees.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://udrc.lkouniv.ac.in/department/ViewProfile?EId=247

डॉ. चंदन उपाध्याय (Dr. Chandan Upadhyay)

आचार्य, स्कूल ऑफ मैटेरियल्स साइंस एंड टेक्नोलॉजी, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, बी0एच0यू0 वाराणसी, उत्तर प्रदेश भारत - 221005
(Professor, School of Materials Science and Technology, Indian Institute of Technology BHU Varanasi, Uttar Pradesh, India-221005)

Phone: +91 08005304675
संस्थान ईमेल (Institute Email): cupadhyay.mst@iitbhu.ac.in
सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): chandan.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक- https://www.iitbhu.ac.in/dept/mst/people/cupadhyaymst

डॉ गरिमा सिंह (Dr. Garima Singh)

सहायक आचार्य, मनोविज्ञान विभाग, दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश,भारत- २७३००९ (Assistant Professor, Department of Pschycology, DDU Gorakhpur University, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273009)

Phone: +917309054463
संस्थान ईमेल (Institute Email): garima.psy@ddugu.ac.in
सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): garima.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://ddugu.ac.in/teaching-staff.php

डॉ पंकज माथुर (Dr. Pankaj Mathur)

आचार्य, गणित एवं खगोल-विज्ञान, लखनऊ विश्वविद्यालय, लखनऊ, उत्तर प्रदेश, भारत- २२६००७ (Professor, Department of Mathematics and Astronomy,Lucknow University, Lucknow, Uttar Pradesh, India- 226007)

Phone: +919415785092

संस्थान ईमेल (Institute Email): mathur_p@lkouniv.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): pankaj.evigyanam@gmail.com

प्रोफ़ाइल लिंक-https://udrc.lkouniv.ac.in/department/ViewProfile?EId=210

सम्पादकीय कार्यालय-सम्बद्ध सहयोगी (Editorial Office Associates)

अभिषेक प्रजापति

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
(Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010

Phone: +919621320507
abhishek01.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Abhishek-Prajapati-14

अभिषेक कुमार सरोज

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010

Phone: +917905767907
abhishek02.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Abhishek-Kumar-Saroj

हिमांशी यादव

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
Phone: +918303584964
himanshi.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Himanshi-Yadav-13

अवनीश मिश्र

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
Phone: +919415147673
avanish.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Avanish-Mishra-7

जाह्नवी सिंह

बी लेवल कंप्यूटर कोर्स (समतुल्य ऍम सी ए) नीलिट, गोरखपुर, उ प्र , भारत
B Level Computer Course (Equivalent MCA), NIELIT, Gorakhpur, UP, India
Phone: +917607787653
jahanvi.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक

श्वेता अग्रहरि

पी.एचडी (भौतिक विज्ञान)- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Ph.D (Physics), Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
Phone: +918423275515
shweta.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Shweta-Agrahari-3

अर्चना कुमारी सिंह

पी.एचडी (भौतिक विज्ञान)- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Ph.D (Physics), Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
पोस्टडॉक्टोरल शोध: आईआईटी भुवनेश्वर, उड़ीसा, उ०प्र०, भारत- 752050
Postdoctoral Research: IIT Bhuvneshwar, Odisha, INDIA- 752050

पोस्टडॉक्टोरल शोध: भौतिक विज्ञान विभाग ,भारतीय विज्ञान शिक्षा एवं अनुसंधान संस्थान मोहाली, पंजाब, भारत-140306
Postdoctoral Research: Department of Physics, IISER Mohali, Punjab, India-140306

Phone: +917388346916
archana.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Archana-Singh-86

मनोरमा सिंह

रिटायर्ड लेक्चर (रसायन विज्ञान), बी.आर.डी इंटर कॉलेज, देवरिया, उ०प्र०, भारत-274001
Retd. Lecturer (Chemistry), B.R.D. Inter College, Deoria , U.P., India-274001

Phone: +919451708054
manorama.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक

डॉ. श्रीकांत मणि त्रिपाठी

पीएचडी ((गणित))- सनराइज विश्वविद्यालय, अलवर, राजस्थान, उ०प्र०, भारत-301028
PhD (Mathematics)-SunRise University, Alwar, Rajasthan, India-301028
Phone: +919389341716
shrikant.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.researchgate.net/profile/Shrikant-Tripathi

डॉ रघुबीर नारायण सिंह

पीएचडी (प्राणि विज्ञान)- दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273009
PhD (Zoology)-Deen Dayal Upadhyay Gorakhpur University, Gorakhpur, U. P., India-273009
Phone: +919415856010
raghubir.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.mpm.ac.in/FacultyData/ReumeFaculty_64452326.pdf

सम्पादकीय

हमें ई-विज्ञानम के तीसरे अंक (मार्च २०२६) को प्रकाशित करने पर प्रसन्नता हो रही है। अपितु हमें थोड़ा विलम्ब के लिए खेद भी है। आपको हम यह जानकारी पहले ही दे चुके हैं, कि ई-विज्ञानम पत्रिका को **ISSN-3139-1796 (ऑनलाइन)** पंजीकरण प्राप्त हो चुका है। ई-विज्ञानम को इसके प्रकाशन के प्रथम अंक से ही अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर गुणवत्ता की मानक समझी जानी वाली **क्रॉसरेफ (Crossref)** इंडेक्सिंग प्राप्त है, और इसमें प्रकाशित सभी आलेखों को यूनिक एवं स्थाई **DOI (Digital Object Identifier)** भी प्रथम अंक से ही प्राप्त हो रहा है। इस अंक में प्रकाशित आलेखों की समीक्षा हमारे विश्वविद्यालय (मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय) के साथ- साथ दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, लखनऊ विश्वविद्यालय एवं भारतीय विज्ञान शिक्षा एवं अनुसंधान संस्थान (IISER), मोहाली एवं चौधरी चरण सिंह विश्वविद्यालय, मेरठ के विषय विशेषज्ञों, प्राध्यापकों और आचार्यों ने की और अपना महत्वपूर्ण योगदान किया। गूगल स्कॉलर के माध्यम से पता चल रहा है कि पाठकों की भी अच्छी संख्या ई-विज्ञानम में ऑनलाइन प्रकाशित आलेखों को पढ़ रही है। आशा है, ई -विज्ञानम पत्रिका आप सभी के सहयोग और आशीर्वाद से आने वाले समय में हिंदी भाषा में शोधपरक वैज्ञानिक आलेखों को प्रकाशित करने के लिए एक श्रेष्ठ माध्यम बन कर उभरेगी एवं भविष्य में नए प्रतिमान स्थापित करेगी।

आपको यह जानकर अत्यंत प्रसन्नता होगी कि **ई-विज्ञानम को वर्ष २०२६ के प्रथम अंक** से ही **Chemical Abstracts Service (CSA), USA** की इंडेक्सिंग प्राप्त हो गई है जो एक विश्वस्तरीय मानक के रूप में जाना जाता है। **Chemical Abstracts Service (CSA), USA** से सम्बद्धता के लिए जनवरी, फरवरी और मार्च के अंको को आधार बनाकर मूल्याङ्कन किया गया। हम **ISSN, Crossref, Google Scholar, Chemical Abstracts Service (CSA), USA** के प्रति आभार व्यक्त करते हैं।

सभी सम्बद्ध लेखकों, विशेषज्ञों एवं सहयोगियों के प्रति सादर आभार !

आपको यह जानकारी देना आवश्यक प्रतीत होता है कि यह **जर्नल ओपन जर्नल सिस्टम्स (OJS-PKP) 3.5.0.3** का उपयोग करता है, जो ओ**पन सोर्स जर्नल प्रबंधन और प्रकाशन सॉफ़्टवेयर है, जिसे GNU जनरल पब्लिक लाइसेंस के अंतर्गत पब्लिक नॉलेज प्रोजेक्ट** द्वारा विकसित, समर्थित और निःशुल्क वितरित किया गया है। **पब्लिक नॉलेज प्रोजेक्ट साइमन फ्रेज़र यूनिवर्सिटी, ब्रिटिश कोलंबिया, कनाडा (QS Rank # 308)** द्वारा संचालित प्रोजेक्ट है। हम **OJS-PKP** के प्रति भी आभार व्यक्त करते हैं।

क्रमांक	पृष्ठ संख्या	लेखक	आलेख शीर्षक
1.	1-14	प्रिया कुशवाहा एवं अन्य	ऊर्जा भंडारण अनुप्रयोगों के लिए सिल्वर नैनोरॉड्स का संश्लेषण
2.	15-22	कुमारी रंजना एवं अन्य	अवस्था.परिवर्तन स्मृति हेतु नैनो चैल्कोजेनाइड Se80In5Te6Sn9 की पतली फिल्म का संश्लेषण
3.	23-29	तमन्ना धनाई एवं अभिषेक प्रजापति	टिहरी बाँध परियोजना: तकनीकी उपलब्धि और सामाजिक.पर्यावरणीय प्रभाव
4.	30-45	संगीता अग्रवाल एवं मानवेन्द्र सिंह बघेल	COVID-19 के कारण लॉकडाउन से पहले और उसके दौरान परिवेशी वायु की गुण वत्ता का विश्लेषण: हापुड़ (NCR नगर), उत्तर प्रदेश . एक केस अध्ययन
5.	46-65	अवनीश मिश्रा एवं अन्य	डहलिया पत्ती अर्क से हरित-संश्लेषित ZnO नैनोकण: संरचनात्मक, प्रकाशीय, वेट्टेबिलिटी एवं तापमान-निर्भर केशिकीय द्रव परिवहन का अध्ययन
6.	66-76	श्रीकांत मणि त्रिपाठी	वैदिक गणित: शैक्षिक महत्व, उपयोगिता एवं समकालीन परिप्रेक्ष्य में एक विश्लेषणात्मक अध्ययन
7.	77-81	अवनीश मिश्रा एवं अन्य	मार्च माह 2026 की महत्वपूर्ण वैज्ञानिक घटनाएं
8.	82-87	देवेंद्र नाथ त्रिपाठी	रामन के जर्मन सम्बन्ध

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.1

ऊर्जा भंडारण अनुप्रयोगों के लिए सिल्वर नैनोरॉड्स का संश्लेषण

प्रिया कुशवाहा *, हिमांशी यादव, सत्य पाल सिंह

भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- 2024103012@mmmut.ac.in

आलेख प्राप्त: १६ मई २०२६; अंतिम संशोधन: १८ जून २०२६; स्वीकृत: १६ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ जून २०२६

सारांश

नैनोरॉड्स का ग्रीन सिंथेसिस पारंपरिक भौतिक और रासायनिक तरीकों का एक व्यवहार्य विकल्प माना जा रहा है, जो आर्थिक और पारिस्थितिक दोनों दृष्टि से लाभकारी है। इस अध्ययन में, सिल्वर नैनोरॉड्स को *Ocimum sanctum* (तुलसी) की पत्तियों का उपयोग करके तैयार किया गया। स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM) ने गोलाकार और छड़-आकार की संरचनाओं की उपस्थिति की पुष्टि की, जबकि एक्स-रे विवर्तन (XRD) ने उनके क्रिस्टलीय स्वरूप को सत्यापित किया। औसत कण आकार 15.72 nm पाया गया। जैविक रूप से संश्लेषित नैनोकणों ने मजबूत एंटीबैक्टीरियल, एंटीमाइक्रोबियल, एंटीऑक्सीडेंट और एंटी-इंफ्लेमेटरी गुण प्रदर्शित किए तथा मानव स्वास्थ्य में ड्रग डिलीवरी के लिए उपयोगी पाए गए। ये परिणाम ऊर्जा भंडारण प्रौद्योगिकियों में ग्रीन-सिंथेसाइज़्ड सिल्वर नैनोकणों के उपयोग की संभावनाओं को उजागर करते हैं।

सूचक शब्द- नैनोरॉड्स, स्पेक्ट्रोस्कोपी, एक्स-रे विवर्तन, इलेक्ट्रोकेमिकल सेंसिंग, बायोइमेजिंग

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.1

Synthesis of Silver Nanorods for Energy Storage Applications

Riya Kushwaha*, Himanshi Yadav, Satya Pal Singh
Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding author Email*: 2024103012@mmmut.ac.in

Received on: 19 May 2026; Final Revision: 18 Jun 2026; Accepted: 19 Jun 2026
Published Online First on: 29 Jun 2026

ABSTRACT

Green synthesis of nanorods is emerging as a viable alternative to conventional physical and chemical methods due to its economic and ecological advantages. In this study, silver nanorods were synthesized using the leaves of Ocimum sanctum. Scanning Electron Microscopy (SEM) confirmed the presence of spherical and rod-shaped structures, while X-ray Diffraction (XRD) verified their crystalline nature. The average particle size was found to be 15.72 nm. The biologically synthesized nanoparticles exhibited strong antibacterial, antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties and were found to be useful for drug delivery in human health applications. These findings highlight the potential use of green-synthesized silver nanoparticles in energy storage technologies.

Keywords- Nanorods, Spectroscopy, X-ray Diffraction, Electrochemical Sensing, Bioimaging

1. परिचय

धातु-आधारित नैनोरॉड्स ने औद्योगिक और बायोमेडिकल अनुप्रयोगों के लिए महत्वपूर्ण रुचि आकर्षित की है।[1] इनमें, प्लेटिनम, पैलेडियम, सोना और चाँदी जैसे कीमती धातुओं का व्यापक रूप से अध्ययन किया गया है क्योंकि इनमें विशिष्ट उत्प्रेरक, इलेक्ट्रॉनिक, ऑप्टिकल और विद्युत गुण होते हैं।[2] बड़े सतह-से-आयतन अनुपात और वैलेंस तथा कंडक्शन बैंड के बीच व्यापक अंतराल के कारण, नैनोरॉड्स अक्सर परमाणु-जैसी विशेषताएँ प्रदर्शित करते हैं।[3] विशेष रूप से सिल्वर नैनोरॉड्स मौलिक अनुसंधान और औद्योगिक अनुप्रयोगों दोनों के लिए केंद्र बिंदु बन गए हैं।[4,5]

हाल के वर्षों में पर्यावरण-अनुकूल "ग्रीन" सिंथेसिस विधियाँ ध्यान आकर्षित कर रही हैं, जिनमें सूक्ष्मजीवों, एंजाइमों और पौधों के अर्क का उपयोग किया जाता है।[6] ये विधियाँ अधिक किफायती होती हैं और स्थिरता बढ़ाती हैं[1]। कई औषधीय पौधों जैसे *Acorus calamus*, *Alternanthera dentata*, *Azadirachta indica*, *Vitex negundo* आदि का उपयोग पहले ही बायोजेनिक सिल्वर नैनोरॉड्स बनाने और स्थिर करने के लिए किया जा चुका है[1]। *Ocimum sanctum* (तुलसी) पर आधारित अनुसंधान सीमित है[7]। तुलसी एक पवित्र और सुगंधित औषधीय पौधा है, जिसका पारंपरिक चिकित्सा में श्वसन रोग, बुखार, त्वचा रोग और संक्रमणों के उपचार में उपयोग होता रहा है।[8] इसकी पत्तियों से प्राप्त आवश्यक तेल में एंटीमाइक्रोबियल, एंटीऑक्सीडेंट और एंटी-इंफ्लेमेटरी गुण पाए जाते हैं, जिनमें यूजेनॉल प्रमुख जैव सक्रिय घटक है।[1]

ऊर्जा भंडारण तकनीकों में भी ग्रीन-सिंथेसाइज़्ड सिल्वर नैनोरॉड्स ने संभावनाएँ दिखाई हैं।[9] उच्च विद्युत चालकता[10], उत्प्रेरक गतिविधि और स्थिरता के कारण ये सुपरकैपेसिटर, लिथियम-आयन बैटरी और फ्यूल सेल में उपयोगी हैं।[11]

चित्र 1: तुलसी (Ocimum sanctum) के अर्क और सिल्वर नाइट्रेट ($AgNO_3$) से सिल्वर नैनोरॉड्स की हरित संश्लेषण योजना

स्रोत: https://share.google/brrmjuBtBQe0RxO3g

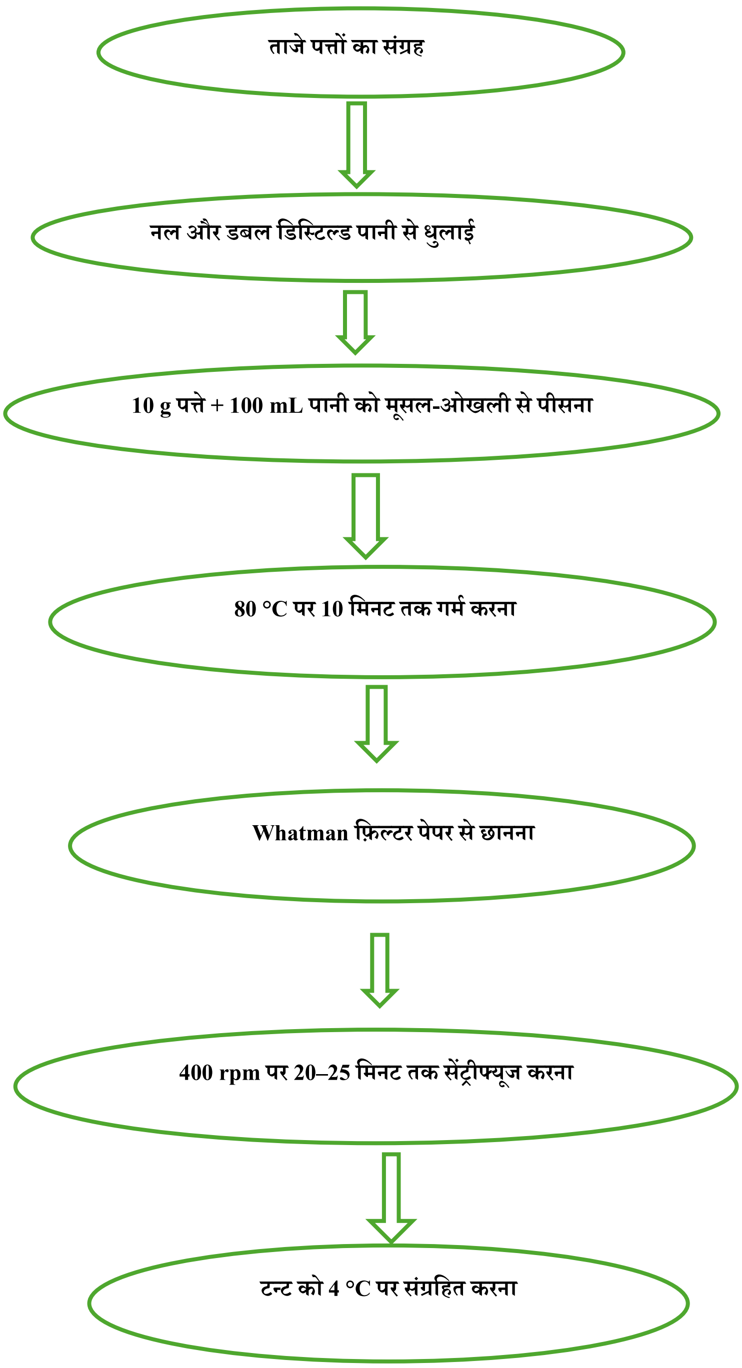
2. प्रयोगात्मक अनुभाग

पौधों का संग्रह और पहचान

Ocimum sanctum Linn. एक सुगंधित, अत्यधिक शाखित सीधा बढ़ने वाला पौधा है, जिसकी तने चौकोर, गाँठें रोएँदार और पत्तियाँ भालाकार से अंडाकार-भालाकार होती हैं। यह सामान्यतः खुले स्थानों और खेती वाले क्षेत्रों में पाया जाता है। वर्तमान अध्ययन के लिए ताजे पौधे दिसंबर (2025) माह में मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय (MMMUT), गोरखपुर, उत्तर प्रदेश के परिसर से एकत्र किए गए। नमूनों को प्रयोगशाला में एयरटाइट पॉलीथीन बैग में लाया गया।

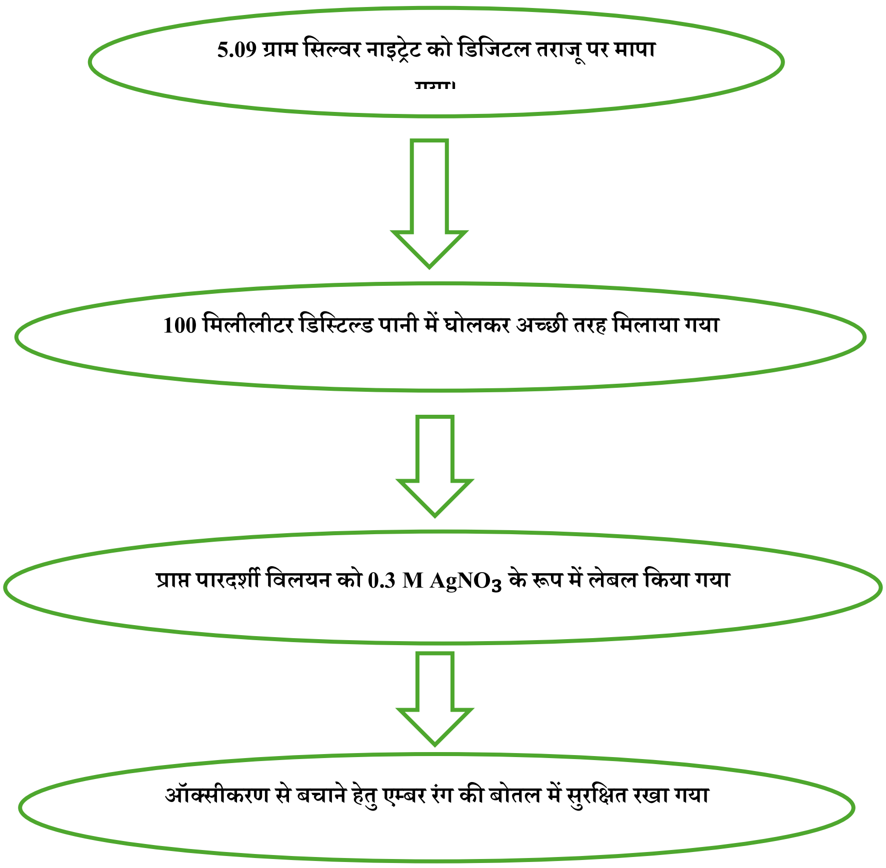
2.1. पत्तियों का अर्क तैयार करना

- ताजे पत्तों का संग्रह
- नल और डबल डिस्टिल्ड पानी से धुलाई
- 10 g पत्ते + 100 mL पानी को मूसल-ओखली से पीसना
- 80 °C पर 10 मिनट तक गर्म करना
- Whatman फ़िल्टर पेपर से छानना
- 400 rpm पर 20–25 मिनट तक सेंट्रीफ्यूज करना
- सुपरनेटन्ट को 4 °C पर संग्रहित करना



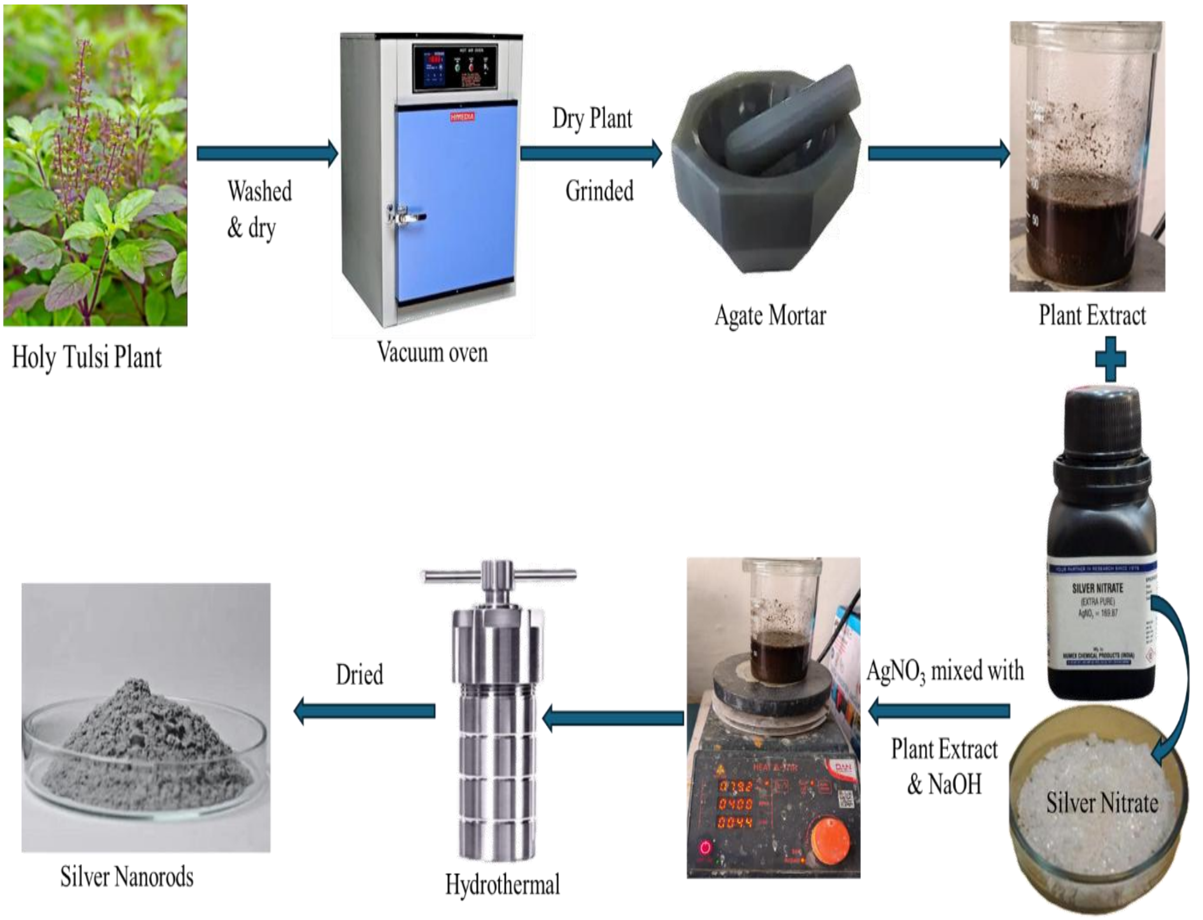
2.2. सिल्वर नाइट्रेट ($AgNO_3$) विलयन की तैयारी

- **$AgNO_3$ का तोलना** — 5.09 ग्राम सिल्वर नाइट्रेट को डिजिटल तराजू पर मापा गया।
- **पानी में घोलना** — 100 मिलीलीटर डिस्टिल्ड पानी में घोलकर अच्छी तरह मिलाया गया।
- **विलयन तैयार** — प्राप्त पारदर्शी विलयन को 0.3 M $AgNO_3$ के रूप में लेबल किया गया।
- **संग्रहण (एम्बर बोतल में)** — ऑक्सीकरण से बचाने हेतु एम्बर रंग की बोतल में सुरक्षित रखा गया।



2.3. सिल्वर नैनोरॉड्स का ग्रीन सिंथेसिस

सिल्वर नैनोरॉड्स (AgNRs) का संश्लेषण एक संशोधित एक-चरणीय विधि द्वारा किया गया। 0.3 M सिल्वर नाइट्रेट विलयन में 20 मिलीलीटर तुलसी पत्तियों का अर्क मिलाया गया। मिश्रण को 400 rpm पर 30 मिनट तक हिलाया गया और pH को NaOH से समायोजित किया गया। इसके बाद विलयन को हाइड्रोथर्मल ऑटोक्लेव में डालकर 180 °C पर 8 घंटे तक रखा गया।

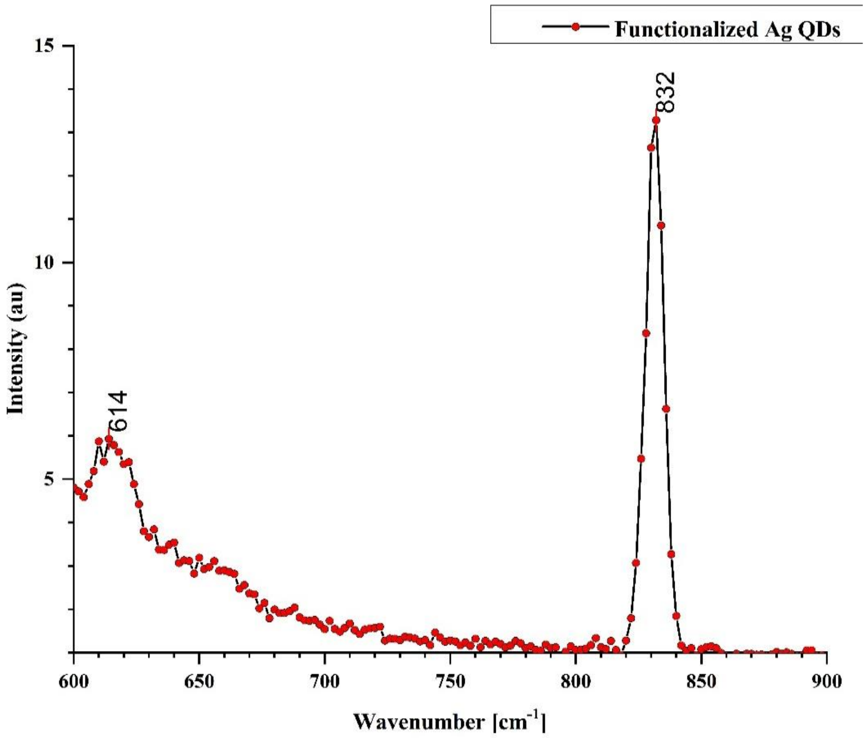


चित्र 2: सिल्वर नैनोरॉड्स संश्लेषण की योजना

3. परिणाम और चर्चा

3.1. FTIR स्पेक्ट्रोस्कोपी

FTIR स्पेक्ट्रोस्कोपी एक परिपक्व लेकिन निरंतर विकसित होती विश्लेषणात्मक तकनीक है, जो तेज़, उच्च थ्रूपुट और गैर-विनाशकारी विश्लेषण जैसी कई सुविधाएँ प्रदान करती है[12]। यह विभिन्न प्रकार के नमूनों की जाँच करने में सक्षम है और औद्योगिक तथा शोध दोनों क्षेत्रों में व्यापक रूप से प्रयुक्त होती है[13]। ग्रीन सिंथेसिस से बने सिल्वर नैनोकणों (AgNRs) के अध्ययन में FTIR का उपयोग संरचनात्मक विशेषताओं की पहचान के लिए किया गया। हाल के अध्ययनों में 3590 cm^{-1} (O–H स्ट्रेचिंग), 3070 cm^{-1} (C–H स्ट्रेचिंग), 1670 cm^{-1} (C═O स्ट्रेचिंग), और 1525 cm^{-1} (N–H बेंडिंग, अमाइड I) पर मजबूत अवशोषण बैंड दर्ज किए गए। प्रोटीन आधारित कैपिंग एजेंट्स की उपस्थिति ने कणों के एकत्रीकरण को रोका। इसके अतिरिक्त, AgNRs के स्ट्रेचिंग वाइब्रेशन ने 816 और 630 cm^{-1} पर अवशोषण शिखर उत्पन्न किए।



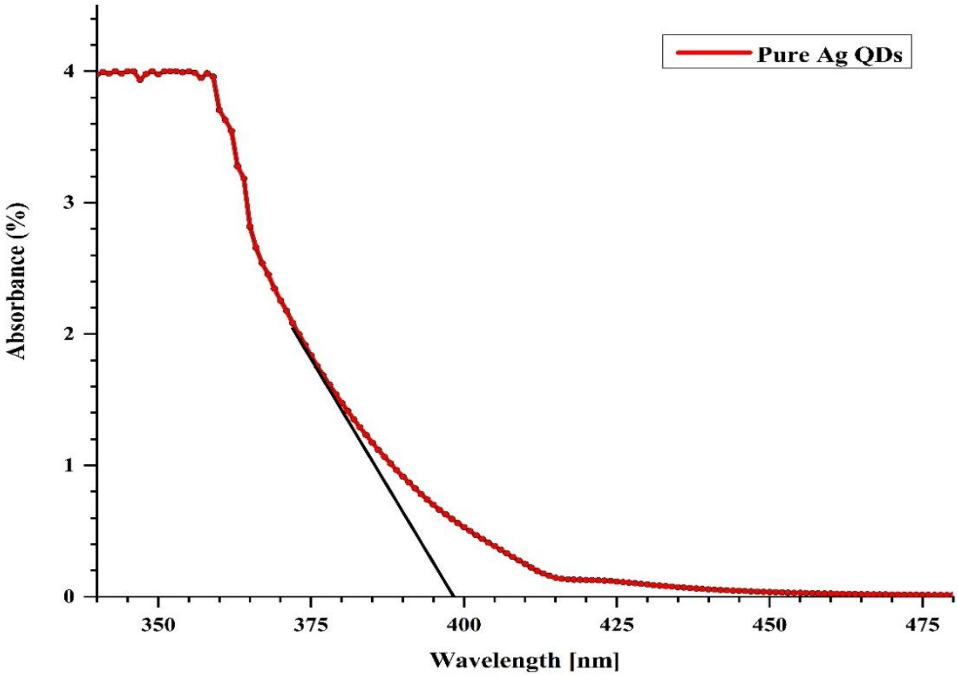
चित्र 3: एफटीआईआर ग्राफ़ [17]

3.2. UV-दृश्य स्पेक्ट्रोस्कोपी

UV–दृश्य स्पेक्ट्रोस्कोपी संश्लेषित नैनोमटेरियल्स की प्राथमिक विशेषताओं की जाँच के लिए अत्यंत उपयोगी है।[14] यह समय-कुशल, सरल और विभिन्न प्रकार के नैनोरॉड्स के लिए विशिष्ट है[15]। AgNRs की ऑप्टिकल विशेषताएँ उन्हें विशिष्ट प्रकाश आवृत्तियों के प्रति संवेदनशील बनाती हैं[8]।
Nazima et al. के अध्ययन में AgNRs का औसत शिखर 430 nm पर पाया गया।[16] इसी प्रकार Alomar के अध्ययन में भी तुलसी पत्तियों से ग्रीन सिंथेसिस द्वारा तैयार AgNRs में 430 nm पर तीव्र शिखर दर्ज किया गया।

X-अक्ष (Wavelength [nm]): 350–475 nm की सीमा में प्रकाश की तरंगदैर्ध्य दिखाई गई है।

Y-अक्ष (Absorbance %): यह बताता है कि नमूना कितनी प्रतिशत रोशनी को अवशोषित कर रहा है।



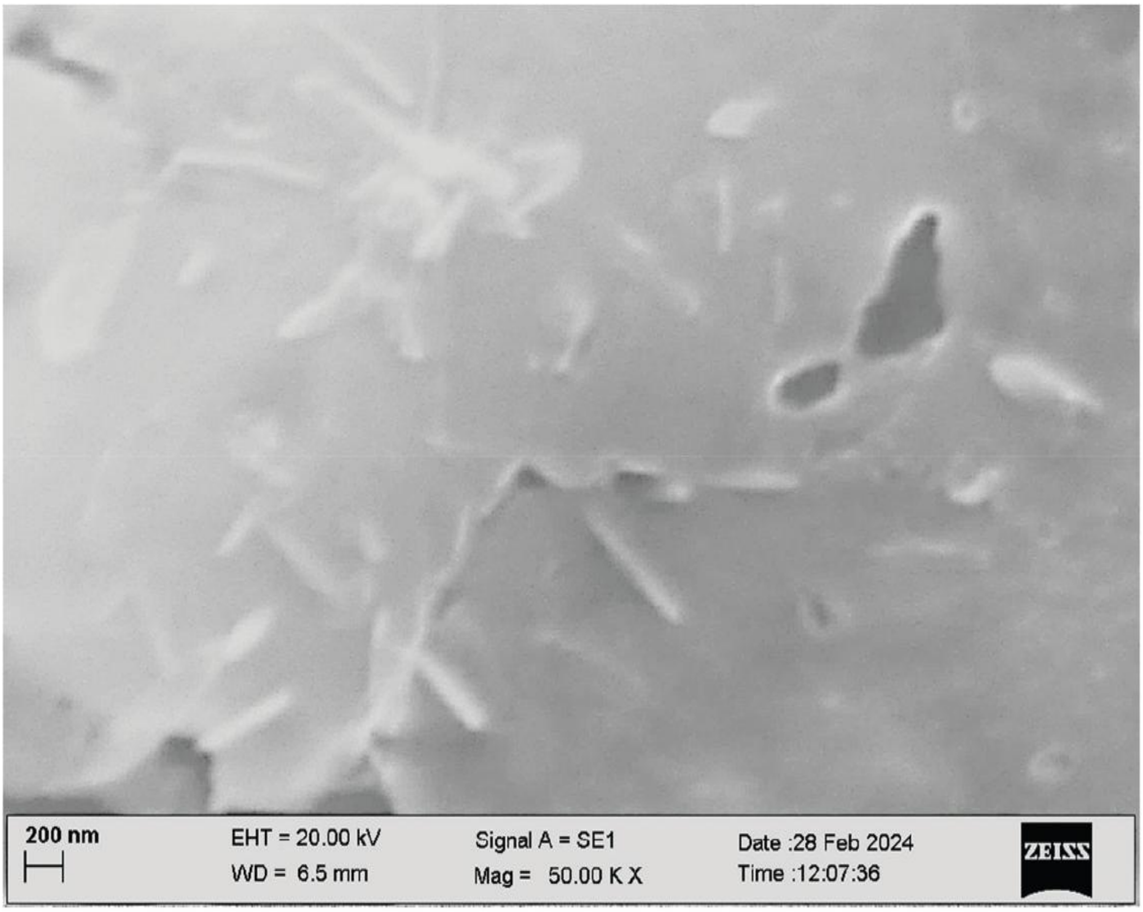
चित्र 4: दृश्य स्पेक्ट्रोस्कोपी ग्राफ़ [17]

3.3 स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM)

हमारे लैब के एक सीनियर ने सिल्वर नैनो रोड , इस तरीके से बनाया जिसमे उन्होंने सबसे पहले,0.8 wt.% कार्यात्मकीकृत (functionalized) Ag NPs को 102 μL 6CHBT लिक्विड क्रिस्टल के साथ लिया और उन्हें एथेनॉल में घोलकर 30 मिनट तक बाथ सोनिकेशन किया, ताकि एक समरूप (homogeneous) मिश्रण प्राप्त हो सके। इसके बाद इस समरूप मिश्रण को 100°C तापमान पर 4 घंटे के लिए ओवन में रखा गया, जिससे एथेनॉल पूरी तरह वाष्पित हो जाए। इस प्रक्रिया के दौरान समदैशिक (isotropic) अवस्था में कोई परिवर्तन नहीं हुआ। LC माध्यम की समदैशिक अवस्था 65°C पर दिखाई दी।

काँच की कोशिकाएँ (glass cells) दो काँच की प्लेटों को सैंडविच की तरह जोड़कर तैयार की गईं, जिनके बीच 60 μm मोटाई की मायलर (Mylar) पट्टियाँ स्पेसर के रूप में रखी गईं। लिक्विड क्रिस्टल के लक्षणन (characterisation) में 60 μm को मानक मोटाई माना जाता है, क्योंकि यह लिक्विड क्रिस्टल अणुओं के उचित संरेखण (alignment) और अभिविन्यास (orientation) को सुनिश्चित करती है। मायलर पट्टियों की यह मोटाई दृश्यमान प्रकाश (visible light) से संबंधित प्रयोगों के लिए उपयुक्त है, क्योंकि यह ट्रांसमिशन मापन के लिए पर्याप्त प्रकाश-पथ लंबाई (path length) प्रदान करती है तथा लचीलेपन और कठोरता के बीच उचित संतुलन बनाए रखती है, जिससे सेल गैप बिना विकृति के स्थिर रहता है। इसके अतिरिक्त, अधिक मोटी फिल्मों में सतह-निर्भर निकटता प्रभाव (surface-dependent proximity effect) अधिक स्पष्ट हो सकता है। इसलिए 60 μm मोटाई का चयन समान (uniform) सब्सट्रेट एंकरिंग सुनिश्चित करता है तथा फिल्मों की आकृति-विज्ञान (morphology) में होने वाले परिवर्तन मुख्यतः क्वांटम डॉट्स (QDs), लिक्विड क्रिस्टल माध्यम और सतह के पारस्परिक प्रभाव से उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार का चयन प्रणाली में अनावश्यक जटिलताओं को कम करता है। यह मोटाई सुनिश्चित करती है कि फिल्म की आकृति-विज्ञान कणों के वितरण और अभिविन्यास, क्रिस्टलीकरण पैटर्न, तथा फेज पृथक्करण (phase separation) जैसी प्रक्रियाओं से महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित हो। 60 μm मोटाई की मायलर पट्टियाँ एक स्पष्ट और नियंत्रित मोटाई प्रदान करती हैं, जो आकृति-विज्ञान संबंधी विशेषताओं के अध्ययन के लिए आदर्श है। साथ ही, यह पूरे नमूने में समान फिल्म मोटाई प्राप्त करने में सहायता करती हैं, जो आकृति-विज्ञान संबंधी अध्ययनों में सुसंगत (consistent) और पुनरुत्पाद्य (reproducible) परिणाम प्राप्त करने के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है।

SEM छवियों में दिखाई देने वाली रॉड-आकार (rod-like) संरचनाएँ लंबी एवं बेलनाकार (cylindrical) आकृतियों के रूप में प्रकट होती हैं, जैसा कि चित्र 11 में दर्शाया गया है। ये रॉड-आकार संरचनाएँ लिक्विड क्रिस्टल अणुओं के आकार-निर्देशक (shape-directing) प्रभावों अथवा कार्यात्मकीकरण (functionalization) करने वाले एजेंटों के प्रभाव के कारण उत्पन्न होती हैं।



चित्र 5: 0.8 wt. % फंक्शनलाइज्ड Ag QDs डोप्ड LC मीडिया के SEM माइक्रोग्राफ़ दिखाते हैं [17]

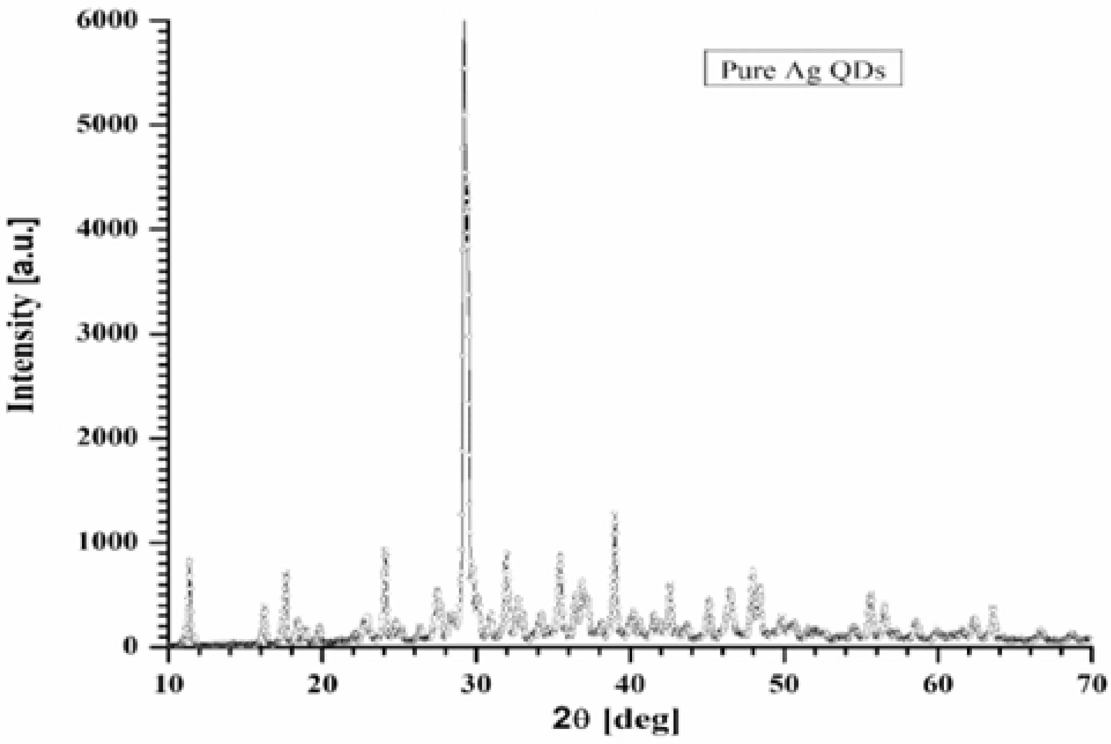
3.4. एक्स-रे विवर्तन (XRD) विश्लेषण

XRD विश्लेषण Philips PW 3050/10 उपकरण द्वारा किया गया। परिणामों से पता चला कि नैनोकण क्रिस्टलीय प्रकृति प्रदर्शित करते हैं। तीव्र शिखर से संबंधित ग्रेन [17]आकार Scherrer समीकरण द्वारा निर्धारित किया गया और औसत कण आकार 15.72 nm पाया गया[1]।

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos\theta}$$

जहाँ,

- D= क्रिस्टलाइट आकार (nm)
- K= आकार गुणांक (0.9)
- λ= एक्स-रे तरंगदैर्घ्य
- β= FWHM (रेडियन में)
- θ= ब्रैग कोण



चित्र 6: एक्स-रे विवर्तन (XRD) विश्लेषण ग्राफ़ [17]

तालिका 1: एक्स-रे विवर्तन (XRD) डेटा से सिल्वर नैनोकणों का औसत कण आकार गणना

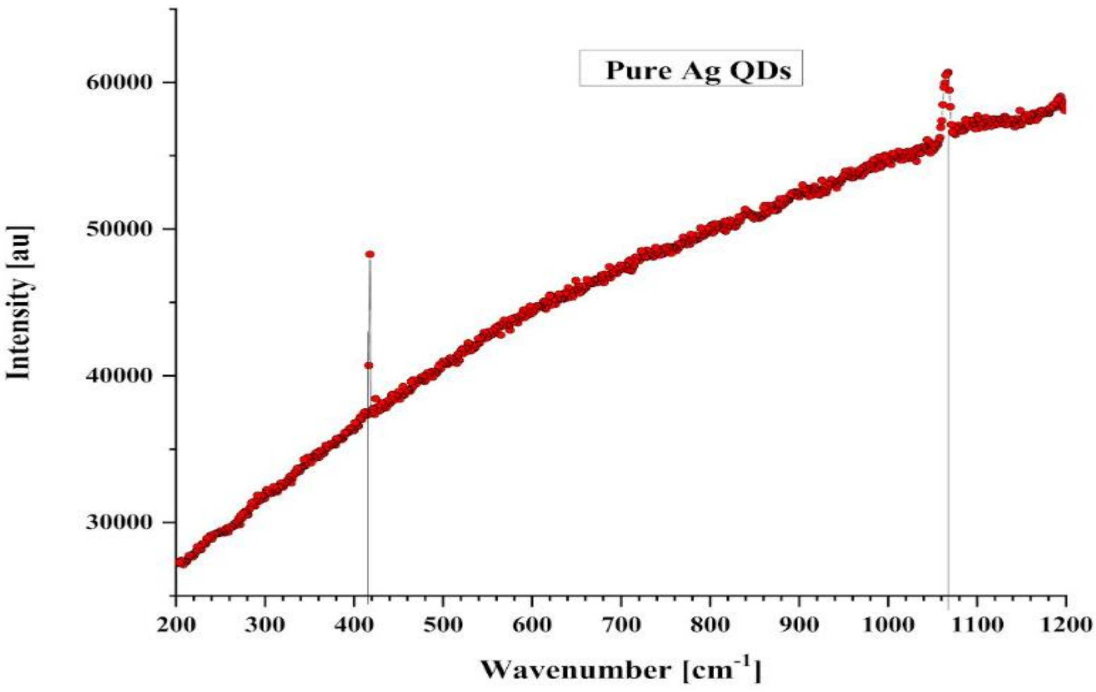
2θ	**θ**	**in radain**	**sinθ**	**cosθ**	**Tanθ**	**β (degree)**	**FWHM β (radian)**	**2sinθ**	**d(spacing)**	**β cosθ**	**D (nm)**	**Average Particle size**
27.7	13.83	0.2414103	0.2390723	0.9710018	0.246212	0.26659	0.004653	0.4781446	0.32220379	0.0045185	32.049333	
38.1	19.07	0.3327902	0.3266814	0.9451345	0.345645	0.56094	0.009792	0.6533628	0.2357955	0.0092543	15.648504	**15.725**
44.2	22.11	0.3859423	0.3764323	0.9264441	0.40632	1.4605	0.025494	0.7528646	0.20463174	0.0236186	6.1314343	
64.5	32.26	0.5630289	0.53375	0.8456423	0.631177	0.71786	0.012531	1.0675001	0.14431849	0.0105964	13.666472	
77.4	38.71	0.6757046	0.6254472	0.7802665	0.801582	0.95517	0.016673	1.2508944	0.12315987	0.0130094	11.131642	

- क्षैतिज अक्ष (X-axis) पर 2θकोण (डिग्री में) दर्शाया गया है,[17] जो 10° से 70° तक फैला है।
- ऊर्ध्वाधर अक्ष (Y-axis) पर तीव्रता (Intensity [a.u.]) दिखाई गई है, जो 0 से 6000 तक है।
- ग्राफ़ में कई विवर्तन शिखर (diffraction peaks) दिखाई देते हैं। इनमें से लगभग $2\theta \approx 30°$पर एक बहुत प्रमुख शिखर है, जो सिल्वर नैनोस्ट्रक्चर की विशिष्ट क्रिस्टलीय परावर्तन (crystalline reflection) को दर्शाता है।
- इन शिखरों से यह स्पष्ट होता है कि नमूना (sample) क्रिस्टलीय है और इसमें सिल्वर क्वांटम डॉट्स की शुद्धता तथा संरचना की पुष्टि होती है।

तालिका 2. Ag QDs (सिल्वर क्वांटम डॉट्स) की स्थिति (2θ), तीव्रता (FWHM) तथा संबंधित कण आकार को दर्शाती है।

स्थिति (2θ) (डिग्री)	ऊँचाई (काउंट्स)	FWHM (रेडियन)	कण आकार (नैनोमीटर)
11.3736	249.8501	0.02196	6.6274
17.6170	219.3642	0.02397	6.1139
24.0928	182.7880	0.02602	5.6915
29.2945	2903.8708	0.07125	2.1008
35.4505	405.0427	0.02368	6.4206
39.0121	200.3899	0.03036	5.0606
42.5888	535.1650	0.04951	3.1394
55.6093	301.4400	0.06981	2.3429
63.5806	131.4510	0.02886	5.9037
72.3752	56.8370	0.08753	2.0509

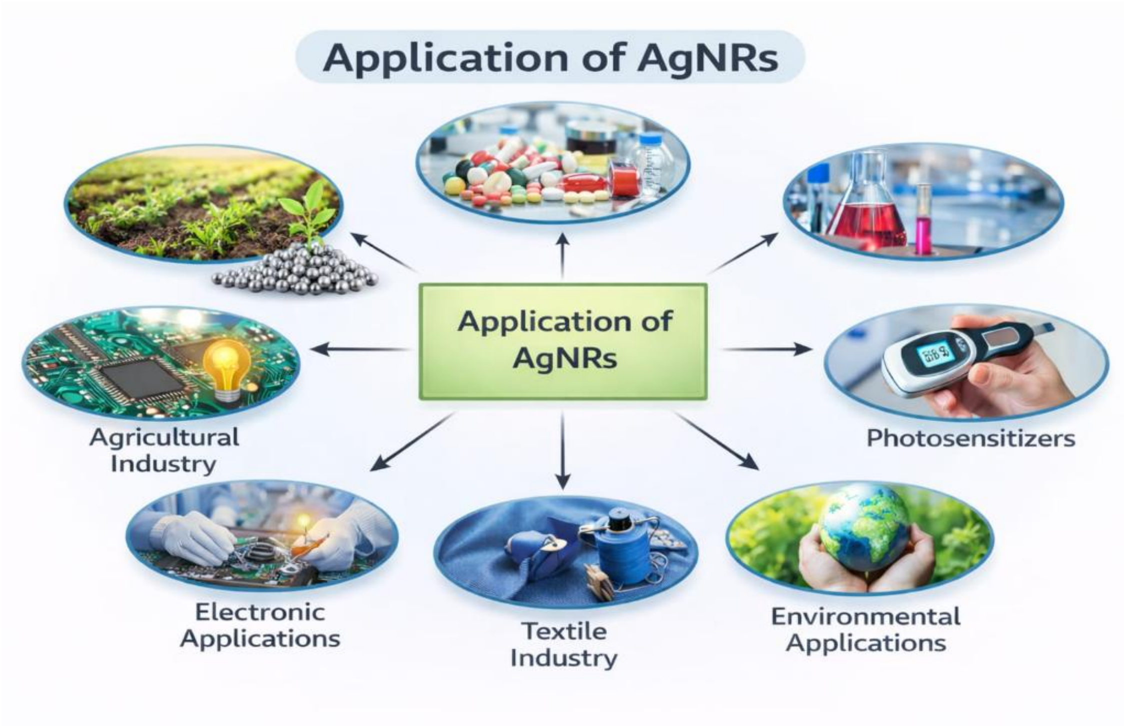
संश्लेषित Ag QDs (सिल्वर क्वांटम डॉट्स) का **न्यूनतम आकार 2.0509 nm** तथा **अधिकतम आकार 6.6274 nm** पाया गया। Ag QDs का **औसत आकार 4.5452 nm** है। HR-XRD डेटा से गणना किया गया संश्लेषित पदार्थ का आकार क्वांटम डॉट्स की सीमा में आता है। अतः यह निष्कर्ष निकाला जाता है कि **संश्लेषित पदार्थ Ag QDs (सिल्वर क्वांटम डॉट्स) है।**



चित्र 7: रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी [17]

- क्षैतिज अक्ष (X-axis) पर **वेव नंबर [cm^{-1}]** दर्शाया गया है,[17] जो लगभग 200 से 1200 cm^{-1} तक फैला है।
- ऊर्ध्वाधर अक्ष (Y-axis) पर **तीव्रता [a.u.]** दिखाई गई है, जो लगभग 30000 से 60000 तक है।
- ग्राफ़ में कुछ प्रमुख शिखर (peaks) दिखाई देते हैं, विशेषकर ~400 cm^{-1} और ~1100 cm^{-1} के आसपास।
- इन शिखरों से यह संकेत मिलता है कि सिल्वर क्वांटम डॉट्स में विशिष्ट **कंपनात्मक (vibrational) या ऑप्टिकल गुणधर्म** मौजूद हैं।
- तीव्रता का समग्र रूप से बढ़ना यह दर्शाता है कि नमूना (sample) में संरचनात्मक एवं स्पेक्ट्रोस्कोपिक विशेषताएँ स्पष्ट रूप से परिभाषित हैं।

4. सिल्वर नैनोरॉड्स के अनुप्रयोग



चित्र 8: सिल्वर नैनोरॉड्स के अनुप्रयोग

(ये चित्र AI के सहायता से बनाया गया है।)

4.1. पर्यावरणीय अनुप्रयोग

- इलेक्ट्रोकेमिकल सेंसिंग प्लेटफ़ॉर्म विषैले भारी धातु आयनों जैसे Cu(II) और Pb(II) की निगरानी के लिए प्रभावी उपकरण के रूप में पहचाने जा रहे हैं।[18] एक नया Ag MOF नैनोकॉम्पोज़िट रिफ्लक्स सिंथेसिस विधि द्वारा तैयार किया गया और ITO ग्लास सब्सट्रेट पर स्थिर किया गया[19]। इस इलेक्ट्रोड ने उल्लेखनीय संवेदनशीलता और पुनरुत्पादन क्षमता प्रदर्शित की, जिससे Cu(II) और Pb(II) आयनों का सूक्ष्म स्तर पर पता लगाया जा सका[20]।
- इसी प्रकार, Ece et al. ने Hg^{2+} आयन का पता लगाने के लिए एक सतत[7] और किफायती इलेक्ट्रोकेमिकल सेंसर विकसित किया।[21] इसमें हर्बल सिल्वर नैनोरॉड्स को फोलिक एसिड के साथ मिलाकर पेंसिल ग्रेफाइट इलेक्ट्रोड पर जमाया गया[22]। यह

सेंसर उच्च चयनात्मकता, तेज़ और संवेदनशील पहचान प्रदान करता है[9]।

4.2. कृषि अनुप्रयोग

- सिल्वर नैनोरॉड्स अपनी विशिष्ट भौतिक-रासायनिक विशेषताओं,[11] विशेषकर एंटीमाइक्रोबियल गतिविधि और पोषक तत्व अवशोषण क्षमता के कारण कृषि में उपयोगी साबित हो रहे हैं[23]। ये फसलों को बैक्टीरिया और फंगस संक्रमण से बचाते हैं और पारंपरिक कीटनाशकों पर निर्भरता कम करते हैं[24]।
- उदाहरण के लिए, Khattak et al. ने *Citrus maxima* फल के अर्क से AgNRs तैयार किए, जिन्होंने *Acid oryzae* बैक्टीरिया के विरुद्ध मजबूत एंटीबैक्टीरियल गतिविधि दिखाई।[25] इसी तरह, AgNRs ने बीज अंकुरण और पौधों के विकास में सुधार किया[26]। हालांकि, इनके पर्यावरणीय स्थायित्व और मिट्टी के जीवों पर संभावित विषाक्त प्रभावों को लेकर चिंताएँ बनी हुई हैं।[27]

4.3. इलेक्ट्रॉनिक अनुप्रयोग

- सिल्वर नैनोरॉड्स लचीली इलेक्ट्रॉनिक्स और प्रिंटेड सेंसरों के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहे हैं[28]। इन्हें कंडक्टिव इंक में मिलाने से विद्युत चालकता और प्रिंटिंग क्षमता बढ़ती है[29]।
- ग्राफीन [30]और सिल्वर नैनोरॉड्स आधारित हाइब्रिड इंक ने उच्च स्थिरता और चालकता प्रदर्शित की[31]। Jiang et al. ने केवल 4.68 wt% सिल्वर वाली इंक तैयार की, जिसने उत्कृष्ट चालकता और यांत्रिक स्थिरता दिखाई[32]।

4.4. फोटोसेंसिटाइज़र

- नैनोकणों का उपयोग फोटोसेंसिटाइज़र के रूप में किया जा रहा है[33], जैसे फोटोडायनामिक थेरेपी (PDT), फोटovoltaics और फोटोकैटलिसिस में।[34] सिल्वर नैनोरॉड्स अपनी मजबूत प्लास्मोनिक विशेषताओं के कारण विशेष रूप से उपयोगी हैं।[35]
- Malá et al. ने TMPyP फोटोसेंसिटाइज़र को AgNRs के साथ मिलाकर MRSA और ESBLKP बैक्टीरिया के विरुद्ध प्रभावी एंटीबैक्टीरियल गतिविधि प्रदर्शित की[36]। इसी तरह, Tabaika et al. ने AgNRs को नीली और लाल LED रोशनी के साथ मिलाकर बायोफिल्म को नष्ट किया[37]।

4.5. वस्त्र उद्योग

- सिल्वर नैनोरॉड्स वस्त्र इंजीनियरिंग में भी उपयोगी हैं। इन्हें कपड़ों में मिलाने से एंटीमाइक्रोबियल सुरक्षा, दाग-प्रतिरोध, UV शील्डिंग और रंग की स्थायित्व बढ़ती है।[38]
- इसके अलावा, AgNRs को स्मार्ट फैब्रिक्स और पहनने योग्य उपकरणों में भी शामिल किया जा रहा है,[6] जिससे चिकित्सा निगरानी और सतत फैशन में नई संभावनाएँ खुल रही हैं[39]।

5. निष्कर्ष

सिल्वर नैनोपार्टिकल्स (NPs) अपनी विशिष्ट भौतिक, रासायनिक और जैविक गुणों के कारण अत्यधिक लोकप्रिय हो गए हैं, जो उनके आकार, आकृति और संश्लेषण विधियों से प्रभावित होते हैं। उनका छोटा आकार और बड़ा सतही क्षेत्र एंटीमाइक्रोबियल गतिविधि, प्रकाशीय गुणों और विद्युत चालकता को बढ़ाता है, जिससे वे बायोइमेजिंग, घाव उपचार, औषधि वितरण और सेंसर प्रौद्योगिकियों जैसी विविध अनुप्रयोगों के लिए आदर्श बन जाते हैं। छोटे सिल्वर NPs कोशिकाओं में अधिक संचय और जीवाणुनाशक क्षमता प्रदर्शित करते हैं, जबकि बड़े कणों को विशेष अनुप्रयोगों जैसे घाव उपचार में प्राथमिकता दी जाती है ताकि ऊतक में प्रवेश को नियंत्रित किया जा सके।सतही आवेश और फंक्शनलाइज़ेशन कोशिकीय अंतःक्रियाओं और लक्ष्यीकरण को बढ़ाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, जिससे औषधि वितरण और इमेजिंग में उनका उपयोग संभव होता है। संशोधित सतहें जैवउपलब्धता, विशिष्टता और प्रणाली की स्थिरता में सुधार करती हैं, साथ ही एकत्रीकरण के जोखिम को कम करती हैं। ये विशेषताएँ सिल्वर NPs को डायग्नोस्टिक्स, चिकित्सीय वितरण और बायोसेंसिंग में उपयोग के लिए अत्यधिक बहुमुखी बनाती हैं।

लोकलाइज़्ड सरफेस प्लाज़्मन रेज़ोनेंस (LSPR) इमेजिंग और सेंसिंग अनुप्रयोगों में उनकी प्रभावशीलता को और बढ़ाता है। संश्लेषण विधियाँ सिल्वर NPs के गुणों और अनुप्रयोगों को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती हैं। जहाँ रासायनिक और भौतिक विधियाँ बड़े पैमाने पर उत्पादन की क्षमता प्रदान करती हैं, वहीं **ग्रीन (जैविक) संश्लेषण विधियाँ** पर्यावरण-अनुकूल, लागत-प्रभावी और सुरक्षित विकल्प उपलब्ध कराती हैं। इस प्रकार, संश्लेषण की विधि का चयन सीधे तौर पर उनके गुणों और संभावित उपयोगों को निर्धारित करता है|

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Sati, A., Ranade, T. N., Mali, S. N., Ahmad Yasin, H. K. & Pratap, A. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity─A 2024 Update. *ACS Omega* **10**, 7549–7582 (2025).
2. Vega-Baudrit, J., Gamboa, S. M., Rojas, E. R. & Martinez, V. V. Synthesis and characterization of silver nanoparticles and their application as an antibacterial agent. *Int. J. Biosens. Bioelectron.* **5**, (2019).
3. Siti, S. S. *et al.* Zinc oxide nanorods-based immuno-field-effect transistor for human serum albumin detection. *J. Mater. Sci.* **56**, 15344–15353 (2021).
4. Singh, S. P., Yadav, H., Chauhan, H. & Hada, V. Novel approach to enhance antifungal properties via formation of wavy and Sharp microstructures composed of metal oxide nanoparticles and Cdots. 1–27 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-10897-z
5. Sharma, S., Singh, A. K. & Singh, S. P. Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles prepared by green routes: Controlling morphologies by maintaining pH. *Phys. Scr.* **99**, 1059b9 (2024). **DOI** 10.1088/1402-4896/ad7ae2
6. Gao, Y. *et al.* Advances in gold and silver nanoparticles-based flexible SERS sensors: Fabrication, applications, and future directions. *Nano Res.* **94908096**, 1–22 (2025).
7. Jegadeeswaran, P., Shivaraj, R. & Venckatesh, R. Green synthesis of silver nanoparticles from extract of Padina tetrastromatica leaf. *Dig. J. Nanomater. Biostructures* **7**, 991–998 (2012).
8. Sharma, N. K. *et al.* Green Route Synthesis and Characterization Techniques of Silver Nanoparticles and Their Biological Adeptness. *ACS Omega* **7**, 27004–27020 (2022).
9. Kaabipour, S. & Hemmati, S. A review on the green and sustainable synthesis of silver nanoparticles and one-dimensional silver nanostructures. *Beilstein J. Nanotechnol.* **12**, 102–136 (2021).
10. Tailor, G., Yadav, B. L., Chaudhary, J., Joshi, M. & Suvalka, C. Green synthesis of silver nanoparticles using Ocimum canum and their anti-bacterial activity. *Biochem. Biophys. reports* **24**, 100848 (2020).
11. Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M. S. & Tahir, M. B. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artif. Cells, Nanomedicine Biotechnol.* **45**, 1272–1291 (2017).
12. Remya, V. R., Abitha, V. K., Rajput, P. S., Rane, A. V & Dutta, A. Silver Nanoparticles Green Synthesis: A Mini Review. *Chem. Int.* **3**, 165–171 (2019).
13. Bai, W., Sheng, Q., Ma, X. & Zheng, J. Synthesis of Silver Nanoparticles Based on Hydrophobic Interface Regulation and Its Application of Electrochemical Catalysis. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **3**, 1600–1609 (2015).
14. Geoprincy, G., Vidhya Srri, B. N., Poonguzhali, U., Nagendra Gandhi, N. & Renganathan, S. A review on green synthesis of silver nanoparticles. *Asian J. Pharm. Clin. Res.* **6**, 8–12 (2013).
15. Tailor, G., Yadav, B. L., Chaudhary, J., Joshi, M. & Suvalka, C. Green synthesis of silver nanoparticles using Ocimum canum and their anti-bacterial activity. *Biochem. Biophys. Reports* **24**, 100848 (2020).
16. Gu, X., Nie, C., Lai, Y. & Lin, C. Synthesis of silver nanorods and nanowires by tartrate-reduced route in aqueous solutions. *Mater. Chem. Phys.* **96**, 217–222 (2006).
17. Mishra, M. K. & Singh, S. P. Dispersion and self-assembly of 2 , 5- functionalized silver QDs in 6 CHBT liquid crystal. *Liq. Cryst.* **00**, 1–18 (2024).
18. Jakab, A. *et al.* Highly sensitive plasmonic silver nanorods. *ACS Nano* **5**, 6880–6885 (2011).
19. Wang, G. *et al.* Antibacterial effects of titanium embedded with silver nanoparticles based on electron-transfer-induced reactive oxygen species. *Biomaterials* **124**, 25–34 (2017).
20. Marimuthu, S. *et al.* Evaluation of green synthesized silver nanoparticles against parasites. *Parasitol. Res.* **108**, 1541–1549 (2011).
21. Luqman, M., Alharthi, M. A., Shakeel, N., Imran Ahamed, M. & Inamuddin. A quick, easy

and green hydrothermal method for the development of a bioanode based on a ternary nanocomposite for enzymatic biofuel cell applications. *Mater. Sci. Eng. B* **300**, 117107 (2024).
22. Shalaby, M. S., Abdallah, H., Chetty, R., Kumar, M. & Shaban, A. M. Silver nano-rods: Simple synthesis and optimization by experimental design methodology. *Nano-Structures and Nano-Objects* **19**, 100342 (2019).
23. Sharma, V. K., Yngard, R. A. & Lin, Y. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Adv. Colloid Interface Sci.* **145**, 83–96 (2009).
24. Hyperlipidemia, D. Academic Sciences. **6**, 4–7 (2013).
25. Bindhu, M. R. & Umadevi, M. Antibacterial and catalytic activities of green synthesized silver nanoparticles. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* **135**, 373–378 (2015).
26. Jana, N. R., Gearheart, L. & Murphy, C. J. Wet chemical synthesis of silver nanorods and nanowires of controllable aspect ratio. *Chem. Commun.* 617–618 (2001) doi:10.1039/b100521i.
27. Vijayaraghavan, K. & Nalini, S. P. K. Biotemplates in the green synthesis of silver nanoparticles. *Biotechnol. J.* **5**, 1098–1110 (2010).
28. Zhang, G. *et al.* Morphology-controlled green synthesis of single crystalline silver dendrites, dendritic flowers, and rods, and their growth mechanism. *Cryst. Growth Des.* **11**, 2493–2499 (2011).
29. Chun Song, X., Jin Tong, Y., Fan Zheng, Y. & Yong Yin, H. Hydrothermal Synthesis and Electrocatalytic Application of the Ag Nanorods. *Curr. Nanosci.* **8**, 608–611 (2012).
30. Abdelghany, A. M., Nagi, Y., Oraby, A. H., Abdelaziz, M. & Abdelrazek, E. M. Green hydrothermal synthesis and optimization of gold/silver core-shell nanoparticles using thyme extract. *J. Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci.* (2025) doi:10.1007/s43994-025-00268-9.
31. Priyadarshini, S., Sulava, S., Bhol, R. & Jena, S. Green synthesis of silver nanoparticles using Azadirachta indica and Ocimum sanctum leaf extract. *Curr. Sci.* **117**, 1300–1307 (2019).
32. Zhao, Y., Kumar, A. & Yang, Y. Unveiling practical considerations for reliable and standardized SERS measurements: lessons from a comprehensive review of oblique angle deposition-fabricated silver nanorod array substrates. *Chem. Soc. Rev.* **53**, 1004–1057 (2023).
33. Ahmad, S. *et al.* Green nanotechnology: A review on green synthesis of silver nanoparticles — An ecofriendly approach. *Int. J. Nanomedicine* **14**, 5087–5107 (2019).
34. Parmar Anil Kr, S. Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Indian Tulsi Leaves (Ocimum teniflorum) at Room Temperature & Normal pH and its Study under Different Characterization Tools. *Int. J. Sci. Res.* **13**, 558–564 (2024).
35. Jiu, J., Murai, K., Kim, D., Kim, K. & Suganuma, K. Preparation of Ag nanorods with high yield by polyol process. *Mater. Chem. Phys.* **114**, 333–338 (2009).
36. Allafchian, A. R., Mirahmadi-Zare, S. Z., Jalali, S. A. H., Hashemi, S. S. & Vahabi, M. R. Green synthesis of silver nanoparticles using phlomis leaf extract and investigation of their antibacterial activity. *J. Nanostructure Chem.* **6**, 129–135 (2016).
37. Lee, G. J., Shin, S. Il, Kim, Y. C. & Oh, S. G. Preparation of silver nanorods through the control of temperature and pH of reaction medium. *Mater. Chem. Phys.* **84**, 197–204 (2004).
38. Abdelghany, T. M. *et al.* Recent Advances in Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Applications: About Future Directions. A Review. *Bionanoscience* **8**, 5–16 (2018).
39. Facibeni, A. Silver Nanoparticles: Synthesis, Properties, and Applications. *Silver Nanoparticles Synth. Prop. Appl.* 1–264 (2023) doi:10.1201/9781003278955.

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

विशेष आलेख (FEATURED ARTICLE)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.2

अवस्था-परिवर्तन स्मृति हेतु नैनो चैल्कोजेनाइड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ की पतली फिल्म का संश्लेषण

कु० रंजना, आदित्य श्रीवास्तव, अर्चना श्रीवास्तवा, शमशाद अहमद खान
भौतिकी विभाग, सेंट एंड्र्यूज कॉलेज गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, २७३००१, भारत
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- kmranjana767@gmail.com

आलेख प्राप्त:२० फरवरी २०२६; अंतिम संशोधन: २३ जून २०२६; स्वीकृत: २३ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० जून २०२६

सारांश

समूह 16 तत्वों (S, Se, Te) को धातुओं के साथ मिलाकर बनाई गई चैल्कोजेनाइड पतली फिल्में, अपनी उच्च अवरक्त पारदर्शिता, समायोज्य बैंड अन्तराल, और तीव्र अवस्था-परिवर्तन गुणों के कारण इलेक्ट्रॉनिक्स, सौर सेल और फोटोनिक्स के लिए महत्वपूर्ण सामग्री हैं। इस अध्ययन में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड की पतली फिल्म का संशेलेषण भौतिक वाष्प संघनन तकनीक से किया गया है। इस तकनीक में, प्रारंभ में कक्ष को 10^{-5} टॉर तक निर्वातित किया गया, जिसके बाद कक्ष में 5 टॉर कार्यशील दाब पर अक्रियाशील परिवेशी आर्गन गैस की आपूर्ति की गई। ग्लास सब्सट्रेट पर पतली फिल्मों के निक्षेपण के लिए, $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ ग्लास को मोलिब्डेनम नाव में रखा गया। सब्सट्रेट को ठंडा करने के लिए तरल नाइट्रोजन (77 K) का उपयोग किया गया। निक्षेपित फिल्मों की मोटाई 20 नैनोमीटर है जिसे क्वार्ट्ज क्रिस्टल मॉनिटर द्वारा मापा गया है। एक्स-रे विवर्तन ने नमूनों की अनाकार प्रकृति की पुष्टि की गई है। पतली फिल्मो के आकृति विज्ञानं को समझने के लिए उच्च-रिज़ॉल्यूशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप तकनीकी का उपयोग किया गया है। संश्लेषित नैनो-चैल्कोजेनाइड फिल्मो के प्रकाशीय गुणधर्म को समझने के लिए UV/VIS/NIR स्पेक्ट्रोफोटोमीटर का उपयोग करके उनके प्रकाशीय अवशोषण गुणांक तथा प्रकाशीय बैंड अंतराल को मापा गया है। इन अध्ययनों के परिणाम यह सुझाव देते हैं कि ये फिल्मे अवस्था-परिवर्तन स्मृति उपकरणों के लिए एक उत्कृष्ट विकल्प हो सकती हैं।

सूचक शब्द: चैल्कोजेनाइड , नैनो-पतली फिल्में, UV-Vis स्पेक्ट्रोस्कोपी, अवशोषण गुणांक , अवस्था-परिवर्तन स्मृति

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

विशेष आलेख (FEATURED ARTICLE)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.2

Synthesis of thin films of nano chalcogenides $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ for phase-change memory

Kumari Ranjana*, Aditya Srivastava, Archana Srivastava, Shamshad A. Khan
Department of Physics, St. Andrew's College, Gorakhpur, Uttar Pradesh, 273001, India
Corresponding Author Email*-kmranjana767@gmail.com

Received on: 20 February 2026; Final Revision: 23 June 2026; Accepted: 23 June 2026
Published Online First on: 30 June 2026

ABSTRACT

Chalcogenide thin films, made by combining group 16 elements (S, Se, Te) with metals, are important materials for electronics, solar cells, and photonics due to their high IR transparency, adjustable bandgap, and fast phase-change properties. In this study, nano-chalcogenide $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ thin films have been synthesized by the physical vapor condensation technique. In this technique, the chamber was initially evacuated to 10^{-5} torr, after which inert ambient argon gas was supplied to the chamber at 5 torr working pressure. To deposit thin films on glass substrates, $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ glass was placed in a molybdenum boat. Liquid nitrogen (77 K) was used to cool the substrate. The thickness of the deposited films was 20 nm, measured using a quartz crystal monitor. X-ray diffraction confirmed the amorphous nature of the samples. High-resolution scanning electron microscope technology has been used to understand the morphology of thin films. To understand the optical properties of the synthesized nano-chalcogenide films, their optical absorption coefficient and optical band gap have been measured using UV/VIS/NIR spectrophotometer. The results of these studies suggest that these films could be an excellent choice for phase-change memory devices.

Keywords: Chalcogenides, nano-thin films, UV-Vis Spectroscopy, absorption coefficient, phase-change memory

लेखक परिचय

कुमारी रंजना

कुमारी रंजना का जन्म उत्तर प्रदेश के देवरिया जनपद में हुआ। इन्होंने अपनी स्नातक (B.Sc.) बी.आर.डी. पीजी . कॉलेज देवरिया एवं परास्नातक (M.Sc.) की शिक्षा सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर से प्राप्त की। प्रारंभ से ही मेधावी एवं जिज्ञासु प्रवृत्ति की छात्रा रही कुमारी रंजना ने अपनी शैक्षणिक यात्रा में निरंतर उत्कृष्ट प्रदर्शन किया है। वर्तमान में इन्होंने प्रो० शमशाद अहमद खान के कुशल मार्गदर्शन में अपना परास्नातक शोध प्रबंध (Master Dissertation) सफलतापूर्वक पूर्ण किया है। इनका शोध कार्य "अवस्था परिवर्तन स्मृति हेतु नैनोचाल्कोजेनिड की पतली फिल्म का संश्लेषण" विषय पर आधारित है, जो समकालीन वैज्ञानिक शोध के क्षेत्र में अत्यंत महत्वपूर्ण और प्रासंगिक माना जाता है। कुमारी रंजना भविष्य में अनुसंधान के क्षेत्र में अपना सशक्त योगदान देना चाहती हैं।

डॉ. आदित्य श्रीवास्तव

डॉ. आदित्य श्रीवास्तव का जन्म उत्तर प्रदेश के गोरखपुर जनपद में हुआ। इनकी प्रारंभिक शिक्षा राजकीय जुबिली इंटर कॉलेज, गोरखपुर से संपन्न हुई। इनकी स्नातक (B.Sc.) की शिक्षा सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर से तथा परास्नातक (M.Sc.) की उपाधि दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्राप्त की। इसके अतिरिक्त, इन्होंने शिक्षा शास्त्र में स्नातक (B.Ed.) की डिग्री सिद्धार्थ विश्वविद्यालय, कपिलवस्तु से अर्जित की। डॉ. आदित्य श्रीवास्तव ने वर्ष 2025 में दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की। इनका शोध कार्य प्रो० शमशाद अहमद खान के मार्गदर्शन में, भौतिकी विभाग, सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर स्थित मटेरियल साइंस रिसर्च लैब में "अर्धचालक क्वांटम डॉट्स के संश्लेषण एवं उनके अनुप्रयोग (Synthesis and Applications of Semiconductor Quantum Dots)" विषय पर संपन्न हुआ। डॉ. आदित्य के 10 शोध-पत्र अंतरराष्ट्रीय स्तर की विभिन्न प्रतिष्ठित पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं तथा उन्होंने 2 पुस्तक अध्यायों में भी योगदान दिया है। इसके अतिरिक्त, इनके नाम पर 3 राष्ट्रीय स्तर के पेटेंट दर्ज हैं। अपने शोधकाल के दौरान, इन्होंने 8 शोध-पत्र राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय सम्मेलनों में प्रस्तुत किए तथा 18 कार्यशालाओं, सम्मेलनों एवं वेबिनारों में सक्रिय सहभागिता की। वर्ष 2024 में इनका चयन बिहार लोक सेवा आयोग द्वारा व्याख्याता (भौतिकी) के पद पर हुआ। वर्तमान में ये सहयोगी उच्च विद्यालय सह इंटर कॉलेज, बथुआ बाजार, गोपालगंज, बिहार में अपनी सेवाएं प्रदान कर रहे हैं।

डॉ. अर्चना श्रीवास्तव

डॉ. अर्चना श्रीवास्तव का जन्म उत्तर प्रदेश के गोरखपुर जनपद में हुआ। उनकी प्रारंभिक शिक्षा अयोध्या दास बालिका इंटर कॉलेज, गोरखपुर से संपन्न हुई। उन्होंने वर्ष 2002 में विज्ञान संकाय से स्नातक तथा वर्ष 2004 में भौतिक विज्ञान विषय में परास्नातक की उपाधि दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्राप्त की। परास्नातक परीक्षा में उत्कृष्ट प्रदर्शन के लिए उन्हें विश्वविद्यालय का स्वर्ण पदक प्रदान किया गया। वर्ष 2005 में उन्होंने भौतिक विज्ञान विषय में GATE परीक्षा 89.29 परसेंटाइल के साथ उत्तीर्ण की। इसके उपरांत वर्ष 2006 में उन्होंने CSIR-UGC NET परीक्षा भी सफलतापूर्वक उत्तीर्ण की। वर्ष 2008 में डॉ. अर्चना श्रीवास्तव ने सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर में भौतिक विज्ञान विभाग में सहायक आचार्य के रूप में कार्यभार ग्रहण किया। वर्तमान में भी वे इसी संस्थान में सह आचार्य के पद पर कार्यरत हैं तथा अपनी शैक्षणिक एवं शोध सेवाएँ प्रदान कर रही हैं। वर्ष 2020 में उन्होंने दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर से प्रोफेसर शमशाद अहमद खान तथा प्रोफेसर सुग्रीव नाथ तिवारी के कुशल मार्गदर्शन में अपना शोधकार्य पूर्ण कर डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की। उनके शोध का विषय "चाल्कोजेनाइड काँच एवं पतली फिल्मों में प्रथम-क्रम प्रावस्था परिवर्तन (First Order Phase Transformation in Chalcogenide Glasses and Thin Films)" है। डॉ. अर्चना के अब तक 20 शोध-पत्र अंतरराष्ट्रीय स्तर की प्रतिष्ठित शोध पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं। इसके अतिरिक्त उन्होंने दो पुस्तक अध्यायों के लेखन में भी महत्वपूर्ण योगदान दिया है। उनके नाम पर एक राष्ट्रीय स्तर का पेटेंट भी दर्ज है। अपने शोधकाल के दौरान उन्होंने राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय सम्मेलनों में 9 शोध-पत्र प्रस्तुत किए तथा लगभग 15 कार्यशालाओं, संगोष्ठियों, सम्मेलनों एवं वेबिनारों में सक्रिय रूप से सहभागिता की।

प्रो० शमशाद अहमद खान

प्रो० शमशाद अहमद खान उत्तर प्रदेश, भारत के गोरखपुर स्थित सेंट एंड्रयूज कॉलेज के भौतिकी विभाग में कार्यरत एक वरिष्ठ एवं प्रतिष्ठित शिक्षाविद् तथा शोधकर्ता हैं। इनका जन्म उत्तर प्रदेश के महाराजगंज जनपद में हुआ। इन्होंने अपनी उच्च शिक्षा एम.एल.के. पीजी कॉलेज, बलरामपुर से पूर्ण की तथा वर्ष 2002 में जामिया मिलिया इस्लामिया, नई दिल्ली के भौतिकी विभाग से संघनित पदार्थ भौतिकी (Condensed Matter Physics) में डॉक्टरेट (Ph.D.) की उपाधि प्राप्त की।अपने शोधकाल के दौरान इन्होंने सीनियर रिसर्च फेलो के रूप में कार्य करते हुए ठोस अवस्था भौतिकी के क्षेत्र में महत्वपूर्ण अनुभव अर्जित किया। वर्ष 2004 में इन्होंने सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर के भौतिकी विभाग में सहायक आचार्य के रूप में अपनी शैक्षणिक सेवा प्रारंभ की। इसके पश्चात वर्ष 2007 में इनका चयन किंग अब्दुलअज़ीज़ विश्वविद्यालय, जेद्दा (सऊदी अरब) के विज्ञान संकाय में सहायक आचार्य के पद पर हुआ, जहाँ इन्होंने लगभग तीन वर्षों तक अध्यापन एवं शोध कार्य करते हुए आधुनिक वैज्ञानिक उपकरणों एवं उन्नत तकनीकों का व्यावहारिक ज्ञान अर्जित किया। तत्पश्चात इन्होंने पुनः सेंट एंड्रयूज कॉलेज, गोरखपुर में अपनी सेवाएँ प्रारंभ कीं और तब से निरंतर शिक्षण एवं अनुसंधान में सक्रिय हैं। लगभग 25 वर्षों से अधिक

की अपनी शोध यात्रा के दौरान प्रो० खान ने भौतिकी विभाग में “मटेरियल साइंस रिसर्च लैब” की स्थापना की, जो वर्तमान में उन्नत शोध कार्यों का एक महत्वपूर्ण केंद्र है। इनकी प्रमुख शोध रुचियों में बल्क चैल्कोजेनाइड ग्लास के क्रिस्टलीकरण गतिकी (Crystallization Kinetics in Bulk Chalcogenide Glasses), बल्क एवं नैनो-पतली फिल्मों के संरचनात्मक, प्रकाशीय एवं विद्युत गुणों (Structural, Optical and Electrical Properties of Bulk and Nano-Thin Films) का अध्ययन तथा अर्धचालक क्वांटम डॉट्स का संश्लेषण एवं उनके संभावित अनुप्रयोगो (Synthesis and Possible Applications of Semiconductor Quantum Dots) शामिल हैं। इन क्षेत्रों में इन्होंने उल्लेखनीय योगदान दिया है। प्रो० खान के लगभग 100 शोध-पत्र प्रतिष्ठित अंतरराष्ट्रीय शोध पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं। इसके अतिरिक्त, इनके नाम पर राष्ट्रीय स्तर के 3 पेटेंट पंजीकृत हैं। इन्होंने राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय स्तर की अनेक पुस्तकों एवं पुस्तक अध्यायों में भी अपना महत्वपूर्ण योगदान दिया है। इन्होंने भारत सरकार के विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी मंत्रालय (DST) तथा विश्वविद्यालय अनुदान आयोग (UGC) द्वारा प्रायोजित कई शोध परियोजनाओं का प्रधान अन्वेषक (Principal Investigator) के रूप में सफलतापूर्वक संचालन किया है। साथ ही, इन्होंने एक अंतरराष्ट्रीय स्तर के वैज्ञानिक सम्मेलन का सफल आयोजन भी किया है, जो इनके संगठनात्मक कौशल और अकादमिक नेतृत्व का परिचायक है। प्रो० खान ने अपने अनुभव एवं विशेषज्ञता के माध्यम से अब तक 5 शोधार्थियों (Ph.D.) तथा 15 परास्नातक (M.Sc.) विद्यार्थियों के शोध कार्यों का सफलतापूर्वक मार्गदर्शन किया है। वर्तमान में वे विद्यार्थियों को गुणवत्तापूर्ण शिक्षा प्रदान करने तथा पदार्थ विज्ञान (Material Science) के क्षेत्र में उन्नत शोध को प्रोत्साहित करने के लिए निरंतर प्रयासरत हैं।

1. प्रस्तावना:

'चैल्कोजेनाइड' शब्द दो ग्रीक शब्दों से मिलकर बना है “चालकोस” इसका मतलब है अयस्क/खनिज, 'जेन' का मतलब होता है बनाना या उत्पन्न करना । इसलिए चैल्कोजेनाइड का साधारण मतलब होता है खनिज बनाना । आवर्त सारणी के ग्रुप 16 के तत्वों को चैल्कोजेनाइड कहा जाता है । ग्रुप में ऑक्सीजन (O), सल्फर (S), सेलेनियम (Se), टेल्यूरियम (Te) और पोलोनियम (Po) आते हैं, परंतु जब हम चैल्कोजेनाइड ग्लास की बात करते हैं तो उसमें सिर्फ तीन तत्व होते हैं सल्फर (S), सेलेनियम (Se) और टेल्यूरियम (Te) । हम चैल्कोजेनाइड श्रेणी बनाते समय ऑक्सीजन और पोलोनियम को इसलिए नहीं लेते क्योंकि ऑक्सीजन से बने ग्लास को ऑक्साइड ग्लास कहते हैं (जैसे सिलिका ग्लास) । ऑक्सीजन अवरक्त किरणों को अवशोषित करता है, अगर ऑक्सीजन मिला दे तो वह ग्लास नाइट विजन या थर्मल कैमरा के काम नहीं करेगा। पोलोनियम को ग्लास बनाने में इस्तेमाल न करने का कारण यह है कि यह एक रेडियोधर्मी तत्व है, इससे निकलने वाली विकिरण बहुत घातक होती है। [1], [2]

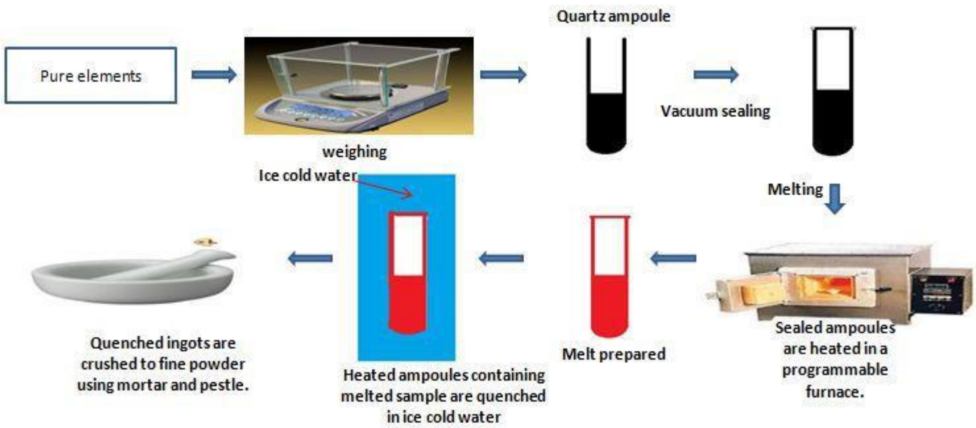
चैल्कोजेनाइड ग्लास दैनिक जीवन में उपयोगी चश्मे और खिड़कियों पर लगे कांच से अलग होते हैं। साधारण कांच हमें सिर्फ वह दिखता है जो हमारी आँखें देख सकती है, लेकिन चैल्कोजेनाइड ग्लास अवरक्त प्रकाश (उष्म किरणों) को अपने अंदर से गुजरने देता है। इस ग्लास की एक खासियत यह है कि सुगमतापूर्वक अपनी अवस्था बदल सकता है, यानि अनाकार (amorphous) स्थिति से क्रिस्टलीय (crystalline) स्थिति में परिवर्तित हो जाता है । इसका अपवर्तनांक साधारण कांच से बहुत अधिक होता है। यह ग्लास हवा और पानी से जल्दी खराब नहीं होता। दुनिया का पहला और सबसे प्रसिद्ध चैल्कोजेनाइड ग्लास Arsenic Trisulfide (As_2S_3) है। चैल्कोजेनाइड ग्लास का इतिहास किसी विज्ञान कथा पर आधारित चलचित्र की तरह है जो एक खूबसूरत पीले पत्थर से शुरू होकर आज के सुपर कंप्यूटर तक पहुंचता है। प्रारंभिक युग में इंसान को इस पदार्थो के बारे में तब पता चला जब ग्लास शब्द का वैज्ञानिक मतलब किसी को नहीं पता था। प्रकृति में आर्सेनिक ट्राइसल्फाइड एक पीले पत्थर के रूप में मिलता था जिसे रोम और ग्रीक के लोग इसका उपयोग रंग में करते थे। लेकिन तब किसी को नहीं पता था कि इसको पिघलाकर कांच बनाया जा सकता है। द्वितीय विश्व युद्ध के बाद वैज्ञानिकों ने ऐसी तकनीक विकसित करने का प्रयास किया जिसकी मदद से अंधेरे में भी देखना सुगम हो। रुडोल्फ फ्रेंच (1950) को चालकोजेनाइड ग्लास का जनक माना जाता है। उन्होंने प्रयोगशाला में आर्सेनिक ट्राइसल्फाइड तैयार किया। उन्होंने यह प्रदर्शित किया कि यह ग्लास अवरक्त किरणें को पूरी तरह से गुजरने देता है। इसी खोज ने 'नाइट विजन' तकनीकी की नींव रखीं। [3], [4] सूचना प्रौद्योगिकी के बढ़ते क्षेत्र में ऑप्टिकल स्टोरेज उपकरणों के लिए नए और अभिनव पदार्थों की मांग बढ़ रही है, जिससे उनके प्रकाश-संबंधी गुणों का अध्ययन करना अनिवार्य हो गया है। अनाकार अवस्था से क्रिस्टलीय अवस्था में नियंत्रित चरण संक्रमण से गुजरने की उनकी क्षमता उन्हें ऑप्टिकल डेटा स्टोरेज में उपयोग के लिए योग्य बनाती है। इन पदार्थों में क्रिस्टलीकरण को नियंत्रित करने की एक महत्वपूर्ण विधि थर्मल एनीलिंग है। [5] ओवशिनस्की ने 1960 के दशक में एक मेमोरी डिवाइस का विचार प्रस्तुत किया, जिसने चालकोजेनाइड पदार्थों के अनाकार और क्रिस्टलीय चरणों के प्रत्यावर्ती विद्युत व्यवहार का लाभ उठाया। इस अवधारणा पर आधारित, ऑप्टिकल मेमोरी का निर्माण किया गया जो डेटा को स्टोर करने के लिए ऑप्टिकल परावर्तन में अंतर का उपयोग करती है। अवस्था परिवर्तन स्मृति युक्तियो में चालकोजेनाइड पतली फिल्मों के उपयोग ने उन्नत डेटा स्टोरेज समाधानों का मार्ग प्रशस्त किया है, जो कुशल डेटा प्रबंधन की बढ़ती मांग का समर्थन करता है। [6]

भट्ट एवं अन्य [7] ने अवस्था परिवर्तन स्मृति हेतु GeS_2 युक्त Sb_2Te_3 फिल्मो का संश्लेषण तथा बैंड अन्तराल में वृद्धि को प्रदर्शित किया। केमपराजू एवं अन्य [8] के द्वारा $GeTe\text{-}Al_2Te_3$ चैल्कोजेनाइड ग्लास का संश्लेषण ऊष्मीय वाष्पीकरण तकनीक से किया गया तत्पश्चात विद्युत स्विचिंग तथा अवस्था परिवर्तन स्मृति गुणों का भी अध्यनन किया गया। मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक द्वारा संश्लेषित बहुघटक $(Se_{85}Te_{15})_{95}Sn_xAl_y$ चैल्कोजेनाइड ग्लास के संरचनात्मक, ऊष्मीय और विद्युत गुणों का विवरण शोएब एवं अन्य [9] द्वारा प्रस्तुत किया गया तथा तैयार किए गए ग्लास के विद्युत चरण परिवर्तन व्यवहार का और चरण परिवर्तन मेमोरी डिवाइस अनुप्रयोगों के लिए Se–Te ग्लास में Al और Sn के समावेश के महत्व पर चर्चा की गई है। सितो एवं अन्य [10] ने Bi-Te द्विआधारी मिश्र धातुओं को इंटरफेशियल फेज चेंज मेमोरी के लिए एक वैकल्पिक उम्मीदवार के रूप में खोजा। ये पदार्थ चरण परिवर्तन स्मृति प्रदर्शन को अनुकूलित करने के साथ-साथ नवीन कार्यात्मक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के निर्माण के लिए आशाजनक क्षमता प्रदान करते हैं। अली एवं अन्य [11] ने मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक द्वारा संश्लेषित GeTe चरण-परिवर्तन पदार्थों की क्रिस्टलीकरण गतिकी का अध्ययन किया गया। GeTe में अपने ग्लास नेटवर्क और विशिष्ट रिलैक्सेशन के कारण क्रिस्टल वृद्धि और न्यूक्लिएशन की दर अधिक दर्ज की गई है। ऐसे पदार्थों की अहमियत को

ध्यान में रखते हुए, इस शोध कार्य में हमने नैनो-पतली फ़िल्म के रूप में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ का विश्लेषण किया है।

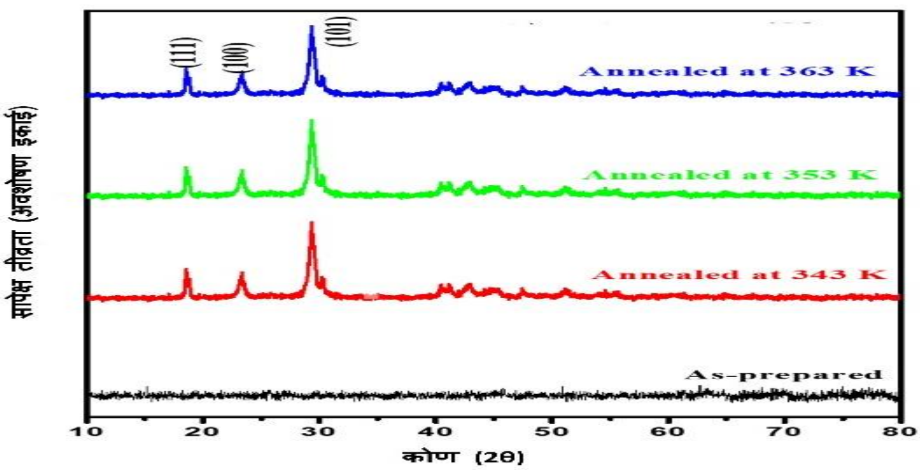
2. विवेचना:

इस शोध कार्य में हमारे द्वारा "मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक" से बल्क $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ ग्लास बनाया गया है। 5N शुद्धता वाली सामग्री, सेलेनियम (Se), इंडियम (In), टेल्यूरियम (Te) और टिन (Sn) को उनके परमाणु प्रतिशत के अनुसार मापा गया। इन्हें अल्ट्रासोनिक रूप से साफ किए गए क्वार्ट्ज़ एम्प्यूल्स में रखा गया था। एम्प्यूल्स को 10^{-5} टॉर वैक्यूम बनाए रखकर सील किया गया था। उच्च तापमान पर संश्लेषित नमूनों के ऑक्सीकरण से बचने के लिए एम्प्यूल्स के अंदर उच्च निर्वात बनाया गया था। इसके बाद, खाली किए गए एम्प्यूल्स को एक माइक्रोप्रोसेसर-नियंत्रित इलेक्ट्रिक फर्नेस में रखा गया, जो चार चरणों में संचालित होता था। पहले चरण में, तापमान को 2 घंटे के लिए 673 K पर बनाए रखा गया; दूसरे चरण में, इसे 2 घंटे के लिए 873 K तक बढ़ाया गया; तीसरे चरण में, इसे 3 घंटे के लिए 973 K पर सेट किया गया; और अंत में, चौथे चरण में, तापमान को 3 घंटे के लिए 1023 K तक बढ़ाया गया। पिघले हुए तत्वों की उचित समरूपता सुनिश्चित करने के लिए एम्प्यूल्स को लगातार हिलाया गया। इसके बाद, एम्प्यूल्स को बर्फ से ठंडे पानी में बुझाया गया। ठोस हो चुके नमूनों को एम्प्यूल तोड़कर निकाला गया और फिर उन्हें बारीक पाउडर में पीस लिया गया।



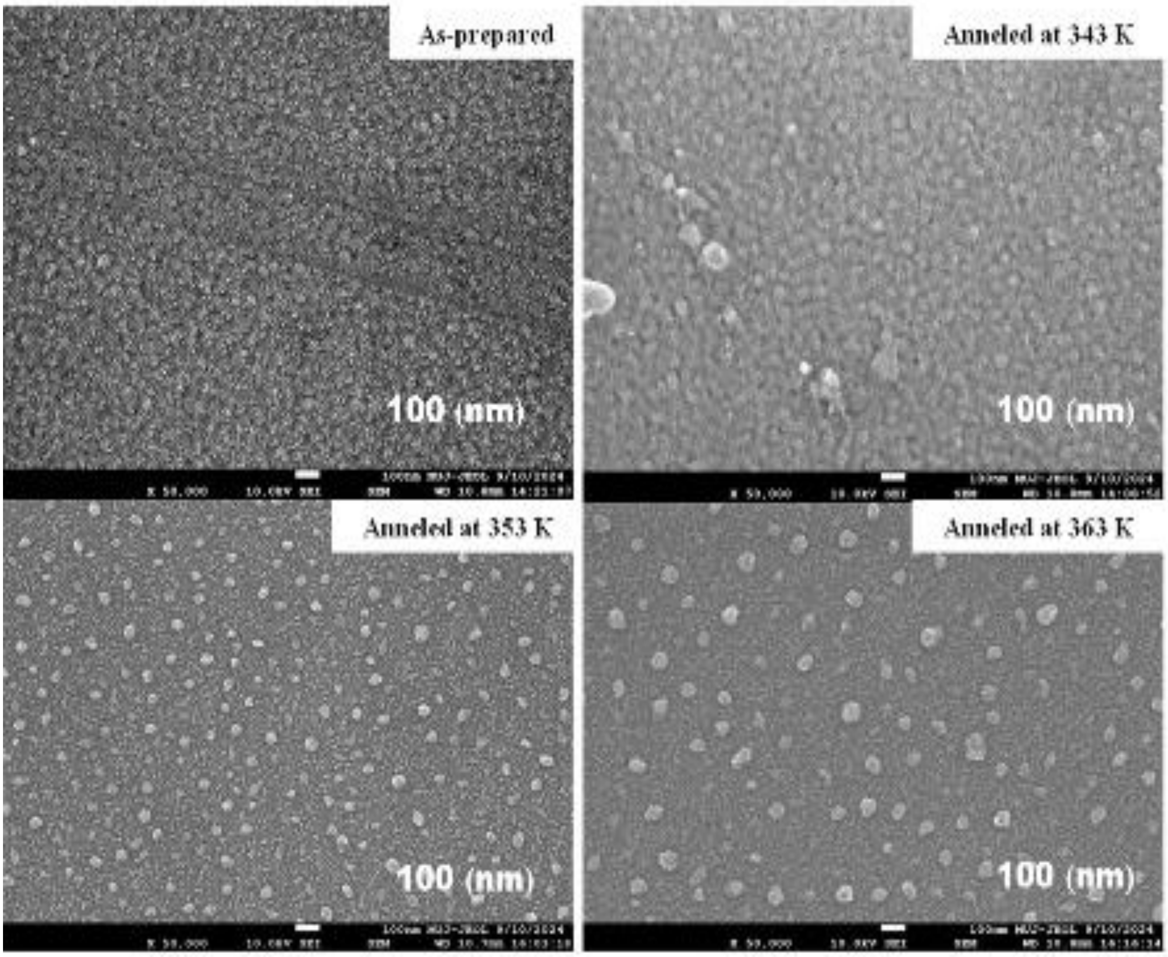
चित्र 1: बल्क चैल्कोजेनाइड ग्लास के संश्लेषण हेतु मेल्ट क्वेंचिंग तकनीक का योजनाबद्ध आरेख (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [1] से लिया गया है)

भौतिक वाष्प संघनन तकनीक द्वारा नैनो-चैल्कोजेनाइड की 20 नैनोमीटर मोटाई की पतली फिल्में बनाई गई है। फील्ड एमिशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (FESEM) तथा उच्च-रिज़ॉल्यूशन एक्स-रे विवर्तन (HRXRD) का उपयोग करके संशेलेतित पदार्थ के संरचना बारे में जानकारी प्राप्त किए हैं। अनाकार और क्रिस्टलीकृत पतली फिल्मों का HRXRD विश्लेषण रिगाकू अल्टिमा-IV एक्स-रे विवर्तनमापी का उपयोग करके किया गया, जिसमें 30 kV पर Cu-Kα विकिरण और 10 mA की धारा का प्रयोग किया गया। विवर्तन प्रोफाइल 10°-80° के 2θ रेंज में 2° प्रति मिनट की स्कैन दर के साथ प्राप्त किए गए, जिससे पतली फिल्म में मौजूद क्रिस्टलीय चरणों की पहचान संभव हुई।



चित्र 2: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों का HRXRD पैटर्न।

नैनो-चैल्कोजेनाइड की पतली फिल्म की सतह की आकृति विज्ञान का विश्लेषण उच्च-रिज़ॉल्यूशन JEOL/JSM 6610 स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप का उपयोग करके किया गया। चित्र 3 से स्पष्ट है कि तापमान बढ़ने के साथ फिल्मों की संरचना में महत्वपूर्ण परिवर्तन होता है। यह पाया गया कि प्रारंभिक अवस्था में तैयार की गई फिल्मो में सतह का खुरदरापन अधिक होता है, जबकि एनीलिंग की गई फिल्मों में एनीलिंग तापमान बढ़ने के साथ सतह पर कणिकाओं का निर्माण दिखाई देता है, जिससे यह संकेत मिलता है कि एनीलिंग तापमान में वृद्धि के कारण अनाकार अवस्था से क्रिस्टलीय अवस्था में अवस्था परिवर्तन अधिक स्पष्ट हो जाते हैं।



चित्र 3: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ की नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों की FESEM छवि।

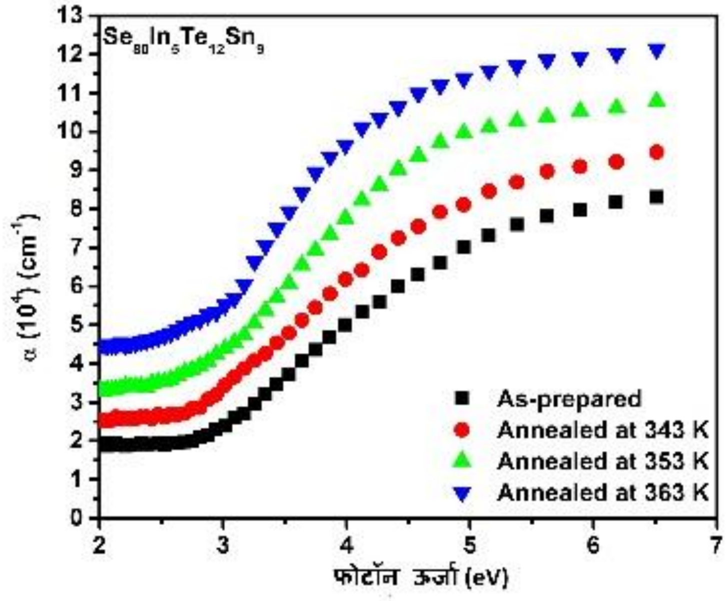
पतली फिल्म को अलग-अलग तापमान पर 2 घंटे तक ऊष्मीय ऊर्जा देकर इसकी "प्रकाशीय गुणों" का अध्ययन किया गया है। प्रकाशीय गुणों का अध्ययन JASCO UV/VIS/NIR स्पेक्ट्रोफोटोमीटर का उपयोग करके उनके प्रकाशीय अवशोषण को मापकर किया गया। माप 400-900 नैनोमीटर की तरंगदैर्ध्य सीमा पर किए गए थे।

निम्नलिखित समीकरण (1) का उपयोग करके, तैयार और एनील्ड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ फिल्मों के अवशोषण गुणांक (α) की गणना की गई है। [12]

$$\alpha = \text{प्रकाशीय घनत्व / फिल्म की मोटाई} \qquad (1)$$

सारणीबद्ध आंकड़ों से यह स्पष्ट है कि एक विशिष्ट तरंगदैर्ध्य पर, जैसे-जैसे एनीलिंग तापमान बढ़ता है, सभी पतली फिल्मों में अवशोषण गुणांक का मान बढ़ता जाता है। घातांकीय पूंछ पर α का मान निम्नलिखित संबंध द्वारा निर्धारित होता है। [13]

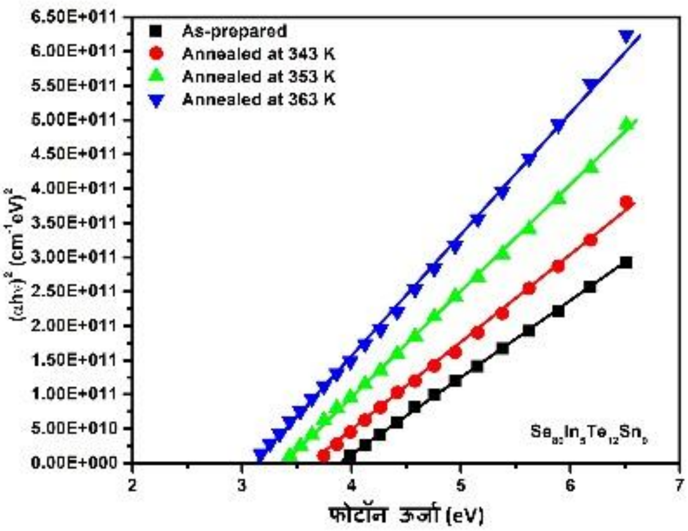
$$(\alpha h\nu)^p = B\,[h\nu - E_g] \qquad (2)$$



चित्र 4: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के आपतित फोटॉन ऊर्जा (hν) के साथ अवशोषण गुणांक (α) में परिवर्तन का ग्राफ।

यहां B एक पैरामीटर को दर्शाता है जो संक्रमण की संभावना पर निर्भर करता है, E_g प्रकाशीय बैंड अन्तराल को दर्शाता है, और प्रकाशीय संक्रमण को सूचकांक p द्वारा निर्धारित किया जाता है। प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष बैंड अन्तराल के लिए p के मान क्रमशः 2 और ½ पाए गए हैं। इस स्थिति में, सबसे उपयुक्त p का मान 2 पाया गया है, जो प्रत्यक्ष प्रकाशीय संक्रमण का संकेत देता है। [14]

चित्र 5, तैयार की गई और एनील्ड $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ पतली फिल्मों की फोटॉन ऊर्जा (hν) के मुकाबले $(\alpha h\nu)^2$ के बीच ग्राफ को दर्शाता है। ग्राफ के रैखिक भाग को ऊर्जा अक्ष, यानी X-अक्ष पर विस्तारित करके, प्रकाशीय बैंड अन्तराल की गणना सीधे की जा सकती है। तालिका 1 में तैयार की गई $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ पतली फिल्मों के प्रकाशीय बैंड अन्तराल के मानों का सारांश दिया गया है।



चित्र 5: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के लिए ऊर्जा (hν) के साथ $(\alpha h\nu)^2$ का ग्राफ।

यह पाया गया कि जब एनीलिंग तापमान बढ़ता है, तो प्रकाशीय बैंड अन्तराल सिकुड़ जाता है। अनाकार और क्रिस्टलीय अवस्थाओं के बीच होने वाले चरण संक्रमण प्रकाशीय बैंड अन्तराल में कमी का कारण बताते हैं। अनाकार पदार्थ का तापीय एनीलिंग कांच संक्रमण तापमान से ऊपर किया जाता है, जिससे कंपन ऊर्जा इतनी बढ़ जाती है कि यह कुछ कमजोर बंधनों को तोड़ सकती है और सिस्टम को कुछ स्थानांतरीय गतिशीलता प्रदान कर सकती है। अंततः, नाभिकीय निर्माण और वृद्धि से क्रिस्टलीकरण होता है, जो एनीलिंग तापमान पर निर्भर करता है। एनीलिंग तापमान बढ़ने के साथ-साथ तापीय रूप से परिवर्तित क्रिस्टलीय अवस्था भी बढ़ती है। हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि ये उत्पन्न क्रिस्टलीय अवस्थाएँ ही मुख्य रूप से प्रकाशीय बैंड अन्तराल में कमी के लिए उत्तरदायी हैं। [15]

3. उपसंघार:

हमारे शोध कार्य में $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड्स की 20 नैनोमीटर की पतली फिल्मो निर्माण किया गया और विभिन्न तापमानों पर एनीलिंग प्रभाव द्वारा अक्रिस्टलीय से क्रिस्टलीय अवस्था में परिवर्तन का अध्ययन किया गया। HRXRD और FESEM मापों से पुष्टि होती है कि हमारी तैयार की गई फिल्मों का अनाकार से क्रिस्टलीय अवस्था में परिवर्तित होता है और तापमान बढ़ने पर यह परिवर्तन अधिक स्पष्ट होता है, जो ऊष्मा-संरचनात्मक अवस्था परिवर्तन के कारण होता है। प्रकाशीय अवशोषण माप से संकेत मिलता है कि प्रकाशीय अवशोषण प्रत्यक्ष संक्रमण के कारण होता है। यह पाया गया है कि एनीलिंग तापमान बढ़ने पर प्रकाशीय बैंडगैप सिकुड़ता है, हालांकि, फोटॉन ऊर्जा में वृद्धि के साथ अवशोषण गुणांक बढ़ता हैं। उपरोक्त अध्यनन द्वारा यह निष्कर्ष प्राप्त होता है कि संश्लेषित $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड्स पतली फिल्में अवस्था परिवर्तन स्मृति युक्तियो में उपयोगी सिद्ध हो सकती है।

तालिका-1: $Se_{80}In_5Te_6Sn_9$ नैनो-चैल्कोजेनाइड की प्रारंभिक और एनील्ड पतली फिल्मों के प्रकाशीय प्राचल

प्रकाशीय स्थिरांक	***प्रारंभिक अवस्था की पतली फिल्म***	***343 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***	***353 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***	***363 K पर एनीलिंग की गई पतली फिल्म***
α (10^4) (सेमी$^{-1}$) λ = 480 nm पर	**2.32**	**3.13**	**3.94**	**5.11**
प्रकाशीय बैंड अंतराल (E_g)(eV)	**3.90**	**3.72**	**3.42**	**3.15**

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

[1] Hussain, I. H. (2025). Kinetics of Non Isothermal Crystallization and Optical Studies of Chalcogenide Glasses. Deen Dayal Upadhyay Gorakhpur University.http://hdl.handle.net/10603/689353

[2] Srivastava, A., Khan, Z. H., & Khan, S. A. (2024). Effect of ambient argon pressure on the structural, optical and electrical properties of non-crystalline $Se_{85}Te_3Bi_{12}$ nano-thin films. Journal of Physics D: Applied Physics, 57(9), 95303. https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad0ef8

[3] Smith, B. A., Cowlam, N., & Shamah, A. M. (1979). The crystal growth and atomic structure of $As_2(Se, S)_3$ compounds. Philosophical Magazine B, 39(2), 111–132. https://doi.org/10.1080/13642817908246342

[4] Choi, D.-Y., Madden, S., Bulla, D., Wang, R., Rode, A., & Luther-Davies, B. (2010). Thermal annealing of arsenic tri-sulphide thin film and its influence on device performance. Journal of Applied Physics, 107(5), 53106. https://doi.org/10.1063/1.3310803

[5] Khan, I. H., Srivastava, A., Tripathi, R. P., Shaheer Akhtar, M., Khan, Z. M. S. H., & Khan, S. A. (2026). Exploring the amorphous-to-crystalline phase transition in $Se_{80}In_5Te_{15-x}Bi_x$ chalcogenide thin films. Surface Review and Letters, 2650039. https://doi.org/10.1142/S0218625X26500393

[6] Khan, I. H., Srivastava, A., Tripathi, R. P., Zulfequar, M., & Khan, S. A. (2025). Impact of antimony blending on various thermal stability parameters and crystallization dynamics in amorphous $Se_{80}In_5Te_{15-x}Sb_x$ quaternary chalcogenide glasses. Phase Transitions, 98(4–5), 290–306. https://doi.org/10.1080/01411594.2025.2487995

[7] Bhatt, N., Parveen, S., Whab, A., Sulania, I., & Pumlianmunga. (2025). Enhancement in the thermal stability of Sb_2Te_3 film by co-doping of Ge and S for power-efficient phase change memory. Journal of Alloys and Compounds, 1048, 185212. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.185212

[8] Kemparaju, R., Rohit, Prabhudesai, A., Prasanth, S. C., Kumar, M. M., & Ramesh, K. (2025). Electrical switching and phase change properties of GeTe-Al_2Te_3 chalcogenide alloys. Ceramics International, 51(19, Part B), 29046–29054. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.04.110

[9] Shoab, M., Aslam, Z., Khatoon, N. F., Saifi, S., Ali, J., Khan, F., Alomairy, S., & Zulfequar, M. (2024). Investigation of thermal and electrical properties of Sn and Al incorporated Se–Te chalcogenide glasses for phase change memory applications. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 35(36), 2269. https://doi.org/10.1007/s10854-024-14005-1

[10] Saito, Y., Mitrofanov, K. V, Makino, K., Fons, P., Kolobov, A. V, Tominaga, J., Uesugi, F., & Takeguchi, M. (2021). Chalcogenide Materials Engineering for Phase-Change Memory and Future Electronics Applications: From Sb–Te to Bi–Te. Physica Status Solidi (RRL) – Rapid Research Letters, 15(3), 2000414. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pssr.202000414

[11] Chen, Y., Chen, S., Lin, Z., Song, L., Gu, C., Liu, Z., Xu, T., Wang, J.-Q., & Shen, X. (2025). Revealing the crystallization kinetics of melt-quenched GeTe for realistic phase-change memory applications. Journal of Alloys and Compounds, 1010, 178067. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.178067

[12] Srivastava, A., Khan, Z. M. S. H., Khan, Z. H., & Khan, S. A. (2024). Studies of $Se_{85}Te_{12}Bi_3$ and $Se_{85}Te_9Bi_6$ Nanochalcogenide Thin Films at Different Working Pressures. In Z. H. Khan, M. Jackson, & N. A. Salah (Eds.), Recent Advances in Nanomaterials (pp. 133–140). Springer Nature Singapore.

[13] Srivastava, A., Akhtar, M. S., Umar, A., Hashem, M., Alsarani, M. M., Fouad, H., & Khan, S. A. (2023). Comparative Study on Structural and Optical Properties of $Se_{85}Te_6$ Bi_9 Nano-Thin Films Synthesized at Disparate Ambient Argon Pressures. Science of Advanced Materials, 15(1), 10–16. https://doi.org/10.1166/sam.2023.4397

[14] Srivastava, A., Khan, S. A., & Srivastava, A. (2024). Fabrication and Characterization of Silicon Quantum Dots Thin Films for Optoelectronic Applications. SciEngg Advances, 1(4), 124–133. https://doi.org/https://doi.org/10.69626/sea.2024.0124

[15] Khan, S. A., Lal, J. K., & Al-Ghamdi, A. A. (2010). Thermal annealing effect of on optical constants of vacuum evaporated $Se_{75}S_{25-x}Cd_x$ chalcogenide thin films. Optics & Laser Technology, 42(5), 839–844. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2009.12.013

खंड ३, अंक १, मार्च -२०२६
ई-विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.3

टिहरी बाँध परियोजना: तकनीकी उपलब्धि और सामाजिक-पर्यावरणीय प्रभाव

तमन्ना धनाई*, अभिषेक प्रजापति
[1]*हेमवती नंदन बहुगुणा गढ़वाल विश्वविद्यालय (केंद्रीय विश्वविद्यालय श्रीनगर), उत्तराखंड, भारत-246001
[2]भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- dhanaitamanna@gmail.com, ap0858249@gmail.com

आलेख प्राप्त: ०२ जून २०२६; स्वीकृत: २३ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: १८ जून २०२६

सारांश

टिहरी बाँध परियोजना भारत की प्रमुख बहुउद्देशीय नदी घाटी परियोजनाओं में से एक है, जिसने जल संसाधन प्रबंधन, ऊर्जा उत्पादन, सिंचाई तथा पेयजल आपूर्ति के क्षेत्र में महत्वपूर्ण योगदान दिया है। यह अध्ययन टिहरी बाँध परियोजना के भौगोलिक, ऐतिहासिक, तकनीकी, सामाजिक, आर्थिक तथा पर्यावरणीय पहलुओं का समग्र विश्लेषण प्रस्तुत करता है। अध्ययन में द्वितीयक स्रोतों, सरकारी रिपोर्टों, शैक्षणिक सामग्री तथा प्रकाशित लेखों के आधार पर परियोजना के बहुआयामी प्रभावों का मूल्यांकन किया गया है। अध्ययन से स्पष्ट होता है कि इस परियोजना ने जलविद्युत उत्पादन, क्षेत्रीय विकास, सिंचाई विस्तार तथा पर्यटन को बढ़ावा देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। दूसरी ओर, विस्थापन, पुनर्वास, पर्यावरणीय क्षति तथा भूकंपीय जोखिम जैसी चुनौतियाँ भी इससे जुड़ी रही हैं। शोध यह निष्कर्ष प्रस्तुत करता है कि बड़े विकास कार्यों की सफलता केवल आर्थिक लाभों से नहीं, बल्कि सामाजिक न्याय, पर्यावरणीय संरक्षण तथा सतत विकास के सिद्धांतों के संतुलित समावेश से निर्धारित होती है। टिहरी बाँध परियोजना विकास और संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित करने की आवश्यकता को रेखांकित करती है।

सूचक शब्द- टिहरी बाँध परियोजना, जलविद्युत उत्पादन, विस्थापन, पर्यावरणीय प्रभाव, पुनर्वास, सतत विकास, जल संसाधन प्रबंधन, उत्तराखंड, नदी घाटी परियोजना, भूकंपीय जोखिम

खंड ३, अंक १, मार्च -२०२६
ई-विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.3

Tehri Dam Project: Technical Achievements and Socio-

Tamanna Dhanai*, Abhishek Prajapati
[1]*Hemvati Nandan Bahuguna Garhwal University, Srinagar, Uttarakhand, India-246001
[2]Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding author Email*: dhanaitamanna@gmail.com, ap0858249@gmail.com

Received on: 02 Jun 2026; Accepted: 23 Jun 2026
Published Online First on: 28 Jun 2026

ABSTRACT

The Tehri Dam Project is one of India's major multipurpose river valley projects that has played a significant role in water resource management, hydroelectric power generation, irrigation, and drinking water supply. This study presents a comprehensive analysis of the geographical, historical, technical, social, economic, and environmental dimensions of the Tehri Dam Project. The study is based on secondary data sources, including government reports, academic literature, official documents, and published articles, to examine the multidimensional impacts of the project. The findings indicate that the project has contributed significantly to hydroelectric power generation, regional development, irrigation expansion, and tourism growth. However, issues such as displacement, rehabilitation challenges, environmental degradation, and seismic risks have also emerged as major concerns associated with the project. The study concludes that the success of large-scale development projects should not be evaluated solely on economic benefits but also on the basis of social justice, environmental sustainability, and balanced development. The Tehri Dam Project highlights the importance of maintaining equilibrium between development objectives and environmental conservation for sustainable growth.

Keywords: Tehri Dam Project, Hydroelectric Power Generation, Displacement, Environmental Impact, Rehabilitation, Sustainable Development, Water Resource Management, Uttarakhand, River Valley Project, Seismic Risk

भारत जैसे विकासशील देश के लिए जल और ऊर्जा संसाधनों का सुनियोजित और संतुलित उपयोग अत्यंत आवश्यक है। बढ़ती जनसंख्या, औद्योगीकरण और शहरीकरण के कारण बिजली, सिंचाई और पेयजल की मांग निरंतर बढ़ रही है[1]। इन आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए देश में अनेक बड़ी नदी घाटी परियोजनाएँ विकसित की गई हैं, जिनमें टिहरी बाँध परियोजना का विशेष स्थान है। टिहरी बाँध न केवल भारत का बल्कि एशिया का भी सबसे ऊँचा बाँध माना जाता है। यह परियोजना उत्तराखंड राज्य में स्थित है और इसके माध्यम से उत्तर भारत के कई राज्यों को ऊर्जा, जल और सिंचाई की सुविधा प्राप्त होती है। टिहरी बाँध परियोजना को आधुनिक भारत के विकास का प्रतीक माना जाता है। यह एक ऐसी बहुउद्देशीय परियोजना है जो एक साथ कई समस्याओं का समाधान प्रस्तुत करती है। इसके निर्माण ने देश की जल विद्युत क्षमता में उल्लेखनीय वृद्धि की है[2], वहीं दूसरी ओर इसके सामाजिक और पर्यावरणीय प्रभावों ने व्यापक बहस को भी जन्म दिया है। इस निबंध में टिहरी बाँध परियोजना के भौगोलिक, ऐतिहासिक, तकनीकी, सामाजिक, आर्थिक और पर्यावरणीय पहलुओं पर विस्तार से प्रकाश डाला गया है।

भौगोलिक स्थिति और प्राकृतिक परिवेश

टिहरी बाँध उत्तराखंड राज्य के टिहरी गढ़वाल जिले में स्थित है। यह भागीरथी नदी पर बनाया गया है, जो आगे चलकर अलकनंदा नदी से मिलकर गंगा नदी का निर्माण करती है। यह क्षेत्र हिमालय की पर्वतीय श्रृंखला में स्थित है, जहाँ ऊँचे-ऊँचे पहाड़, गहरी घाटियाँ और तेज बहाव वाली नदियाँ पाई जाती हैं।

भागीरथी और भिलंगना नदियों के संगम के पास स्थित यह बाँध क्षेत्र भूकंपीय दृष्टि से संवेदनशील माना जाता है। यहाँ की चट्टानी संरचना, वर्षा की अधिकता और भूस्खलन की संभावनाएँ इस क्षेत्र को तकनीकी रूप से चुनौतीपूर्ण बनाती हैं। इसके बावजूद, इंजीनियरों और वैज्ञानिकों ने इस कठिन भू-भाग में एक विशाल संरचना का निर्माण कर एक ऐतिहासिक उपलब्धि हासिल की।

टिहरी बाँध के आसपास का क्षेत्र प्राकृतिक सौंदर्य से भरपूर है। घने वन, पहाड़ी ढलान, स्वच्छ हवा और शांत वातावरण इस क्षेत्र को एक आकर्षक पर्यटन स्थल बनाते हैं। बाँध के निर्माण के बाद बनी टिहरी झील ने इस क्षेत्र की भौगोलिक पहचान को और भी अधिक प्रसिद्ध बना दिया है [2-3]।

चित्र 1: टिहरी बाँध
स्रोत:THDC India Limited (2024)

ऐतिहासिक पृष्ठभूमि और योजना का विकास

टिहरी बाँध परियोजना की परिकल्पना पहली बार 1940 के दशक में की गई थी। उस समय देश की बढ़ती ऊर्जा और सिंचाई आवश्यकताओं को ध्यान में रखते हुए गंगा नदी प्रणाली के अंतर्गत एक बड़ी परियोजना की आवश्यकता महसूस की गई। प्रारंभिक सर्वेक्षण और तकनीकी अध्ययन के बाद 1960 और 1970 के दशक में इस परियोजना की विस्तृत योजना तैयार की गई।

वर्ष 1978 में टिहरी बाँध का निर्माण कार्य औपचारिक रूप से शुरू किया गया। इस परियोजना को टिहरी हाइड्रो डेवलपमेंट कॉर्पोरेशन (THDC) द्वारा क्रियान्वित किया गया, जिसमें भारत सरकार और उत्तर प्रदेश (बाद में उत्तराखंड) सरकार की साझेदारी रही।

निर्माण के दौरान अनेक तकनीकी, वित्तीय और सामाजिक चुनौतियाँ सामने आई। बाँध स्थल की भूकंपीय संवेदनशीलता, स्थानीय लोगों का विरोध, पर्यावरणीय चिंताएँ और विस्थापन की समस्या ने इस परियोजना को कई बार विवादों में घेर लिया। इसके बावजूद, सरकार और परियोजना प्रबंधन ने इन चुनौतियों का सामना करते हुए निर्माण कार्य को आगे बढ़ाया। अंततः वर्ष 2006 में टिहरी बाँध परियोजना का मुख्य चरण पूर्ण हुआ और विद्युत उत्पादन प्रारंभ किया गया।[3-4]

संरचना और तकनीकी विशेषताएँ

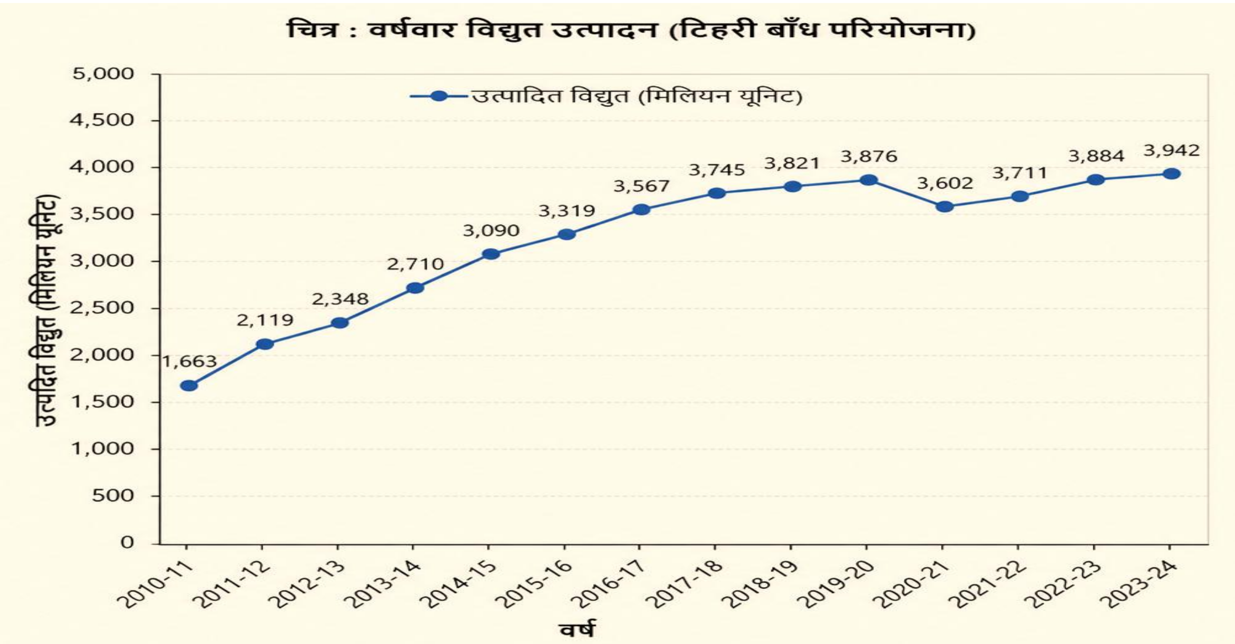
टिहरी बाँध एक रॉक-फिल डैम है, अर्थात यह मुख्य रूप से मिट्टी और चट्टानों से बनाया गया है। इसकी ऊँचाई लगभग 260 मीटर है, जिससे यह एशिया का सबसे ऊँचा बाँध बनता है। इसकी लंबाई लगभग 575 मीटर है और इसका आधार अत्यंत मजबूत चट्टानों पर स्थित है।

इस बाँध के पीछे बना जलाशय, जिसे टिहरी झील के नाम से जाना जाता है, लगभग 3540 मिलियन घन मीटर जल संग्रहण क्षमता रखता है। यह विशाल जलाशय उत्तर भारत के कई राज्यों के लिए जल और ऊर्जा का प्रमुख स्रोत है।[3-4]

टिहरी परियोजना के अंतर्गत दो प्रमुख विद्युत उत्पादन इकाइयाँ स्थापित की गई हैं। पहली चरण में 1000 मेगावाट की जल विद्युत क्षमता विकसित की गई, जबकि बाद में पंप स्टोरेज योजना के अंतर्गत अतिरिक्त क्षमता जोड़ी गई। पंप स्टोरेज प्रणाली के माध्यम से रात के समय अतिरिक्त बिजली का उपयोग करके पानी को ऊपर की ओर पंप किया जाता है और दिन में आवश्यकता के अनुसार उसे नीचे गिराकर बिजली उत्पन्न की जाती है।

सारणी 1: वर्षवार विद्युत उत्पादन (टिहरी बाँध परियोजना) (2)

वर्ष	**उत्पादित विद्युत (मिलियन यूनिट) (MU)**	**स्थापित क्षमता का प्रतिशत उपयोग (%)**
2010–11	1663	47.5
2011–12	2119	60.5
2012–13	2348	67.1
2013–14	2710	77.4
2014–15	3090	88.3
2015–16	3319	94.8
2016–17	3567	102.0
2017–18	3745	107.1
2018–19	3821	109.3
2019–20	3876	110.9
2020–21	3602	103.2
2021–22	3711	106.3
2022–23	3884	111.2
2023–24	3942	112.6



चित्र 2 में टिहरी बाँध परियोजना के वर्ष 2010–11 से 2023–24 तक के वार्षिक विद्युत उत्पादन को दर्शाया गया है। ग्राफ से स्पष्ट होता है कि परियोजना का विद्युत उत्पादन समय के साथ सामान्यतः बढ़ता गया है। वर्ष 2010–11 में विद्युत उत्पादन 1,663 मिलियन यूनिट (MU) था, जो वर्ष 2023–24 में बढ़कर 3,942 मिलियन यूनिट (MU) हो गया। वर्ष 2020–21 में उत्पादन में हल्की कमी दिखाई देती है, जिसके पीछे जल उपलब्धता, वर्षा की स्थिति तथा परिचालन संबंधी कारण हो सकते हैं। इसके बाद पुनः उत्पादन में वृद्धि दर्ज की गई। समग्र रूप से यह ग्राफ दर्शाता है कि टिहरी बाँध परियोजना उत्तर भारत की ऊर्जा आवश्यकताओं की पूर्ति में निरंतर महत्वपूर्ण योगदान दे रही है तथा इसकी उत्पादन क्षमता का प्रभावी उपयोग किया जा रहा है।

परियोजना के उद्देश्य

टिहरी बाँध परियोजना को एक बहुउद्देशीय परियोजना के रूप में विकसित किया गया है। इसके प्रमुख उद्देश्य निम्नलिखित हैं:

1. **जल विद्युत उत्पादन** – देश की बढ़ती बिजली की मांग को पूरा करना और स्वच्छ ऊर्जा का स्रोत उपलब्ध कराना।
2. **सिंचाई सुविधा** – उत्तर प्रदेश और उत्तराखंड के कृषि क्षेत्रों को सिंचाई के लिए जल उपलब्ध कराना।
3. **पेयजल आपूर्ति** – दिल्ली और आसपास के शहरी क्षेत्रों को स्वच्छ पेयजल प्रदान करना।
4. **बाढ़ नियंत्रण** – मानसून के दौरान गंगा नदी के जलस्तर को नियंत्रित कर बाढ़ से होने वाले नुकसान को कम करना।
5. **क्षेत्रीय विकास** – पर्यटन, रोजगार और स्थानीय अर्थव्यवस्था को बढ़ावा देना।

सामाजिक प्रभाव और विस्थापन की समस्या

टिहरी बाँध परियोजना का सबसे महत्वपूर्ण और संवेदनशील पहलू इसका सामाजिक प्रभाव रहा है। बाँध के निर्माण के कारण पुराना टिहरी शहर और आसपास के कई गाँव जलाशय क्षेत्र में डूब गए। इसके परिणामस्वरूप हजारों परिवारों को अपने घर, जमीन और आजीविका छोड़नी पड़ी।

विस्थापित लोगों के लिए नए टिहरी शहर की स्थापना की गई, जहाँ उन्हें आवास, शिक्षा, स्वास्थ्य और अन्य बुनियादी सुविधाएँ प्रदान करने का प्रयास किया गया। हालांकि, कई लोगों का मानना है कि पुनर्वास की प्रक्रिया पूरी तरह संतोषजनक नहीं रही और लोगों को अपने पारंपरिक सामाजिक और सांस्कृतिक परिवेश से अलग होना पड़ा।

इस विस्थापन ने स्थानीय समुदायों के जीवन पर गहरा प्रभाव डाला। कृषि, पशुपालन और पारंपरिक व्यापार जैसे आजीविका के साधन प्रभावित हुए। सामाजिक संबंधों और सांस्कृतिक परंपराओं में भी परिवर्तन देखने को मिला।

आर्थिक लाभ और क्षेत्रीय विकास

टिहरी बाँध परियोजना ने उत्तर भारत की अर्थव्यवस्था पर सकारात्मक प्रभाव डाला है। जल विद्युत उत्पादन से प्राप्त ऊर्जा ने औद्योगिक विकास को गति दी है। इससे रोजगार के नए अवसर पैदा हुए हैं और स्थानीय लोगों को प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से लाभ मिला है।

सिंचाई सुविधाओं के विस्तार से कृषि उत्पादन में वृद्धि हुई है। इससे किसानों की आय बढ़ी है और ग्रामीण क्षेत्रों में आर्थिक स्थिरता आई है।

टिहरी झील और आसपास का क्षेत्र एक प्रमुख पर्यटन स्थल के रूप में उभरा है। जल क्रीड़ा, नौका विहार और प्राकृतिक सौंदर्य का आनंद लेने के लिए देश-विदेश से पर्यटक यहाँ आते हैं। इससे होटल, परिवहन और स्थानीय व्यवसायों को बढ़ावा मिला है[1,2]।

पर्यावरणीय प्रभाव और चुनौतियाँ

टिहरी बाँध परियोजना के पर्यावरणीय प्रभावों को लेकर व्यापक बहस हुई है। बाँध के निर्माण से बड़े पैमाने पर वन क्षेत्र जलमग्न हो गए, जिससे जैव विविधता पर नकारात्मक प्रभाव पड़ा। कई वन्य जीवों का प्राकृतिक आवास नष्ट हुआ और पारिस्थितिकी तंत्र में बदलाव आया।

इसके अलावा, हिमालयी क्षेत्र में बाँध निर्माण से भूकंपीय जोखिम बढ़ने की आशंका भी व्यक्त की गई। कुछ वैज्ञानिकों का मानना है कि बड़े जलाशयों के कारण भू-गर्भीय दबाव बढ़ सकता है, जिससे भूकंप की संभावना में वृद्धि हो सकती है।

नदी के प्राकृतिक प्रवाह में बदलाव से नीचे की ओर स्थित क्षेत्रों की जल उपलब्धता और मिट्टी की उर्वरता पर भी प्रभाव पड़ा है। पर्यावरणविदों का तर्क है कि नदी के साथ-साथ बहने वाली गाद (सिल्ट) का प्रवाह रुकने से कृषि भूमि की उर्वरता कम हो सकती है[4,5]।

विवाद और जन आंदोलन

टिहरी बाँध परियोजना के दौरान कई सामाजिक और पर्यावरणीय संगठनों ने इसका विरोध किया [चित्र 3] । प्रमुख पर्यावरणविद् और सामाजिक कार्यकर्ताओं ने बाँध के निर्माण को हिमालयी क्षेत्र के लिए खतरनाक बताया।

स्थानीय लोगों द्वारा कई बार आंदोलन किए गए, जिनमें पुनर्वास, मुआवजा और पर्यावरण संरक्षण की मांग की गई। इन आंदोलनों ने सरकार और परियोजना प्रबंधन को पुनर्वास नीति और पर्यावरणीय सुरक्षा उपायों पर पुनर्विचार करने के लिए मजबूर किया[1,4]।

हालांकि, सरकार का यह तर्क रहा कि राष्ट्रीय हित और विकास की आवश्यकताओं को ध्यान में रखते हुए इस परियोजना का निर्माण आवश्यक है।

चित्र 3: टिहरी बाँध परियोजनाओं के विरुद्ध जन आंदोलन और विरोध प्रदर्शन
स्रोत: https://www.jagranjosh.com/general-knowledge/highest-dam-of-india-tehri-dam-all-you-need-to-know-1655288007-1

टिहरी बाँध और राष्ट्रीय विकास

टिहरी बाँध परियोजना को राष्ट्रीय विकास के संदर्भ में एक महत्वपूर्ण उपलब्धि माना जाता है। यह परियोजना देश की जल विद्युत क्षमता को बढ़ाने में सहायक रही है और उत्तर भारत के कई राज्यों की जल और ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा कर रही है।

इसके माध्यम से स्वच्छ और नवीकरणीय ऊर्जा के उपयोग को बढ़ावा मिला है, जो पर्यावरण संरक्षण की दिशा में एक सकारात्मक कदम है। इसके अलावा, सिंचाई और पेयजल आपूर्ति के माध्यम से यह परियोजना सामाजिक कल्याण में भी योगदान देती है[6,7]।

भूकंपीय सुरक्षा, पुनर्वास, लागत-लाभ विश्लेषण एवं भविष्य की संभावनाएँ

भूकंपीय सुरक्षा और तकनीकी चुनौतियाँ

टिहरी बाँध हिमालयी क्षेत्र में स्थित है, जो भारत के सबसे अधिक भूकंप-संवेदनशील क्षेत्रों में से एक माना जाता है। यह क्षेत्र भूकंपीय ज़ोन-V में आता है, जहाँ उच्च तीव्रता के भूकंप आने की संभावना रहती है। इसी कारण टिहरी बाँध के निर्माण के समय इसकी सुरक्षा को लेकर अनेक प्रश्न उठाए गए थे।

परियोजना के इंजीनियरों और भूवैज्ञानिकों ने बाँध की संरचना को इस प्रकार डिजाइन किया कि वह अत्यधिक तीव्र भूकंपीय गतिविधियों को भी सहन कर सके। बाँध के निर्माण में आधुनिक तकनीकों का उपयोग किया गया तथा इसकी नींव को मजबूत चट्टानी आधार पर स्थापित किया गया। विशेषज्ञों के अनुसार यह बाँध उच्च तीव्रता के भूकंपों का सामना करने में सक्षम है। इसके बावजूद कुछ वैज्ञानिकों और पर्यावरणविदों का मानना है कि विशाल जलाशय के कारण क्षेत्र में भूगर्भीय दबाव बढ़ सकता है, जिससे भूकंपीय जोखिमों का निरंतर अध्ययन आवश्यक है।

इस प्रकार टिहरी बाँध न केवल एक इंजीनियरिंग उपलब्धि है, बल्कि भूकंप-रोधी संरचनाओं के विकास का भी एक महत्वपूर्ण उदाहरण प्रस्तुत करता है।

पुनर्वास एवं पुनर्स्थापन

टिहरी बाँध परियोजना के कारण पुराना टिहरी शहर तथा अनेक गाँव जलाशय क्षेत्र में डूब गए। इसके परिणामस्वरूप हजारों परिवारों को अपने घरों, कृषि भूमि और आजीविका के स्रोतों को छोड़कर अन्य स्थानों पर बसना पड़ा। विस्थापन की यह प्रक्रिया परियोजना का सबसे संवेदनशील सामाजिक पहलू रही है।

सरकार द्वारा प्रभावित लोगों के लिए पुनर्वास योजनाएँ लागू की गईं तथा नए टिहरी शहर का विकास किया गया। विस्थापित परिवारों को आवास, मुआवजा, शिक्षा और स्वास्थ्य सुविधाएँ प्रदान करने का प्रयास किया गया। हालांकि अनेक लोगों ने यह शिकायत की कि आर्थिक मुआवजा उनके सामाजिक और सांस्कृतिक नुकसान की भरपाई नहीं कर सका।

पुनर्वास की प्रक्रिया ने यह स्पष्ट किया कि किसी भी बड़ी विकास परियोजना में केवल आर्थिक लाभ ही पर्याप्त नहीं होते, बल्कि प्रभावित समुदायों की सामाजिक, सांस्कृतिक और भावनात्मक आवश्यकताओं को भी समान महत्व दिया जाना चाहिए।

लागत-लाभ विश्लेषण

टिहरी बाँध परियोजना भारत की सबसे महंगी जल संसाधन परियोजनाओं में से एक रही है। निर्माण अवधि लंबी होने के कारण इसकी लागत समय के साथ बढ़ती गई। हालांकि प्रारंभिक लागत अनुमान की तुलना में अंतिम व्यय अधिक रहा, फिर भी परियोजना से प्राप्त दीर्घकालिक लाभ इसे राष्ट्रीय स्तर पर महत्वपूर्ण बनाते हैं।

परियोजना से प्राप्त प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं—

- जल विद्युत उत्पादन के माध्यम से स्वच्छ ऊर्जा की उपलब्धता।
- लाखों लोगों को पेयजल आपूर्ति।
- कृषि क्षेत्रों के लिए सिंचाई सुविधा।
- बाढ़ नियंत्रण में सहायता।

- पर्यटन और रोजगार के अवसरों में वृद्धि।

दूसरी ओर, वन क्षेत्रों का जलमग्न होना, जैव विविधता की क्षति तथा विस्थापन जैसी सामाजिक और पर्यावरणीय लागतें भी परियोजना से जुड़ी हुई हैं। इसलिए टिहरी बाँध परियोजना का मूल्यांकन करते समय आर्थिक लाभों के साथ-साथ सामाजिक और पर्यावरणीय प्रभावों को भी ध्यान में रखना आवश्यक है[2,6,7]।

Strengths (ताकत)

- विशाल जलविद्युत उत्पादन क्षमता।
- उत्तर भारत के लिए महत्वपूर्ण पेयजल स्रोत।
- सिंचाई सुविधाओं का विस्तार।
- बाढ़ नियंत्रण में सहायक।

Weaknesses (कमज़ोरियाँ)

- बड़े पैमाने पर विस्थापन।
- पर्यावरणीय क्षति।
- उच्च निर्माण एवं रखरखाव लागत।

Opportunities (अवसर)

- पर्यटन विकास।
- जल क्रीड़ा गतिविधियों का विस्तार।
- क्षेत्रीय रोजगार सृजन।
- नवीकरणीय ऊर्जा क्षेत्र को बढ़ावा।

Threats (खतरे)

- भूकंपीय जोखिम।
- जलवायु परिवर्तन का प्रभाव।
- पारिस्थितिक असंतुलन।
- जलाशय में गाद (सिल्ट) का बढ़ता संचय।

भविष्य की संभावनाएँ

टिहरी बाँध परियोजना भविष्य में भारत की ऊर्जा और जल सुरक्षा में और अधिक महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है। पंप्ड स्टोरेज परियोजनाओं के विस्तार से बिजली की मांग और आपूर्ति के बीच संतुलन स्थापित करने में सहायता मिलेगी। इसके अतिरिक्त, सौर और पवन ऊर्जा जैसे अन्य नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के साथ समन्वय स्थापित कर ऊर्जा क्षेत्र को और अधिक सुदृढ़ बनाया जा सकता है।

पर्यटन के क्षेत्र में भी टिहरी झील नई संभावनाएँ प्रस्तुत करती है। जल क्रीड़ा, साहसिक पर्यटन तथा पर्यावरणीय पर्यटन के विकास से स्थानीय अर्थव्यवस्था को और अधिक लाभ मिल सकता है। साथ ही, पर्यावरण संरक्षण, पुनर्वास सुधार और सतत विकास की नीतियों को मजबूत बनाकर इस परियोजना को भविष्य की विकास योजनाओं के लिए एक आदर्श मॉडल बनाया जा सकता है[6,7]।

निष्कर्ष

इस अध्ययन से स्पष्ट होता है कि टिहरी बाँध परियोजना भारत की जल संसाधन प्रबंधन और ऊर्जा विकास रणनीति का एक महत्वपूर्ण अंग है। इसने बिजली उत्पादन, सिंचाई, पेयजल आपूर्ति और क्षेत्रीय विकास में उल्लेखनीय योगदान दिया है। साथ ही यह परियोजना यह भी दर्शाती है कि बड़े विकास कार्यों में सामाजिक न्याय, पर्यावरण संरक्षण और स्थानीय समुदायों की भागीदारी को समान महत्व देना आवश्यक है। विकास और संरक्षण के मध्य संतुलन स्थापित करके ही ऐसी परियोजनाओं को दीर्घकालिक रूप से सफल बनाया जा सकता है। टिहरी बाँध परियोजना भारत की सबसे महत्वपूर्ण और चर्चित नदी घाटी परियोजनाओं में से एक है। यह एक ओर विकास, ऊर्जा उत्पादन और जल प्रबंधन का प्रतीक है, वहीं दूसरी ओर इसके सामाजिक और पर्यावरणीय प्रभावों ने गंभीर प्रश्न भी खड़े किए हैं।

यह परियोजना हमें यह सिखाती है कि बड़े विकास कार्यों में केवल तकनीकी और आर्थिक पहलुओं पर ही नहीं, बल्कि सामाजिक और पर्यावरणीय संतुलन पर भी समान रूप से ध्यान देना आवश्यक है। यदि भविष्य में ऐसी परियोजनाओं को अधिक संवेदनशीलता और सहभागिता के साथ लागू किया जाए, तो विकास और संरक्षण के बीच एक बेहतर संतुलन स्थापित किया जा सकता है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. भारत सरकार, जल शक्ति मंत्रालय – जल संसाधन परियोजनाएँ, https://www.jalshakti-dowr.gov.in/
2. टिहरी हाइड्रो डेवलपमेंट कॉर्पोरेशन (THDC) – आधिकारिक वेबसाइट, https://thdc.co.in/en
3. एनसीईआरटी भूगोल की पाठ्यपुस्तकें (कक्षा 9–12)
4. Down To Earth पत्रिका – टिहरी बाँध परियोजना पर विशेष लेख, https://www.downtoearth.org.in/environment/tehri-hanging-over-troubled-waters-29733
5. Britannica. (2024). *Tehri Dam*. Encyclopaedia Britannica, http://britannica.com/topic/Tehri-Dam
6. Environmental aspects tehri dam final, https://www.slideshare.net/slideshow/environmental-aspects-tehri-dam-final/53747850
7. S K Verma *et al* 2022 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **1032** 012020, **DOI** 10.1088/1755-1315/1032/1/012020

ई-विज्ञानम

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.4

COVID-19 के कारण लॉकडाउन से पहले और उसके दौरान परिवेशी वायु की गुणवत्ता का विश्लेषण: हापुड़ (NCR नगर), उत्तर प्रदेश - एक केस अध्ययन

संगीता अग्रवाल*, मानवेन्द्र सिंह बघेल
रसायन विज्ञान विभाग, श्री सरस्वती विद्यालय, हापुड़ रोड, रफीक नगर, उत्तर प्रदेश, भारत-245101
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- sagarwal.chem@gmail.com

आलेख प्राप्त: १३ जून २०२६; अंतिम संशोधन: २६ जून २०२६; स्वीकृत: ३० जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० जून २०२६

सारांश

प्रस्तुत अध्ययन दिल्ली के पास स्थित हापुड़ में परिवेशी वायु की गुणवत्ता की प्रवृत्ति का विश्लेषण करता है। इसमें अलग-अलग लॉकडाउन अवधि के दौरान कणिकीय पदार्थ-2.5(PM2.5 – Particulate Matter 2.5), कणिकीय पदार्थ-10(PM10), कार्बन मोनोऑक्साइड (CO), सल्फर डाइऑक्साइड (SO_2) और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड (NO_2) जैसे प्रदूषकों के स्तरो की तुलना कोविड-19 लॉकडाउन से पहले और उसके दौरान लॉकडाउन अवधि से की गई है। प्रदूषकों का प्रतिदिन का डेटा (घंटे के औसत के आधार पर) दिल्ली में के०प्र०नि०बो०(CPCB) की वेबसाइट से लिया गया था। यह अध्ययन मुख्य रूप से वायु के प्रदूषण और वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) पर ध्यान केन्द्रित करती है। इसमें लॉकडाउन से पहले की अवधि (01 मार्च 2020 से 22 मार्च 2020, जिसमें जनता निषेधाज्ञा(Curfew) का एक दिन यानी 22 मार्च 2020 शामिल है), पहला लॉकडाउन (25 मार्च 2020 - 13 अप्रैल 2020), दूसरा लॉकडाउन (15 अप्रैल 2020 – 03 मई 2020), तीसरा लॉकडाउन (04 मई 2020 – 17 मई 2020) और चौथा लॉकडाउन (18 मई 2020 – 31 मई 2020) शामिल हैं। लॉकडाउन से पहले के 21 दिनों की तुलना में पहले और चौथे लॉकडाउन के दौरान वायु की गुणवत्ता में काफी सुधार हुआ। 22 मार्च 2020 को, यानी जनता निषेधाज्ञा(Curfew) वाले दिन, हापुड़ में वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) सामान्य श्रेणी (Moderate) का था, जो बाद के लॉकडाउन में भी सामान्य ही रहा और धीरे-धीरे उसमें सुधार हुआ। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान कणिकीय पदार्थ-2.5 की मात्रा का दायरा क्रमशः 14–98 $\mu g/m^3$, 19–60 $\mu g/m^3$, 18-74 $\mu g/m^3$, 22–65 $\mu g/m^3$ और 13–73 $\mu g/m^3$ दर्ज किया गया। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान कणिकीय पदार्थ-10 सांद्रता की सीमा क्रमशः 22-211 $\mu g/m^3$, 36-222 $\mu g/m^3$, 62-310 $\mu g/m^3$, 73-220 $\mu g/m^3$ और 18-232 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान SO_2 सांद्रता की सीमा क्रमशः 1-16 $\mu g/m^3$, 6-11 $\mu g/m^3$, 4-13 $\mu g/m^3$, 3-11 $\mu g/m^3$ और 2-7 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान NO_2 सांद्रता की सीमा क्रमशः 35-72 $\mu g/m^3$, 42-69 $\mu g/m^3$, 42-67 $\mu g/m^3$, 45-63 $\mu g/m^3$ और 48-69 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। 8 घंटे के CO सांद्रता का विश्लेषण किया गया और पाया गया कि यह मानक सीमा से अधिक था। यह सीमा 0% (चौथे लॉकडाउन में 16:00 से 24:00 बजे के बीच) से लेकर 48% (पहले लॉकडाउन में 00:00 से 08:00 बजे के बीच) तक थी। लॉकडाउन के कारण कणिकीय पदार्थ के संघटन (Composition) में बारीक कणों के असर का विश्लेषण करने के लिए PM2.5 और PM10 का अनुपात भी निकाला गया, जो 0.3 से 0.6 के बीच पाया गया। मुख्य बात यह है कि इस अध्ययन में शामिल दूसरे समय की तुलना में लॉकडाउन-1 के दौरान सभी प्रदूषकों का स्तर काफी कम रहा। इस केस अध्ययन से पता चला कि गाड़ियों की संचालन, उद्योग(इंडस्ट्री), निर्माण और तोड़-फोड़ के कामों, बायोमास और बहुत ज़्यादा चीज़ें जलाने और सड़क की धूल से होने वाला प्रदूषण वायु की गुणवत्ता को काफ़ी खराब कर देता है। लॉकडाउन की पाबंदियों की वजह से इन गतिविधियों पर रोक लगी और परिणामस्वरूप वायु की गुणवत्ता में सुधार हुआ। देशव्यापी लॉकडाउन के दौरान दुनिया भर में वायु की गुणवत्ता अच्छी देखी गई। प्रदूषण को कम करने या उससे निपटने के लिए दिन भारी गाड़ियों पर रोक, एक दिन कारों पर रोक, सम-विषम(Odd-Even) जैसे नियम लागू करना, प्राइवेट गाड़ियों के बजाय सार्वजनिक परिवहन को बढ़ावा देना, अन्य वाहनों के इस्तेमाल को बढ़ावा देना, सड़कों की वैक्यूम क्लीनिंग करना, कंस्ट्रक्शन/तोड़-फोड़ के कामों से धूल उड़ने से रोकना और कचरे व पेड़-पौधों की पत्तियों को जलाने पर पूरी तरह रोक लगाना जैसे कदम भी उठाए जा सकते हैं।

सूचक शब्द - कणिकीय पदार्थ, जनता कर्फ्यू, कोविड-19, लॉकडाउन, वायु की गुणवत्ता, वायु गुणवत्ता सूचकांक, वायु

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.4

Green-Synthesized ZnO Nanoparticles from Dahlia pinnata Leaf Extract: Structural, Optical, and Capillary-Driven Fluid Transport Studies under Variable Temperature Conditions

Sangeeta Agrawal*, Manvendra Singh Baghel
Department of Chemistry, Shri Saraswati Vidyalaya, Hapur Road, Rafiq Nagar, Uttar Pradesh, India-245101

Corresponding Author Email*: sagarwal.chem@gmail.com

Received On: 13 Jun 2026; Final Revision: 29 Jun 2026; Accepted On: 30 Jun 2026
Published Online First: 30 Jun 2026

ABSTRACT

The present study analyzes the trend of ambient air quality in Hapur, located near Delhi. It compares the levels of major air pollutants, including Particulate Matter-2.5 (PM2.5), Particulate Matter-10 (PM10), Carbon Monoxide (CO), Sulfur Dioxide (SO_2), and Nitrogen Dioxide (NO_2), during different phases of the COVID-19 lockdown with the pre-lockdown period. Daily pollutant data (based on hourly averages) were obtained from the Central Pollution Control Board (CPCB), Delhi. The study primarily focuses on air pollution and the Air Quality Index (AQI). The analysis includes the pre-lockdown period (1 March 2020 to 22 March 2020, including the one-day Janata Curfew on 22 March 2020), Lockdown Phase I (25 March 2020–13 April 2020), Phase II (15 April 2020–3 May 2020), Phase III (4 May 2020–17 May 2020), and Phase IV (18 May 2020–31 May 2020).

Compared with the 21-day pre-lockdown period, air quality improved significantly during the first and fourth phases of the lockdown. On 22 March 2020, the day of the Janata Curfew, the Air Quality Index (AQI) in Hapur was in the Moderate category, and it remained in the same category during the subsequent lockdown phases while showing gradual improvement. The concentration ranges of PM2.5 during the pre-lockdown period and Lockdown Phases I, II, III, and IV were recorded as 14–98 $\mu g/m^3$, 19–60 $\mu g/m^3$, 18–74 $\mu g/m^3$, 22–65 $\mu g/m^3$, and 13–73 $\mu g/m^3$, respectively. Similarly, the PM10 concentration ranges were 22–211 $\mu g/m^3$, 36–222 $\mu g/m^3$, 62–310 $\mu g/m^3$, 73–220 $\mu g/m^3$, and 18–232 $\mu g/m^3$, respectively. The SO_2 concentration ranges were 1–16 $\mu g/m^3$, 6–11 $\mu g/m^3$, 4–13 $\mu g/m^3$, 3–11 $\mu g/m^3$, and 2–7 $\mu g/m^3$, respectively, while the NO_2 concentration ranges were 35–72 $\mu g/m^3$, 42–69 $\mu g/m^3$, 42–67 $\mu g/m^3$, 45–63 $\mu g/m^3$, and 48–69 $\mu g/m^3$, respectively.

The 8-hour average CO concentration was also analyzed and was found to exceed the prescribed standard limits. The exceedance ranged from 0% (during Lockdown Phase IV between 16:00 and 24:00 hours) to 48% (during Lockdown Phase I between 00:00 and 08:00 hours). To assess the influence of fine particulate matter on overall particulate composition during the lockdown, the PM2.5/PM10 ratio was calculated and found to vary between 0.3 and 0.6. A key finding of the study is that pollutant concentrations were considerably lower during Lockdown Phase I than during the other study periods.

This case study demonstrates that emissions from vehicular traffic, industrial activities, construction and demolition work, biomass and waste burning, and road dust substantially deteriorate ambient air quality. The restrictions imposed during the lockdown significantly curtailed these activities, resulting in noticeable improvements in air quality. Similar improvements in air quality were observed worldwide during the nationwide lockdown. The study suggests that long-term air pollution mitigation strategies may include restricting the movement of heavy vehicles during the daytime, implementing car-free days and odd-even traffic schemes, promoting public transportation over private vehicles, encouraging the use of alternative modes of transport, vacuum cleaning of roads, controlling dust emissions from construction and demolition activities, and enforcing a complete ban on the open burning of waste and fallen leaves.

Keyword: Particulate Matter (PM), Janata Curfew, COVID-19, Lockdown, Air Quality, Air Quality Index (AQI), Ambient Ai

लेखक परिचय

संगीता अग्रवाल

प्रोफेसर संगीता अग्रवाल ने एमएससी व पीएचडी रसायन विज्ञान विषय में उपाधि गोरखपुर विश्वविद्यालय गोरखपुर से प्राप्त करी। तत्पश्चात वह सीएस आई आर की रिसर्च एसोसिएट फैलोशिप को अर्जित किया। इसी दौरान उन्हें उत्तर प्रदेश उच्चतर शिक्षा आयोग इलाहाबाद द्वारा प्राध्यापक पद के लिए चयनित 1994 में चयनित कर लिया गया। 1998 में वह वरिष्ठ अध्यापक पद पर रहे।2003 में उन्हें चयन वेतनमान रीडर का पद प्राप्त हुआ।तत्पश्चात वह एसोसिएट प्रोफेसर के पद पर रहे और 2021 में उन्हें प्रोफेसर का पद प्राप्त हुआ।अपनी शोध के दौरान तथा इस लंबे अध्यापन काल के दौरान पांच शोधार्थियों को पी एचडी का उपाधि के लिए उन्होंने सुपरवाइज किया।तथा लगभग 40 के करीब शोध पत्रों को स्कूपर् जनरल में प्रकाशित किया है ISCA,INCAS,ACS आदि के लाइफ मेंबर भी हैं।पर्यावरण विज्ञान में रुचि रखते हुए अब वायु तथा जल में शोध कार्य करवा रहे हैं।

मानवेंद्र सिंह बघेल

डॉ मानवेंद्र सिंह बघेल ने एमएससी ऑर्गेनिक केमिस्ट्री से सन 1994 में तथा पीएचडी सन 2000 में आगरा कॉलेज आगरा से उपाधि प्राप्त करने के बाद एस एस वी कॉलेज हापुड़ में रसायन विभाग में उन्होंने 2006 में उत्तर प्रदेश उच्चतर शिक्षा विभाग इलाहाबाद द्वारा उनका चयन हुआ। मानवेंद्र सिंह बघेल अभी एसोसिएट प्रोफेसर के पद पर कार्यरत हैं। उनके मार्गदर्शन में एनसीसी 38 बटालियन का सफलतापूर्वक निर्वहन किया जा रहा है जिसमें कि उन्होंने कप्तान पद को संभाला हुआ है।उनके मार्गदर्शन में चार शोधार्थियों ने अपनी पीएचडी की उपाधि प्राप्त कर ली है। और एक शोधकर्ता अभी पीएचडी कर रहा है।अपने शैक्षणिक कार्यकाल में उन्होंने 30 से ज्यादा शोध पत्र प्रकाशित किए हैं कई समितियां के वह लाइफ मेंबर है।

1. परिचय

केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (CPCB — Central Pollution Control Board) भारत सरकार के पर्यावरण, वन एवं जलवायु परिवर्तन मंत्रालय के अधीन एक सांविधिक निकाय है, जो देश भर में वायु गुणवत्ता की निरंतर निगरानी करता है। सेंट्रल पॉल्यूशन कंट्रोल बोर्ड (के०प्र०नि०बो०) की वेबसाइट के अनुसार, भारत में वाहनों की संख्या 2004 में 72.7 मिलियन से बढ़कर 141.8 मिलियन से अधिक हो गई थी एवं देश के कुल उत्सर्जन में परिवहन क्षेत्र का योगदान लगभग 90% है (खांडार एवं कोसंकर, 2014)।

विश्व स्वास्थ्य संगठन (WHO — World Health Organisation) के अनुसार, बाह्य वायु प्रदूषण के कारण प्रतिवर्ष विश्वभर में 4-मिलियन से अधिक व्यक्तियों की समयपूर्व मृत्यु होती है। इसके लिए मुख्यतः 2.5 माइक्रोमीटर या उससे कम वायुगतिकीय व्यास वाले सूक्ष्म कण (PM2.5) उत्तरदायी हैं, जो श्वसन तंत्र की सूक्ष्म कोशिकाओं, हृदय एवं रक्त परिसंचरण तंत्र को गंभीर क्षति पहुँचाते हैं (Xiangdong Li एवं अन्य, 2019)। मिलर (2020) ने प्रतिपादित किया है कि वायु प्रदूषकों के संपर्क में आने से हृदयवाहिकीय क्षति के विभिन्न स्तरों पर 'ऑक्सीडेटिव स्ट्रेस' (Oxidative Stress — मुक्त मूलकों द्वारा उत्पन्न कोशिकीय क्षति) एक केंद्रीय कारक के रूप में कार्य करता है।

वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI — Air Quality Index) वायु प्रदूषण की स्थिति को एक संख्यात्मक पैमाने पर व्यक्त करने की मानकीकृत प्रणाली है, जिसे के०प्र०नि०बो०(CPCB) ने अक्टूबर 2014 में भारत के लिए प्रसारित किया। कोविड-19 (Coronavirus Disease-2019) महामारी के नियंत्रण हेतु भारत सरकार द्वारा 25 मार्च 2020 से लागू राष्ट्रव्यापी लॉकडाउन ने अप्रत्यक्ष रूप से एक अनोखा प्राकृतिक प्रयोग (Natural Experiment) प्रस्तुत किया, जिसमें परिवहन, उद्योग एवं निर्माण गतिविधियाँ लगभग स्थगित रहीं तथा वायु गुणवत्ता पर इसका स्पष्ट एवं मापनीय प्रभाव देखा गया।

शहरी इलाकों में गाड़ियों और निर्माण कार्यों में तेज़ी से हो रही बढ़ोतरी से कई तरह के प्रदूषक निकलते हैं, जो प्रदूषण में काफ़ी योगदान देते हैं (श्रीवास्तव आदि, 2018; CPCB, 2010)। 2015 में सिंह और ग्रोवर ने बताया कि तेज़ी से हो रहे शहरीकरण के कारण पेड़-पौधों वाले बड़े इलाकों की जगह, कंक्रीट की इमारतें, हाईवे और पक्की सड़कें ले रही हैं (सिंह, आदि, 2015)। गाड़ियाँ, सड़क की धूल और ठोस ईंधन का इस्तेमाल करके खाना पकाना शहरी इलाकों में वायु प्रदूषण के मुख्य स्रोत हैं। खांडार और कोसंकर (2014) के अनुसार, मोटर गाड़ियों की संख्या 2004 में 72.7 मिलियन से बढ़कर लगभग 141.8 मिलियन हो गई थी और उन्होंने बताया कि भारत में कुल उत्सर्जन में लगभग 90% योगदान ट्रांसपोर्ट सेक्टर का है (खांडार, आदि, 2014)। श्रीवास्तव, आदि (2013) ने बताया है कि शहरी इलाकों में सड़क परिवहन प्रणाली और वायु प्रदूषण के बीच सीधा संबंध है (श्रीवास्तव, आदि, 2013)। गुर्जर, आदि (2016) ने वायु प्रदूषण के रुझानों का अध्ययन किया और पाया कि सभी बड़े शहरों में NOx बढ़ा है और SOx कम हुआ है। ऐसा रजिस्टर्ड गाड़ियों की संख्या बढ़ने के कारण हो सकता है (गुर्जर, आदि, 2016; अंबाष्ट, आदि, 2006)। वोंग, आदि के शोध पत्र से पता चला है कि भारत के घनी आबादी वाले शहरी इलाकों में यह एक बड़ी समस्या है (वोंग, आदि, 2010)। 2014 में लखनऊ में लॉरेंस और फातिमा द्वारा किये गये एक अध्ययन में बताया गया कि घनी आबादी वाले और सड़क के किनारे के इलाकों में PM10 और PM2.5 का औसत स्तर विश्व स्वास्थ्य संगठन(WHO) द्वारा तय की गई स्वीकार्य सीमा से ज़्यादा था; ये स्तर क्रमशः 189$\mu g/m^3$ (PM2.5, 76 $\mu g/m^3$) और 226 $\mu g/m^3$ (PM2.5, 91 $\mu g/m^3$) पाए गए

(लॉरेंस और अन्य, 2014)। 2008 में ढेरे और अन्य ने बताया कि SPM, SO_2 और NOx की मात्रा भारत की राष्ट्रीय मानक सीमा से काफी ज़्यादा थी (ढेरे और अन्य, 2008; गुर्जर और अन्य, 2016)। पुणे में कचरा निस्तारण स्थल (Waste Disposal Site) पर निलम्बित कणकीय पदार्थ (SPM - Suspended Particulate Matter) का औसत वार्षिक उत्सर्जन 1708 μg/m^3 पाया गया, जबकि कचरा भराव क्षेत्र (Land Fill) पर SO_2 और NOx का औसत वार्षिक उत्सर्जन क्रमशः 285 μg/m^3 और 234 μg/m^3 था। शर्मा और अन्य ने बताया है कि PM10 के अनुमानित औसत मान में सबसे ज़्यादा योगदान कणकीय कार्बनिक पदार्थ (24%) का होता है, इसके बाद मिट्टी/क्रिस्टलीय पदार्थ (16%), प्रकाश-अवशोषित करने वाला कार्बन (4%), अमोनियम नाइट्रेट (6%), पुराना समुद्री नमक (5%) और अमोनियम सल्फेट (7%) जैसे अन्य पदार्थ आते हैं। दिल्ली में PM10 में क्षेत्रवार(Sector wise) योगदान मुख्य रूप से द्वितीयक एरोसोल(Secondary Aerosol) (21.7%), मिट्टी की धूल (20.7%), जीवाश्म ईंधन के जलने (17.4%), वाहनों से निकलने वाले धुएं (16.8%) और बायोमास जलाने (13.4%) से होता है (शर्मा और अन्य, 2014)। गुप्ता, 2008., WHO की रिपोर्ट (1992) के अनुसार, भारत के कई बड़े शहरों में वायु में प्रदूषण का स्तर WHO के मानकों से ज़्यादा है और कणिकीय पदार्थ (वायु में मौजूद बारीक कण) से होने वाले प्रदूषण के मामले में दुनिया के बीस सबसे ज़्यादा प्रदूषित शहरों में भारत के तेरह शहर शामिल हैं ("एम्बिएंट एयर पॉल्यूशन डेटाबेस", विश्व स्वास्थ्य संगठन, मई 2014) (गुप्ता यू., 2008)। इस अध्ययन के लिए PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO जैसे पांच मापदंड (Parameter) चुने गए हैं क्योंकि हापुड़ में कई स्रोतों से बहुत ज़्यादा प्रदूषण हो रहा है और हापुड़ में प्रदूषण के स्तर का विश्लेषण करना और वायु की खराब गुणवत्ता को कम करने के लिए कदम उठाना ज़रूरी है। सेहत से जुड़ी कई समस्याएं सिर्फ़ प्रदूषण की वजह से होती हैं (के०प्र०नि०बो०, 2009; जैन और अन्य, 2016; WHO, 1992; जामवाल 2006; त्यागी और अन्य, 2016) और इनका समाधान खोजने के लिए कई रिसर्च चल रही हैं। इनमें से, वायु के प्रदूषण से होने वाली ज़्यादातर मृत्यु के लिए दिल और रक्त वाहिकाओं (कार्डियोवैस्कुलर) से जुड़ी समस्याएं ज़िम्मेदार मानी गई हैं। इसके लिए कई जैविक क्रियायें(Biological Processes) ज़िम्मेदार हैं; हालांकि, प्रदूषकों के संपर्क में आने से दिल और रक्त वाहिकाओं को होने वाले नुकसान के कई स्तरों पर 'ऑक्सीडेटिव स्ट्रेस' एक अहम बात देखी गई है (मिलर एम.आर., 2020)। यह अध्ययन हापुड़ जैसे छोटे शहर में प्रदूषण को रोकने की दिशा में एक छोटा सा कदम है।

2. सामग्री और विधि

2.1 अध्ययन क्षेत्र

हापुड़ को गाज़ियाबाद ज़िले से अलग करके हाल ही में उत्तर प्रदेश के राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र (NCR) ज़ोन में एक ज़िले के तौर पर बनाया गया है। 2016 में इसकी आबादी 1,281,272 थी। हापुड़ 28.72°N 77.78°E पर स्थित है। इसकी औसत ऊंचाई 213 मीटर (699 फ़ीट) है। इसके उत्तर में मेरठ और दक्षिण में बुलंदशहर है, जबकि गाज़ियाबाद और अमरोहा इसकी पश्चिमी और पूर्वी सीमाएँ बनाते हैं। यहाँ 4 ब्लॉक हैं - हापुड़, गढ़मुक्तेश्वर, सिम्भावली और धौलाना; और 3 तहसीलें हैं - हापुड़, गढ़मुक्तेश्वर और धौलाना। यहाँ 4 नगर पालिकाएँ और एक नगर पंचायत है। सिम्भावली ब्लॉक में एक बहुत प्रसिद्ध चीनी मिल है और एक चीनी मिल बैजनाथपुर, हापुड़ में है। ज़िले में सेंचुरी प्लाईवुड की एक यूनिट के साथ-साथ कई अन्य निजी प्लाईवुड कल-कारखाने(फ़ैक्टरियाँ) भी हैं। हापुड़ स्टेनलेस स्टील पाइप, सिलाई मशीन और लकड़ी व कागज़ के उत्पादों के निर्माण केंद्र के रूप में भी जाना जाता है। ज़िला मुख्यालय - हापुड़ - सड़क और रेल मार्ग से उत्तर प्रदेश और भारत के प्रमुख शहरों से अच्छी तरह जुड़ा हुआ है। नई दिल्ली और गाज़ियाबाद के पास होने के कारण इसमें विकास की बहुत संभावनाएँ हैं।

2.2 साइट और डेटा कलेक्शन का विवरण

सामुदायिक बहुस्तरीय वायु गुणवत्ता (CMAQ) स्टेशन हापुड़ शहर में आनंद विहार, हापुड़ पिलखुवा विकास प्राधिकरण ऑफ़िस में स्थित है (मैप-1)। यह साइट रेलवे स्टेशन से सीधे हाईवे तक जाने वाली मुख्य सड़कों के पास है, इसलिए यहाँ ट्रैफ़िक काफ़ी ज़्यादा रहता है। साइट के पास उद्योग भी हैं, खासकर कागज़ बनाने का प्लांट और प्लाईवुड उद्योग। विश्लेषण के लिए, के०प्र०नि०बो० वेबसाइट से PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO (सभी μg/m^3 में) की सांद्रता (concentration) का डेटा इकट्ठा किया गया है।

चित्र-1 हापुड़ में मॉनिटरिंग स्टेशन की लोकेशन

PM2.5, PM10, SO_2, NO_2, और CO जैसे प्रदूषकों की मात्रा ($\mu g/m^3$) के विश्लेषण के लिए संख्यात्मक डेटा के०प्र०नि०बो० की वेबसाइट से इन समय-सीमाओं के दौरान लिया गया:

i.) लॉकडाउन से पहले: 1 मार्च 2020 - 21 मार्च 2020 (21 दिन)

ii.) लॉकडाउन 1: 25 मार्च 2020 - 14 अप्रैल 2020 (21 दिन)

iii.) लॉकडाउन 2: 15 अप्रैल 2020 - 3 मई 2020 (19 दिन)

iv.) लॉकडाउन 3: 4 मई 2020 - 17 मई 2020 (14 दिन)

v.) लॉकडाउन 4: 18 मई 2020 - 31 मई 2020 (14 दिन)

यह डेटा के०प्र०नि०बो० (CPCB) की वेबसाइट से लिया गया है। अध्ययन किए गए सभी प्रदूषकों की मात्रा का विश्लेषण मूलभूत वायु गुणवत्ता साँख्यिकी और वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) के लिए किया गया है। प्रदूषक की परिवेश मात्रा के आधार पर, सब-इंडेक्स परिकलित किया जाता है, जो मात्रा का एक लीनियर फंक्शन है। सबसे खराब उप-अनुक्रमणिका(Sub Index) ही कुल वायु गुणवत्ता सूचकांक तय करता है। छह प्रदूषकों के लिए वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी और हेल्थ ब्रेकपॉइंट इस प्रकार हैं (धेरे और अन्य, 2008; गुर्जर और अन्य, 2016), तालिका-1। के०प्र०नि०बो० ने उप-अनुक्रमणिका मान और वायु गुणवत्ता सूचकांक का मान परिकलित करने के तरीके तय किए हैं, और अध्ययन में उन नतीजों को लागू करना ज़रूरी है (के०प्र०नि०बो०, अक्टूबर 2014)। भारतीय वायु गुणवत्ता सूचकांक तरीके में, किसी प्रमुख प्रदूषक के उप-अनुक्रमणिका को नीचे दिए गए फ़ॉर्मूले के अनुसार मापा गया है।

$$I_P = \left\{ \frac{(I_{HI} - I_{LO})}{(B_{HI} - B_{LO})} \right\} \times (C_P - C_{LO}) + I_{LO}$$

जहाँ,

B_{HI} = Breakpoint concentration greater or equal to given concentration.
B_{LO} = Breakpoint concentration smaller or equal to given concentration.
I_{HI} = AQI value corresponding to B_{HI}
I_{LO} = AQI value corresponding to B_{LO}

अंततः,

AQI = Max (I_P) (जहाँ; p= 1, 2, ..., n; n प्रदूषकों को प्रदर्शित करते हैं)

तालिका-1: अलग-अलग प्रदूषकों की वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी

वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी	AQI	प्रदूषक					
		PM 10	PM 2.5	NO_2	SO_2	CO	Ozone
अच्छी	0-50	0-50	0-30	0-40	0-40	0-1.0	0-50
सन्तोषजनक	51-100	51-100	31-60	41-80	41-80	1.1-2.0	51-100
मध्यम प्रदूषित	101-200	101-250	61-90	81-180	81-380	2.1-10	101-16
खराब	201-300	251-350	91-120	181-280	381-800	10-17	169-20
अत्यधिक खराब	301-400	351-430	121-250	281-400	801-1600	17-34	209-74
गम्भीर	401-500	430+	250+	400+	1600+	34+	748+

3 नतीजे और चर्चा:

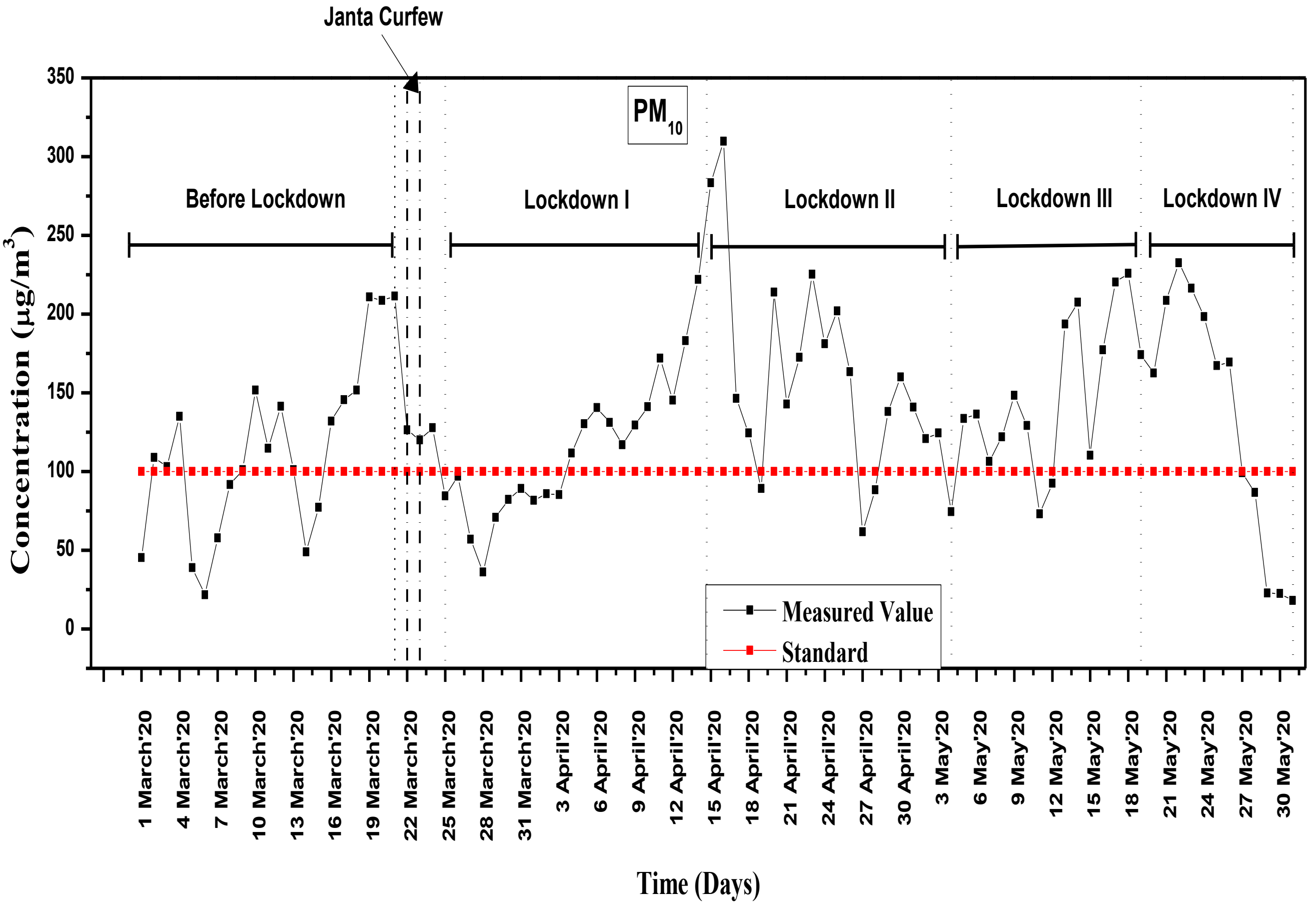
प्रदूषकों (जैसे PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO) की मात्रा ($\mu g/m^3$ में) का हर घंटे का डेटा CPCB की वेबसाइट से कोविड-19 से पहले और चार लॉकडाउन अवधि के दौरान लिया गया। फिर CO को छोड़कर बाकी सबके लिए 24 घंटे का औसत निकाला गया; CO के लिए 8 घंटे के आधार पर गणना की गई। इसके बाद माइक्रोसॉफ्ट एक्सिल का इस्तेमाल करके डेटा का संख्यात्मक विश्लेषण किया गया। साँख्यिकी विश्लेषण और वायु गुणवत्ता सूचकांक, तालिका 2 से 7 में दिए गए हैं।

3.1 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM10 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान PM10 की मात्रा के ट्रेंड का तुलनात्मक सांख्यिकीय विश्लेषण तालिका 2 और रेखा चित्र-1 में दिखाया गया है। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान 24 घंटे का औसत PM10 सांद्रता क्रमशः 114 $\mu g/m^3$, 114 $\mu g/m^3$, 162 $\mu g/m^3$, 138 $\mu g/m^3$ और 143 $\mu g/m^3$ था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 की न्यूनतम मात्रा क्रमशः 22 $\mu g/m^3$, 36 $\mu g/m^3$, 62 $\mu g/m^3$, 73 $\mu g/m^3$ और 18 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 की अधिकतम मात्रा क्रमशः 211 $\mu g/m^3$, 222 $\mu g/m^3$, 310 $\mu g/m^3$, 220 $\mu g/m^3$ और 233 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान मानक विचलन क्रमशः 56 $\mu g/m^3$, 45 $\mu g/m^3$, 63 $\mu g/m^3$, 47 $\mu g/m^3$ और 78 $\mu g/m^3$ आंका गया था। मोटे कणों (coarse particles) में कमी का कारण उद्योगों, ट्रांसपोर्ट, सड़क की धूल (तोड़-फोड़ और निर्माण कार्यों) और गाड़ियों की आवाजाही पर लगी रोक हो सकती है। लॉकडाउन-1, 2, 3 और 4 के दौरान मापी गई मान, मानक सीमा से ज़्यादा रही, उनकी संख्या क्रमशः 11 (21 दिनों में से), 16 (19 दिनों में से), 11 (14 दिनों में से) और 9 (14 दिनों में से) थी। औसत सांद्रता की यह तुलना PM10 के स्तर में साफ़ तौर पर कमी का प्रवृत्ति दिखाती है, जो सिर्फ़ लॉकडाउन 1 में काफ़ी ज़्यादा थी। लॉकडाउन 2 के दौरान सांद्रता 310 $\mu g/m^3$ ज़्यादा थी, जिसका कारण सड़कों पर गाड़ियों की अचानक बढ़ी हुई संख्या थी। ऐसा अप्रैल महीने में आए दो खास मौकों की वजह से हो सकता है।

तालिका-2: PM10 **का सांख्यिकीय विश्लेषण**

PM10 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	**लॉकडाउन-1**	**लॉकडाउन-2**	**लॉकडाउन-3**	**लॉकडाउन-4**
न्यूनतम	22	36	62	73	18
अधिकतम	211	222	310	220	233
औसत(Average)	114	114	162	138	143
मानक विचलन(SD)	56	45	63	47	78
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 $\mu g/m^3$)	14 (21)	11(21)	16(19)	11(14)	9(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	66.67%	52.38%	84.21%	78.57%	64.29%



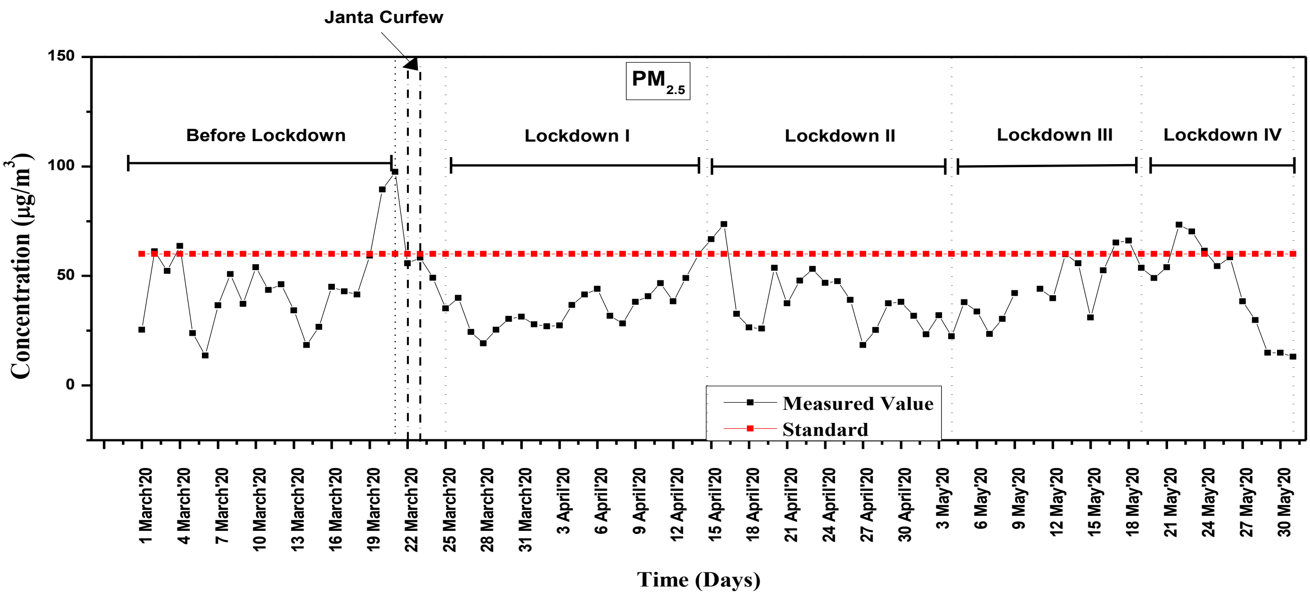
रेखा-चित्र-1: 24 घण्टे के औसत PM10 तुलना

3.2 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM2.5 का ट्रेंड और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान PM2.5 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-3 और रेखा-चित्र-2 में दिखाई गयी है। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान 24 घंटे का औसत PM2.5 स्तर क्रमशः 46 $\mu g/m^3$, 35 $\mu g/m^3$, 40 $\mu g/m^3$, 41 $\mu g/m^3$ और 47 $\mu g/m^3$ था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 का न्यूनतम स्तर क्रमशः 14 $\mu g/m^3$, 19 $\mu g/m^3$, 18 $\mu g/m^3$, 22 $\mu g/m^3$ और 13 $\mu g/m^3$ था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM2.5 का अधिकतम स्तर क्रमशः 98 $\mu g/m^3$, 60 $\mu g/m^3$, 74 $\mu g/m^3$, 65 $\mu g/m^3$ और 73 $\mu g/m^3$ था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान मानक विचलन क्रमशः 21 $\mu g/m^3$, 10 $\mu g/m^3$, 15 $\mu g/m^3$, 14 $\mu g/m^3$ और 21 $\mu g/m^3$ आंका गया था। लॉकडाउन 4 में, कुल 21 दिनों में से 4 दिन PM2.5 का स्तर 60 $\mu g/m^3$ की मानक मान से नीचे रहा, यानी कुल दिनों का 28.57% हिस्सा मानक मान से अधिक रहा। इसका कारण सड़क पर ट्रैफिक को माना गया है।

तालिका-3: सांख्यिकीय विश्लेषण PM2.5

PM2.5 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	14	19	18	22	13
अधिकतम	98	60	74	65	73
औसत	46	35	40	41	47
मानक विचलन(SD)	21	10	15	14	21
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 $\mu g/m^3$)	4(21)	1(21)	2(19)	1(14)	4(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	19.05%	4.76%	10.53%	6.67%	28.57%



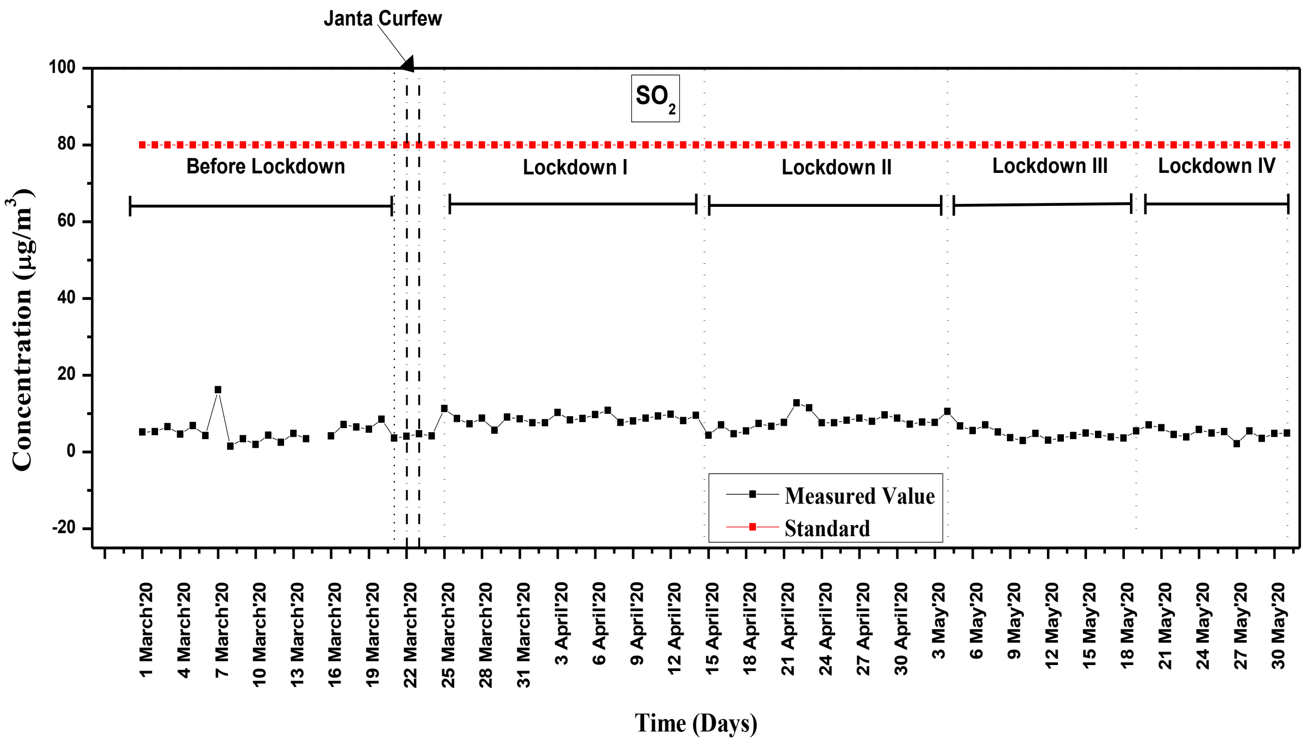
रेखा-चित्र-2: 24 घण्टे के औसत PM2.5 की तुलना

3.3 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान SO_2 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान SO_2 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-4 और चित्र-3 में दिखाई गई है। नीचे दिया गया ग्राफ़ और सांख्यिकीय विश्लेषण लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन के समय SO_2 की 24 घंटे की मात्रा के प्रवृत्ति को दिखाते हैं। सभी दिनों में SO_2 की मात्रा मानक स्तर से कम रही है। ऐसा मौसम की स्थितियों के कारण हो सकता है।

तालिका-4: SO_2 का सांख्यिकीय विश्लेषण

SO_2 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	1	6	4	3	2
अधिकतम	16	11	13	1	7
औसत	5	9	8	5	5
मानक विचलन(SD)	3	1	2	2	1
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 $\mu g/m^3$)	0(21)	0(21)	0(19)	0(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



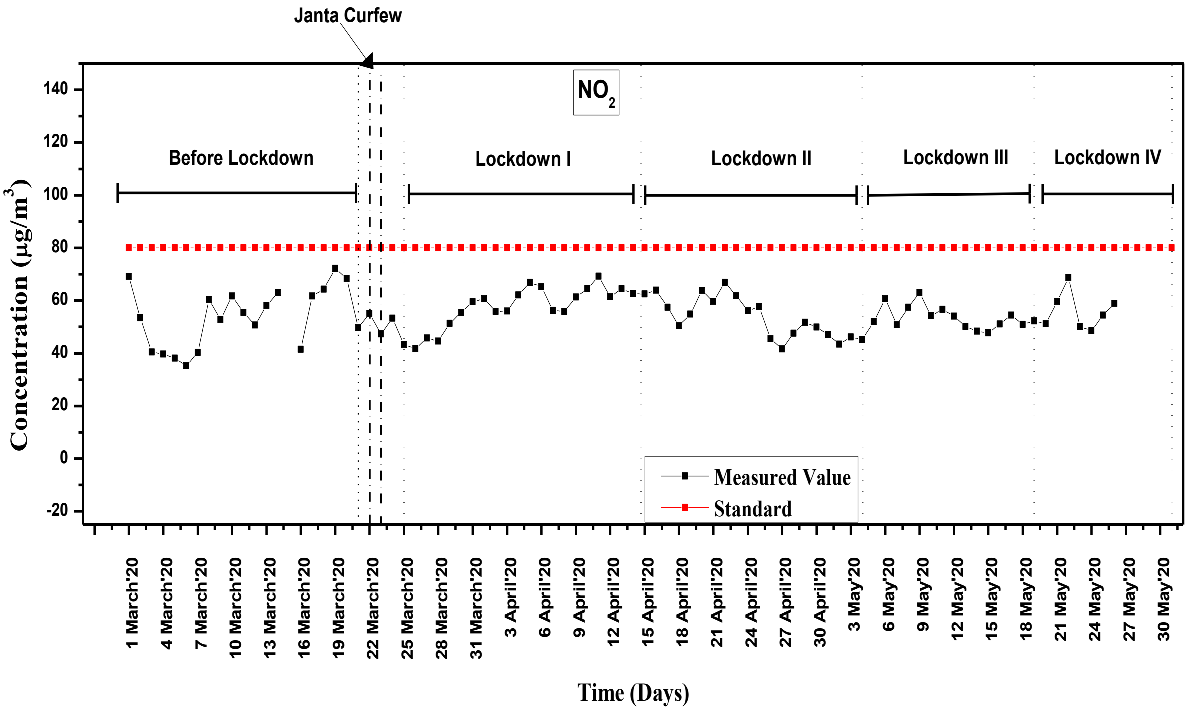
रेखा-चित्र-3: 24 के घण्टे के औसत SO_2 की तुलना

3.4 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान NO_2 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान NO_2 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-5 और चित्र-4 में दिखाई गई है। नीचे दिया गया ग्राफ़ और सांख्यिकीय विश्लेषण लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन के समय NO_2 की 24 घंटे की मात्रा का ट्रेंड दिखाते हैं। सभी दिनों में इसकी मात्रा 80µg/m3 के मानक स्तर से कम रही।

तालिका-5: NO_2 का साँख्कीय विश्लेषण

NO_2 (µg/m^3)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	35	42	42	45	48
अधिकतम	72	69	67	63	69
औसत	54	57	54	53	55
मानक विचलन(SD)	11	8	8	5	6
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 µg/m^3)	0(21)	0(21)	0(19)	0(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



रेखा चित्र-4: 24 के घण्टे के औसत NO_2 की तुलना

3.5 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान CO का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान CO की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-6(a), 6(b) और 6(c) और रेखाचित्र-5 में दिखाई गई है। पहले 8 घंटों के समय अंतराल (00.00 से 08.00 बजे) के लिए, CO की औसत मात्रा और मानक विचलन क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1095 ±509 $\mu g/m^3$, 1949 ± 514 $\mu g/m^3$, 1953 ± 544 $\mu g/m^3$, 2052 ± 911 $\mu g/m^3$ और 1204 ± 764 $\mu g/m^3$ थे। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय अंतराल के लिए, CO की औसत मात्रा क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1190 ± 643 $\mu g/m^3$, 1688 ± 517 $\mu g/m^3$, 1812 ± 947 $\mu g/m^3$, 1160 ± 640 $\mu g/m^3$ और 1212 ± 659 $\mu g/m^3$ थी। आखिरी 8 घंटों यानी 16.00 से 24.00 बजे के समय अंतराल के लिए, CO की औसत मात्रा क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1396 ± 731 $\mu g/m^3$, 1807 ± 787 $\mu g/m^3$, 1973 ± 598 $\mu g/m^3$, 1645 ± 538 $\mu g/m^3$ और 1019 ± 424 $\mu g/m^3$ थी। 00.00 से 08.00 बजे के 8 घंटे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 550 $\mu g/m^3$, 1140 $\mu g/m^3$, 1080 $\mu g/m^3$, 740 $\mu g/m^3$ और 160 $\mu g/m^3$ थी। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 550 $\mu g/m^3$, 1020 $\mu g/m^3$, 150 $\mu g/m^3$, 370 $\mu g/m^3$ और 610 $\mu g/m^3$ थी। आखिरी 8 घंटों यानी 16.00 से 24.00 बजे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 430 $\mu g/m^3$, 820 $\mu g/m^3$, 1060 $\mu g/m^3$, 770 $\mu g/m^3$ और 430 $\mu g/m^3$ थी। 00.00 से 08.00 बजे के 8 घंटे के समय में CO की ज़्यादा से ज़्यादा मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 2370 $\mu g/m^3$, 3260 $\mu g/m^3$, 2790 $\mu g/m^3$, 3420 $\mu g/m^3$ और 2460 $\mu g/m^3$ थी। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय में CO की ज़्यादा से ज़्यादा मात्रा 2800 $\mu g/m^3$, 3100 $\mu g/m^3$, 3790 $\mu g/m^3$, 2030 $\mu g/m^3$ और 2470 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए ये मात्राएँ क्रमशः $\mu g/m^3$ में थीं। पिछले 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के समय के दौरान CO की अधिकतम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 2900 $\mu g/m^3$, 4400 $\mu g/m^3$, 2950 $\mu g/m^3$, 2420 $\mu g/m^3$ और 1840 $\mu g/m^3$ थी।

पहले 8 घंटों की अवधि यानी 00:00 से 08:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः एक, दस, चार, चार और 3 दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। अगले 8 घंटों के अंतराल यानी 08:00 से 16:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः दो, पाँच, तीन, एक और दो दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। पिछले 8 घंटों के अंतराल यानी 16:00 से 24:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः पाँच, पाँच, चार, एक और शून्य दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। कुल मिलाकर, 00:00 से 8:00 बजे के अंतराल के दौरान CO का स्तर मानक से ज़्यादा होने की दर 4.76% (लॉकडाउन से पहले) से 47.62% (लॉकडाउन-1) के बीच रही; 08:00 से 16:00 बजे के अंतराल के दौरान यह दर 9.5% (लॉकडाउन से पहले और चौथे लॉकडाउन) से 23.81% (पहले लॉकडाउन) के बीच रही। आखिर में, पिछले 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के दौरान यह दर 23.81% (लॉकडाउन से पहले) से घटकर 0% (चौथे लॉकडाउन) हो गई। यहाँ यह बताना ज़रूरी है कि विश्लेषण से पता चला कि लॉकडाउन 4 के दौरान किसी भी दिन CO का स्तर मानक सीमा से ऊपर नहीं गया, क्योंकि फ़ॉसिल फ़्यूल और बची हुई सामग्री को जलाने की प्रक्रिया न्यूनतम हो गई थी और CO का उत्सर्जन भी कम हो गया था, जैसा कि तालिका-6(c) से साफ़ पता चलता है।

तालिका-6 (अ): 00:00 से 08:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

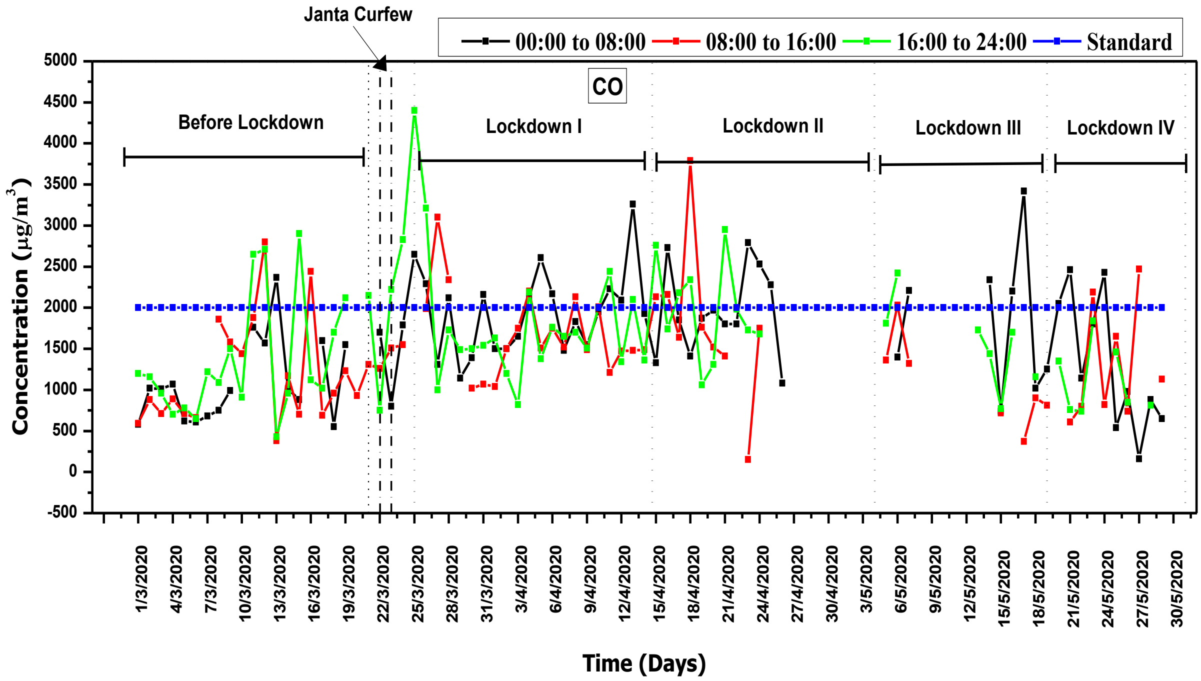
CO ($\mu g/m^3$) समय-अंतराल 00:00 to 08:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	550	1140	1080	740	160
अधिकतम	2370	3260	2790	3420	2460
औसत	1095	1949	1953	2052	1204
मानक विचलन(SD)	509	514	544	911	765
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 $\mu g/m^3$)	1(21)	10(21)	4(19)	4(14)	3(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	4.76%	47.62%	19.05%	19.05%	14.29%

तालिका-6 (ब): 08:00 से 16:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

CO (μg/m³) समय-अंतराल 08:00 to 16:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	550	1020	150	370	610
अधिकतम	2800	3100	3790	2030	2470
औसत	1190	1688	1812	1160	1212
मानक विचलन(SD)	643	517	947	640	659
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 μg/m³)	2(21)	5(21)	3(19)	1(14)	2(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	9.52%	23.81%	14.29%	4.76%	9.52%

तालिका-6 (स): 16:00 से 24:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

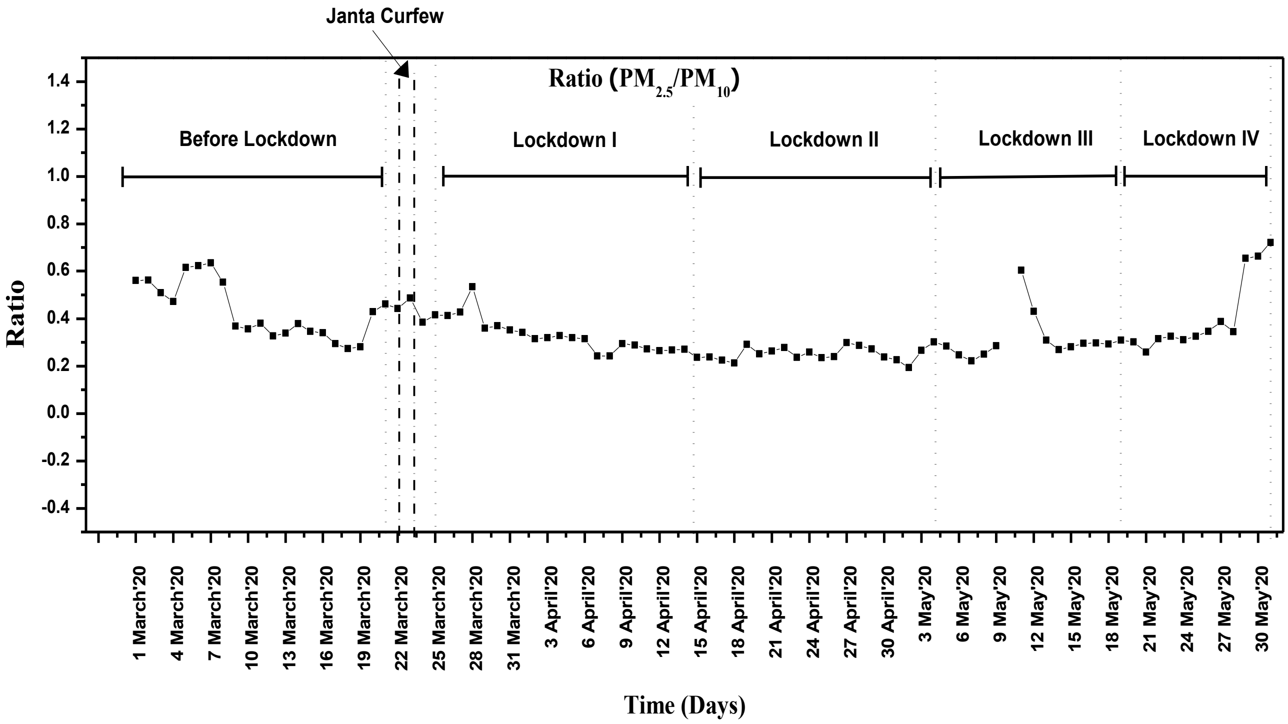
CO (μg/m³) समय-अंतराल 16:00 to 24:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	430	820	1060	770	430
अधिकतम	2900	4400	2950	2420	1840
औसत	1396	1807	1973	1645	1019
मानक विचलन(SD)	731	787	598	538	424
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 μg/m³)	5(21)	5(21)	4(19)	1(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	23.81%	23.81%	19.05%	4.76%	0.00



रेखा चित्र 5: तीन अलग-अलग समय-अंतरालों के लिये 8-घण्टे के औसत की तुलना

3.6 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM2.5/PM10 अनुपात का ग्राफ़

चित्र-6 में दिखाए गए PM2.5/PM10 अनुपात के ग्राफ़ से पता चलता है कि 28 मार्च के बाद यह अनुपात कम होने लगा और लॉकडाउन के दौरान ज़्यादातर समय 0.6 से नीचे रहा। इससे पता चलता है कि लॉकडाउन के दौरान बारीक कणों (fine particles) की मात्रा कम हुई, जिनकी हवा की गुणवत्ता में मुख्य भूमिका होती है। 11 मई के बाद इस अनुपात में भारी गिरावट आई और 21 मई को यह लगभग 0.3 तक पहुँच गया। PM2.5 और PM10 के अनुपात और ऊपर दिए गए ग्राफ़ से यह साफ़ है कि दोनों पैरामीटर के उत्सर्जन में कमी आई।



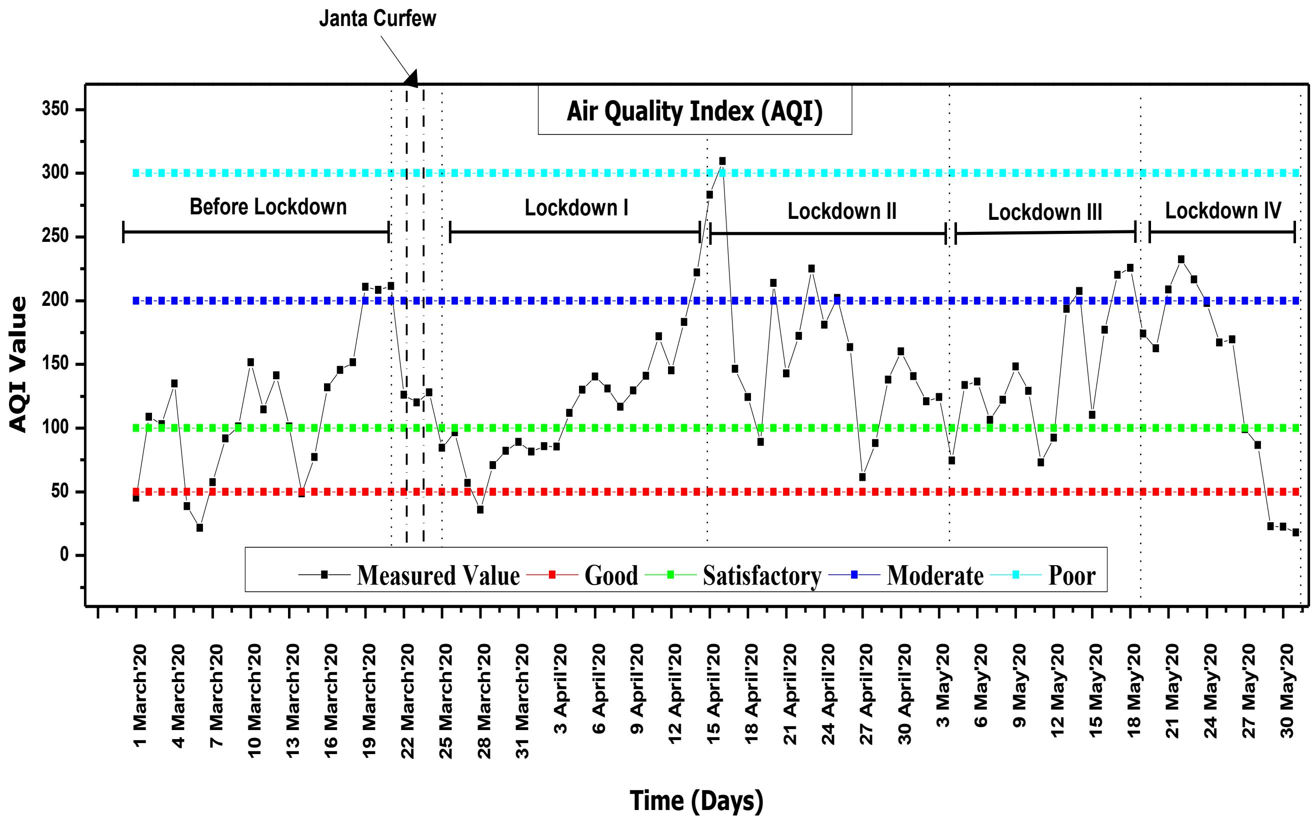
रेखाचित्र-6: PM2.5/PM10 का 24 घण्टे का औसत अनुपात

3.7 हापुड़ में लॉकडाउन का असर

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1,2,3,4 की अवधि के लिए सीपीसीबी बुलेटिन के अनुसार वायु गुणवत्ता सूचकांक की गणना तालिका-**7** और चित्र-**7** में दिखाई गई है। तालिका-**7** में एक्यूआई मान दर्शाते हैं कि लॉकडाउन से पहले के सभी 21 दिनों में से 14 दिन एक्यूआई 100-200 के साथ मध्यम प्रदूषित श्रेणी में थे**,** संतोषजनक श्रेणी वाले 5 दिनों में एक्यूआई 50-100 की सीमा में था और केवल 5 और 6 मार्च के 2 दिनों में एक्यूआई 0-50 के साथ अच्छी श्रेणी थी। लॉकडाउन से पहले के 21 दिनों में PM10 66.67%, NO_2 19.04**%** और सीओ 14.28% समय के साथ हावी रहा। AQI कैटेगरी में सबसे अहम पैरामीटर PM10, 100-250 के बीच था और इसे औसत दर्जे का प्रदूषित हवा माना गया। लॉकडाउन से पहले के सभी 21 दिनों में से**,** 7 दिन ठीक-ठाक AQI वाले थे**,** यानी 67-89 की कतार में और 14 दिन AQI वैल्यू की कैटेगरी, 100 से 181 की कतार में थी। लॉकडाउन-1 के 21 दिनों में, PM10, 80.95% और CO, 19.05% समय तक हावी रहा। लॉकडाउन-1 के लिए**,** PM10 सबसे अहम पैरामीटर था। सबसे अहम पैरामीटर PM10 के लिए AQI 100 - 250 के बीच था और इसे औसत दर्जे की प्रदूषित हवा माना गया। लॉकडाउन-2 के दौरान**,** कुल 19 दिनों में से 3 दिन ऐसे थे जिनका AQI, 61 से 89 की सीमा में संतोषजनक था और 14 दिन ऐसे थे जब AQI, 116-183 की सीमा में मध्यम था और **2** दिन ऐसे थे जब AQI, 233-259 की सीमा में खराब था। लॉकडाउन-2 के लिए, PM10 प्रमुख पैरामीटर था। प्रमुख पैरामीटर PM10 के लिए AQI, 61 - 260 के बीच रहा और इसे खराब श्रेणी में रखा गया। लॉकडाउन-3 में कुल 14 दिनों में से 3 दिन ऐसे थे जिनका AQI, 73-92 की सीमा में संतोषजनक था और 11 दिन ऐसे थे कि जब AQI, 104-180 की सीमा में मध्यम था। लॉकडाउन के दौरान कुल 14 दिनों में से 4 दिन ऐसे थे जिनमें 3 दिन अच्छा AQI, 24 से 44 की सीमा में था और 2 दिन संतोषजनक AQI, 86 से 99 की सीमा में था और 9 दिन मध्यम AQI, 141-183 की सीमा में थे। लॉकडाउन-4 के 14 दिनों में, PM10, 78.57%, PM2.5, 7.14% और CO 14.29% समय के साथ हावी रहा। लॉकडाउन-4 के लिए PM10 प्रमुख पैरामीटर है। प्रमुख पैरामीटर PM10 के लिए AQI 86-188 के बीच था और इसे हवा की मध्यम प्रदूषित श्रेणी के लिए जिम्मेदार ठहराया गया था। AQI, 0-50 के साथ अच्छी श्रेणी की वायु गुणवत्ता लॉकडाउन से पहले 2 दिनों के लिए और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 में क्रमशः 0, 0, 0 और 3 दिनों के लिए बनी रही। लॉकडाउन से पहले 5 दिनों तक AQI, 51-100 के साथ संतोषजनक कैटेगरी की एयर क्वालिटी रही और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 में यह क्रमशः 7, 3, 3 और 2 दिनों तक रही। हालांकि**,** लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन-1 के दौरान संतोषजनक AQI (100) का ज़्यादा होना 61.90% और लॉकडाउन 2 के दौरान 84.21% के बीच देखा गया। नीचे दी गई तालिका-**7** में लॉकडाउन के अलग-अलग स्टेज के दौरान AQI में बदलाव के प्रवृत्ति को बताया गया है।

तालिका 7: लॉक़डाउन से पूर्व और लॉकडाउन के अलग-अलग चरणों के दौरान हवा और उसकी कैटेगरी का विशलेषण

़लॉकडाउन तथा उसके विभिन्न चरणों के दौरान AQI तथा कैटेगरी					
	लॉकडाउन से पूर्व	**लॉकडाउन-1**	**लॉकडाउन-2**	**लॉकडाउन-3**	**लॉकडाउन-4**
न्यूनतम	77 (satisfactory)	82 (Satisfactory)	114 (Mod. Poor)	104 (Mod. Poor)	87 (satisfactory)
अधिकतम	225 (Poor)	181 (Mod. Poor)	260 (Poor)	180 (Mod. Poor)	188 (Mod. Poor)
औसत	123 (Mod. Poor)	118 (Mod Poor)	154 (Mod. Poor)	135 (Mod. Poor)	150 (Mod. Poor)
SD	39 (Good)	24 (Good)	42 (Good)	25 (Good)	18 (Good)
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 μg/m³)	7(21)	9(21)	6(19)	4(14)	5(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	33	43	31	28	36
न्यूनतम	13(21)	13(21)	16(19)	11(14)	9(14)
संतोषजनक स्तर से ऊपर AQI के दिनों का प्रतिशत	61.90	61.90	84.21	78.57	64.29
प्रमुख पैरामीटर	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}



रेखा-चित्र 7: 24 घण्टे की औसत वायु गुणवत्ता सूचकांक

4.0 निष्कर्ष

देशव्यापी लॉकडाउन के दौरान, कोई भी शहर वायु गुणवत्ता सूचकांक की खतरनाक या गंभीर श्रेणी में नहीं आया। अध्ययन के मुख्य निष्कर्ष यह हैं कि लॉकडाउन से पहले की अवधि की तुलना में, लॉकडाउन के सभी चरणों के दौरान वायु की गुणवत्ता 'संतोषजनक' और 'मध्यम' श्रेणी में रही। लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 की अवधि की तुलना में, संशोधित लॉकडाउन अवधि के दौरान वायु की गुणवत्ता खराब हो गई। सभी लॉकडाउन अवधियों में, PM10 का स्तर अधिक था और वायु गुणवत्ता सूचकांक के लिए यह मुख्य पैमाना (dominant parameter) रहा। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत PM10 और मानक विचलन (SD) क्रमशः 114 ± 55 $\mu g/m^3$, 114 ± 45 $\mu g/m^3$, 162 ± 63 $\mu g/m^3$, 138 ± 47 $\mu g/m^3$ और 143 ± 78 $\mu g/m^3$ आंका गया। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत PM2.5 और मानक विचलन क्रमशः 46 ± 21 $\mu g/m^3$, 35 ± 10 $\mu g/m^3$, 40 ± 15 $\mu g/m^3$, 41 ± 14 $\mu g/m^3$ और 46 ± 21 $\mu g/m^3$ आंका गया। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत SO_2 और मानक विचलन क्रमशः 5 ± 3 $\mu g/m^3$, 9 ± 1 $\mu g/m^3$, 8 ± 2 $\mu g/m^3$, 5 ± 2 $\mu g/m^3$ और 5 ± 1 $\mu g/m^3$ आंका गया। 24 घंटे का NO_2 प्री-लॉकडाउन और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए औसत और मानक विचलन का अनुमान क्रमशः $54 \pm 11 \mu g/m^3$, 57 ± 8 $\mu g/m^3$, 54 ± 8 $\mu g/m^3$, 53 ± 5 $\mu g/m^3$ और 55 ± 6 $\mu g/m^3$ लगाया गया था। दे लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान कुल दिनों में से क्रमशः 66.67%, 52.38%, 84.21%, 78.57% और 64.29% दिनों में मानक मान से ज़्यादा रहा (सिर्फ़ लॉकडाउन 1 और 4 में PM10 के स्तर में कमी देखी गई)। PM2.5 का स्तर प्री-लॉकडाउन और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान कुल दिनों में से क्रमशः 19.05%, 4.76%, 10.53%, 6.67% और 28.57% दिनों में मानक मान से ज़्यादा रहा (लॉकडाउन 1, 2 और 3 में PM2.5 के स्तर में कमी देखी गई)। NO2 की कम वैल्यू मुख्य रूप से सड़कों पर गाड़ियों की कम मौजूदगी और बंद औद्योगिक गतिविधियों के कारण देखी गई। कुल मिलाकर, 00:00 से 8:00 बजे के समय में CO का स्तर 4.76% (प्री-लॉकडाउन) से 47.62% (लॉकडाउन-1) के बीच ज़्यादा रहा; 08:00 से 16:00 बजे के समय में यह 9.5% (प्री-लॉकडाउन और चौथा लॉकडाउन) से 23.81% (पहला लॉकडाउन) के बीच रहा। आखिर में, आखिरी 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के दौरान, ज़्यादा स्तर 23.81% (प्री-लॉकडाउन) से घटकर 0% (चौथा लॉकडाउन) हो गया। यहाँ यह बताना ज़रूरी है कि एनालिसिस से पता चला कि लॉकडाउन-4 के दौरान CO का स्तर कभी भी मानक मान से ऊपर नहीं गया, क्योंकि फॉसिल फ्यूल और बचा-खुचा कचरा जलाने का काम बहुत कम हो गया था और CO का उत्सर्जन भी घट गया था, जैसा कि तालिका-6(स) से साफ़ पता चलता है; इस दौरान CO के उत्सर्जन में सबसे ज़्यादा कमी देखी गई। लॉकडाउन के अलग-अलग चरणों और लॉकडाउन से पहले के समय के सांख्यिकीय विश्लेषण और तुलनात्मक प्रवृत्ति से पता चलता है कि SO_2 और NO_2 का सांद्रण मानक मान से नीचे रहा। PM10 का योगदान सबसे ज़्यादा रहा और यह ज़्यादातर मानक मान से ऊपर ही रहा, सिवाय 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16 मार्च, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 मार्च, 1-5, 19, 27, 28, 29 अप्रैल, 3, 10, 11, 12, 28, 29, 30 मई की तारीखों के लॉकडाउन के सभी चरणों के दौरान PM2.5 का सांद्रण लगभग मानक मान से नीचे रहा और लॉकडाउन के दौरान वायु में CO का डेटा बहुत उतार-चढ़ाव वाला रहा। इससे पता चलता है कि तय राष्ट्रीय मानक सीमा के अंदर इन्हें कंट्रोल करना छोटे शहर में भी एक चुनौती है। दिल्ली जैसे मेट्रोपॉलिटन शहर के मुकाबले 'राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र' के शहर में वायु प्रदूषण प्रवृत्ति के मामले में इस अध्यय के नतीजे अनोखे हैं।

यह भी देखा गया कि लॉकडाउन के दौरान ज़रूरी सामान ले जाने वाली परिवहन गतिविधियाँ की इजाज़त थी और कभी-कभी 13, 14 अप्रैल को - खासकर बैसाखी और डॉ. अंबेडकर जयंती के मौके पर - लोगों की भारी आवाजाही के कारण यातायात भी बढ़ गया था। लॉकडाउन-1 के बाद, कई मज़दूर अलग-अलग तरह के परिवहन से यात्रा कर रहे थे और हापुड़ में तहसील क्रॉसिंग पर बड़ी संख्या में लोग रुक रहे थे। यह दिल्ली-हापुड़-गढ़ रोड है जो हाईवे को जोड़ती है, इसलिए हापुड़-दिल्ली रोड पर ट्रकों की आवाजाही ज़्यादा थी। उस समय सभी को राशन बांटने की सरकारी योजना भी लागू की गई थी; हापुड़ में गेहूं का माल गोदाम है, इसलिए गेहूं को स्टोर से सरकारी वितरण बिंदु तक ले जाने के लिए कई ट्रक और ट्रैक्टर सड़कों पर थे। ये वे कारण हो सकते हैं जिनकी वजह से हापुड़ में कुल प्रदूषण में कोई कमी नहीं दिखी। नतीजों से पता चलता है कि कुछ नई नीतियां अपनाकर और इस नज़रिए से राष्ट्रीय मानक सीमाओं और वायु गुणवत्ता सूचकांक के आधार की समीक्षा करके वायु प्रदूषण को कम करने की गुंजाइश पर ध्यान देने की ज़रूरत है। हमने पाया कि लॉकडाउन-1 में, उन इलाकों में भी प्रदूषण कम हुआ जो ज़्यादा प्रदूषित थे। "आमतौर पर, हर जगह हवा और पानी के प्रदूषण में काफ़ी कमी देखी गई।" असल में, प्रदूषण की समस्या को कम करने के लिए खास नीतियों की ज़रूरत है। प्रदूषण को कम करने या उससे निपटने के लिए, निजी वाहनों के बजाय सार्वजनिक परिवहन को बढ़ावा देने और बिना मोटर वाले वाहनों के इस्तेमाल को बढ़ावा देने के अलावा, कम से कम एक दिन भारी वाहनों पर रोक, एक दिन कारों पर रोक, और सम-विषम जैसे उपायों पर विचार किया जा सकता है; साथ ही सड़कों की वैक्यूम सफ़ाई तथा पानी की बौछारें जैसे उपाय भी किए जा सकते हैं।

मौसम विज्ञान विभाग (IMD — India Meteorological Department) के डेटा के आधार पर अध्ययन अवधि के दौरान तापमान (Temperature, °C), वर्षा (Rainfall, mm), सापेक्ष आर्द्रता (Relative Humidity, %) तथा पवन गति (Wind Speed, m/s) मौसम संबंधी कारक वायु प्रदूषकों की सांद्रता को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं। उच्च तापमान वायुमंडलीय अस्थिरता बढ़ाकर प्रदूषकों के फैलाव में सहायक होता है, जबकि वर्षा 'Wet Deposition' (आर्द्र निक्षेपण) के माध्यम से कणिकीय पदार्थ को वायुमंडल से निष्कासित करती है। अतः मौसम संबंधी कारक (बढ़ता तापमान, वर्षा, पवन गति) वायु गुणवत्ता में आंशिक सुधार के सह-कारक रहे। लॉकडाउन को एकमात्र कारण मानना वैज्ञानिक दृष्टि से अपर्याप्त होगा। मौसम संबंधी कारकों को प्रस्तुत अध्ययन में शामिल किया जा सकता था लेकिन अध्ययन में वायु प्रदूषकों का परिवहन गतिविधि तथा औद्योगिक गतिविधि का सापेक्ष प्रभाव देखने ज्यादा महत्वपूर्ण था यह निश्चित रूप से अध्ययन को आगे बढ़ाने में सहायक हो सकता है।जिसको की आगे के अध्ययन में पाठक द्वारा लिया जा सकता है।

5.0 आभार

हम स्टडी पूरी करने में डेटा और मैनुअल के रूप में मददगार गाइडेंस के लिए के०प्र०नि०बो० के बहुत शुक्रगुजार हैं। के०प्र०नि०बो० ने राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र के शहर हापुड़ में वायु प्रदूषण को कंट्रोल करने के एक्शन प्लान को 2016-18 के दौरान के०प्र०नि०बो० और उ०प्र०प्र०नि०बो० के आपसी सहयोग से इस CAAQM स्टेशन की योजना बनाई गई और इसे हापुड़ में बनाया गया। हम हापुड़ वेबसाइट के एडमिनिस्ट्रेशन के भी शुक्रगुजार हैं क्योंकि हमने शहर की वेबसाइटों के बारे में कुछ आम जानकारी ली।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Ambasht, R.S; and Ambasht, P.K; (2006), Environment & Pollution, 4th edition, New Delhi, CBS Publishers & Distributors, page 162,
2. Central Pollution Control Board (Ministry of Environment, Forest and Climate Change), CPCB. (2009). Comprehensive Environmental Assessment of Industrial Clusters. Ecological Impact Assessment Series: EIAS/5/2009– 2010. Central Pollution Control Board, Ministry of Environment and Forests, Govt. of India, New Delhi.
3. CPCB (2010). Status of the Vehicular Pollution Control Program in India Program Objective Series. PROBES/136/2010. CPCB, New Delhi.
4. CPCB. (2014). National Air Quality Index. Central Pollution Control Board, New Delhi. Retrieved from http://www.cpcb.gov.in
5. Dhere, A.M., Pawar, B.B., Pardeshi, P.B., andPatil, D.A. (2008). Municipal solid wastedisposal in Pune City – An Analysis of Air and Ground Water Pollution. Current Science, 95,773–777.
6. Gupta Usha; (2008). Valuation Of Urban Air Pollution-A case study of Kanpur City in India, Environ resource. Economics, Vol.41 Issue 3, PP. 315-326.
7. Gurjar, B.R., Khaiwal, R., and Nagpure, A.S.(2016). Air Pollution Trends Over Indian Megacities and their Local to Global Implications. Atmospheric Environment, 142, 475–495.
8. Jain R., Palwa K.. (2016). Air Pollution and health *The Energy and Resources Institute*
9. Jamwal, P.,Mittal,(2006). International POPs Elimination Project (IPEP), Country Situation on Persistent Organic Pollutants (POPs) in India. PP.57.http://ipen.org/sites/default/files/
10. Khandar, C. and Kosankar, S. (2014). A Review of Vehicular Pollution in Urban India and its Effects on Human Health. Journal of Advanced Laboratory Research in Biology, V, 54–61.
11. Lawrence, A. and Fatima, N. (2014) Urban air pollution and its assessment in Lucknow City – the second largest city of North India.Science of the Total Environment, 488–489, 447–455.

12. Miller, M.R., Oxidative stress and the cardiovascular effects of air pollution. Free Radical Biology and Medicine, 2020. 151: p. 69-87.
13. Sharma, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M.,Rashmi, Rohtash, Sharma, A., and Gautam,R. (2014). Source Apportionment of PM10 byusing Positive Matrix Factorization at an Urban Site of Delhi, India. *Urban Climate*,10, 656–670.
14. Singh, R.B. and Grover, A. (2015). Spatial Correlations of Changing Land Use, Surface Temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat Satellite Images. In: Singh, R.B.(ed.), *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities.* Advances in Geographical and Environmental Sciences; Springer, Japan,pp. 83–97
15. Shrivastav, R.K., Saxena, N., and Gautam, G.(2013). Air Pollution due to Road Transportation in India: A Review on Assessment and Reduction Strategies. Journal of Environmental Research and Development, 8, 69–77.
16. Shrivastava M., Ghosh A., Bhattacharyya R., Singh S.D.(2018).Urban Pollution in India. Centre for Environment Science and Climate Resilient Agriculture, Indian Agricultural Research Institute
17. Tyagi, S.K.; Upadhyay, V.K.; Kulshreshtha, D.; Kumar, S.; Krishnamurthy, P. and Sen, A.K. (2016). Study of Background Ambient Air Quality in Northern Himalayan Regions: Uttrakhand and Himachal Pradesh, India, Indian Journal of Air Pollution Control, Vol XVI, No. 1:1-9.
18. WHO/UNEP Report; (1992), Urban Air Pollution in Mega-Cities of The World. World Health Organisation and United Nations Environment Programme. Blackwell Publishers, 108 Cowley Road, Oxford OX4’ 1JF Cambridge, UK..
19. Wong, M.S., Nichol, J.E., To, P.H., and Wang, J.,(2010). A simple method for designation of urban ventilation corridors and itsapplication to urban heat island analysis.Building and Environment, 45, 1880–1889.
20. Xiangdong Li, Ling Jin & Haidong Kan, Air pollution: a global problem needs local fixes; Nature 570, 437-439 (2019)

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख- प्रौद्योगिकी (General Article-Technology)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.5

डहलिया पत्ती अर्क से हरित-संश्लेषित ZnO नैनोकण: संरचनात्मक, प्रकाशीय, वेट्टेबिलिटी एवं तापमान-निर्भर केशिकीय द्रव परिवहन का अध्ययन

अवनीश मिश्रा, कु. खुशबू सिंह, सत्य पाल सिंह*
भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- singh.satyapal.pmsd@gmail.com, singh.satyapal@hotmail.com

आलेख प्राप्त: १७ जून २०२६; अंतिम संशोधन: २८ जून २०२६; स्वीकृत: ३० जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० जून २०२६

सारांश

सतह रसायन (Surface Chemistry) को अनुकूलित करने हेतु नैनोकण (Nanoparticle) कोटिंग्स पर आधारित अनुसंधान ने हाल के वर्षों में व्यापक ध्यान आकर्षित किया है। नैनोकण कोटिंग्स यांत्रिक, विद्युत, प्रकाशीय तथा अग्निरोधी गुणों में सुधार प्रदान करती हैं, जिसके कारण इनका उपयोग विभिन्न औद्योगिक क्षेत्रों में व्यापक रूप से किया जाता है। इसके अतिरिक्त, इनका उपयोग जल-विकर्षी (Hydrophobic) एवं खरोंच-प्रतिरोधी सतहों के निर्माण में भी किया जाता है। विभिन्न नैनो-सामग्रियों में जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण लगभग 3.3 eV के विस्तृत बैंड गैप के कारण विशेष महत्व रखते हैं और अनेक क्षेत्रों में उपयोग किए जाते हैं। साथ ही, नैनोकण कोटिंग्स लेपित सतहों एवं इंटरफेस की आयु, स्थायित्व तथा यांत्रिक स्थिरता को बढ़ाती हैं। वर्तमान अध्ययन में, डहलिया (*Dahlia*) पत्तियों के अर्क की सहायता से संश्लेषित ZnO नैनोकणों को 1.15 मिमी बाहरी व्यास वाली काँच की केशिका (Glass Capillary) नलिकाओं की आंतरिक सतह पर लेपित किया गया। इस कोटिंग का उद्देश्य सतह को जल-विकर्षी बनाना तथा केशिकीय क्रिया (Capillarity) पर इसके प्रभाव का अध्ययन करना था। ZnO नैनोकण कोटिंग के केशिकीय व्यवहार पर प्रभाव का मूल्यांकन करने के लिए तीन विभिन्न द्रवों—डी-आयोनाइज्ड जल (DW), मेथेनॉल तथा एथेनॉल—का उपयोग करते हुए तुलनात्मक अध्ययन किया गया। संश्लेषित ZnO नैनोकणों का विश्लेषण फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड (FTIR) स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा रासायनिक संघटन एवं शुद्धता की जाँच हेतु, एक्स-रे विवर्तन (XRD) द्वारा उनकी क्रिस्टलीय प्रकृति के अध्ययन हेतु, UV–Vis–NIR स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा प्रकाशीय गुणों एवं बैंड गैप के निर्धारण हेतु तथा स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM) द्वारा सतही संरचना एवं आकृति-विज्ञान के विश्लेषण हेतु किया गया। प्राप्त परिणाम दर्शाते हैं कि जैव-संश्लेषित ZnO नैनोकण कोटिंग्स काँच की सूक्ष्म-नलिकाओं में सतह की वेट्टेबिलिटी (Wettability) को नियंत्रित करने तथा केशिकीय व्यवहार को अनुकूलित करने की महत्वपूर्ण क्षमता रखती हैं।

सूचक शब्द - ZnO नैनोकण, डहलिया पत्तियाँ, वेट्टेबिलिटी, केशिकीय क्रिया , जल-विकर्षी सतह, जैव-संश्लेषण।

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख- प्रौद्योगिकी (General Article-Technology)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.5

Green-Synthesized ZnO Nanoparticles from Dahlia pinnata Leaf Extract: Structural, Optical, and Capillary-Driven Fluid Transport Studies under Variable Temperature Conditions

Avanish Mishra, Km. Khushboo Singh, Satya Pal Singh*

Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding Author Email*: singh.satyapal.pmsd@gmail.com, singh.satyapal@hotmail.com

Received On: 17 Jun 2026; Final Revision: 28 Jun 2026; Accepted On: 30 Jun 2026
Published Online First: 30 Jun 2026

ABSTRACT

Research focused on nanoparticle coatings for tailoring surface chemistry has gained significant attention in recent years. Nanoparticle coatings offer enhanced mechanical, electrical, and optical properties as well as fire protection, and are widely used in various industrial sectors. These are also used to create hydrophobic scratch-proof surfaces. ZnO nanoparticles have extensive applications in diverse fields owing to their wide bandgap of approximately 3.3 eV. Nanoparticle coatings increase the lifetime and mechanical stability of the coated substrates and interfaces. In this study, we have coated ZnO nanoparticles on the inner surface of glass capillary tubes with an outer diameter of 1.15 mm and have introduced hydrophobicity to enhance capillarity. A segregated study was conducted to determine the effects of ZnO NPs coating on capillarity using three different liquids: deionized water (DW), methanol, and ethanol. ZnO NPs were prepared using Dahlia leaves. We performed characterizations using FTIR for chemical composition and purity, XRD to study the crystalline nature of ZnO NPs, UV-vis-NIR spectroscopy to characterize their optical and bandgap properties, and SEM for surface morphology analysis.

Keyword: ZnO nanoparticles, Dahlia leaves, Wettability, Capillarity, Hydrophobic Surface

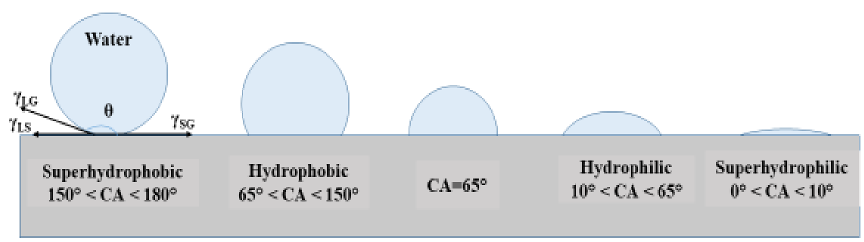
1.0 परिचय (Introduction)

15वीं शताब्दी में केशिकीय क्रिया (Capillary Action) का सर्वप्रथम अवलोकन **लियोनार्डो दा विंची** द्वारा किया गया था, जिसे बाद में **निकोलो अग्यून्टी**, **थॉमस यंग**, **गैलीलियो** तथा **अल्बर्ट आइंस्टीन** ने वैज्ञानिक रूप से स्पष्ट किया। इसके पश्चात अग्यून्टी ने यंग-लाप्लास समीकरण (Young-Laplace Equation) का मात्रात्मक विश्लेषण प्रस्तुत किया [1]। 20वीं शताब्दी तक अधिकांश अनुसंधान केशिका नलिकाओं में स्वस्फूर्त केशिकीय प्रवाह (Spontaneous Capillary Flow) के लिए उत्तरदायी भौतिक तंत्रों को समझने पर केंद्रित थे [2]। 21वीं शताब्दी में नैनोप्रौद्योगिकी (Nanotechnology) एक महत्वपूर्ण वैज्ञानिक अनुसंधान क्षेत्र के रूप में उभरी है, जिसका मुख्य उद्देश्य 100 nm से छोटे पदार्थों का निर्माण एवं नियंत्रण है। इसने कृषि, जैव-प्रौद्योगिकी, चिकित्सा तथा अन्य अनेक क्षेत्रों में क्रांतिकारी परिवर्तन किए हैं [3–5]। नैनोकणों (Nanoparticles) के अद्वितीय गुण, जो उनके अत्यंत छोटे आकार तथा उच्च सतह-क्षेत्र-से-आयतन अनुपात के कारण उत्पन्न होते हैं, द्रव गतिकी (Fluid Dynamics), सतही कार्यात्मकता (Surface Functionalities), अपशिष्ट जल उपचार तथा रोगाणुरोधी एजेंटों जैसे अनुप्रयोगों में महत्वपूर्ण प्रगति को संभव बनाते हैं [6,7]। नैनो-सामग्रियों (Nanomaterials) ने अपने नवीन, बहुउद्देशीय तथा नियंत्रित किए जा सकने वाले गुणों के कारण उपकरण निर्माण (Device Manufacturing) के क्षेत्र में महत्वपूर्ण विकास किया है। वर्तमान अनुसंधान विशेष रूप से जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकणों के उपयोग पर केंद्रित है, जिन्हें केशिका नलिकाओं की कोटिंग में प्रयोग कर उनकी कार्यक्षमता बढ़ाई जा सकती है। ZnO नैनोकण पर्यावरणीय सुधार (Environmental Remediation), जैव-चिकित्सीय अनुप्रयोगों, इलेक्ट्रॉनिक्स तथा ऊर्जा भंडारण जैसे क्षेत्रों में उपयोगी हैं, जिससे विभिन्न औद्योगिक क्षेत्रों में नवाचार को बढ़ावा मिलता है [8,9]। नैनोकणों के गुण एवं अनुप्रयोग अनेक क्षेत्रों में उपयोग किए जाते हैं, जैसे सैंडविच संरचनाएँ (Foam Structures), सुरक्षात्मक कोटिंग्स [10], नैनो-इलेक्ट्रोमैकेनिकल सिस्टम (NEMS), रेडियो-फ्रीक्वेंसी माइक्रो-इलेक्ट्रोमैकेनिकल सिस्टम (RF-MEMS), LCD, चालक नलिकाएँ एवं सेंसर [11], फोटोवोल्टाइक उपकरण, पवन टरबाइन, बैटरियाँ एवं ईंधन सेल [12], जल शुद्धिकरण एवं गैस पृथक्करण झिल्लियाँ तथा अवशोषक सामग्री [13], खेल उपकरण जैसे टेनिस रैकेट, हॉकी स्टिक, क्रिकेट बैट तथा शीतकालीन खेलों हेतु तापीय वर्दियाँ [14]। अत्यधिक जल-विकर्षी (Superhydrophobic) सामग्रियाँ, जो तेल एवं जल के प्रभावी तथा तीव्र पृथक्करण में सक्षम होती हैं और दीर्घकालिक स्थायित्व प्रदान करती हैं, वर्तमान समय में वैश्विक अनुसंधान का प्रमुख विषय बन गई हैं। पारंपरिक त्रि-आयामी अवशोषक सामग्रियाँ अत्यधिक पर्यावरणीय परिस्थितियों में अपनी कार्यक्षमता खो देती हैं, जिससे तेल-जल पृथक्करण की प्रभावशीलता प्रभावित होती है और उनके उपयोग का दायरा सीमित हो जाता है। औद्योगीकरण के तीव्र विस्तार के साथ समुद्री तेल रिसाव तथा औद्योगिक अपशिष्ट जल जैसी समस्याएँ बढ़ती जा रही हैं। परंपरागत तेल-जल पृथक्करण तकनीकें अक्सर कम दक्षता वाली होती हैं और द्वितीयक पर्यावरणीय प्रदूषण का कारण बन सकती हैं [15–17]। इसलिए अधिक प्रभावी तथा पर्यावरण-अनुकूल तेल-जल पृथक्करण तकनीकों का विकास वर्तमान समय में वैज्ञानिकों के लिए एक प्रमुख अनुसंधान विषय बन गया है [18,19]। वर्तमान तेल-जल पृथक्करण विधियाँ, जैसे गुरुत्वीय पृथक्करण (Gravity Separation), रासायनिक ऑक्सीकरण (Chemical Oxidation) तथा जैव-उपचार (Bioremediation), कम स्थिरता, कम दक्षता तथा द्वितीयक प्रदूषण जैसी समस्याओं से ग्रस्त हैं, जिससे नवीन समाधानों की आवश्यकता स्पष्ट होती है [20,21]। इसके अतिरिक्त, जल संकट एवं पर्यावरणीय प्रदूषण जैसी वैश्विक चुनौतियों के बढ़ने के साथ स्वच्छ जल की मांग भी निरंतर बढ़ रही है [22,23]। सौर वाष्पीकरण प्रणालियाँ (Solar Evaporators), जो उच्च दक्षता, ऊर्जा संरक्षण तथा पर्यावरण-अनुकूल विशेषताओं के लिए जानी जाती हैं, ऊर्जा एवं जल संबंधी समस्याओं के समाधान के रूप में उभरकर सामने आई हैं [24,25]। सौर ऊर्जा आधारित इंटरफेशियल वाष्पीकरण प्रणालियाँ समुद्री जल विलवणीकरण (Desalination) तथा अपशिष्ट जल उपचार के लिए अत्यंत संभावनाशील हैं, किन्तु उनकी एकल संरचना (Monolithic Structure) तथा जटिल निर्माण प्रक्रिया उनके व्यापक उपयोग में बाधा उत्पन्न करती है। अतः उच्च दक्षता एवं स्थिर फोटोथर्मल प्रदर्शन वाली बहुस्तरीय सौर वाष्पीकरण प्रणालियों का विकास आवश्यक है [26]। सामाजिक एवं आर्थिक विकास के साथ-साथ कच्चे तेल तथा माइक्रोप्लास्टिक द्वारा जल संसाधनों पर पड़ने वाले नकारात्मक प्रभाव भी स्पष्ट रूप से सामने आए हैं। इसलिए ऐसे टिकाऊ एवं बहुउद्देशीय अवशोषक पदार्थों का विकास अत्यंत आवश्यक है, जो विभिन्न प्रकार के प्रदूषकों को प्रभावी ढंग से हटाने में सक्षम हों। **रितोंग वांग** एवं उनके सहयोगियों ने पॉलीडाइमिथाइलसिलोक्सेन (PDMS) तथा स्टियरिक अम्ल-संशोधित TiO_2 नैनोकणों का उपयोग करते हुए डिप-कोटिंग तकनीक द्वारा एक बहुक्रियात्मक सुपरहाइड्रोफोबिक त्रि-आयामी पॉलीयूरीथेन स्पंज (PSTS) विकसित किया। यह स्पंज प्रकाश एवं ऊष्मा की उपस्थिति में उच्च श्यानता वाले कच्चे तेल को प्रभावी रूप से हटाने के साथ-साथ तेल-जल इमल्शन पृथक्करण, जल आधारित कार्बनिक प्रदूषकों को हटाने तथा माइक्रोप्लास्टिक निष्कासन में भी अत्यंत प्रभावी पाया गया [27]।

जुओझू यिन एवं सहयोगियों ने एक सरल घोल-आधारित विसर्जन तकनीक द्वारा बहुक्रियात्मक सेल्यूलोज-आधारित झिल्ली (CBM) विकसित की, जिसमें 163° का जल संपर्क कोण (Water Contact Angle) प्राप्त हुआ। इस झिल्ली में स्व-सफाई (Self-Cleaning), तेल-जल पृथक्करण, जैव-अवरोधन प्रतिरोध (Anti-Biofouling) तथा प्रकाश-उत्प्रेरक अपघटन (Photocatalytic Degradation) जैसी उत्कृष्ट विशेषताएँ पाई गईं। CuO नैनोस्ट्रक्चर कोटिंग तथा स्टियरिक अम्ल संशोधन के संयोजन से 96% पृथक्करण दक्षता, 141 $Lm^{-2}h^{-1}$ फ्लक्स तथा सात बार पुनः उपयोग की क्षमता प्राप्त हुई [28]। इसी प्रकार, विकसित सेल्यूलोज झिल्ली ने 167.2 ± 2° के उच्च स्थिर जल संपर्क कोण के साथ उत्कृष्ट सुपरहाइड्रोफोबिक एवं स्व-सफाई गुण प्रदर्शित किए [29]। इसके अतिरिक्त, **जुओझू यिन** एवं **शियाओशियांग चेन** ने स्क्रैप-कोटिंग तथा डिप-कोटिंग विधियों के संयोजन द्वारा सुपरहाइड्रोफोबिक, प्रकाश-उत्प्रेरक एवं स्व-सफाई गुणों वाली NBSS सामग्री विकसित की। इसमें नैनोसेल्यूलोज सतह पर ग्राफीन परत लगाकर चालक चैनल बनाए गए तथा MnO_2/स्टियरिक अम्ल मिश्रण द्वारा सुपरहाइड्रोफोबिसिटी

उत्पन्न की गई। विकसित सतह ने जल एवं कार्बनिक प्रदूषकों के प्रति उत्कृष्ट स्व-सफाई प्रदर्शन प्रदर्शित किया [30]।

केशिकीय बल द्वारा संचालित द्रव प्रवाह (Capillary-Driven Liquid Flow) अनेक प्राकृतिक प्रणालियों में प्रमुख परिवहन तंत्र है। यह पृथ्वी पर वृक्षों की अधिकतम ऊँचाई को निर्धारित करता है [31] तथा मानव मस्तिष्क में रक्त प्रवाह के नियमन में भी योगदान देता है [32]। इसके अतिरिक्त, जलाशय चट्टानों से तेल निष्कर्षण तथा भूमिगत जल स्रोतों में अमिश्रणीय प्रदूषकों के प्रसार जैसी प्रक्रियाओं में भी केशिकीय प्रवाह महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है [33]। सूक्ष्म एवं नैनो प्रणालियों में केशिकीय प्रभावों की स्पष्ट समझ माइक्रो/नैनो इलेक्ट्रोमैकेनिकल प्रणालियों (MEMS एवं NEMS) के उन्नत डिज़ाइन के लिए अत्यंत आवश्यक है [34]। केशिका नलिकाएँ (Capillary Tubes) विभिन्न अनुप्रयोगों में द्रव के सटीक नियंत्रण के लिए महत्वपूर्ण होती हैं। इनका उपयोग शीतलन एवं वातानुकूलन प्रणालियों में रेफ्रिजरेंट प्रवाह नियंत्रण, केशिका वैद्युतकण संचलन (Capillary Electrophoresis), क्रोमैटोग्राफी, चिकित्सा निदान में रक्त नमूना संग्रहण एवं ग्लूकोज़ मापन, माइक्रोफ्लुइडिक उपकरणों, इंकजेट प्रिंटरों तथा प्रयोगशाला उपकरणों में किया जाता है [35]। केशिकीय उत्थान (Capillary Rise) का समीकरण द्रव के भार तथा पृष्ठ तनाव द्वारा उत्पन्न ऊपर की ओर लगने वाले बल के संतुलन से प्राप्त किया जाता है। किसी द्रव बूंद का संपर्क कोण (θ) तीन अंतरापृष्ठीय पृष्ठ तनावों के परस्पर संतुलन द्वारा निर्धारित होता है, जिसके परिणामस्वरूप त्रि-संपर्क रेखा (Triple Line) पर शुद्ध बल शून्य हो जाता है। संपर्क कोण के आधार पर विभिन्न सामग्रियों का वर्गीकरण किया जाता है, जैसा कि चित्र 1 में दर्शाया गया है।



चित्र 1: किसी लिक्विड ड्रॉपलेट का कॉन्टैक्ट एंगल (θ) तीन इंटरफेशियल सरफेस टेंशन वैल्यू से प्रभावित होता है, जो मिलकर ट्रिपल लाइन पर ज़ीरो नेट फ़ोर्स बनाती हैं। कॉन्टैक्ट एंगल के आधार पर मटीरियल अलग-अलग तरह के होते हैं, जैसा कि ऊपर दिए गए चित्र में दिखाया गया है

1.2. पृष्ठभूमि (Background)

हाइड्रोफोबिसिटी (Hydrophobicity) वह प्रवृत्ति है जिसमें अध्रुवीय (Non-polar) समूह या अणु जल में एकत्रित हो जाते हैं, क्योंकि वे ध्रुवीय जल अणुओं के संपर्क से बचने का प्रयास करते हैं। यह व्यवहार जल और हाइड्रोकार्बनों के बीच प्रतिकर्षण के कारण नहीं, बल्कि जल अणुओं पर हाइड्रोकार्बन-सदृश समूहों के प्रभाव के कारण उत्पन्न होता है [36]। "हाइड्रोफोबिसिटी" शब्द उन अणुओं के गुण को दर्शाता है जो जल के संपर्क से बचते हैं। ऐसे अणुओं को **हाइड्रोफोब (Hydrophobes)** कहा जाता है। यह शब्द ग्रीक भाषा के शब्दों *Hydro* (जल), *Philicity* (पसंद) तथा *Phobicity* (नापसंद) से मिलकर बना है। वैज्ञानिक समुदाय में सामान्यतः यह स्वीकार किया जाता है कि कोई सतह तब **हाइड्रोफोबिक (Hydrophobic)** कहलाती है जब उसका स्थिर जल संपर्क कोण (Static Water Contact Angle, θ) **90° या उससे अधिक (θ ≥ 90°)** हो तथा **हाइड्रोफिलिक (Hydrophilic)** तब कहलाती है जब

θ ≤ 90° हो। हालांकि, इस बात का स्पष्ट वैज्ञानिक औचित्य कम उपलब्ध है कि केवल 2° के परिवर्तन (89° से 91°) पर कोई सतह हाइड्रोफिलिक से हाइड्रोफोबिक कैसे हो जाती है [37]। ZnO (जिंक ऑक्साइड) की सतह जल के साथ उसकी अंतरापृष्ठीय (Interfacial) भौतिक एवं रासायनिक अंतःक्रियाओं के आधार पर हाइड्रोफोबिक अथवा हाइड्रोफिलिक दोनों प्रकार का व्यवहार प्रदर्शित कर सकती है। ZnO का उपयोग सुपरहाइड्रोफोबिक सतहों के निर्माण में किया जाता है। उदाहरण के लिए, स्टील सब्सट्रेट पर Zn कोटिंग द्वारा लगभग **158° जल संपर्क कोण (Water Contact Angle, WCA)** तथा लगभग **6° स्लाइडिंग कोण (Sliding Angle)** वाली सुपरहाइड्रोफोबिक सतह तैयार की गई है [38]। इसी प्रकार, बोरोसिलिकेट काँच, अमोर्फस क्वार्ट्ज, एकल-क्रिस्टलीय सैफायर, लैन्थेनम एल्युमिनेट तथा यट्रियम-स्थिरित जिरकोनिया जैसे सब्सट्रेटों पर तापीय वाष्पीकरण (Thermal Evaporation) तकनीक द्वारा ZnO हाइड्रोफोबिक कोटिंग तैयार की गई, जो यांत्रिक एवं ऑक्सीकरण प्रतिरोधी अनुप्रयोगों के लिए भी उपयुक्त पाई गई [39]।

सुपरहाइड्रोफोबिक सतहें, जैसे कीटों के पंख, जल-चालक कीट (Water Strider) के पैर, कमल की पत्तियाँ तथा शार्क की त्वचा, जल को प्रतिकर्षित करके तथा बूंदों के निर्माण को प्रोत्साहित करके द्रव-गैस अंतरापृष्ठ (Liquid-Gas Interface) का निर्माण करती हैं। इस प्रकार की सतहें सीमित ज्यामितीय संरचनाओं (Confined Geometries) में वाष्प अथवा गैस को फँसाकर प्रकृति की एक अद्भुत अनुकूलन क्षमता को प्रदर्शित करती हैं [40]।

किसी पदार्थ की सतह पर उपस्थित अणुओं के बंधनों की संख्या कम होने के कारण अतिरिक्त ऊर्जा उत्पन्न होती है, जिसे **पृष्ठ तनाव (Surface Tension, γ)** कहा जाता है। अंतरापृष्ठ पर उत्पन्न यह पृष्ठ तनाव तीन प्रकार का होता है—

1. **द्रव-गैस अंतरापृष्ठ (Liquid-Gas Interface)** : γ_{LG}
2. **द्रव-ठोस अंतरापृष्ठ (Liquid-Solid Interface)** : γ_{LS}
3. **ठोस-गैस अंतरापृष्ठ (Solid-Gas Interface)** : γ_{SG}

इन तीनों पृष्ठ तनावों की भूमिका किसी बूंद के संतुलन आकार (Equilibrium Shape) को निर्धारित करने में अत्यंत महत्वपूर्ण होती है। किसी ठोस सतह पर स्थित द्रव बूंद द्वारा निर्मित संपर्क कोण (Contact Angle) सीधे तौर पर इन तीनों पृष्ठ तनाव मानों से प्रभावित होता है।

जैसा कि चित्र 2(b) में दर्शाया गया है, संतुलन अवस्था में उस **त्रि-संपर्क रेखा (Triple Line)** पर, जहाँ तीनों बल मिलते हैं, परिणामी बल शून्य होता है। अतः,

$$\gamma_{LG}\cos\theta = \gamma_{SG} - \gamma_{LS} \qquad (1)$$

Here, $\theta = cos^{-1}\left(\frac{\gamma_{SG}-\gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}\right)$

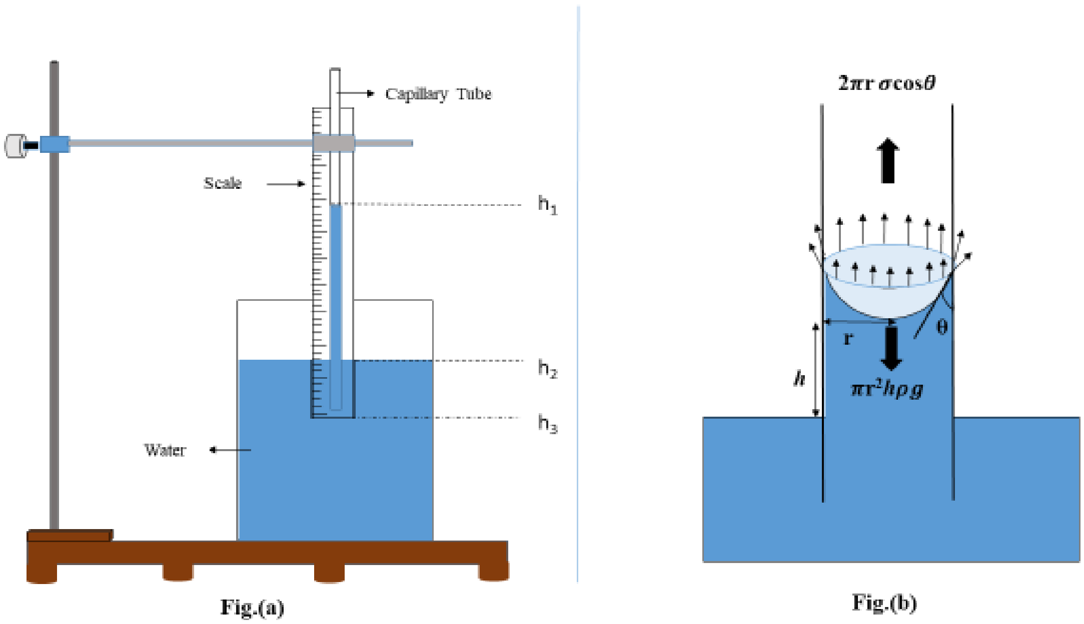
इस समीकरण को पारंपरिक रूप से **यंग का नियम (Young's Law)** कहा जाता है। यह नियम द्रव बूंद के व्यवहार को **हाइड्रोफिलिक (θ < 90°)** अथवा **हाइड्रोफोबिक (θ > 90°)** के रूप में वर्गीकृत करता है, जहाँ θ संतुलन संपर्क कोण को दर्शाता है [41]। सतह के गुणों में परिवर्तन करने के लिए विभिन्न रासायनिक पदार्थों द्वारा सतह को कोट करना भी एक सामान्य एवं प्रभावी तकनीक है। कई बार केवल एक **स्व-संयोजित एकल आणविक परत (Self-Assembled Monolayer, SAM)** ही सतह के गुणों को पूर्णतः परिवर्तित करने के लिए पर्याप्त होती है [42]। इस प्रकार, उपयुक्त रासायनिक संशोधन एवं नैनोकण कोटिंग द्वारा सतह की आर्द्रणीयता (Wettability), हाइड्रोफोबिसिटी तथा अन्य कार्यात्मक गुणों को नियंत्रित एवं अनुकूलित किया जा सकता है।

1.3 केशिकीय परिघटना का परिचय (Introduction to Capillary Phenomenon)

केशिका नलिका (Capillary Tube), जिसकी लंबाई सामान्यतः 1 से 6 सेमी तथा आंतरिक व्यास 0.5 से 2 मिमी के बीच होता है, आसंजन (Adhesion), संसंजन (Cohesion) तथा पृष्ठ तनाव (Surface Tension) बलों की परस्पर क्रिया के आधार पर कार्य करती है [43,44]। जब द्रव एवं केशिका नलिका की दीवारों के बीच का आसंजक बल, द्रव अणुओं के मध्य संसंजक बल से अधिक होता है, तब द्रव नलिका में ऊपर की ओर उठता है तथा अवतल मेनिस्कस (Concave Meniscus) बनाता है, जिसमें संपर्क कोण (Contact Angle) 90° से कम होता है [45]। इसके विपरीत, यदि द्रव अणुओं के बीच संसंजक बल अधिक प्रबल हो, तो द्रव नीचे की ओर दब जाता है और उत्तल मेनिस्कस (Convex Meniscus) का निर्माण होता है, जिसमें संपर्क कोण 90° से अधिक होता है।

केशिकीय उत्थान (Capillary Rise) एक जटिल परिघटना है, जो द्रव के गुणों तथा केशिका नलिका की सतही विशेषताओं पर निर्भर करती है। जब केशिका नलिका की आंतरिक सतह पर ZnO (जिंक ऑक्साइड) नैनोकणों की कोटिंग की जाती है, तो सतह की आकृति (Morphology), खुरदरापन (Roughness) तथा द्रव–ठोस अंतःक्रियाओं में परिवर्तन होता है, जिससे केशिकीय व्यवहार में महत्वपूर्ण बदलाव आ सकता है। उत्पन्न केशिकीय उत्थान केवल प्रत्यक्ष आर्द्रणीयता (Apparent Wettability) पर ही निर्भर नहीं करता, बल्कि नैनोकणों के वितरण, सतही विषमता (Surface Heterogeneity) तथा सीमित ज्यामिति (Confined Geometry) के भीतर प्रभावी आर्द्रण परिस्थितियों पर भी निर्भर करता है। यह प्रभाव द्रव के ध्रुवीय गुणों तथा ZnO नैनोकणों की सतही ऊर्जा के कारण उत्पन्न होता है [46]। इसके अतिरिक्त, तापमान में वृद्धि से द्रव की श्यानता (Viscosity) कम हो जाती है तथा पृष्ठ तनाव में परिवर्तन होता है, जिसके परिणामस्वरूप केशिकीय उत्थान प्रभावित होता है [47]। द्रव का प्रकार भी केशिकीय उत्थान को निर्धारित करने में महत्वपूर्ण भूमिका

निभाता है। सामान्यतः अधिक पृष्ठ तनाव तथा कम श्यानता वाले द्रवों में केशिकीय उत्थान अधिक देखा जाता है [48]। चित्र 2 में दर्शाए अनुसार, यदि त्रिज्या **r** वाली एक केशिका नलिका को घनत्व **ρ** वाले द्रव से भरे पात्र में डुबोया जाए, तो नलिका में **h** ऊँचाई तक उठे द्रव स्तंभ का भार, द्रव के पृष्ठ तनाव के ऊर्ध्वाधर घटक द्वारा संतुलित होता है।



चित्र 2 (a) केशिका क्रिया (capillary action) का चित्रण, (b) बल संतुलन से केशिका में द्रव का ऊपर चढ़ना (capillary rise)

पृष्ठ तनाव के कारण लगने वाला ऊर्ध्वाधर बल

अर्थात,

$$F_V = \sigma\cos\theta \times 2\pi r$$

जहाँ,

- F_V= पृष्ठ तनाव के कारण उत्पन्न ऊर्ध्वाधर बल
- σ= द्रव का पृष्ठ तनाव (Surface Tension)
- θ= संपर्क कोण (Contact Angle)
- r= केशिका नलिका की त्रिज्या (Radius of Capillary Tube)
- $2\pi r$= केशिका की परिधि, अर्थात वह कुल लंबाई जिस पर पृष्ठ तनाव कार्य करता है

इसके अतिरिक्त,

$$\text{द्रव स्तंभ का भार} = \text{द्रव का आयतन} \times \text{घनत्व} \times \text{गुरुत्वीय त्वरण} \quad (2)$$

$$W = \pi r2h\rho g$$

संतुलन (Equilibrium) की अवस्था में, समीकरण (1) तथा समीकरण (2) द्वारा दिए गए बल परस्पर बराबर होने चाहिए।

$$F_V = W \qquad (3)$$

$$2\pi r\sigma\cos\theta = \pi r2h\rho g$$

इससे हमें प्राप्त होता है:

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{r\rho g} \qquad (4)$$

यह समीकरण केशिकीय उत्थान की ऊँचाई को व्यक्त करता है, जिसे **ज्यूरिन का नियम (Jurin's Law)** कहा जाता है।

1.4 केशिका नलिका के भीतर ZnO नैनोकणों (हाइड्रोफोबिक) की सतही कोटिंग के प्रभाव

जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण अपनी जैव-सुरक्षित (Bio-safe) एवं जैव-संगत (Biocompatible) प्रकृति के कारण सेंसर एवं ट्रांसड्यूसर अनुप्रयोगों में अत्यधिक महत्वपूर्ण हैं। इनका उपयोग कैपेसिटर, सुरक्षात्मक कोटिंग, फोटो प्रिंटिंग, सौर सेल, इलेक्ट्रोफोटोग्राफी, ब्लू लेजर डायोड तथा LCD में चालक पतली परतों (Conductive Thin Films) के निर्माण में किया जाता है [49]। हाइड्रोफोबिक ZnO नैनोस्ट्रक्चर की आकृति (Morphology) जल संपर्क कोण को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती है, जहाँ सतह का खुरदरापन (Surface Roughness) हाइड्रोफोबिसिटी निर्धारित करने में प्रमुख भूमिका निभाता है [50]। अधिक सतह क्षेत्रफल एवं जटिल आकृति वाली संरचनाएँ, जैसे नैनोशीथ (Nanosheaves), अधिक हाइड्रोफोबिक व्यवहार प्रदर्शित करती हैं तथा उच्च जल संपर्क कोण उत्पन्न करती हैं। उदाहरणस्वरूप, ZnO नैनोरॉड लगभग 157° का संपर्क कोण प्रदर्शित कर सुपरहाइड्रोफोबिक व्यवहार दिखाते हैं, जबकि ZnO नैनोकण लगभग 67° संपर्क कोण के साथ हाइड्रोफिलिक व्यवहार प्रदर्शित कर सकते हैं [51]। A.M. Munshi एवं सहयोगियों ने पाया कि जब ZnO नैनोकणों का आकार 14 nm से बढ़कर 620 nm हुआ, तब जल का संपर्क कोण 24° से बढ़कर 67° हो गया। इससे स्पष्ट होता है कि संपर्क कोण नैनोकणों के आकार पर अत्यधिक निर्भर करता है तथा कण आकार बढ़ने के साथ बढ़ता है [52]। ZnO नैनोकण उत्कृष्ट ऊष्मा प्रतिरोध, कम इलेक्ट्रॉन चालकता, जीवाणुरोधी (Antibacterial) तथा संक्षारण-प्रतिरोधी (Anti-corrosion) गुणों से युक्त होते हैं। केशिका नलिका की आंतरिक सतह पर ZnO नैनोकणों की कोटिंग उसकी हाइड्रोफोबिक विशेषताओं को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती है, जिसके प्रमुख प्रभाव निम्नलिखित हैं—

(i) जल संपर्क कोण में वृद्धि

ZnO नैनोकण सतह के जल संपर्क कोण को बढ़ाते हैं, जिससे सतह अधिक हाइड्रोफोबिक हो जाती है।

(ii) दाब-पतन (Pressure Drop) में वृद्धि

हाइड्रोफोबिक सतह द्रव प्रवाह के दौरान अतिरिक्त प्रतिरोध उत्पन्न कर सकती है, जिससे नलिका में दाब-पतन बढ़ सकता है।

(iii) जल प्रतिकर्षण क्षमता में सुधार

नैनोसंरचित सतह जल के प्रवेश तथा प्रवाह को कम करती है, जिससे जल-विकर्षण (Water Repellency) में वृद्धि होती है।

(iv) प्रवाह दर में कमी

हाइड्रोफोबिक कोटिंग के कारण जलीय विलयनों का प्रवाह कम हो सकता है, जिससे केशिका नलिका में द्रव की प्रवाह दर घट जाती है।

1.5 हाइड्रोफोबिक प्रभाव एवं अंतःक्रिया (Hydrophobic Effect and Interaction)

हाइड्रोफोबिक प्रभाव वह परिघटना है जिसमें अध्रुवीय अणु या सतहें जल के संपर्क से बचती हैं, जिसके परिणामस्वरूप प्रणाली की मुक्त ऊर्जा (Free Energy) कम हो जाती है। इस प्रभाव के कारण अध्रुवीय अणु जल के साथ संपर्क को न्यूनतम रखते हुए अन्य अध्रुवीय अणुओं या सतहों के साथ अंतःक्रिया करना पसंद करते हैं। हाइड्रोफोबिक अंतःक्रियाएँ (Hydrophobic Interactions) इसी प्रभाव से संबंधित हैं और जल में डूबे हुए हाइड्रोफोबिक अणुओं एवं सतहों के बीच अत्यंत प्रबल आकर्षण उत्पन्न करती हैं। यह आकर्षण कई बार निर्वात (Vacuum) में उपस्थित आकर्षण से भी अधिक होता है। उदाहरण के लिए, मुक्त अंतरिक्ष में दो मीथेन अणुओं के बीच वैन डर वाल्स (Van der Waals) अंतःक्रिया ऊर्जा लगभग 2.5×10^{-21}J होती है, जबकि जलीय माध्यम में यह बढ़कर लगभग 14×10^{-21}J हो जाती है। अधिकांश संतृप्त हाइड्रोकार्बनों का पृष्ठ तनाव सामान्यतः 15–30 mJ m^{-2} के बीच होता है, जबकि जल के साथ उनका अंतरापृष्ठीय तनाव 40–50 mJ m^{-2}तक पाया जाता है। जल में इस प्रकार की प्रबल अंतःक्रिया को पारंपरिक वैन डर वाल्स सिद्धांत द्वारा पूर्णतः नहीं समझाया जा सकता, क्योंकि वह जलीय माध्यम में कम आकर्षण की भविष्यवाणी करता है। प्रारंभ में इस अत्यधिक आकर्षण के कारण "हाइड्रोफोबिक बंध (Hydrophobic Bond)" की अवधारणा प्रस्तावित की गई थी। किन्तु वर्तमान में यह स्पष्ट है कि यह प्रभाव मुख्यतः **एंट्रॉपी-नियंत्रित (Entropy-Driven)** प्रक्रिया है। जब दो हाइड्रोफोबिक इकाइयाँ एक-दूसरे के निकट आती हैं, तब उनके चारों ओर उपस्थित जल अणुओं के हाइड्रोजन बंधों की संरचना पुनर्गठित होती है। इस पुनर्संगठन के परिणामस्वरूप प्रणाली की एंट्रॉपी बढ़ती है तथा मुक्त ऊर्जा घटती है, जिससे दोनों हाइड्रोफोबिक इकाइयों के बीच प्रभावी आकर्षण उत्पन्न होता है। यही कारण है कि हाइड्रोफोबिक अंतःक्रियाएँ सामान्य रासायनिक बंधों की अपेक्षा अधिक दूरी तक प्रभावी रह सकती हैं।

2.0 कार्यविधि (Methodology)

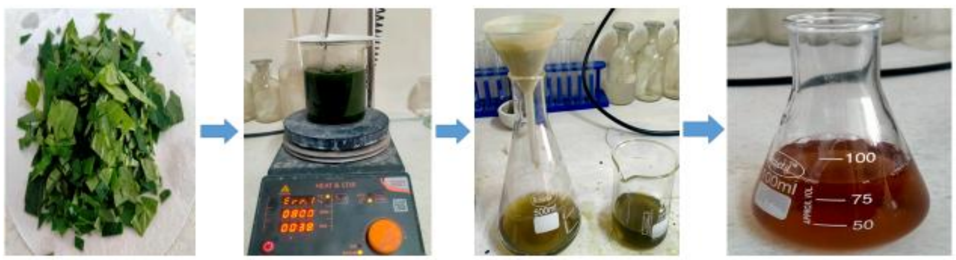
2.1 सामग्री एवं विधि (Material and Method)

इस अध्ययन में निम्नलिखित सामग्री एवं रसायनों का उपयोग किया गया: 16, 24 तथा 32 mg सांद्रता वाले जिंक ऑक्साइड (ZnO), जिन्हें 20 mL जल में घोला गया; 98% शुद्धता वाला जिंक एसीटेट डाइहाइड्रेट, व्हाटमैन फिल्टर पेपर, आसुत जल (Distilled Water) तथा 2 mL एथेनॉल। डहलिया (Dahlia) की पत्तियाँ उत्तर प्रदेश के गोरखपुर स्थित

Madan Mohan Malaviya University of Technology परिसर से एकत्रित की गई। प्रयोग में प्रयुक्त सभी रसायन विश्लेषणात्मक अनुसंधान (Analytical Research Grade) गुणवत्ता के थे तथा उनका कोई अतिरिक्त शोधन नहीं किया गया। ZnO नैनोकणों के संश्लेषण हेतु सोल-जेल (Sol-Gel) विधि का उपयोग किया गया।

2.2 पत्ती निष्कर्ष (Leaf Extract) की तैयारी

डहलिया की पत्तियाँ आसपास के क्षेत्र से एकत्रित की गई। धूल एवं अन्य अशुद्धियों को हटाने के लिए पत्तियों को आसुत जल से 2–3 बार धोकर सुखाया गया। इसके बाद पत्तियों को छोटे-छोटे टुकड़ों में काटा गया तथा मूसल एवं ओखली (Mortar and Pestle) की सहायता से उनका पेस्ट तैयार किया गया। अतिरिक्त नमी हटाने के लिए पत्तियों को सामान्य कमरे के तापमान पर सुखाया गया। इसके पश्चात पत्तियों को बारीक टुकड़ों में काटकर 100 mL आसुत जल में मिलाया गया तथा मिश्रण को 60°C तापमान एवं 800 rpm की गति पर 3 घंटे तक चुंबकीय स्टिरर (Magnetic Stirrer) पर चलाया गया। कमरे के तापमान (लगभग 30°C) पर पीले रंग का निष्कर्ष (Extract) प्राप्त हुआ। प्राप्त निष्कर्ष को चित्र 3 में दर्शाए अनुसार व्हाटमैन फिल्टर पेपर द्वारा छान लिया गया।



चित्र 3: पत्ती के अर्क की तैयारी (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)

2.3 डहलिया पत्ती निष्कर्ष-संवेष्टित (Capped) ZnO नैनोकणों का संश्लेषण

इस विधि में 3.3 g जिंक एसीटेट डाइहाइड्रेट को 50 mL आसुत जल में घोलकर बीकर में रखा गया। इस विलयन को 50°C तापमान पर 50 rpm की गति से 30 मिनट तक चुंबकीय रूप से हिलाया गया। इसके बाद 20 mL पत्ती निष्कर्ष को ब्युरेट की सहायता से धीरे-धीरे समांगी विलयन में मिलाया गया। तत्पश्चात चुंबकीय स्टिरर का तापमान 80°C तथा गति 100 rpm निर्धारित की गई और विलयन को 80°C पर 2 घंटे तक लगातार हिलाया गया। इस प्रक्रिया के दौरान 0.3 M सोडियम हाइड्रॉक्साइड (NaOH) विलयन को बूंद-बूंद करके तब तक मिलाया गया जब तक pH मान 8 न हो गया। परिणामस्वरूप सफेद रंग का जिलेटिनस अवक्षेप (Gelatinous Precipitate) प्राप्त हुआ। इस अवक्षेप को 80°C तापमान एवं 100 rpm की गति पर 1 घंटे तक निरंतर हिलाया गया। मिश्रण के पूर्णतः अभिक्रियाशील होने के पश्चात सफेद पेस्ट को व्हाटमैन फिल्टर पेपर द्वारा पृथक किया गया। इस पेस्ट को पेट्री डिश में स्थानांतरित करके 100°C तापमान पर 2 घंटे तक ओवन में गर्म किया गया। प्राप्त अवक्षेप को कई बार आसुत जल से धोया गया। समय की बचत के लिए अवक्षेप को 2 घंटे तक माइक्रोवेव ओवन में सुखाया गया। अंततः सूखे नमूने को मूसल एवं ओखली द्वारा पीसकर ZnO नैनोकणों का महीन सफेद पाउडर प्राप्त किया गया, जिसका उपयोग आगे के अध्ययन में किया गया।

3. परिणाम एवं चर्चा (Results and Discussion)

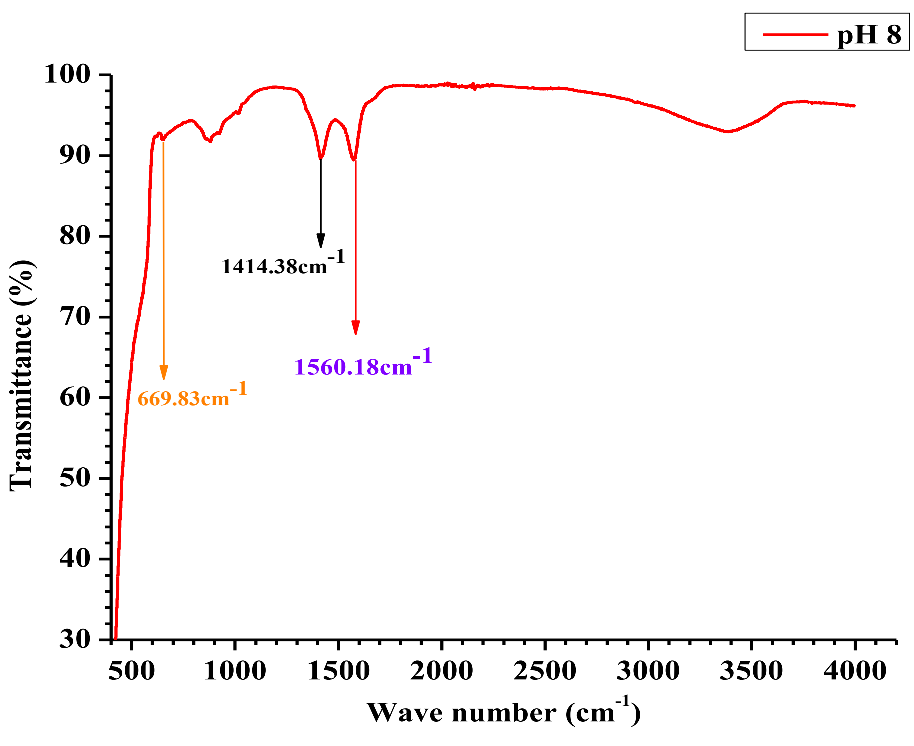
नमूनों का विश्लेषण **फोरियर ट्रांसफॉर्म अवरक्त स्पेक्ट्रोस्कोपी (FTIR)**, **पराबैंगनी-दृश्य-निकट अवरक्त स्पेक्ट्रोस्कोपी (UV–Vis–NIR)**, **एक्स-किरण विवर्तन (XRD)** तथा **स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM)** तकनीकों द्वारा किया गया। FTIR तकनीक का उपयोग कार्बनिक, बहुलकीय (Polymeric) तथा अकार्बनिक पदार्थों की पहचान के लिए किया जाता है। UV–Vis–NIR तकनीक पदार्थों के प्रकाशीय अवशोषण (Optical Absorption) एवं संचरण (Transmission) गुणों का अध्ययन करती है, जिससे उनके बैंड गैप तथा दोषों एवं अशुद्धियों की उपस्थिति संबंधी महत्वपूर्ण जानकारी प्राप्त होती है।

XRD तकनीक का उपयोग पदार्थों की संरचना, संघटन एवं भौतिक गुणों के अध्ययन हेतु किया जाता है, जबकि SEM तकनीक वस्तुओं के आकार एवं सतही संरचना की उच्च विभेदन (High Resolution) वाली छवियाँ प्रदान करती है तथा रासायनिक संरचना में स्थानिक परिवर्तनों का विश्लेषण करने में सहायक होती है। इसके अतिरिक्त, फ्लोरेसेंस स्पेक्ट्रोस्कोपी (Fluorescence Spectroscopy) का उपयोग अणुओं एवं नैनोकणों के फ्लोरेसेंस गुणों को समझने के लिए किया गया। धातु एवं धातु-ऑक्साइड नैनोकण सतही प्लाज़्मोन अनुनाद (Surface Plasmon Resonance) के कारण विशिष्ट फ्लोरेसेंस प्रदर्शित करते हैं, जिसमें उच्च ऊर्जा वाले आवेशित वाहक (Charged Carriers) सामूहिक रूप से दोलन करते हैं। यह तकनीक नैनोकणों के प्रकाशीय एवं इलेक्ट्रॉनिक गुणों के विश्लेषण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

3.1 FTIR विश्लेषण (FTIR Analysis)

चित्र 4 में प्रदर्शित FTIR विश्लेषण से नमूने में उपस्थित विभिन्न क्रियात्मक समूहों (Functional Groups) के विशिष्ट कंपन मोड (Vibrational Modes) से संबंधित विशेष शिखर (Characteristic Peaks) प्राप्त हुए। ये शिखर तथा उनसे संबंधित तरंगसंख्या (Wavenumber) नमूने की रासायनिक संरचना एवं आणविक विन्यास के संबंध में महत्वपूर्ण जानकारी प्रदान करते हैं। ग्राफ में ट्रांसमिटेंस (%) एवं तरंगसंख्या (cm^{-1}) के मध्य संबंध प्रदर्शित किया गया है, जहाँ प्रत्येक शिखर विशिष्ट तरंगसंख्या पर नमूने द्वारा अवरक्त विकिरण (Infrared Radiation) के अवशोषण को दर्शाता है। 669.83 cm^{-1} पर प्राप्त शिखर ZnO नैनोकणों में उपस्थित Zn–O बंध के स्ट्रेचिंग कंपन (Stretching Vibration) के कारण उत्पन्न हुआ है। यह ZnO नैनोकणों की एक विशिष्ट पहचान है तथा FTIR स्पेक्ट्रम में सामान्यतः देखा जाता है। 1414.38 cm^{-1} पर प्राप्त शिखर C–C स्ट्रेचिंग कंपन को दर्शाता है, जो नमूने में कार्बन-कार्बन बंधों की उपस्थिति का संकेत देता है। यह शिखर कार्बन परमाणुओं की खिंचाव गति (Stretching Motion) को प्रदर्शित करता है। 1560.18 cm^{-1} पर प्राप्त शिखर C=O तथा O–H दोनों प्रकार के स्ट्रेचिंग कंपन से संबंधित है। यह शिखर नमूने में कार्बोनिल (C=O) एवं हाइड्रॉक्सिल (OH) क्रियात्मक समूहों की उपस्थिति को दर्शाता है तथा क्रमशः C=O द्विबंध एवं OH समूह की कंपन गति का प्रतिनिधित्व करता है।

ग्राफ में विभिन्न शिखरों की तीव्रता नमूने से गुजरने वाले अवरक्त विकिरण की ट्रांसमिटेंस (%) को प्रदर्शित करती है। ये शिखर पदार्थ में उपस्थित विशिष्ट क्रियात्मक समूहों के फिंगरप्रिंट (Fingerprint) के रूप में कार्य करते हैं, जिससे शोधकर्ताओं को नमूने के रासायनिक घटकों की पहचान एवं विश्लेषण करने में सहायता मिलती है।

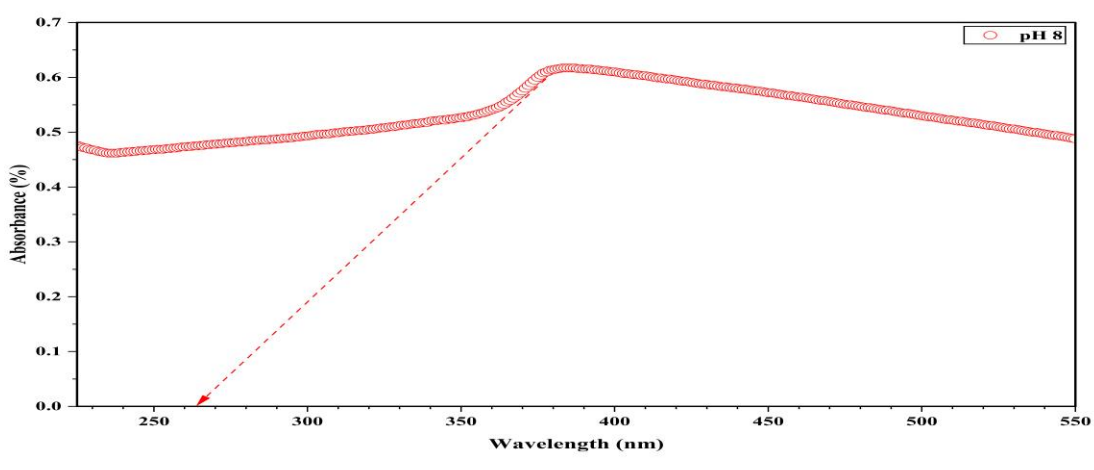


चित्र 4: ट्रांसमिटेंस और वेवलेंथ के बीच FTIR विश्लेषण का ग्राफ़ (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)

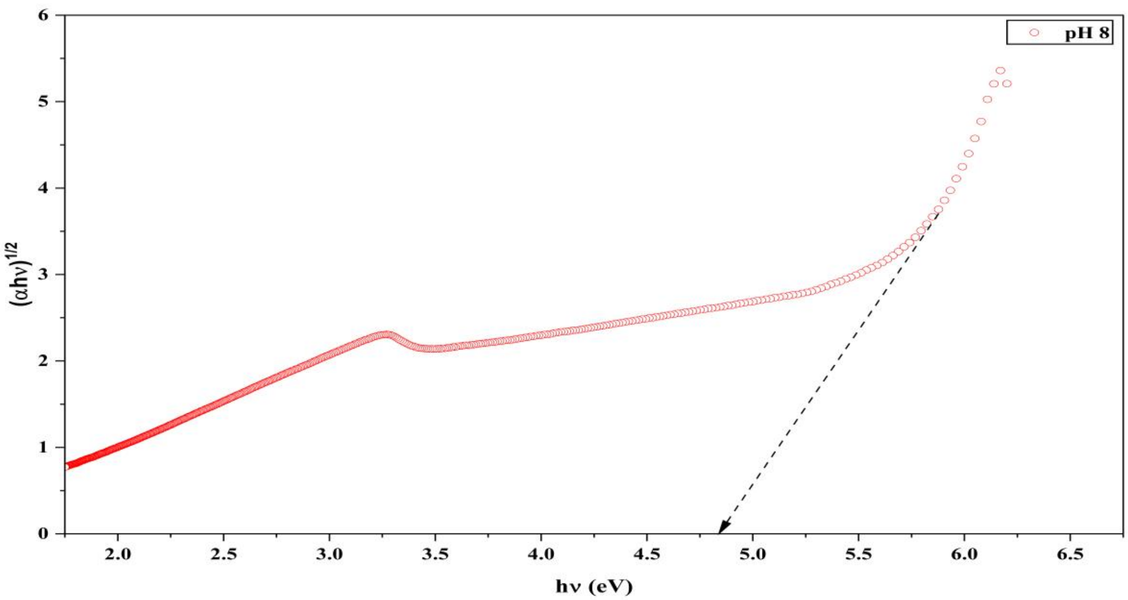
3.2 UV–Vis–NIR विश्लेषण (UV–Vis–NIR Analysis) और Tauc Plot

ZnO नैनोकणों के प्रकाशीय गुणों का अध्ययन करने हेतु pH 8 पर UV–Vis–NIR और टॉक प्लाट विश्लेषण किया गया, जैसा कि चित्र 5 और 6 में दर्शाया गया है। mZnO नैनोकणों का UV–Vis अवशोषण स्पेक्ट्रम, जो pH 8 पर संश्लेषित किए गए थे, पराबैंगनी (Ultraviolet) क्षेत्र में एक स्पष्ट अवशोषण विशेषता प्रदर्शित करता है। अवशोषण किनारा (Absorption Edge) लगभग 265–270 nm पर देखा गया, जो लगभग 4.67 eV की प्रत्यक्ष प्रकाशीय संक्रमण ऊर्जा (Apparent Optical Transition Energy) के अनुरूप है। इसी प्रकार, टॉक प्लॉट (Tauc Plot) विश्लेषण से लगभग 4.85 eV की प्रकाशीय संक्रमण ऊर्जा प्राप्त हुई। यह ध्यान देना महत्वपूर्ण है कि ये मान बल्क ZnO (Bulk ZnO) के अंतर्निहित बैंडगैप से काफी अधिक हैं, जिसका मान सामान्यतः 3.2–3.4 eV के बीच रिपोर्ट किया जाता है। अतः प्राप्त मानों को बल्क ZnO के मूलभूत बैंडगैप (Fundamental Bandgap) के रूप में नहीं माना जाना चाहिए। इसके बजाय, ये मान नैनो-स्तरीय प्रभावों, सतह-संबंधित इलेक्ट्रॉनिक अवस्थाओं, दोष-प्रेरित (Defect-Induced) इलेक्ट्रॉनिक संरचना परिवर्तनों तथा संश्लेषण के दौरान प्रयुक्त डहलिया पत्ती निष्कर्ष (Dahlia Leaf Extract) से उत्पन्न फाइटोकेमिकल कैपिंग एजेंटों के प्रभाव के कारण उत्पन्न उच्च-ऊर्जा प्रकाशीय संक्रमणों का प्रतिनिधित्व कर सकते हैं। इसके अतिरिक्त, नैनो-आकार के कारण उत्पन्न Quantum Confinement Effect, जिसके परिणामस्वरूप इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तरों में परिवर्तन संभव होता है। नैनो-आकार के क्रिस्टलाइट्स (Crystallites) तथा सतही क्रियात्मककरण (Surface Functionalization) ZnO नैनोकणों के इलेक्ट्रॉनिक परिवेश को परिवर्तित कर सकते हैं, जिसके परिणामस्वरूप अवशोषण विशेषता छोटी तरंगदैर्ध्य (Shorter Wavelength) की ओर स्थानांतरित होती हुई प्रतीत होती है। इस प्रकार की ब्लू-शिफ्टेड (Blue-Shifted) प्रकाशीय प्रतिक्रियाएँ नैनो-संरचित अर्धचालक (Semiconductor) प्रणालियों में पूर्व में भी रिपोर्ट की गई हैं, जहाँ सतही अवस्थाएँ, जालक (Lattice) की अपूर्णताएँ तथा कण-आकार से संबंधित प्रभाव प्रकाशीय अवशोषण गुणों को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करते हैं।

बैंड गैप वह न्यूनतम ऊर्जा है जो इलेक्ट्रॉनों को संयोजक बैंड (Valence Band) से चालकता बैंड (Conduction Band) में उत्तेजित करने के लिए आवश्यक होती है, जिसके परिणामस्वरूप संबंधित तरंगदैर्ध्य के फोटॉनों का अवशोषण होता है। UV विश्लेषण से यह भी स्पष्ट हुआ कि pH मान ZnO नैनोकणों के प्रकाशीय गुणों को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करता है, जिससे विभिन्न तरंगदैर्ध्यों पर ऊर्जा बैंड गैप एवं अवशोषण व्यवहार में परिवर्तन होता है। ZnO की इलेक्ट्रॉनिक संरचना की समझ ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक उपकरणों तथा प्रकाश-उत्प्रेरण (Photocatalysis) अनुप्रयोगों में इसके उपयोग को बेहतर बनाने के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है। प्रकाश-उत्प्रेरण का मूल सिद्धांत यह है कि किसी विशिष्ट तरंगदैर्ध्य के प्रकाश द्वारा उत्तेजित होने पर इलेक्ट्रॉन-होल युग्म (Electron-Hole Pairs) उत्पन्न होते हैं, जो उत्प्रेरक की सतह पर विभिन्न ऑक्सीकरण-अपचयन (Redox) अभिक्रियाओं को संपन्न करते हैं। ZnO एक अर्धचालक ऑक्साइड है, जिसकी प्रत्यक्ष बैंड गैप चौड़ाई लगभग **3.37 eV**, उत्तेजन बंधन ऊर्जा (Excitation Binding Energy) लगभग **60 meV** तथा कमरे के तापमान पर गहरे बैंगनी/सीमांत पराबैंगनी (Deep Violet/UV) अवशोषण गुण पाए जाते हैं [53]। यह TiO_2 के समान उत्कृष्ट विद्युत, यांत्रिक एवं प्रकाशीय गुणों वाला अर्धचालक ऑक्साइड है [54]। इसके अतिरिक्त ZnO में एंटीफाउलिंग (Antifouling) एवं जीवाणुरोधी (Antibacterial) गुण भी पाए जाते हैं तथा यह उत्कृष्ट प्रकाश-उत्प्रेरक सक्रियता प्रदर्शित करता है। यह सर्वविदित है कि किसी पदार्थ की आकृति (Morphology), सतह क्षेत्रफल (Surface Area) एवं क्रिस्टलीयता (Crystallinity) उसकी प्रकाश-उत्प्रेरक दक्षता को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करते हैं [55]। अतः 4.67–4.85 eV के रिपोर्ट किए गए मानों को बल्क ZnO के अंतर्निहित बैंडगैप के बजाय संश्लेषित नैनो-संरचित प्रणाली से संबंधित प्रत्यक्ष प्रकाशीय संक्रमण ऊर्जाओं (Apparent Optical Transition Energies) के रूप में व्याख्यायित किया जाना चाहिए।



चित्र 5: अवशोषण और तरंगदैर्ध्य के बीच UV विश्लेषण ग्राफ़ (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)



चित्र 6: इनडायरेक्ट ट्रांज़िशन के लिए ZnO नैनोपार्टिकल्स का टॉस प्लॉट (Tauc plot) (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)

3.3 XRD विश्लेषण (X-Ray Diffraction Analysis)

XRD विश्लेषण द्वारा प्राप्त विवर्तन पैटर्न (Diffraction Pattern) नमूने के क्रिस्टलोग्राफिक गुणों को प्रदर्शित करते हैं, जैसा कि चित्र 5 में दिखाया गया है। ZnO नैनोकणों के औसत क्रिस्टलीय आकार (Crystallite Size) का निर्धारण **Scherrer समीकरण** द्वारा किया गया:

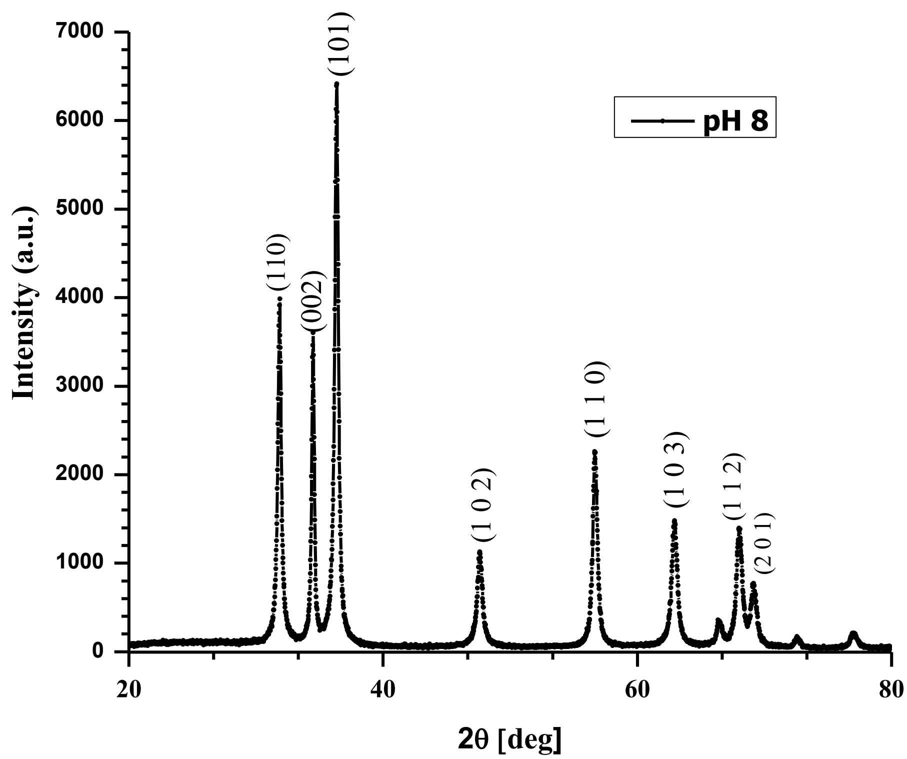
$$D=K\lambda\beta\cos\theta$$

जहाँ,

- **D** = औसत क्रिस्टलीय डोमेन आकार (Average Crystallite Size)
- **K** = Scherrer स्थिरांक (≈ 0.9)
- **λ** = X-किरण की तरंगदैर्ध्य
- **β** = विवर्तन शिखर का पूर्ण अर्ध-अधिकतम चौड़ाई (FWHM)
- **θ** = विवर्तन कोण (Diffraction Angle)

XRD विश्लेषण को Scherrer समीकरण के साथ संयोजित करने से क्रिस्टलीय डोमेन आकार में होने वाले परिवर्तनों का अध्ययन संभव हुआ। यह विधि केशिकीय प्रभावों को नियंत्रित करने वाले नैनोस्तरीय तंत्रों को समझने में महत्वपूर्ण जानकारी प्रदान करती है तथा नैनोकण कोटिंग के प्रभावों की व्याख्या में सहायक होती है। चित्र 7 के XRD ग्राफ से विभिन्न विवर्तन कोणों (2θ) पर विभिन्न क्रिस्टलीय तल (Planes) प्राप्त हुए। 31.84°, 34.59°, 36.34°, 47.55°, 56.63°, 62.97° तथा 68.10° पर प्राप्त शिखर क्रमशः (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) एवं (201) क्रिस्टलीय तलों से संबंधित हैं। XRD परिणामों से ZnO नैनोकणों का क्रिस्टलीय आकार **15.47 nm से 34.72 nm** के मध्य पाया गया, जबकि औसत क्रिस्टलीय आकार **23.59 nm** प्राप्त हुआ। यह परिणाम दर्शाते हैं कि संश्लेषित ZnO नैनोकण नैनोमीटर स्तर की उच्च क्रिस्टलीय संरचना रखते हैं, जो उनके प्रकाशीय, यांत्रिक एवं केशिकीय गुणों को प्रभावित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

2θ(degree)	FWHM (डिग्री)	D-स्पेसिंग	क्रिस्टलाइट का आकार (nm)
31.84	0.326	16.047	27.32
34.59	0.251	29.344	34.72
36.34	0.335	41.788	26.33
47.55	0.470	49.794	19.54
56.63	0.420	44.780	22.48
62.97	0.537	48.395	15.47
68.10	0.521	52.097	19.30

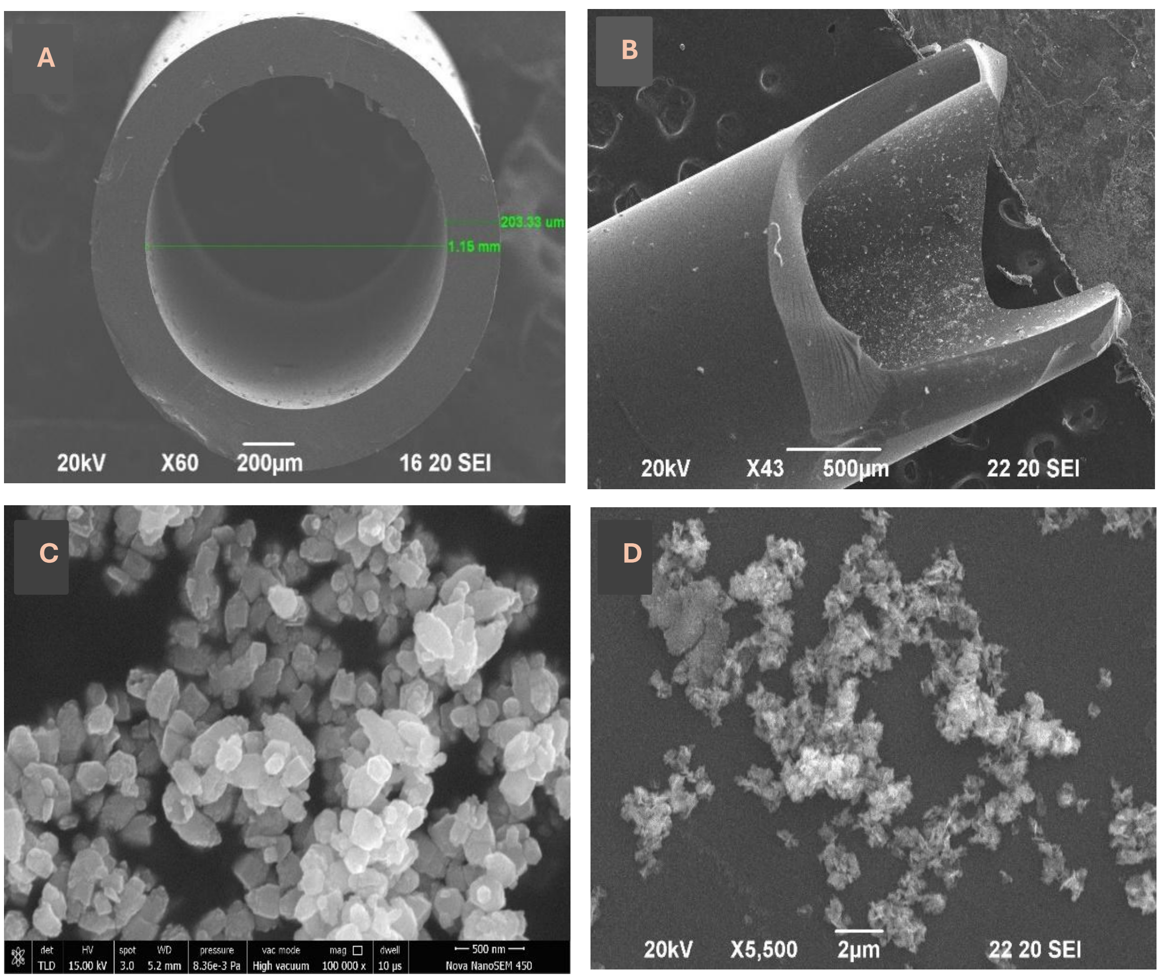


चित्र 7: तीव्रता और 2θ के बीच XRD विश्लेषण (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)

3.4 FESEM विश्लेषण (FESEM Analysis)

फील्ड एमिशन स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (FESEM) का उपयोग केशिका नलिका (Capillary Tube) की आंतरिक सतह पर लेपित नैनोकणों की आकृति एवं संरचना का अध्ययन करने के लिए किया गया। उच्च-विभेदन (High Resolution) SEM चित्रण द्वारा नैनोकणों के वितरण, कोटिंग की एकरूपता तथा सतही खुरदरापन (Surface Roughness) से संबंधित महत्वपूर्ण जानकारी प्राप्त हुई, जिससे इन पदार्थों की भौतिक विशेषताओं को बेहतर ढंग से समझा जा सका [56]। FESEM विश्लेषण का सिद्धांत इस शोध कार्य में विशेष महत्व रखता है, क्योंकि यह नैनोस्तर पर उत्पन्न संरचनात्मक परिवर्तनों का प्रत्यक्ष दृश्य प्रस्तुत करता है तथा नैनोकण कोटिंग के केशिकीय प्रभाव (Capillarity) पर पड़ने वाले प्रभावों को समझने में सहायता करता है। FESEM का उपयोग ZnO नैनोकणों की आकृति (Shape) एवं सतही संरचना

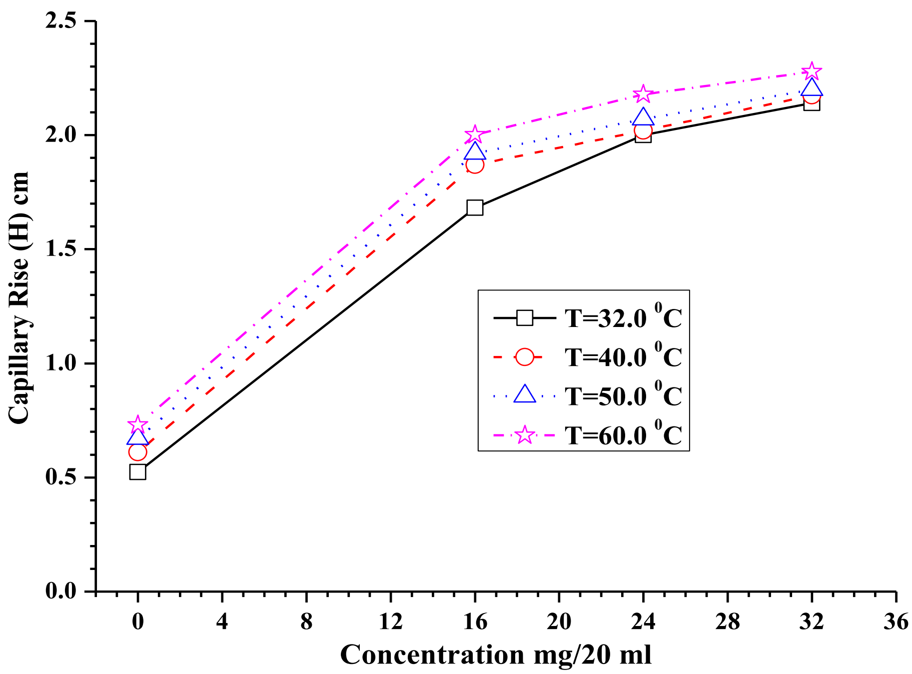
(Surface Morphology) के निर्धारण हेतु किया गया। विश्लेषण से ज्ञात हुआ कि संश्लेषित ZnO नैनोकण शुद्ध षट्कोणीय वुर्ट्ज़ाइट (Hexagonal Wurtzite) संरचना के रूप में संगठित (Agglomerated) थे। FESEM चित्रों को केशिकीय व्यवहार के साथ सहसंबद्ध करने पर यह समझा जा सकता है कि नैनोकण कोटिंग सतह की आकृति एवं छिद्र संरचना (Pore Structure) को किस प्रकार परिवर्तित करती है, जिससे सतह की आर्द्रणीयता (Wettability) एवं द्रव परिवहन गुण प्रभावित होते हैं। चित्र 8(A) में 60X आवर्धन पर यह स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है कि ZnO नैनोकण केशिका की आंतरिक सतह से चिपके हुए हैं। इसके अतिरिक्त, आंतरिक व्यास लगभग **1.15 mm** तथा केशिका की दीवार की मोटाई लगभग **203.33 μm** प्राप्त हुई। चित्र 8(B) में टूटी हुई केशिका नलिका के भीतर ZnO नैनोकणों का वितरण निम्न आवर्धन पर देखा जा सकता है, जबकि चित्र 8(C) में लगभग **10000X** आवर्धन पर 500 nm के पैमाने के साथ प्रत्येक नैनोकण का आकार लगभग **100 nm** दिखाई देता है। चित्र 8(D) में लगभग **5500X** आवर्धन पर यह देखा गया कि ZnO नैनोकण आपस में जुड़कर समूह (Clusters) बनाते हैं तथा उनके मध्य औसत दूरी लगभग **2 μm** है। ZnO नैनोकणों का यह **असमान (Non-uniform) वितरण** तथा **समूह निर्माण (Clustering)** इंगित करता है कि लेपित केशिका सतह को एक आदर्श समांगी (Homogeneous) हाइड्रोफोबिक सतह नहीं माना जा सकता। इस प्रकार की विषम (Heterogeneous) सतही संरचनाएँ स्थानीय आर्द्रण मार्ग (Localized Wetting Pathways) तथा सतही ऊर्जा में भिन्नता उत्पन्न कर सकती हैं, जो प्रेक्षित केशिकीय व्यवहार को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती हैं। FESEM चित्रों में ZnO नैनोकणों का वितरण पूर्णतः समरूप नहीं है, बल्कि वे अनेक स्थानों पर समूह (Clusters) बनाते हुए दिखाई देते हैं। इस प्रकार की विषम सतह स्थानीय रूप से सतही ऊर्जा (Local Surface Energy) में परिवर्तन उत्पन्न करती है।



चित्र 8 FESEM विश्लेषण (A) 200μm पर (B) 500μm पर (C) 500nm पर (D) 2μm पर (यह चित्र संदर्भ 51 के डाटा को उपयोग कर दुबारा से बनाया गया है)

3.5 (केशिकीय उत्थान का अध्ययन) Investigation of Capillary Rise

इस कार्य में हमने डहलिया पत्ती के निष्कर्ष (Dahlia Leaf Extract) का उपयोग करके ZnO नैनोकणों का संश्लेषण किया। नैनोकणों की शुद्धता एवं क्रिस्टलीयता का मूल्यांकन करने के लिए FTIR, फ्लोरेसेंस, रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी तथा UV स्पेक्ट्रोस्कोपी का उपयोग किया गया। FTIR रासायनिक बंधों की पहचान कर नैनोकणों के प्रकार एवं शुद्धता का निर्धारण करता है, जबकि UV स्पेक्ट्रोस्कोपी यौगिकों की संरचनात्मक विशेषताओं का अध्ययन करती है। रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी कंपन मोड (Vibration Modes) तथा निम्न-आवृत्ति मोड की पहचान करती है। फ्लोरेसेंस स्पेक्ट्रोस्कोपी का उपयोग रासायनिक संघटन के विश्लेषण के लिए किया गया। ये सभी तकनीकें ZnO नैनोकणों के गुणों एवं संरचना के बारे में महत्वपूर्ण जानकारी प्रदान करती हैं। चित्र 8(a) बीकर में आसुत जल के स्तर तथा विभिन्न सांद्रताओं (16 mg, 24 mg, 32 mg) एवं बिना सांद्रता वाले केशिका में आसुत जल के उत्थान के मध्य संबंध को 32°C, 40°C, 50°C तथा 60°C तापमान पर प्रदर्शित करता है [तालिका 1]।



चित्र 9 (a) अलग-अलग तापमान पर डिस्टिल्ड वॉटर के साथ कंसंट्रेशन बनाम कैपिलरी राइज़

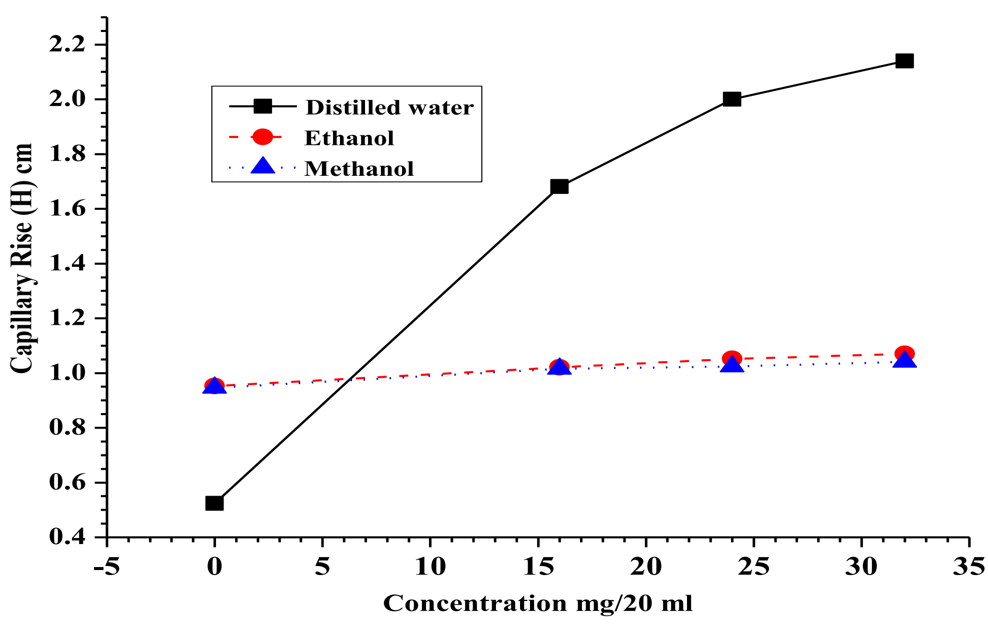
केशिकीय उत्थान एक संकीर्ण नलिका में द्रव का ऊपर की ओर उठना है, जो पृष्ठ तनाव तथा ठोस-द्रव अंतरापृष्ठ पर कार्य करने वाले आसंजक बलों की परस्पर क्रिया के कारण होता है। यह पृष्ठ तनाव, संपर्क कोण, द्रव घनत्व तथा केशिका त्रिज्या जैसे मापदंडों पर निर्भर करता है। बिना लेपित केशिका में उत्थान मुख्य रूप से नलिका पदार्थ की अंतर्निहित आर्द्रणीयता तथा द्रव के गुणों द्वारा नियंत्रित होता है।

वर्तमान अध्ययन में, यद्यपि ZnO नैनोकण हाइड्रोफोबिक व्यवहार (संपर्क कोण > 90°) प्रदर्शित करते हैं, फिर भी केशिका की आंतरिक सतह पर इनके समावेशन से केशिकीय उत्थान में उल्लेखनीय वृद्धि हुई। आदर्श रूप से, हाइड्रोफोबिक सतहों को आसंजक अंतःक्रिया को कम करके केशिकीय उत्थान को घटाना चाहिए (क्योंकि $\cos\theta$ का मान घटता है)। किंतु इस स्थिति में नैनो-संरचित ZnO कोटिंग ने केवल आर्द्रणीयता ही नहीं, बल्कि अन्य सतही गुणों को भी परिवर्तित कर दिया। SEM में देखी गई फूलगोभी-सदृश (Cauliflower-like) संरचना अत्यधिक खुरदरी एवं छिद्रयुक्त थी। यह खुरदरापन अनेक परस्पर जुड़े हुए नैनो-केशिका चैनल बनाता है, जो प्रभावी स्थानीय केशिका त्रिज्या को कम कर देते हैं तथा केशिकीय दाब को बढ़ाते हैं। केशिकीय सिद्धांत के अनुसार, प्रभावी त्रिज्या में कमी उत्थान ऊँचाई में वृद्धि का कारण बनती है। इसके अतिरिक्त, हरित संश्लेषण के दौरान बचे हुए फाइटोकेमिकल्स स्थानीय हाइड्रोफिलिक क्रियात्मक समूह प्रदान कर सकते हैं, जो ZnO की हाइड्रोफोबिक प्रकृति की आंशिक भरपाई करते हैं तथा जल के आसंजन को बढ़ाते हैं। तापमान भी केशिकीय उत्थान में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। तापमान बढ़ने पर जल की श्यानता (Viscosity) कम हो जाती है, जिससे वह केशिका में अधिक आसानी से प्रवाहित हो पाता है और उत्थान बढ़ जाता है। यद्यपि

तापमान बढ़ने पर पृष्ठ तनाव में हल्की कमी आती है, फिर भी इस प्रणाली में श्यानता में कमी का प्रभाव अधिक प्रमुख रहता है, जिसके परिणामस्वरूप कुल केशिकीय ऊँचाई में वृद्धि होती है। अतः ZnO-लेपित केशिकाओं में प्राप्त बढ़ा हुआ केशिकीय उत्थान नैनो-स्तरीय खुरदरापन, प्रभावी त्रिज्या में कमी, विषम आर्द्रणीयता तथा तापमान-निर्भर द्रव गुणों के संयुक्त प्रभाव का परिणाम है।

जैसे-जैसे आसुत जल का तापमान बढ़ा, केशिका में जल की मात्रा भी बढ़ती गई। तापमान बढ़ने के साथ केशिकीय उत्थान में वृद्धि का कारण पृष्ठ तनाव में होने वाली कमी थी। आगे बढ़ते हुए, हमने तीन सांद्रता अनुपातों 16 mg/20 ml, 24 mg/20 ml तथा 32 mg/20 ml का अध्ययन किया। इन सांद्रताओं में जिंक ऑक्साइड सम्मिलित था तथा प्रत्येक को 20 ml आसुत जल एवं 98% शुद्धता वाले डिहाइड्रेटेड एसीटेट में घोला गया। केशिका की आंतरिक सतह पर ZnO नैनोकणों की कोटिंग के कारण बीकर में उपस्थित आसुत जल का स्तर अचानक बढ़ गया। हमने पाया कि जैसे-जैसे सांद्रता बढ़ी, केशिका में जल का उत्थान तीव्रता से बढ़ता गया। चूँकि नैनोकण केशिका की आंतरिक सतह पर समरूप रूप से लेपित नहीं थे, जैसा कि चित्र 7 में दिखाया गया है, वे यादृच्छिक रूप से वितरित थे और इसी कारण इस प्रकार का केशिकीय उत्थान देखा गया। 32°C तापमान पर बिना किसी सांद्रता के केशिकीय उत्थान 0.524 cm था। जबकि 16 mg, 24 mg तथा 32 mg सांद्रता पर 32°C तापमान में केशिकीय उत्थान क्रमशः 1.681 cm, 2.00 cm तथा 2.2 cm तक पहुँच गया। 32 mg सांद्रता पर प्राप्त केशिकीय उत्थान की तुलना 16 mg तथा 24 mg सांद्रताओं से करने पर ग्राफ में हल्की वृद्धि दिखाई दी, जो दर्शाती है कि 32 mg सांद्रता पर आसंजक बल 16 mg तथा 24 mg की तुलना में अधिक था। इस प्रकार अधिकतम केशिकीय उत्थान 32 mg सांद्रता पर प्राप्त हुआ। चित्र 8(a) से यह भी स्पष्ट है कि तापमान बढ़ने पर केशिकीय उत्थान भी बढ़ता है। यद्यपि तापमान बढ़ने के साथ पृष्ठ तनाव (Surface Tension) में भी हल्की कमी आती है, किन्तु इस अध्ययन में श्यानता में कमी का प्रभाव अधिक प्रमुख पाया गया। इसलिए Jurin के नियम के साथ-साथ द्रव के गतिशील गुणों (Dynamic Fluid Properties) को भी ध्यान में रखते हुए परिणामों की व्याख्या की गई है।

चित्र 8(b) बीकर में उपस्थित आसुत जल, मेथेनॉल तथा एथेनॉल के स्तर एवं 32°C तापमान पर केशिका में मेथेनॉल के उत्थान के मध्य संबंध को दर्शाता है [तालिका 1, 2, 3]। मेथेनॉल के लिए बिना सांद्रता के औसत केशिकीय उत्थान 0.946 cm पाया गया, जबकि 16 mg, 24 mg तथा 32 mg सांद्रता पर यह क्रमशः 1.016 cm, 1.024 cm तथा 1.041 cm था। इसी प्रकार एथेनॉल के लिए बिना सांद्रता के औसत केशिकीय उत्थान 0.952 cm पाया गया, जबकि 16 mg, 24 mg तथा 32 mg सांद्रता पर यह क्रमशः 1.021 cm, 1.052 cm तथा 1.070 cm था। ग्राफ से निष्कर्ष निकलता है कि तापमान बढ़ने पर आसुत जल के लिए केशिकीय उत्थान तीव्रता से बढ़ता है, जबकि मेथेनॉल एवं एथेनॉल के लिए यह वृद्धि अपेक्षाकृत धीमी होती है।



चित्र 9 (b) डिस्टिल्ड वॉटर, इथेनॉल और मेथनॉल के साथ सांद्रता बनाम केशिका-उन्नयन (capillary rise)

ZnO नैनोकण-लेपित केशिकाओं में मेथेनॉल एवं एथेनॉल का केशिकीय उत्थान नैनोकणों की मात्रा बढ़ने (0 mg < 16 mg < 24 mg < 32 mg) के साथ मध्यम किंतु निरंतर वृद्धि प्रदर्शित करता है। बिना लेपित केशिकाओं में मेथेनॉल (~0.96 cm) तथा एथेनॉल (~0.955 cm) का उत्थान उनके अपेक्षाकृत कम पृष्ठ तनाव के कारण नियंत्रित होता है, जिससे केशिकीय बल भी अपेक्षाकृत कम उत्पन्न होते हैं। किंतु ZnO कोटिंग के बाद दोनों द्रवों का उत्थान थोड़ा बढ़ गया और 32 mg लोडिंग पर क्रमशः ~1.041 cm (मेथेनॉल) तथा ~1.070 cm (एथेनॉल) तक पहुँच गया। यद्यपि ZnO नैनोकण स्वभावतः हाइड्रोफोबिक हैं, उनकी नैनो-संरचित फूलगोभी-सदृश आकृति सतही खुरदरापन उत्पन्न करती है तथा परस्पर जुड़े हुए नैनो-स्तरीय केशिका मार्ग बनाती है। ये संरचनाएँ प्रभावी स्थानीय केशिका त्रिज्या को कम करती हैं तथा केशिकीय दाब को बढ़ाती हैं, जिससे द्रव उत्थान में वृद्धि होती है। मेथेनॉल एवं एथेनॉल की सतही तनाव कम तथा आर्द्रणीयता अधिक होने के कारण वे नैनो-संरचित कोटिंग में अधिक आसानी से प्रवेश कर पाते हैं, जिससे द्रव परिवहन बेहतर होता है। इसके अतिरिक्त, ध्रुवीय अल्कोहल अणुओं तथा ZnO सतह पर उपस्थित अवशिष्ट क्रियात्मक समूहों (जो पौधा-आधारित संश्लेषण से उत्पन्न हुए) के मध्य हाइड्रोजन बंधन जैसी अंतःआणविक क्रियाएँ भी आसंजन को बढ़ाती हैं। ZnO लोडिंग बढ़ने के साथ उत्थान में होने वाली क्रमिक वृद्धि यह पुष्टि करती है कि सतही खुरदरापन, छिद्रयुक्तता तथा नैनो-केशिका निर्माण ZnO की अंतर्निहित हाइड्रोफोबिसिटी पर हावी हैं। तथापि, यह वृद्धि जल की तुलना में कम स्पष्ट है क्योंकि अल्कोहलों का पृष्ठ तनाव स्वाभाविक रूप से कम होता है।

तालिका 1: डिस्टिल्ड वॉटर में नैनोपार्टिकल्स की अलग-अलग सांद्रता (concentration) पर कैपिलरी राइज़ (capillary rise) के व्यवहार की तुलना:

तरल	एकाग्रता /20 ml	अलग-अलग तापमान पर बीकर में तरल का स्तर (Y1) cm				अलग-अलग तापमान पर केशिका (कैपिलरी) में द्रव का स्तर (Y2) cm				केशिका-उन्नयन (h= Y_2-Y_1) cm			
		32^0 C	**40^0 C**	**50^0 C**	**60^0 C**	**32^0 C**	**40^0 C**	**50^0 C**	**60^0 C**	**32^0 C**	**40^0 C**	**50^0 C**	**60^0 C**
आसुत जल	0 Mg	1.351	1.255	1.245	1.240	1.875	1.865	1.916	1.970	0.524	0.61	0.671	0..730
	16 Mg	1.351	1.255	1.245	1.240	3.032	3.125	3.165	3.241	1.681	1.870	1.92	2.001
	24 Mg	1.351	1.255	1.245	1.240	3.351	3.275	3.315	3.418	2.000	2.02	2.070	2.178
	32 Mg	1.351	1.255	1.245	1.240	3.557	3.395	3.420	3.518	2.140	2.175	2.200	2.278

तालिका 2. मेथनॉल सॉल्यूशन में अलग-अलग नैनोपार्टिकल कंसंट्रेशन पर कैपिलरी राइज़ व्यवहार की तुलना:

क्र. सं.	एकाग्रता	32°C पर बीकर में मेथनॉल का स्तर (Y1) cm	32°C पर कैपिलरी (Y2) में मेथनॉल का स्तर (cm में)	केशिका-उन्नयन = (Y_2-Y_1) cm at 32^0C
1.	0	3.463	4.398	0.96
		3.463	4.401	0.93
		3.463	4.410	0.95
2.	16mg	3.400	4.416	1.016
3.	24mg	3.400	4.424	1.024
4.	32mg	3.450	4.491	1.041

तालिका 3. इथेनॉल सॉल्यूशन में अलग-अलग नैनोपार्टिकल कंसंट्रेशन पर कैपिलरी राइज़ व्यवहार की तुलना।

क्र. सं.	एकाग्रता	32°C पर बीकर में इथेनॉल का स्तर (Y1) cm	32°C पर कैपिलरी (Y2) में इथेनॉल का स्तर (cm में)	Capillary rise = (Y_2-Y_1) cm at 32^0C
1.	0	4.100	5.055	0.955
		4.255	5.201	0.946
		4.245	5.197	0.956
2.	16mg	4.100	5.121	1.021
3.	24mg	4.100	5.052	1.052
4.	32mg	4.067	5.137	1.070

4. निष्कर्ष (Conclusion)

फ्लोरेसेंस स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा लगभग 550 nm के आसपास संकीर्ण शिखर तरंगदैर्ध्य प्राप्त हुए, तथा UV विश्लेषण ने 4.889 eV से 5.33 eV के बीच बैंडगैप ऊर्जा की पुष्टि की। हाइड्रोफोबिक ZnO नैनोकणों के समावेशन से केशिकीयता (Capillarity) में उल्लेखनीय वृद्धि देखी गई, जिसे जल और नैनोकण-संशोधित सतह के बीच संपर्क कोण (Contact Angle) में सुधार से जोड़ा जा सकता है। संपर्क कोण मूल सतह के लगभग 60° से बढ़कर लगभग 120° हो गया, जो अधिक हाइड्रोफोबिक प्रकृति को दर्शाता है। इस बढ़ी हुई हाइड्रोफोबिसिटी ने अधिक स्थिर एवं सतत जल मेनिस्कस (Water Meniscus) के निर्माण में योगदान दिया, जिससे केशिकीय उत्थान को बढ़ावा मिला। केशिकीयता में यह वृद्धि जल तथा ZnO नैनोकण-संशोधित सतह के बीच मजबूत हाइड्रोफोबिक अंतःक्रियाओं से प्रत्यक्ष रूप से संबंधित है, जो यह संकेत देती है कि यह प्रणाली कोहरा-संग्रहण (Fog Harvesting) तथा जल-संग्रहण (Water Collection) जैसे अनुप्रयोगों के लिए एक संभावनाशील विकल्प हो सकती है। ये निष्कर्ष यह दर्शाते हैं कि उन्नत संरचनात्मक गुणों तथा विशिष्ट प्रकाशीय विशेषताओं वाले ZnO नैनोकण विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए अत्यधिक संभावनाशील हैं। तथापि, नैनोकणों के पर्यावरणीय एवं स्वास्थ्य संबंधी प्रभावों को लेकर मौजूद चिंताओं को देखते हुए, उनके सुरक्षित उपयोग से संबंधित पहलुओं पर आगे और अनुसंधान किया जाना आवश्यक है। विशेष रूप से कृषि एवं खाद्य क्षेत्रों में इनके उपयोग के संदर्भ में यह सुनिश्चित करना अत्यंत महत्वपूर्ण है कि ये नैनो-पदार्थ वर्तमान पर्यावरणीय समस्याओं को और अधिक न बढ़ाएँ।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Panayiotis Kolliopoulos, Krystopher S. Jochem, Daniel Johnson, Wieslaw J. Suszynski, Lorraine F. Francis and Satish Kumar; Capillary-flow dynamics in open rectangular microchannels, J. Fluid Mech. (2021), vol. 911, A32, doi: 10.1017/jfm.2020.986
2. Michael Berger, Nanotechnology: the future is Tiny, Royal Society of Chemistry, 2016.doi: https://doi.org/10.1039/9781782628873
3. Xiaojia He , Hua Deng , Huey-Min Hwang, "The current application of nanotechnology in food and agriculture." Journal of food and drug analysis, Vol. 27.1 (2019): 1-21. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002
4. Shu Wang et al. "Application of nanotechnology in improving bioavailability and bioactivity of diet-derived phytochemicals." Journal of Nutritional Biochemistry 25 (2014) 363–376, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.10.002
5. Naseem, Taiba, and Tayyiba Durrani, "The role of some important metal oxide nanoparticles for wastewater and antibacterial applications: A review." Environmental Chemistry and Ecotoxicology 3 (2021): 59-75, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enceco.2020.12.001
6. Raghvendra Pratap Singh, Rahul Handa, and Geetanjali Manchanda, "Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity." Journal of controlled release 329 (2021): 1234-1248, doi: https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.051
7. Limin Guo et al. "Highly flexible cross-linked cellulose nanofibril sponge-like aerogels with improved mechanical property and enhanced flame retardancy." *Carbohydrate Polymers* 179 (2018): 333-340, doi: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.084
8. Amit Kumar et al. "Bio-inspired and biomaterials-based hybrid photocatalysts for environmental detoxification: A review." Chemical Engineering Journal 382 (2020): 122937, doi: https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122937
9. Ping-Chang Lin et al. "Techniques for physicochemical characterization of nanomaterials." Biotechnology advances 32.4 (2014): 711-726, doi: https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.006
10. Chen-Kang Huang, Chih-Wei Lee, and Chung-Kai Wang, "Boiling enhancement by TiO2 nanoparticle deposition." International Journal of Heat and Mass Transfer 54.23-24 (2011): 4895-4903, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.07.001
11. Seyed Masoud Parsa et al. "A comprehensive study to find the optimal fraction of nanoparticle coated at the interface of solar desalination absorbers: 5E and GHGs analysis

in different seasons." Solar Energy Materials and Solar Cells 256 (2023): 112308, doi: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112308
12. Mike Ojemaye, Omobola O. Okoh, and Anthony I. Okoh, "Surface modified magnetic nanoparticles as efficient adsorbents for heavy metal removal from wastewater: Progress and prospects." Materials Express 7.6 (2017): 439-456, doi: http://dx.doi.org/10.1166/mex.2017.1401
13. Feng, Juanjuan, et al. "Development of a cheap and accessible carbon fibers-in-poly (ether ether ketone) tube with high stability for online in-tube solid-phase microextraction." Talanta 148 (2016): 313-320, doi: https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.11.001
14. James Bell Munsie, F. Cameron. "The flow of liquids through capillary spaces." The Journal of Physical Chemistry 10.8 (2002): 658-674, doi: https://doi.org/10.1021%2fj150080a005
15. Wang, X., Hassan, A., Boudaoud, H. et al, A review on 3D printing of bioinspired hydrophobic materials: oil-water separation, water harvesting, and diverse applications, Adv Compos Hybrid Mater **6**, 170 (2023). https://doi.org/10.1007/s42114-023-00740-2
16. H. Zhang, Z. Guo; Biomimetic materials in oil/water separation: Focusing on switchable wettabilities and applications. Adv Colloid Interface Sci 2023;320: 103003, doi: https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103003
17. Liu Y, Lin Z, Luo Y, Wu R, Fang R, Umar A, et al. Superhydrophobic MOF based materials and their applications for oil-water separation. J Clean Prod 2023;420: 138347, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138347
18. Yang Y, Ren Z, Zhou C, Lin Y, Shi L, Hou L. Anisotropic superhydrophobic graphene aerogel with radial superelasticity and axial superstiffness for efficient on-demand oil–water separation. J Mater Chem A 2023;11(36):19524–35, doi: https://doi.org/10.1039/D3TA03859A
19. Li S-H, Li B-B, Zhao X-L, Wu H, Chai R-L, Li G-Y, et al. Macrocycle self-assembly hydrogel for high-efficient oil-water separation. Small 2023;19(40):2301934, doi: https://doi.org/10.1002/smll.202301934
20. Fu Y, Guo Z. Natural polysaccharide-based aerogels and their applications in oil–water separations: a review. J Mater Chem A 2022;10(15):8129–58, doi: https://doi.org/10.1039/D2TA00708H
21. Xiang B, Sun Q, Zhong Q, Mu P, Li J. Current research situation and future prospect of superwetting smart oil/water separation materials. J Mater Chem A 2022;10 (38):20190–217, doi: https://doi.org/10.1039/D2TA04469B
22. F. He, H. You, X. Liu, X. Shen, J. Zhang, Z. Wang, Interfacial-heating solar desalination of high-salinity brine: recent progress on salt management and water production, Chem. Eng. J. 470 (2023) 144332, doi: https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144332
23. L. Cui, P. Wang, H. Che, J. Chen, B. Liu, Y. Ao, Solar-driven interfacial water evaporation for wastewater purification: recent advances and challenges, Chem. Eng. J. 477 (2023) 147158, doi: https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.147158
24. J. Wang, Y. Kong, Z. Liu, H. Wang, Solar-driven interfacial evaporation: design and application progress of structural evaporators and functional distillers, Nano Energy 108 (2023) 108115, doi: https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.108115
25. X. Song, L. Jia, Z. Wei, T. Xiang, S. Zhou, Nature-inspired sustainable solar evaporators for seawater desalination, J. Mater. Chem. A 12 (2024) 613–633, doi: https://doi.org/10.1039/D3TA05941C
26. Guoyan Yang , Zuozhu Yin et al ; A typha orientalis-inspired 3D Janus solar evaporator with controllable wettability for highly efficient and stable solar desalination , Desalination 595 (2025) 118318 , doi: https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.118318

27. Ritong Wang , Zuozhu Yin et al; Highly efficient multifunctional 3D polyurethane sponge with photothermal responsiveness for efficient oil-water separation and microplastic extraction, Desalination 601 (2025) 118604; doi: https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.118604
28. Zuozhu Yin, Feng Yuan et al ; A multifunctional and environmentally safe superhydrophobic membrane with superior oil/water separation, photocatalytic degradation and anti-biofouling performance , Journal of Colloid and Interface Science 611 (2022) 93-104 ; doi: https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.12.070
29. Zuozhu Yin , Feng Yuan et al; Self-cleaning, underwater writable, heat-insulated and photocatalytic cellulose membrane for high-efficient oil/water separation and removal of hazardous organic pollutants ; Progress in Organic Coatings 157 (2021) 106311 , doi: https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106311
30. Zuozhu Yin, Xiaoxiang Chen et al.; Superhydrophobic Photocatalytic Self-Cleaning Nanocellulose-Based Strain Sensor for Full-Range Human Motion Monitoring, Adv. Mater. Interfaces 2023, 10, 2300350, doi: 10.1002/admi.202300350
31. Koch, G.W., et al.: The limits to tree height. Nature 428(6985), 851–854 (2004)
32. Mac Vicar, B.A., Salter, M.W.: Neuroscience: controlled capillaries. Nature 443(7112), 642–643 (2006), doi: https://doi.org/10.1038/443642a
33. Bear, J. (2013) Dynamics of Fluids in Porous Media. Courier Corporation, Chelmsford. https://doi.org/10.1097/00010694-197508000-00022
34. Pelesko, J.A., Bernstein, D.H.: Modeling Mems and Nems. CRC Press, Boca Raton (2002), doi: https://doi.org/10.1201/9781420035292
35. Fries, N., and M. Dreyer. "An analytic solution of capillary rise restrained by gravity." Journal of colloid and interface science 320.1 (2008): 259-263, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2008.01.009
36. Sara Gomez, Natalia Rojas-Valencia, Santiago A. Gomez, Chiara Cappelli, Gabriel Merino and Albeiro Restrepo ”A molecular twist on hydrophobicity” Chem. Sci., 2021, 12, 9233, doi: https://doi.org/10.1039/D1SC02673A
37. Kock-Yee Law “Definitions for Hydrophilicity, Hydrophobicity, and Superhydrophobicity: Getting the Basics Right” The Journal of Physical Chemistry Letter, J. Phys. Chem. Lett. 2014, 5, 4, 686–688, doi: https://doi.org/10.1021/jz402762h
38. Li H.; Yu S.; Hu J.; Liu E. A Robust Superhydrophobic Zn Coating with ZnO Nanosheets on Steel Substrate and Its Self-Cleaning Property. *Thin Solid Films* 2018, 666, 100–107, doi: 10.1016/j.tsf.2018.09.019
39. Shaik U. P.; Purkayastha D. D.; Krishna M. G.; Madhurima V. Nanostructured Zn and ZnO Nanowire Thin Films for Mechanical and Self-Cleaning Applications. *Appl. Surf. Sci.* 2015, 330, 292–299, doi: 10.1016/j.apsusc.2015.01.027
40. Satya Pal Singh, Archana Kumari Singh ; Formation of trapped meta-stable liquid–vapour interfaces in polar liquids in presence of excess gas-like molecules: Anomalous heat capacities and emergence of microscopic bubbles, Results in Physics, Volume 50, id.106554, doi: 10.1016/j.rinp.2023.106554
41. Chappuis, J. (1985). Wettability of Solid Surfaces: A Phenomenon Where Adsorption Plays a Major Role. In: Boccara, N., Daoud, M. (eds) Physics of Finely Divided Matter. Springer Proceedings in Physics, vol 5. Springer, Berlin, Heidelberg, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-93301-1_41
42. Pacifico J, Endo K, Morgan S and Mulvaney P, Superhydrophobic effects of self-assembled monolayers on micropatterned surfaces: 3D arrays mimicking the lotus leaf , 2006 Langmuir 22 11072–6, doi: https://doi.org/10.1021/la060925d
43. Pierre Lambert, "Surface tension in microsystems." Engineering Below the Capillary Length (2013), doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37552-1

44. Zhang, Guotao, et al. "Exudation behavior and pinning effect of the droplet on slippery liquid-infused porous surfaces (SLIPS)." Surface and Coatings Technology 433 (2022): 128062, doi: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.128062
45. Olanrewaju, Ayokunle, et al. "Capillary microfluidics in microchannels: from microfluidic networks to capillaric circuits." Lab on a Chip 18.16 (2018): 2323-2347, doi: https://doi.org/10.1039/C8LC00458G
46. Washburn, E.W ; The dynamics of capillary flow, Physical Review 17(3), 273-283 (1921) ,doi: https://doi.org/10.1103/PhysRev.17.273
47. Lucas, R. Ueber das Zeitgesetz des kapillaren Aufstiegs von Flüssigkeiten. Kolloid-Zeitschrift 23, 15–22 (1918), doi: https://doi.org/10.1007/BF01461107
48. Adamson, A. W. (1990). Physical chemistry of surfaces, Wiley Volume 95, Issue 6, doi: https://doi.org/10.1002/bbpc.19910950629
49. Singh, Ajey, et al. "Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants." Journal of materials science 53.1 (2018): 185-201, doi: 10.1007/s10853-017-1544-1
50. M. Kanidi, A. Bardakas, A. Kerasidou, A. Anastasopoulos, C. Tsamis, M. Kandyla; Hierarchical 'rose-petal' ZnO/Si surfaces with reversible wettability reaching complete water repellence without chemical modification, Applied Physics A (2023) 129:320 doi: https://doi.org/10.1007/s00339-023-06529-w
51. Surabhi Sharma et al ;Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles prepared by green routes: controlling morphologies by maintaining pH 2024 Phys. Scr. 99 1059b9, 0.1088/1402-4896/ad7ae2
52. M. Munshi, V. N. Singh, Mukesh Kumar, and J. P. Singh; Effect of nanoparticle size on sessile droplet contact angle , Journal of Applied Physics 103, 084315 (2008), doi: http://dx.doi.org/10.1063/1.2912464
53. Gharoy Ahangar E, Abbaspour-Fard MH, Shahtahmassebi N, Khojastehpour M, Maddahi P. Preparation and characterization of PVA/ZnO nanocomposite. J Food Process Preserv doi: 2015;39:1442–51, doi: https://doi.org/10.1111/jfpp.12363
54. W. Zhou, F. Sun, K. Pan et al., "Well-ordered large-pore mesoporous anatase TiO2 with remarkably high thermal stability and improved crystallinity: preparation, characterization, and photocatalytic performance," Advanced Functional Materials, vol. 21, no. 10, pp. 1922–1930, 2011, doi: https://doi.org/10.1002/adfm.201002535

खंड 3, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.6

वैदिक गणित : शैक्षिक महत्व, उपयोगिता एवं समकालीन परिप्रेक्ष्य में एक विश्लेषणात्मक अध्ययन

श्रीकांत मणि त्रिपाठी
गणित विभाग
संजय घोड़ावत विश्वविद्यालय, कोल्हापुर, महाराष्ट्र, भारत 416118
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- mani.shrikant201@gmail.com

आलेख प्राप्त: १६ जून २०२६; अंतिम संशोधन: २४ जून २०२६; स्वीकृत: २६ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ जून २०२६

सारांश

वैदिक गणित भारतीय ऋषि ज्ञान परंपरा की एक महत्वपूर्ण अमूल्य धरोहर है, जो गणित के समस्याओं के समाधान के लिए सरल, तीव्र एवं तार्किक विधियाँ प्रदान करती है। इसका आधुनिक स्वरूप जगद्गुरु स्वामी भारती कृष्ण तीर्थ द्वारा प्रतिपादित किया गया, जिन्होंने 16 सूत्रों एवं 13 उपसूत्रों के माध्यम से गणनाओं को सरल बनाने का प्रयास किया। वर्तमान शोध-पत्र में वैदिक गणित की अवधारणा, ऐतिहासिक पृष्ठभूमि, शैक्षिक महत्व, विद्यार्थियों के बौद्धिक विकास में इसकी भूमिका तथा समकालीन शिक्षा व्यवस्था में इसकी उपयोगिता के मुख्य बिन्दुयो पर अध्ययन किया गया है। अध्ययन से ज्ञात होता है कि वैदिक गणित न केवल गणना की गति और शुद्धता को बढ़ाती है, बल्कि विद्यार्थियों में तार्किक चिंतन, आत्मविश्वास एवं समस्या समाधान क्षमता का भी विकास करती है।

सूचक शब्द- वैदिक गणित, भारतीय ज्ञान परंपरा, गणित शिक्षा, मानसिक गणना, भारतीय ज्ञान प्रणाली, राष्ट्रीय शिक्षा नीति 2020

खंड 3, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

सामान्य आलेख (General Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.6

Vedic Mathematics: An Analytical Study of Its Educational Significance, Utility, and Contemporary Relevance

Srikant Mani Tripathi
Department of Mathematics
Sanjay Ghodawat University, Kolhapur, Maharashtra, India 416118
Corresponding author Email*: mani.shrikant201@gmail.com

Received on: 19 Jun 2026; Final Revision: 24 Jun 2026;
Accepted: 29 Jun 2026; Published Online First on: 29 Jun 2026

ABSTRACT

Vedic Mathematics is an invaluable heritage of the Indian tradition of sage-based knowledge, offering simple, rapid, and logical methods for solving mathematical problems. Its modern form was propounded by Jagadguru Swami Bharati Krishna Tirtha, who sought to simplify mathematical calculations through 16 Sutras (formulae) and 13 Sub-Sutras (sub-formulae). The present research paper examines the concept of Vedic Mathematics, its historical background, educational significance, its role in the intellectual development of students, and its relevance in the contemporary education system. The study reveals that Vedic Mathematics not only enhances the speed and accuracy of calculations but also fosters logical thinking, self-confidence, and problem-solving abilities among students.

Keywords: Vedic Mathematics, Indian Knowledge Tradition, Mathematics Education, Mental Calculation, Indian Knowledge System, National Education Policy 2020.

1. प्रस्तावना

भारत प्राचीन काल से ही ज्ञान-विज्ञान का अग्रणी केंद्र रहा है। गणित के क्षेत्र में भारतीय विद्वानों का योगदान विश्व स्तर पर स्वीकार किया गया है तथा आर्यभट्ट, ब्रह्मगुप्त, भास्कराचार्य एवं महावीराचार्य जैसे गणितज्ञों ने गणित के अनेक महत्वपूर्ण सिद्धांत प्रतिपादित किए। भारतीय गणितीय परंपरा की इसी समृद्ध विरासत का एक महत्वपूर्ण अंग वैदिक गणित है। वैदिक गणित को गणना की एक ऐसी पद्धति के रूप में देखा जाता है जो जटिल गणितीय प्रक्रियाओं को सरल एवं त्वरित बनाती है। आधुनिक युग में जब गणित को कठिन विषय के रूप में देखा जाता है, तब वैदिक गणित विद्यार्थियों के लिए एक प्रभावी शिक्षण उपकरण के रूप में उभरकर सामने आती है। यह गणना को केवल यांत्रिक प्रक्रिया न बनाकर रचनात्मक एवं बौद्धिक गतिविधि में परिवर्तित करती है।

2. अध्ययन के उद्देश्य (विस्तृत व्याख्या)

इस शोध-पत्र का मुख्य उद्देश्य वैदिक गणित के विभिन्न पहलुओं का गहन अध्ययन करना है। इसके अंतर्गत निम्नलिखित उद्देश्यों को विस्तार से समझा जा सकता है—

2.1. वैदिक गणित की अवधारणा एवं स्वरूप का अध्ययन करना

इस उद्देश्य का तात्पर्य वैदिक गणित के मूल सिद्धांतों, सूत्रों तथा उसकी कार्यप्रणाली को समझना है। इसके अंतर्गत यह जानने का प्रयास किया जाता है कि वैदिक गणित क्या है, इसके प्रमुख सूत्र कौन-कौन से हैं तथा यह पारंपरिक गणितीय विधियों से किस प्रकार भिन्न है। साथ ही, इसकी संरचना एवं विशेषताओं का भी विश्लेषण किया जाता है।

2.2. वैदिक गणित की ऐतिहासिक पृष्ठभूमि का विश्लेषण करना

इस उद्देश्य के अंतर्गत वैदिक गणित के उद्भव, विकास तथा ऐतिहासिक संदर्भों का अध्ययन किया जाता है। इसमें स्वामी भारती कृष्ण तीर्थ द्वारा किए गए कार्यों, भारतीय गणितीय परंपरा तथा वैदिक गणित के विकासक्रम का विश्लेषण शामिल है। इसका उद्देश्य यह समझना है कि वैदिक गणित भारतीय ज्ञान परंपरा में किस प्रकार विकसित हुई और वर्तमान स्वरूप तक कैसे पहुँची।

2.3. शिक्षा के क्षेत्र में वैदिक गणित के महत्व का मूल्यांकन करना

इस उद्देश्य का लक्ष्य यह निर्धारित करना है कि वैदिक गणित शिक्षण-अधिगम प्रक्रिया को किस प्रकार प्रभावी बनाती है। इसके अंतर्गत विद्यार्थियों की गणना गति, शुद्धता, गणितीय समझ तथा सीखने की रुचि पर वैदिक गणित के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है। साथ ही, यह भी देखा जाता है कि विद्यालयी एवं उच्च शिक्षा में इसकी उपयोगिता कितनी है।

2.4. विद्यार्थियों के बौद्धिक विकास में इसकी भूमिका का अध्ययन करना

वैदिक गणित केवल गणनात्मक दक्षता तक सीमित नहीं है, बल्कि यह विद्यार्थियों की मानसिक एवं बौद्धिक क्षमताओं के विकास में भी सहायक होती है। इस उद्देश्य के अंतर्गत यह अध्ययन किया जाता है कि वैदिक गणित विद्यार्थियों में तार्किक चिंतन, विश्लेषणात्मक क्षमता, स्मरण शक्ति, एकाग्रता तथा समस्या समाधान कौशल के विकास में किस प्रकार योगदान देती

3. अनुसंधान पद्धति (Research Methodology)

अनुसंधान पद्धति किसी भी शोध कार्य का महत्वपूर्ण आधार होती है, क्योंकि इसके माध्यम से यह निर्धारित किया जाता है कि अध्ययन किस प्रकार किया जाएगा तथा तथ्यों का संग्रह और विश्लेषण कैसे किया जाएगा। प्रस्तुत शोध में **गुणात्मक (Qualitative) एवं वर्णनात्मक (Descriptive) शोध पद्धति** का प्रयोग किया गया है।

3.1. गुणात्मक (Qualitative) शोध पद्धति

गुणात्मक शोध पद्धति का उद्देश्य किसी विषय की गहराई से समझ विकसित करना होता है। इसमें संख्यात्मक आँकड़ों के स्थान पर विचारों, अवधारणाओं, सिद्धांतों तथा अनुभवों का विश्लेषण किया जाता है। प्रस्तुत अध्ययन में वैदिक गणित की अवधारणा, उसके शैक्षिक महत्व तथा विद्यार्थियों के बौद्धिक विकास में उसकी भूमिका को समझने के लिए गुणात्मक दृष्टिकोण अपनाया गया है। इस पद्धति के माध्यम से वैदिक गणित के विभिन्न पहलुओं का व्याख्यात्मक अध्ययन किया गया है।

3.2. वर्णनात्मक (Descriptive) शोध पद्धति

वर्णनात्मक शोध पद्धति का उपयोग किसी विषय की वर्तमान स्थिति, विशेषताओं एवं महत्व का विस्तृत वर्णन करने के लिए किया जाता है। इस अध्ययन में वैदिक गणित की ऐतिहासिक पृष्ठभूमि, प्रमुख विशेषताओं, शैक्षिक उपयोगिता तथा समकालीन संदर्भों का क्रमबद्ध एवं विस्तृत वर्णन किया गया है। इस पद्धति के माध्यम से विषय से संबंधित तथ्यों को व्यवस्थित रूप से प्रस्तुत किया गया है।

3.3. द्वितीयक स्रोतों (Secondary Sources) का उपयोग

प्रस्तुत अध्ययन पूर्णतः द्वितीयक आँकड़ों पर आधारित है। द्वितीयक स्रोत वे स्रोत होते हैं जिनमें पहले से उपलब्ध जानकारी का उपयोग किया जाता है। शोध के लिए निम्नलिखित स्रोतों का अध्ययन किया गया है—

- वैदिक गणित से संबंधित पुस्तकें
- राष्ट्रीय एवं अंतरराष्ट्रीय शोध-पत्र (Research Papers)
- प्रतिष्ठित शोध पत्रिकाएँ (Journals)
- राष्ट्रीय शिक्षा नीति (NEP-2020)
- भारतीय ज्ञान प्रणाली (Indian Knowledge System) से संबंधित दस्तावेज
- शैक्षिक रिपोर्ट एवं संदर्भ ग्रंथ

3.4. डेटा विश्लेषण की प्रक्रिया

संग्रहित साहित्य का गहन अध्ययन एवं विश्लेषण किया गया। विभिन्न विद्वानों के विचारों, शोध निष्कर्षों तथा शैक्षिक दस्तावेजों का तुलनात्मक अध्ययन करके वैदिक गणित की उपयोगिता एवं महत्व को समझने का प्रयास किया गया। इसके आधार पर निष्कर्ष तैयार किए गए।

4. वैदिक गणित की अवधारणा (Concept of Vedic Mathematics)

वैदिक गणित भारतीय गणितीय परंपरा पर आधारित एक ऐसी गणना पद्धति है, जो जटिल गणितीय समस्याओं को सरल, तीव्र एवं प्रभावी तरीके से हल करने में सहायता करती है। यह गणित की एक वैकल्पिक प्रणाली है, जिसमें पारंपरिक लंबी गणनाओं के स्थान पर विशेष सूत्रों एवं तकनीकों का प्रयोग किया जाता है। वैदिक गणित का मुख्य उद्देश्य गणना को सरल बनाना तथा विद्यार्थियों में मानसिक गणना (Mental Calculation) की क्षमता विकसित करना है।

वैदिक गणित का आधुनिक स्वरूप जगद्गुरु **Swami Bharati Krishna Tirtha** द्वारा प्रस्तुत किया गया। उन्होंने अपनी प्रसिद्ध पुस्तक *Vedic Mathematics* में 16 सूत्रों (Sutras) एवं 13 उपसूत्रों (Sub-Sutras) का वर्णन किया है। इन सूत्रों की सहायता से गुणा, भाग, वर्ग, वर्गमूल, घनमूल, समीकरणों तथा अन्य बीजगणितीय समस्याओं का समाधान अपेक्षाकृत कम समय में किया जा सकता है (चित्र 1)।

स्वामी भारती कृष्ण तीर्थ के अनुसार ये सूत्र गणना की प्रक्रिया को अधिक सहज, स्वाभाविक तथा तार्किक बनाते हैं। इनका उपयोग करने से विद्यार्थी केवल उत्तर प्राप्त करने पर ही ध्यान नहीं देते, बल्कि गणना की प्रक्रिया को भी बेहतर ढंग से समझते हैं

चित्र 1- वैदिक गणित की मूल अवधारणा: मुख्य विशेषताएँ, उद्देश्य, आधार और उपयोग के प्रमुख क्षेत्र

(ये चित्र AI के सहायता से बनाया गया है।)

4.1. वैदिक गणित के प्रमुख सूत्रों की संक्षिप्त व्याख्या

4.1.1. एकाधिकेन पूर्वेण (Ekādhikena Pūrvena)

अर्थ: पूर्व वाले से एक अधिक।

उपयोग: 5 पर समाप्त होने वाली संख्याओं का वर्ग निकालने में।

उदाहरण:
$25^2 = ?$

- $2 \times (2+1) = 2 \times 3 = 6$
- 25 (अर्थात 5^2)

उत्तर: 625

यदि सामान्य विधि से 25 का 25 में गुणा करना होता तो हम लोग 25 * 25 लिखते तथा पांच का पांच में गुणा करते तो 25 आता 25 का 5 लिखते दो हासिल लेते फिर 5 का 2 में गुणा करते 10 आता उसमें दो जोड़ते तो पूरी संख्या 125 लिखते , पुनः एक अंक छोड़ के ये प्रक्रिया अपनाई जाती है जिसके फलस्वरूप हमें उत्तर प्राप्त होता है परंतु वैदिक गणित के सहयोग से हम इस जटिल प्रश्न को बहुत आसानी से हल कर सकते हैं

इसी प्रकार,

$35^2 = 3 \times 4 = 12 \longrightarrow 1225$

4.1.2. निखिलं नवतश्चरमं दशतः (Nikhilam Navataścaramam Daśatah)

अर्थ: सभी 9 से और अंतिम 10 से।

उपयोग: 10, 100, 1000 आदि के निकट संख्याओं के गुणन में।

उदाहरण:
98 × 97

संख्या	कमी
98	-2
97	-3

- 98 - 3 = 95
- (-2) × (-3) = 06

उत्तर: 9506

4.1.3. ऊर्ध्वतिर्यग्भ्याम् (Ūrdhva-Tiryagbhyām)

अर्थ: ऊर्ध्व (सीधा) और तिर्यक् (क्रॉसवाइज)।

उपयोग: किसी भी दो संख्याओं के गुणन में।

उदाहरण:
23 × 12

- 3 × 2 = 6
- (2 × 2) + (3 × 1) = 7
- 2 × 1 = 2

उत्तर: 276

4.1.4. परावर्त्य योजयेत् (Parāvartya Yojayet)

अर्थ: उलटकर प्रयोग करो।

उपयोग: भाग एवं बीजगणितीय समीकरणों में।

उदाहरण:
2x + 3 = 11

- 11 - 3 = 8
- 8 ÷ 2 = 4

उत्तर: x = 4

4.1.5. शून्यं साम्यसमुच्चये (Śūnyam Sāmyasamuccaye)

अर्थ: समुच्चय समान होने पर शून्य।

उपयोग: सरल समीकरणों के समाधान में।

उदाहरण:

(x+5)/(x+3) = 5/3

5x +15 = 3x +15

2x = 0

उत्तर: x = 0

4.1.6. आनुरूप्ये शून्यमन्यत् (Ānurūpye Śūnyamanyat)

अर्थ: अनुपात सही हो तो दूसरा शून्य।

उपयोग: विशेष प्रकार की समीकरणों में।

उदाहरण:

2x + 4y = 8

4x + 8y =16

दोनों समानुपाती हैं।

उत्तर: एक चर का मान शून्य मानकर हल संभव।

4.1.7. संकलन-व्यवकलनाभ्याम् (Sankalana-Vyavakalanabhyam)

अर्थ: जोड़ और घटाव द्वारा।

उपयोग: युगपत् समीकरणों में।

उदाहरण:

x + y = 10

x - y = 4

दोनों को जोड़ें:

2x =14

x =7

y =3

4.1.8. पूरणापूरणाभ्याम् (Pūraṇāpūraṇābhyām)

अर्थ: पूर्ण या अपूर्ण करके।

उपयोग: भिन्नों एवं बीजगणितीय गणनाओं में।

उदाहरण:

98 × 5

= (100 - 2) × 5

= 500 -10

= 490

4.1.9. चलन-कलनाभ्याम् (Chalana-Kalanābhyām)

अर्थ: अंतर एवं कलन द्वारा।

उपयोग: कलन (Calculus) तथा परिवर्तन दर में।

उदाहरण:

यदि $y = x^2$

तो $dy/dx = 2x$

4.1.10. यावदूनम् (Yāvadūnam)

अर्थ: जितनी कमी।

उपयोग: आधार के निकट संख्याओं के वर्ग में।

उदाहरण:

96^2

- कमी = 4

96 - 4 = 92

4^2 =16

उत्तर: 9216

4.1.11. व्यष्टिसमष्टि: (Vyashti-Samashti)

अर्थ: भाग और समग्र।

उपयोग: जटिल समस्याओं को छोटे भागों में विभाजित करने में।

उदाहरण:

45 + 67

= (40+60) + (5+7)

=100 +12

=112

4.1.12. शेषाण्यङ्केन चरमेण (Śeṣānyankena Charamena)

अर्थ: अंतिम अंक से शेषफल।

उपयोग: विभाज्यता परीक्षण में।

उदाहरण:

63 ÷ 9

6+3 = 9

अतः संख्या 9 से विभाज्य है।

4.1.13. सोपान्त्यद्वयमन्त्यम् (Sopāntyadvayamantyam)

अर्थ: अंतिम एवं उपान्त्य का प्रयोग।

उपयोग: विशेष बीजगणितीय गणनाओं में।

उदाहरण:

बहुपदों के गुणनखंड निकालने में उपयोगी।

4.1.14. एकन्यूनेन पूर्वेण (Ekanyūnena Pūrvena)

अर्थ: पूर्व वाले से एक कम।

उपयोग: 9, 99, 999 आदि से गुणा करने में।

उदाहरण:

54 × 9

- 54 -1 = 53
- 9 का पूरक = 6

उत्तर: 486

4.1.15. गुणितसमुच्चय: (Guṇita samuccayah)

अर्थ: गुणनफल का समुच्चय।

उपयोग: बीजगणितीय पहचान एवं सत्यापन में।

उदाहरण:

(a+b) (a-b)

$= a^2 - b^2$

4.1.16. गुणकसमुच्चय: (Guṇaka samuccayah)

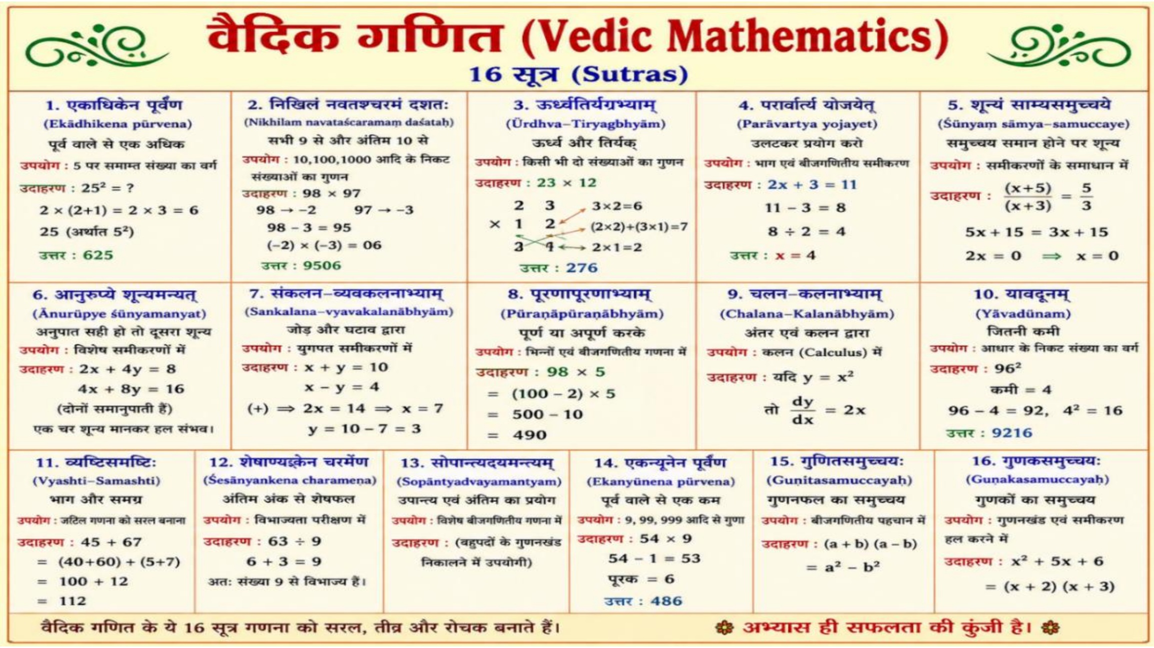
अर्थ: गुणकों का समुच्चय।

उपयोग: गुणनखंड एवं समीकरण हल करने में।

उदाहरण:

$x^2 + 5x + 6$

$= (x+2)\ (x+3)$



चित्र 2- वैदिक गणितीय पद्धतियों के 16 मूलभूत सूत्र एवं उनकी गणना विधियों का संक्षिप्त विवरण

(ये चित्र AI के सहायता से बनाया गया है।)

4.2. वैदिक गणित के 16 मुख्य सूत्रों की सूची

क्रम	सूत्र	अर्थ
1	एकाधिकेन पूर्वेण	पूर्व वाले से एक अधिक
2	निखिलं नवतश्चरमं दशतः	सभी 9 से, अंतिम 10 से
3	ऊर्ध्वतिर्यग्भ्याम्	ऊर्ध्व एवं तिर्यक्
4	परावर्त्य योजयेत्	उलटकर प्रयोग करें
5	शून्यं साम्यसमुच्चये	समुच्चय समान होने पर शून्य
6	आनुरूप्ये शून्यमन्यत्	अनुपात होने पर दूसरा शून्य
7	संकलन-व्यवकलनाभ्याम्	जोड़ एवं घटाव द्वारा
8	पूरणापूरणाभ्याम्	पूर्ण या अपूर्ण करके
9	चलन-कलनाभ्याम्	अंतर एवं कलन द्वारा
10	यावदूनम्	जितनी कमी
11	व्यष्टिसमष्टिः	भाग एवं समग्र
12	शेषाण्यङ्केन चरमेण	अंतिम अंक से शेषफल
13	सोपान्त्यद्वयमन्त्यम्	उपान्त्य एवं अंतिम
14	एकन्यूनेन पूर्वेण	पूर्व वाले से एक कम
15	गुणितसमुच्चयः	गुणनफल का समुच्चय
16	गुणकसमुच्चयः	गुणकों का समुच्चय

5. वैदिक गणित का शैक्षिक महत्व (Educational Importance of Vedic Mathematics)

वैदिक गणित केवल गणना की एक पद्धति नहीं है, बल्कि यह विद्यार्थियों के बौद्धिक, मानसिक एवं शैक्षणिक विकास का एक प्रभावी माध्यम भी है। इसकी सरल एवं त्वरित गणना विधियाँ विद्यार्थियों को गणित को समझने और सीखने में सहायता प्रदान करती हैं। वर्तमान शिक्षा प्रणाली में, जहाँ विद्यार्थियों में तार्किक चिंतन, समस्या-समाधान क्षमता और रचनात्मकता का विकास आवश्यक माना जाता है, वहाँ वैदिक गणित का विशेष महत्व है।

5.1. गणना की गति (Speed) में वृद्धि

वैदिक गणित के सूत्र गणितीय समस्याओं को कम समय में हल करने की तकनीक प्रदान करते हैं। सामान्यतः जिन गणनाओं को हल करने में अधिक समय लगता है, उन्हें वैदिक विधियों द्वारा शीघ्रता से हल किया जा सकता है। नियमित अभ्यास से विद्यार्थियों की गणना गति में उल्लेखनीय वृद्धि होती है। यह विशेष रूप से प्रतियोगी परीक्षाओं में लाभदायक सिद्ध होती है, जहाँ समय प्रबंधन अत्यंत महत्वपूर्ण होता है।

5.2. उत्तरों की शुद्धता (Accuracy) में सुधार

वैदिक गणित की विधियाँ व्यवस्थित एवं तार्किक होती हैं, जिससे गणना में त्रुटियों की संभावना कम हो जाती है। जब विद्यार्थी सूत्रों का सही प्रयोग करना सीख जाते हैं, तो वे अधिक सटीक उत्तर प्राप्त कर पाते हैं। परिणामस्वरूप गणितीय समस्याओं को हल करने में उनकी विश्वसनीयता और दक्षता बढ़ती है।

5.3. मानसिक गणना की क्षमता का विकास

वैदिक गणित का सबसे महत्वपूर्ण योगदान मानसिक गणना (Mental Mathematics) को बढ़ावा देना है। इसके अभ्यास से विद्यार्थी बिना कागज, पेन या कैलकुलेटर के अनेक गणनाएँ मन में ही कर सकते हैं। इससे उनकी स्मरण शक्ति, एकाग्रता और मानसिक सक्रियता का विकास होता है। मानसिक गणना की यह क्षमता दैनिक जीवन में भी अत्यंत उपयोगी सिद्ध होती है।

5.4. तार्किक एवं विश्लेषणात्मक चिंतन का विकास

वैदिक गणित विद्यार्थियों को केवल उत्तर प्राप्त करना नहीं सिखाती, बल्कि यह उन्हें समस्या को समझने और उसके समाधान के विभिन्न तरीकों पर विचार करने के लिए प्रेरित करती है। इसके माध्यम से तार्किक सोच (Logical Thinking) और विश्लेषणात्मक क्षमता (Analytical Ability) का विकास होता है। विद्यार्थी समस्याओं को नए दृष्टिकोण से देखने लगते हैं और उनका समाधान अधिक प्रभावी ढंग से कर पाते हैं।

5.5. गणित के प्रति रुचि एवं आत्मविश्वास में वृद्धि

अनेक विद्यार्थी गणित को कठिन एवं जटिल विषय मानते हैं, जिसके कारण उनमें गणित के प्रति भय उत्पन्न हो जाता है। वैदिक गणित की सरल एवं रोचक विधियाँ गणित को सहज और आनंददायक बनाती हैं। जब विद्यार्थी कम समय में सही उत्तर प्राप्त करने लगते हैं, तो उनका आत्मविश्वास बढ़ता है और गणित के प्रति उनकी रुचि विकसित होती है। यह सकारात्मक दृष्टिकोण उनके समग्र शैक्षणिक प्रदर्शन को भी प्रभावित करता है।

6. वैदिक गणित का ऐतिहासिक परिप्रेक्ष्य (Historical Perspective of Vedic Mathematics)

वैदिक गणित भारतीय ज्ञान परंपरा का एक महत्वपूर्ण अंग माना जाता है। भारत प्राचीन काल से ही गणित, खगोल विज्ञान, ज्यामिति तथा अंकगणित के क्षेत्र में विश्व का अग्रणी केंद्र रहा है। भारतीय विद्वानों ने गणित के अनेक सिद्धांतों का विकास किया, जिनका प्रभाव विश्व की गणितीय परंपराओं पर भी पड़ा। इसी समृद्ध गणितीय विरासत के संदर्भ में वैदिक गणित का उल्लेख किया जाता है।

वैदिक गणित का संबंध प्राचीन वैदिक साहित्य से जोड़ा जाता है। हालांकि इसके ऐतिहासिक स्रोतों और वैदिक ग्रंथों में इसके प्रत्यक्ष उल्लेख को लेकर विद्वानों के बीच विभिन्न मत पाए जाते हैं, फिर भी यह तथ्य निर्विवाद है कि भारतीय गणितीय चिंतन अत्यंत विकसित और उन्नत था। प्राचीन भारत में गणना, ज्यामिति, बीजगणित तथा खगोल विज्ञान के क्षेत्र में महत्वपूर्ण कार्य किए गए, जिन्होंने आगे चलकर गणित के विकास में महत्वपूर्ण योगदान दिया।

आधुनिक युग में वैदिक गणित को व्यवस्थित रूप से प्रस्तुत करने का श्रेय **Swami Bharati Krishna Tirtha** को जाता है। उनका जन्म 1884 में हुआ था और वे एक महान विद्वान, दार्शनिक तथा धर्माचार्य थे। उन्होंने अनेक वर्षों तक वेदों, उपनिषदों और संस्कृत साहित्य का गहन अध्ययन किया। अपने दीर्घकालीन अध्ययन, चिंतन और साधना के आधार पर उन्होंने गणितीय गणनाओं की सरल विधियों का संकलन किया, जिसे बाद में वैदिक गणित के नाम से प्रसिद्धि मिली।

स्वामी भारती कृष्ण तीर्थ ने यह दावा किया कि वैदिक गणित के 16 सूत्र और 13 उपसूत्र वैदिक साहित्य में निहित गणितीय ज्ञान पर आधारित हैं। उन्होंने इन सूत्रों को अपनी प्रसिद्ध पुस्तक *Vedic Mathematics* में प्रकाशित किया। यह पुस्तक उनके निधन के पश्चात प्रकाशित हुई और शीघ्र ही भारत तथा विदेशों में लोकप्रिय हो गई।

बीसवीं शताब्दी के उत्तरार्ध में वैदिक गणित ने अंतरराष्ट्रीय स्तर पर भी ध्यान आकर्षित किया। भारत के अतिरिक्त ब्रिटेन, अमेरिका, कनाडा, ऑस्ट्रेलिया तथा अन्य देशों में इसके अध्ययन और शिक्षण की शुरुआत हुई। अनेक शिक्षाविदों और गणितज्ञों ने इसकी गणनात्मक तकनीकों को विद्यार्थियों के लिए उपयोगी पाया। विशेष रूप से मानसिक गणना (Mental Mathematics) और त्वरित गणना (Speed Mathematics) के क्षेत्र में इसकी उपयोगिता को स्वीकार किया गया।

वर्तमान समय में भारत के अनेक विद्यालयों, महाविद्यालयों तथा प्रशिक्षण संस्थानों में वैदिक गणित का शिक्षण किया जा रहा है। प्रतियोगी परीक्षाओं की तैयारी कराने वाले संस्थानों में भी इसकी विधियों का उपयोग किया जाता है। इसके अतिरिक्त राष्ट्रीय शिक्षा नीति (NEP-2020) तथा भारतीय ज्ञान प्रणाली (Indian Knowledge System) के संदर्भ में भी वैदिक गणित को विशेष महत्व प्राप्त हुआ है।

7. वैदिक गणित की प्रमुख विशेषताएँ (Major Characteristics of Vedic Mathematics)

वैदिक गणित अपनी विशिष्ट गणना पद्धतियों और सरल सूत्रों के कारण गणित शिक्षण की एक प्रभावी प्रणाली मानी जाती है। इसकी अनेक विशेषताएँ इसे पारंपरिक गणितीय विधियों से अलग और अधिक उपयोगी बनाती हैं। प्रमुख विशेषताओं का विवरण निम्नलिखित है

7.1 सरलता (Simplicity)

वैदिक गणित की सबसे महत्वपूर्ण विशेषता इसकी सरलता है। इसमें प्रयुक्त सूत्र और विधियाँ जटिल गणनाओं को भी अत्यंत सरल बना देती हैं। सामान्यतः जिन प्रश्नों को हल करने के लिए कई चरणों की आवश्यकता होती है, उन्हें वैदिक गणित के माध्यम से कम चरणों में हल किया जा सकता है।

उदाहरण के लिए, बड़ी संख्याओं का गुणन, वर्ग अथवा वर्गमूल ज्ञात करने जैसी प्रक्रियाएँ वैदिक सूत्रों की सहायता से आसानी से की जा सकती हैं। इससे विद्यार्थियों को गणित समझने में सुविधा होती है तथा विषय के प्रति उनका भय कम होता है। सरलता के कारण वैदिक गणित सभी आयु वर्ग के विद्यार्थियों के लिए उपयोगी सिद्ध होती है।

7.2 तीव्रता (Speed)

वैदिक गणित की दूसरी प्रमुख विशेषता इसकी तीव्रता है। यह गणना की गति को बढ़ाने में अत्यंत प्रभावी है। वैदिक सूत्रों के प्रयोग से विद्यार्थी कम समय में अधिक प्रश्न हल कर सकते हैं।

विशेष रूप से प्रतियोगी परीक्षाओं जैसे UPSC, SSC, बैंकिंग, CAT, CUET तथा अन्य प्रवेश परीक्षाओं में समय प्रबंधन अत्यंत महत्वपूर्ण होता है। वैदिक गणित की तकनीकों के माध्यम से अभ्यर्थी शीघ्रता से गणना कर सकते हैं और परीक्षा में अधिक प्रश्नों का प्रयास कर सकते हैं। यही कारण है कि प्रतियोगी परीक्षाओं की तैयारी में वैदिक गणित को विशेष महत्व दिया जाता है।

7.3 मानसिक गणना (Mental Calculation)

वैदिक गणित विद्यार्थियों को मानसिक रूप से गणना करने के लिए प्रेरित करती है। इसकी विधियाँ ऐसी हैं जिनके माध्यम से कई गणनाएँ बिना कागज, पेन या कैलकुलेटर के मन में ही की जा सकती हैं।

मानसिक गणना के निरंतर अभ्यास से विद्यार्थियों की स्मरण शक्ति, एकाग्रता और बौद्धिक सक्रियता में वृद्धि होती है। साथ ही, वे दैनिक जीवन की छोटी-बड़ी गणनाओं को भी आसानी से कर पाते हैं। इससे तकनीकी उपकरणों पर निर्भरता कम होती है और आत्मनिर्भरता की भावना विकसित होती है।

7.4 रचनात्मकता (Creativity)

वैदिक गणित केवल उत्तर प्राप्त करने की प्रक्रिया नहीं सिखाती, बल्कि यह विद्यार्थियों को समस्याओं के विभिन्न समाधान खोजने के लिए प्रेरित करती है। इसके परिणामस्वरूप उनमें रचनात्मक सोच (Creative Thinking) और नवीन दृष्टिकोण विकसित होता है।

विद्यार्थी किसी समस्या को केवल एक निश्चित तरीके से हल करने के बजाय विभिन्न संभावनाओं पर विचार करना सीखते हैं। इससे उनकी तार्किक क्षमता, विश्लेषणात्मक सोच तथा नवाचार की प्रवृत्ति का विकास होता है। आधुनिक शिक्षा में रचनात्मकता को एक महत्वपूर्ण कौशल माना जाता है और वैदिक गणित इस दिशा में महत्वपूर्ण योगदान देती है।

7.5 आत्मविश्वास (Self-Confidence)

जब विद्यार्थी जटिल गणितीय समस्याओं को कम समय में और सही ढंग से हल करने लगते हैं, तो उनमें आत्मविश्वास का विकास होता है। गणित में सफलता प्राप्त करने से उनका विषय के प्रति सकारात्मक दृष्टिकोण बनता है और वे कठिन प्रश्नों का सामना करने से नहीं घबराते।

गणितीय भय (Mathematics Anxiety) को कम करने में भी वैदिक गणित महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। लगातार सफलता मिलने से विद्यार्थियों का आत्मबल बढ़ता है और वे अन्य विषयों में भी बेहतर प्रदर्शन करने के लिए प्रेरित होते हैं।

8. शिक्षा में वैदिक गणित का महत्व (Importance of Vedic Mathematics in Education)

शिक्षा का उद्देश्य केवल विद्यार्थियों को ज्ञान प्रदान करना नहीं है, बल्कि उनमें तार्किक सोच, विश्लेषणात्मक क्षमता, समस्या समाधान कौशल तथा आत्मविश्वास का विकास करना भी है। वैदिक गणित इन सभी उद्देश्यों की पूर्ति में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। इसकी सरल एवं वैज्ञानिक विधियाँ विद्यार्थियों को गणित के प्रति सकारात्मक दृष्टिकोण विकसित करने में सहायता प्रदान करती हैं। शिक्षा के क्षेत्र में वैदिक गणित का महत्व निम्नलिखित बिंदुओं के माध्यम से समझा जा सकता है—

8.1 गणितीय दक्षता का विकास (Development of Mathematical Competency)

वैदिक गणित विद्यार्थियों की गणनात्मक क्षमता को विकसित करने का एक प्रभावी माध्यम है। इसके सूत्रों और तकनीकों के नियमित अभ्यास से विद्यार्थी गणना को अधिक तेज़ी और शुद्धता के साथ करने लगते हैं। सामान्यतः जिन प्रश्नों को हल करने में अधिक समय लगता है, उन्हें वैदिक गणित की सहायता से कम समय में हल किया जा सकता है।

गणितीय दक्षता के विकास से विद्यार्थियों का प्रदर्शन विद्यालयी परीक्षाओं तथा प्रतियोगी परीक्षाओं दोनों में बेहतर होता है। साथ ही, वे जटिल गणितीय समस्याओं को अधिक आत्मविश्वास के साथ हल कर पाते हैं।

8.2 तार्किक चिंतन का विकास (Development of Logical Thinking)

गणित को तर्क और विश्लेषण का विज्ञान माना जाता है। वैदिक गणित विद्यार्थियों को केवल सूत्र याद करने तक सीमित नहीं रखती, बल्कि उन्हें समस्याओं के पीछे छिपे तर्क को समझने के लिए प्रेरित करती है।

जब विद्यार्थी विभिन्न वैदिक सूत्रों का प्रयोग करते हैं, तब वे समस्या के समाधान के लिए तार्किक रूप से सोचते हैं। इससे उनकी विश्लेषणात्मक क्षमता, निर्णय लेने की योग्यता तथा तार्किक चिंतन का विकास होता है। यह कौशल केवल गणित तक सीमित नहीं रहता, बल्कि जीवन के अन्य क्षेत्रों में भी उपयोगी सिद्ध होता है।

8.3 समस्या समाधान क्षमता (Problem Solving Ability)

आधुनिक शिक्षा में समस्या समाधान क्षमता को एक महत्वपूर्ण कौशल माना जाता है। वैदिक गणित विद्यार्थियों को किसी समस्या के एक से अधिक समाधान खोजने के लिए प्रेरित करती है।

इसके विभिन्न सूत्र और तकनीकें विद्यार्थियों को वैकल्पिक सोच (Alternative Thinking) विकसित करने में सहायता प्रदान करती हैं। परिणामस्वरूप वे समस्याओं को अलग-अलग दृष्टिकोणों से देखना सीखते हैं और उनका समाधान अधिक प्रभावी ढंग से कर पाते हैं। यह क्षमता उनके शैक्षणिक जीवन के साथ-साथ व्यावसायिक जीवन में भी लाभदायक होती है।

8.4 गणितीय भय का निवारण (Reduction of Mathematics Anxiety)

बहुत से विद्यार्थी गणित को कठिन एवं जटिल विषय मानते हैं, जिसके कारण उनमें गणित के प्रति भय उत्पन्न हो जाता है। यह भय उनके सीखने की प्रक्रिया को प्रभावित करता है और वे गणित से दूरी बनाने लगते हैं।

वैदिक गणित की सरल एवं रोचक विधियाँ गणित को सहज और आनंददायक बनाती हैं। जब विद्यार्थी कम समय में सही उत्तर प्राप्त करने लगते हैं, तो उनका आत्मविश्वास बढ़ता है और गणित के प्रति उनका भय धीरे-धीरे समाप्त होने लगता है। इससे वे गणित को रुचिपूर्वक सीखने लगते हैं।

8.5 स्मरण शक्ति में वृद्धि (Improvement in Memory Power)

वैदिक गणित मानसिक गणना पर विशेष बल देती है। मानसिक रूप से गणना करने के लिए विद्यार्थियों को सूत्रों, संख्याओं और प्रक्रियाओं को याद रखना पड़ता है। इसका निरंतर अभ्यास उनकी स्मरण शक्ति (Memory Power) को मजबूत बनाता है।

इसके अतिरिक्त, मानसिक गणना के दौरान विद्यार्थियों को एकाग्र होकर कार्य करना पड़ता है, जिससे उनकी एकाग्रता (Concentration) में भी वृद्धि होती है। बेहतर स्मरण शक्ति और एकाग्रता का सकारात्मक प्रभाव अन्य विषयों के अध्ययन पर भी पड़ता है।

9. विद्यार्थियों के बौद्धिक विकास में वैदिक गणित की भूमिका

9.1. एकाग्रता का विकास (Concentration Development) वैदिक गणित में गणनाएँ मानसिक रूप से (बिना लिखे या कम लिखकर) करने पर जोर दिया जाता है। इससे विद्यार्थी को लगातार ध्यान लगाकर सोचने की आदत पड़ती है। धीरे-धीरे उनका मन भटकना कम होता है और एक विषय पर लंबे समय तक ध्यान केंद्रित करने की क्षमता बढ़ती है।

9.2. विश्लेषणात्मक क्षमता (Analytical Ability) वैदिक गणित में अलग-अलग सूत्रों और तकनीकों का प्रयोग करके एक ही प्रश्न को कई तरीकों से हल किया जाता है। इससे विद्यार्थियों में यह समझ विकसित होती है कि किसी समस्या को अलग-अलग दृष्टिकोण से कैसे देखा और हल किया जा सकता है। यही उनकी विश्लेषणात्मक सोच को मजबूत करता है।

9.3. निर्णय क्षमता (Decision Making Ability) जब विद्यार्थी तेजी से किसी समस्या का सही हल निकालना सीखते हैं, तो उनके अंदर निर्णय लेने की क्षमता भी विकसित होती है। वे यह तय करना सीखते हैं कि कौन-सा तरीका सबसे तेज और सही परिणाम देगा।

9.4. रचनात्मक चिंतन (Creative Thinking) वैदिक गणित में अक्सर एक समस्या के कई समाधान संभव होते हैं। इससे विद्यार्थी रटे-रटाए तरीकों के बजाय नए और अलग तरीके खोजने लगते हैं। यह उनकी रचनात्मक सोच (creative thinking) को बढ़ाता है और वे "out of the box" सोचने लगते हैं।

10. प्रतियोगी परीक्षाओं में वैदिक गणित की उपयोगिता

प्रतियोगी परीक्षाएँ जैसे **UPSC, SSC, Banking, CAT, CUET, NDA** आदि में गणित और तार्किक क्षमता (Reasoning Ability) का बहुत महत्वपूर्ण स्थान होता है। इन परीक्षाओं में केवल सही उत्तर देना ही पर्याप्त नहीं होता, बल्कि **कम समय में अधिक प्रश्न हल करना भी आवश्यक होता है**, क्योंकि समय-सीमा बहुत सीमित होती है। वैदिक गणित इस स्थिति में बहुत उपयोगी साबित होता है, क्योंकि इसमें कुछ विशेष सूत्रों और तकनीकों के माध्यम से गणना को बहुत तेज और सरल बनाया जाता है।

10.1. इसका महत्व इस प्रकार समझा जा सकता है:

10.1.1. समय की बचत (Time Management): वैदिक गणित की तकनीकों से लंबी और जटिल गणनाएँ छोटे चरणों में हल हो जाती हैं, जिससे समय बहुत कम लगता है।

10.1.2. तेजी से प्रश्न हल करना: अभ्यर्थी मानसिक गणना (mental calculation) के जरिए जल्दी उत्तर निकाल सकते हैं, जिससे उनकी गति (speed) बढ़ती है।

10.1.3. सटीकता में वृद्धि (Accuracy): कम चरणों में गणना होने के कारण गलती होने की संभावना कम हो जाती है, जिससे उत्तर अधिक सटीक होते हैं।

10.1.4. प्रतिस्पर्धात्मक लाभ (Competitive Advantage): जो विद्यार्थी वैदिक गणित का अभ्यास करते हैं, वे परीक्षा में दूसरों की तुलना में अधिक प्रश्न हल कर पाते हैं, जिससे उनके चयन की संभावना बढ़ जाती है।

11. राष्ट्रीय शिक्षा नीति 2020 एवं वैदिक गणित

राष्ट्रीय शिक्षा नीति 2020 (NEP 2020) भारत की शिक्षा प्रणाली में एक महत्वपूर्ण सुधार है। इस नीति का एक प्रमुख उद्देश्य है कि शिक्षा में केवल आधुनिक ज्ञान ही नहीं, बल्कि **भारतीय ज्ञान परंपरा (Indian Knowledge System)** को भी शामिल किया जाए।

वैदिक गणित इसी भारतीय ज्ञान परंपरा का एक महत्वपूर्ण हिस्सा माना जाता है, जिसमें प्राचीन भारतीय गणितीय विधियाँ और सूत्र शामिल हैं।

11.1. इसे इस प्रकार समझा जा सकता है:

11.1.1. भारतीय ज्ञान परंपरा का समावेश: NEP 2020 यह मानती है कि भारत की प्राचीन ज्ञान प्रणाली भी आधुनिक शिक्षा के साथ पढ़ाई जानी चाहिए। वैदिक गणित इसी दिशा में एक महत्वपूर्ण विषय है।

11.1.2. पाठ्यक्रम में स्थान: यदि वैदिक गणित को स्कूल और कॉलेज के पाठ्यक्रम में शामिल किया जाए, तो विद्यार्थी भारतीय गणितीय परंपराओं को बेहतर तरीके से समझ सकेंगे।

11.1.3. बौद्धिक और सांस्कृतिक विकास: इससे विद्यार्थियों में न केवल गणितीय कौशल बढ़ेगा, बल्कि उन्हें अपनी संस्कृति और ज्ञान परंपरा पर गर्व भी महसूस होगा।

11.1.4. गणितीय दक्षता में वृद्धि: वैदिक गणित की सरल और तेज़ तकनीकों से विद्यार्थियों की गणना क्षमता, गति और सटीकता में सुधार होता है।

12. समकालीन संदर्भ में वैदिक गणित

आज का युग **डिजिटल और तकनीकी (Digital Age)** है, जहाँ हर क्षेत्र में तेज़, सटीक और प्रभावी गणना की आवश्यकता होती है। ऐसे समय में भी **वैदिक गणित की उपयोगिता और प्रासंगिकता बनी हुई है**।

12.1. इसे विभिन्न क्षेत्रों में इस प्रकार समझा जा सकता है:

12.1.1. कंप्यूटर विज्ञान (Computer Science): वैदिक गणित के कुछ सूत्र बहुत तेज़ गणना करने में सक्षम होते हैं। इन्हीं सिद्धांतों का उपयोग कुछ शोधों में **डिजिटल सर्किट डिजाइन और कंप्यूटिंग प्रोसेसिंग** को तेज़ बनाने के लिए किया गया है। इससे डेटा प्रोसेसिंग अधिक कुशल हो सकती है। वैदिक गणित का क्रिप्टोग्राफी जैसे विषयों में भी बहुत महत्वपूर्ण योगदान है वर्तमान परिदृश्य में डिजिटल लेनदेन में और अपने व्यक्तिगत डाटा को संरक्षित करने के लिए पासवर्ड का उपयोग करते हैं उन पासवर्डों को बनाने में हम वैदिक गणित का उपयोग कर सकते हैं वैदिक गणित के उपयोग से पासवर्ड अधिक से अधिक मजबूत होगा जिसे किसी भी हैकर को तोड़ने में असफलता ही प्राप्त होगी

12.1.2. कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence): AI और मशीन लर्निंग में एल्गोरिदम (algorithms) की गति और दक्षता बहुत महत्वपूर्ण होती है। वैदिक गणित के गणनात्मक सिद्धांत **तेज़ और सरल गणना विधियाँ** प्रदान करते हैं, जो एल्गोरिदम को अधिक प्रभावी बनाने में मदद कर सकते हैं।

12.1.3. ऑनलाइन शिक्षा (Online Education): आज कई ई-लर्निंग प्लेटफॉर्म और यूट्यूब चैनल वैदिक गणित के कोर्स चला रहे हैं। इससे विद्यार्थी घर बैठे आसानी से इसकी तकनीकें सीख सकते हैं और अपनी गणितीय क्षमता सुधार सकते हैं।

21.1.4. वैश्विक स्तर पर स्वीकार्यता (Global Acceptance): वैदिक गणित अब केवल भारत तक सीमित नहीं है। कई देशों में इसे एक **वैकल्पिक और प्रभावी गणितीय शिक्षण पद्धति** के रूप में अपनाया जा रहा है, खासकर मानसिक गणना (mental math) को सुधारने के लिए।

13. वैदिक गणित की सीमाएँ

वैदिक गणित के कई फायदे हैं, जैसे तेज गणना और मानसिक विकास, लेकिन इसके कुछ **सीमित पक्ष (limitations)** भी हैं, जिन्हें समझना जरूरी है।

13.1. इसे इस प्रकार समझा जा सकता है:

13.1.1. सभी समस्याओं पर समान रूप से लागू नहीं: वैदिक गणित की सभी तकनीकें हर प्रकार की गणितीय समस्या पर लागू नहीं होतीं। कुछ जटिल प्रश्नों में पारंपरिक (standard) विधियाँ अधिक उपयोगी होती हैं।

13.1.2. उन्नत गणित में सीमित उपयोग: उच्च स्तर की गणित जैसे कलन (Calculus), सांख्यिकी (Statistics), या उन्नत बीजगणित (Advanced Algebra) में इसकी उपयोगिता सीमित मानी जाती है।

13.1.3. प्रशिक्षित शिक्षकों की कमी: वैदिक गणित को सही तरीके से पढ़ाने के लिए विशेष प्रशिक्षण की आवश्यकता होती है, लेकिन ऐसे प्रशिक्षित शिक्षक हर जगह उपलब्ध नहीं हैं।

13.1.4. पाठ्यक्रम में सीमित स्थान: अधिकांश स्कूलों में इसे अभी भी मुख्य विषय के रूप में पूरी तरह शामिल नहीं किया गया है, इसलिए विद्यार्थियों को इसका पूरा लाभ नहीं मिल पाता।

13.1.5. ऐतिहासिक प्रमाणों पर विवाद: वैदिक गणित के ऐतिहासिक स्रोतों और इसके मूल स्वरूप को लेकर विद्वानों में अलग-अलग मत पाए जाते हैं, जिससे इसकी प्रामाणिकता पर चर्चा बनी रहती है।

14. निष्कर्ष

अध्ययन से स्पष्ट होता है कि वैदिक गणित गणना की एक प्रभावी एवं उपयोगी प्रणाली है। यह विद्यार्थियों की गणितीय दक्षता, तार्किक चिंतन, समस्या समाधान क्षमता तथा आत्मविश्वास को विकसित करती है। राष्ट्रीय शिक्षा नीति 2020 तथा भारतीय ज्ञान प्रणाली के परिप्रेक्ष्य में इसका महत्व और बढ़ जाता है।

यदि इसे विद्यालयी एवं उच्च शिक्षा के पाठ्यक्रम में समुचित रूप से सम्मिलित किया जाए, तो यह गणित शिक्षा की गुणवत्ता में सुधार करने के साथ-साथ विद्यार्थियों के समग्र बौद्धिक विकास में भी महत्वपूर्ण योगदान दे सकती है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Bharati Krishna Tirthaji Maharaja. (2016). *Vedic mathematics: Sixteen simple mathematical formulae from the Vedas* (Reprint ed.). Motilal Banarsidass Publishers.
2. Boyer, C. B., & Merzbach, U. C. (2011). *A history of mathematics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
3. Burton, D. M. (2011). *The history of mathematics: An introduction* (7th ed.). McGraw-Hill.
4. Indian Knowledge Systems Division. (2020). *Indian knowledge systems*. All India Council for Technical Education. https://iksindia.org/
5. Joseph, G. G. (2011). *The crest of the peacock: Non-European roots of mathematics* (3rd ed.). Princeton University Press.
6. Kandasamy, W. B. V., & Smarandache, F. (2007). *Vedic mathematics: "Vedic" or "mathematics"—A fuzzy and neutrosophic analysis*. Hexis.
7. Ministry of Education, Government of India. (2020). *National Education Policy 2020*. Government of India. https://www.education.gov.in/sites/upload_files/mhrd/files/NEP_Final_English_0.pdf
8. National Council of Educational Research and Training. (2023). *National curriculum framework for school education 2023*. NCERT.
9. Coutinho, S. C. (2011). Mathematics in India: Mathematics in India, by Plofker Kim. Pp. 384. $ 39.50. 2009. ISBN: 978-0-691-12067-6 (Princeton University Press). *The Mathematical Gazette*, *95*(532), 152–154. https://doi.org/10.1017/S0025557200002679
10. Rao, S. B. (2005). *Indian mathematics and astronomy: Some landmarks*. Bharatiya Vidya Bhavan.
11. Yasir, Y., Hussain, A., Khan, H., & Kania, N. (2026). Impact of Vedic mathematics on students' performance. *International Journal of Applied Learning and Research in Algebra, 3*(1), 13–27. https://doi.org/10.56855/algebra.v3i1.1789

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

लघु आलेख (Short Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.7

मार्च माह 2026 की महत्वपूर्ण वैज्ञानिक घटनाएं

अवनीश मिश्रा*, अभिषेक प्रजापति, अभिषेक कुमार सरोज
भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- avanishmishra7376@gmail.com

आलेख प्राप्त: २३ जून २०२६; स्वीकृत: २८ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २८ जून २०२६

सारांश

मार्च 2026 विज्ञान, प्रौद्योगिकी, रक्षा तथा अंतरिक्ष अनुसंधान के क्षेत्र में अनेक महत्वपूर्ण घटनाओं और उपलब्धियों का साक्षी रहा। इस लेख में मार्च 2026 के दौरान घटित प्रमुख वैज्ञानिक, खगोलीय, जैव-चिकित्सीय तथा रक्षा-संबंधी विकासों का संक्षिप्त विवरण प्रस्तुत किया गया है। इस अवधि में पूर्ण चंद्र ग्रहण, शुक्र-शनि युति, मार्च विषुव तथा अन्य उल्लेखनीय खगोलीय घटनाओं ने वैज्ञानिक समुदाय और आम जनमानस का ध्यान आकर्षित किया। जीवविज्ञान एवं चिकित्सा के क्षेत्र में प्रयोगशाला में विकसित ग्रासनली के सफल परीक्षण तथा क्लोनिंग अनुसंधान में नई जानकारियों ने चिकित्सा विज्ञान की संभावनाओं को विस्तृत किया। भौतिकी एवं कण अनुसंधान में नए उप-परमाणु कणों की खोज तथा प्रतिपदार्थ संबंधी परीक्षणों ने वैज्ञानिक प्रगति को नई दिशा प्रदान की। इसके अतिरिक्त भारत ने रक्षा क्षेत्र में 'विजन 2047', रिकॉर्ड रक्षा निर्यात, उन्नत रक्षा अधिग्रहण तथा स्वदेशी मिसाइल एवं तकनीकी परीक्षणों के माध्यम से अपनी रणनीतिक और तकनीकी क्षमताओं को सुदृढ़ किया। विज्ञान सम्मेलनों, विज्ञान कार्निवलों तथा विश्व जल दिवस जैसे आयोजनों ने वैज्ञानिक जागरूकता और नवाचार को बढ़ावा दिया। यह अध्ययन दर्शाता है कि मार्च 2026 का महीना विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में वैश्विक और राष्ट्रीय स्तर पर महत्वपूर्ण उपलब्धियों तथा प्रगतिशील पहलों से परिपूर्ण रहा।

सूचक शब्द - वैज्ञानिक घटनाएँ, खगोलीय घटनाएँ, पूर्ण चंद्र ग्रहण, वर्म मून, मार्च विषुव, भौतिकी, प्रतिपदार्थ, रक्षा प्रौद्योगिकी रक्षा निर्यात, मिसाइल परीक्षण, विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी।

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

लघु आलेख (Short Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.7

Important Scientific Events of March 2026

Avanish Mishra*, Abhishek Prajapati, Abhishek kumar Saroj,
Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding Author Email*: avanishmishra7376@gmail.com

Received On: 23 June 2026; Accepted On: 28 June 2026
Published Online First: 28 June 2026

ABSTRACT

March 2026 witnessed numerous significant events and achievements in the fields of science, technology, defense, and space research. This article presents a concise overview of the major scientific, astronomical, biomedical, and defense-related developments that occurred during the month. Notable astronomical events, including the total lunar eclipse, the Venus–Saturn conjunction, the March equinox, and other celestial phenomena, attracted considerable attention from both the scientific community and the general public. In the fields of biology and medicine, the successful testing of a laboratory-grown esophagus and new findings in cloning research expanded the prospects of medical science. Advances in physics and particle research, including the detection of new subatomic particles and preliminary studies on antimatter stability, opened new avenues for scientific exploration. Furthermore, India strengthened its strategic and technological capabilities through initiatives such as "Vision 2047," record-breaking defense exports, major defense acquisitions, and indigenous missile and technology tests. Scientific conferences, science carnivals, and observances such as World Water Day contributed to the promotion of scientific awareness and innovation. Overall, this study highlights that March 2026 was marked by significant achievements and progressive initiatives at both national and global levels in the domains of science and technology.

Keywords: Scientific Events, Astronomical Events, Total Lunar Eclipse, Worm Moon, March Equinox, Physics, Antimatter, Defense Technology, Defense Exports, Missile Testing, Science and Technology.

क्रम संख्या	माह	महत्त्वपूर्ण घटनाएं
1.	मार्च	**खगोलीय घटनाएँ** • **3 मार्च - पूर्ण चंद्र ग्रहण:** पूर्ण "वर्म मून" पृथ्वी की छाया से गुजरा, जिससे एक घंटे तक चलने वाला गहरा लाल रंग का ब्लड मून दिखाई दिया, जो उत्तरी अमेरिका, ऑस्ट्रेलिया और एशिया सहित दुनिया के अधिकांश हिस्सों में मौजूद था। • **8 मार्च - शुक्र-शनि का संयोजन:** पर्यवेक्षकों ने सूर्यास्त के तुरंत बाद पश्चिमी आकाश में नीचे की ओर, चमकीले शुक्र और शनि को मात्र 1 डिग्री की दूरी पर (हाथ की लंबाई पर एक उंगली की चौड़ाई के बराबर) बैठे हुए देखा। • **20 मार्च - मार्च विषुव:** यह घटना दोपहर 2:45 यूटीसी पर घटित होती है, जो उत्तरी गोलार्ध में वसंत ऋतु और दक्षिणी गोलार्ध में शरद ऋतु की खगोलीय शुरुआत का प्रतीक है, जिसमें पृथ्वी पर दिन और रात लगभग बराबर होते हैं। • **18 मार्च - त्रिपक्षीय सुबह का मिलन:** भोर से पहले दक्षिण-पूर्वी आकाश में एक पतले अर्धचंद्राकार चंद्रमा ने मंगल और बुध के साथ एक अद्भुत त्रिकोण बनाया। • **29 मार्च - रेगुलस का चंद्र ग्रहण:** चंद्रमा सिंह राशि के सबसे चमकीले तारे रेगुलस के सामने से गुजरा, जो एशिया, अफ्रीका और यूरोप के कुछ हिस्सों में दिखाई देने वाला एक सुंदर दृश्य था। • **अंतरिक्ष चिकित्सा अनुसंधान:** नासा ने आईएसएस पर चल रहे अध्ययनों पर प्रकाश डालते हुए व्यापक अपडेट जारी किए हैं - जो कैंसर के उपचार में सुधार के लिए सूक्ष्म गुरुत्वाकर्षण में स्टेम कोशिकाओं को विकसित करने पर बहुत अधिक ध्यान केंद्रित करते हैं। **जीवविज्ञान एवं चिकित्सा** • प्रयोगशाला में विकसित ग्रासनलीशोधकर्ताओं ने सफलतापूर्वक प्रयोगशाला में विकसित ग्रासनली को पशु मॉडलों में बनाया और उसका परीक्षण किया, जिससे यह प्रदर्शित हुआ कि यह अंग के हिस्सों को सुरक्षित रूप से प्रतिस्थापित करने और प्रतिरक्षा दमन के बिना कार्यक्षमता को बहाल करने में सक्षम है । • क्लोनिंग में डीएनए की सीमाएं: चूहों पर किए गए एक जापानी अध्ययन में पाया गया कि संचित संरचनात्मक डीएनए उत्परिवर्तनों के कारण एक ही दाता से बार-बार क्लोनिंग 58 पीढ़ियों तक ही सीमित है। **तकनीक और स्वास्थ्य** • **NavIC उपग्रह उपलब्धि:** भारत की क्षेत्रीय उपग्रह नेविगेशन प्रणाली, विशेष रूप से 2016 में लॉन्च किए गए IRNSS-1F उपग्रह ने अपना कार्यात्मक जीवनकाल पूरा कर लिया है, जो ISRO द्वारा नियोजित स्वदेशी परमाणु घड़ी उन्नयन की आवश्यकता पर बल देता है। • **विश्व गुर्दा दिवस (12 मार्च):** वैश्विक स्वास्थ्य संगठनों ने "सभी के लिए गुर्दा स्वास्थ्य - लोगों की देखभाल, ग्रह की रक्षा" विषय पर ध्यान केंद्रित किया और प्रारंभिक निदान के लिए जागरूकता बढ़ाई। **भौतिकी और कण अनुसंधान** • कणों का पता लगाना: शोधकर्ताओं ने प्रमुख त्वरक संयंत्रों में नए, भारी कणों का पता लगाकर उप-परमाणु कण अनुसंधान में हुई प्रगति की जानकारी दी है। • प्रतिपदार्थ की स्थिरता: परिवहन के दौरान प्रतिपदार्थ की स्थिरता का मूल्यांकन करने के लिए प्रारंभिक परीक्षण किए गए। **पृथ्वी और जलवायु** • **विश्व सतत विकास शिखर सम्मेलन (मार्च की शुरुआत में):** दिल्ली में आयोजित इस शिखर सम्मेलन में विशेषज्ञों और प्रतिनिधियों ने भारत के ऊर्जा परिवर्तन और नेट-जीरो लक्ष्यों को पूरा करने के लिए जलवायु कार्रवाई की रणनीतियों पर चर्चा की। • **विश्व जल दिवस (22 मार्च):** संयुक्त राष्ट्र ने इस दिन जल संबंधी समाधानों में महिलाओं और लड़कियों को प्रमुखता देकर मनाया, इस बात पर जोर देते हुए कि समावेशी निर्णय लेने से अधिक टिकाऊ जल प्रबंधन होता है। • **विश्व वानिकी एवं मौसम विज्ञान दिवस (21-23 मार्च):** मीठे पानी के संरक्षण, वन जैव विविधता और जलवायु परिवर्तन संबंधी उपायों पर प्रकाश डालने वाले प्रमुख वैश्विक कार्यक्रम। **मार्च 2026 की प्रमुख रक्षा और प्रौद्योगिकी घटनाएं** मार्च 2026 में रक्षा और प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में कई महत्वपूर्ण उपलब्धियां और नीतिगत घोषणाएं हुईं, जो भारत की स्वदेशी क्षमताओं और रणनीतिक आधुनिकीकरण पर केंद्रित रहीं। 1. **रक्षा बलों के लिए विजन 2047:** रक्षा मंत्री राजनाथ सिंह ने 10 मार्च 2026 को 'रक्षा बलों के लिए विजन 2047: भविष्य के लिए तैयार भारतीय सेना का रोडमैप' जारी किया। इसका उद्देश्य 2047 तक सेना को आधुनिक, एकीकृत और तकनीकी रूप से उन्नत बनाना है।

2. **राष्ट्रीय रक्षा उद्योग सम्मेलन (NDIC 2026):** 19-20 मार्च 2026 को नई दिल्ली के मानेकशॉ सेंटर में इस सम्मेलन का आयोजन किया गया। रक्षा उत्पादन विभाग द्वारा आयोजित इस कार्यक्रम का मुख्य फोकस 'उन्नत विनिर्माण प्रौद्योगिकी' और रक्षा विनिर्माण में MSMEs (सूक्ष्म, लघु और मध्यम उद्यम) को एकीकृत करना था।
3. **रक्षा निर्यात में भारी उछाल:** सरकार द्वारा जारी आंकड़ों में बताया गया कि वित्त वर्ष के दौरान भारत का रक्षा निर्यात ₹38,424 करोड़ ($4.1 बिलियन) के रिकॉर्ड स्तर पर पहुंच गया, जो पिछले वर्ष की तुलना में 60% से अधिक की वृद्धि है।
4. **रक्षा खरीद बोर्ड की नई स्वीकृतियां:** रक्षा अधिग्रहण परिषद (DAC) ने वायु रक्षा, संचार, निगरानी और विमानन क्षेत्रों में लगभग ₹2.38 लाख करोड़ (लगभग $25 बिलियन) के खरीद प्रस्तावों की स्वीकृति दी, जिसमें S-400 प्रणाली की अतिरिक्त खरीद और स्टील्थ ड्रोन शामिल हैं।
5. **मिसाइल एवं तकनीक परीक्षण:** DRDO ने स्वदेशीकरण को बढ़ावा देते हुए मल्टीपल इंडिपेंडेंटली टारगेटेबल री-एंट्री व्हीकल (MIRV) तकनीक वाली अग्नि मिसाइल और 'तारा' (Tara) ग्लाइड हथियार प्रणाली का परीक्षण कर भारत की रणनीतिक मारक क्षमता को और मजबूत किया।
6. **भारत-कनाडा रक्षा वार्ता:** भारत और कनाडा के बीच नई दिल्ली में औपचारिक रक्षा वार्ता का शुभारंभ हुआ।
7. **रक्षा अधिग्रहण परिषद (DAC) द्वारा रिकॉर्ड स्वीकृतियां:**

- **₹2.38 लाख करोड़ के सौदे:** 27 मार्च 2026 को रक्षा मंत्री राजनाथ सिंह की अध्यक्षता में DAC ने सेना और वायु सेना के लिए अब तक के सबसे बड़े खरीद प्रस्तावों को मंज़ूरी दी।
- **प्रमुख सौदे:** इनमें S-400 वायु रक्षा प्रणाली, 300 धनुष तोपखाने प्रणाली, और स्वदेशी घातक स्टील्थ मानवरहित लड़ाकू हवाई वाहन (UAV) शामिल हैं।

8. **रक्षा विनिर्माण और तकनीक सम्मेलन:**

- **राष्ट्रीय रक्षा उद्योग सम्मेलन (NDIC):** 19-20 मार्च 2026 को नई दिल्ली में आयोजित इस सम्मेलन का मुख्य विषय 'उन्नत विनिर्माण प्रौद्योगिकी' था। इसका उद्देश्य MSMEs और स्टार्टअप्स को रक्षा उत्पादन तंत्र से जोड़ना था।
- **पुस्तकें और फ्रेमवर्क लॉन्च:** इसी कार्यक्रम में रक्षा उत्पादन विभाग द्वारा 'SAMARTHYA 2026' और 'AI Maturity Assessment Model' जैसी 5 महत्वपूर्ण नीतियां और मार्गदर्शिकाएं जारी की गईं।

9. **अंतर्राष्ट्रीय रक्षा सहयोग और निर्यात:**

- **रूस और अमेरिका के साथ रक्षा सौदे:** भारत ने 27 मार्च 2026 को रूस के साथ Tunguska Air Defence Missile System और अमेरिका के साथ नौसेना के P8I टोही विमानों के रखरखाव के लिए ₹858 करोड़ के अनुबंध किए।
- **बढ़ता रक्षा निर्यात:** मार्च 2026 में समाप्त हुए वित्त वर्ष में भारत का रक्षा निर्यात ₹38,424 करोड़ ($4.1 बिलियन) के पार पहुंच गया, जो कि एक रिकॉर्ड वृद्धि है।

10. **'विजन 2047' का अनावरण:**

- 10 मार्च 2026 को रक्षा बलों को आधुनिक और एकीकृत बनाने के उद्देश्य से 'रक्षा बलों के लिए विजन 2047: भविष्य के लिए तैयार भारतीय सेना का रोडमैप' जारी किया गया।

11. **डीआरडीओ (DRDO) की प्रमुख उपलब्धियां:**

- **CEPTAM-11 परीक्षा:** DRDO ने सीनियर टेक्निकल असिस्टेंट और टेक्नीशियन (764 पद) के लिए 23 मार्च 2026 को परीक्षा आयोजित की।
- **चिकित्सा के क्षेत्र में विश्व रिकॉर्ड:** आर्मी अस्पताल ने 10 मार्च 2026 को दृष्टिबाधित (Glaucoma) के इलाज हेतु मोतियाबिंद के साथ पहली बार Hydrus Microstent के प्रत्यारोपण का विश्व-प्रथम सफल ऑपरेशन किया।

मार्च 2026 की प्रमुख वैज्ञानिक घटनाएँ

- **6 मार्च** – वैज्ञानिकों ने निकटवर्ती लाल बौने तारे GJ 887 के चारों ओर घूमने वाले सुपर-अर्थ ग्रह GJ 887 d की खोज की घोषणा की। यह ग्रह अपने तारे के रहने योग्य क्षेत्र में स्थित है और पृथ्वी से लगभग 10.7 प्रकाश-वर्ष दूर है। इसी दिन, ब्रिटेन के सर्जनों ने जिब्राल्टर में मौजूद एक मरीज पर लगभग 1,500 मील दूर से रोबोटिक तकनीक की सहायता से सफल शल्य चिकित्सा की।
- **9 मार्च** – एक नए अध्ययन में पाया गया कि हाल के वर्षों में वैश्विक तापमान वृद्धि की रफ्तार बढ़ी है। शोधकर्ताओं के अनुसार, यदि वर्तमान प्रवृत्ति जारी रहती है, तो वैश्विक तापमान वृद्धि 1.5°C की सीमा को 2030 से पहले ही पार कर सकती है।
- **10 मार्च** – एबरडीन खाड़ी में समुद्री पवन टरबाइनों के आसपास पक्षियों की गतिविधियों पर किए गए अध्ययन में कोई पुष्ट टकराव दर्ज नहीं हुआ। परिणामों से संकेत मिला कि पक्षी आमतौर पर टरबाइनों से बचने का व्यवहार प्रदर्शित करते हैं।

		• **11 मार्च** – दो स्वतंत्र अध्ययनों ने निष्कर्ष निकाला कि पृथ्वी की जलवायु को स्थिर बनाए रखने के लिए लंबे समय तक शुद्ध नकारात्मक उत्सर्जन आवश्यक होगा। इसी दिन खगोलविदों ने एक दूरस्थ तारा प्रणाली में दो ग्रहों के संभावित टकराव के संकेत भी प्रस्तुत किए। • **12 मार्च** – शोधकर्ताओं ने पहली बार लिथियम बैटरियों में बनने वाले डेंड्राइट्स के यांत्रिक गुणों का प्रत्यक्ष अध्ययन किया। इस शोध से बैटरियों में होने वाले शॉर्ट सर्किट और सुरक्षा संबंधी जोखिमों को बेहतर ढंग से समझने में मदद मिली। • **18 मार्च** – क्वांटम सूचना विज्ञान के क्षेत्र में उत्कृष्ट योगदान के लिए चार्ल्स एच. बेनेट और गिल्स ब्रासार्ड को 2025 का ट्यूरिंग पुरस्कार प्रदान किया गया। • **20 मार्च** – वैज्ञानिकों ने प्रयोगशाला में विकसित पहली कृत्रिम ग्रासनली तैयार करने में सफलता प्राप्त की। परीक्षणों से पता चला कि यह अंग सामान्य निगलने की क्षमता को बहाल कर सकता है और प्रतिरक्षा-दमनकारी दवाओं की आवश्यकता नहीं पड़ती। • **24 मार्च** – इतिहास में पहली बार एंटीमैटर कणों को सड़क मार्ग से सुरक्षित रूप से एक स्थान से दूसरे स्थान तक पहुँचाया गया। इसी दिन प्रकाशित एक दीर्घकालिक अध्ययन में पाया गया कि चूहों की लगातार क्लोनिंग कई पीढ़ियों के बाद आनुवंशिक क्षति के कारण सीमित हो जाती है। • **25 मार्च** – खगोलविदों ने 45 ऐसे निकटवर्ती एक्सोप्लैनेटों की सूची तैयार की जो जीवन की संभावना के दृष्टिकोण से सबसे उपयुक्त माने जाते हैं और भविष्य के अवलोकनों के लिए प्राथमिक लक्ष्य होंगे। • **27 मार्च** – ऑक्सफोर्ड विश्वविद्यालय के नेतृत्व में वैज्ञानिकों ने मधुमक्खियों के पोषण को बेहतर बनाने के लिए एक नई जैव-प्रौद्योगिकी विकसित की। संशोधित खमीर से प्राप्त पोषक तत्वों ने मधुमक्खी कॉलोनियों के विकास में उल्लेखनीय वृद्धि दिखाई। • **अंतरिक्ष विज्ञान सप्ताह 2026:** राष्ट्रीय अकादमियों द्वारा आयोजित इस महत्वपूर्ण सम्मेलन में नवीनतम ग्रहीय खोजों, खगोल भौतिकी और अंतरिक्ष अन्वेषण पर चर्चा करने के लिए विशेषज्ञ, शोधकर्ता और नीति निर्माता एकजुट हुए। • **विश्व जल दिवस:**22 मार्च **को विश्व स्तर पर मनाया जाने वाला** यह आयोजन मीठे पानी के संसाधनों के सतत प्रबंधन को बढ़ावा देने और वैश्विक जल संकटों के समाधान पर केंद्रित है। • **गुजरात साइंस सिटी में विज्ञान कार्निवल:**27 से 29 मार्च तक **आयोजित** इस आकर्षक सार्वजनिक उत्सव में अनुभवात्मक STEM गतिविधियाँ, लाइव प्रदर्शन और इंटरैक्टिव विज्ञान खोजें प्रस्तुत की गईं। • **राष्ट्रीय विज्ञान केंद्र के कार्यक्रम:** नई दिल्ली स्थित केंद्र ने कई शैक्षिक पहलों की मेजबानी की, जिनमें **25 मार्च**को शहर स्तरीय विज्ञान मेला और 28 और 29 मार्च **को नवाचार महोत्सव** शामिल हैं। • **भारत में जैव विज्ञान सम्मेलन:** पूरे महीने में कई विशिष्ट अनुसंधान बैठकें आयोजित की गईं, जैसे कि *आरएनए संशोधन और जीनोम विनियमन पर राष्ट्रीय सम्मेलन* (**25-26 मार्च**) और *18वीं युवा शोधकर्ता बैठक 2026* (**2-6 मार्च**)।

निष्कर्ष (Conclusion)

मार्च 2026 विज्ञान, प्रौद्योगिकी, रक्षा तथा अंतरिक्ष अनुसंधान के क्षेत्र में उल्लेखनीय उपलब्धियों और महत्वपूर्ण घटनाओं का साक्षी रहा। पूर्ण चंद्र ग्रहण, वर्म मून तथा मार्च विषुव जैसी खगोलीय घटनाओं ने खगोल विज्ञान के प्रति जनसामान्य और वैज्ञानिक समुदाय की रुचि को बढ़ावा दिया। जीवविज्ञान, चिकित्सा, भौतिकी तथा कण अनुसंधान के क्षेत्रों में हुई प्रगति ने वैज्ञानिक ज्ञान के विस्तार और नई संभावनाओं के विकास का मार्ग प्रशस्त किया। साथ ही, भारत ने रक्षा आधुनिकीकरण, स्वदेशी तकनीकी विकास, मिसाइल परीक्षणों तथा रिकॉर्ड रक्षा निर्यात के माध्यम से अपनी रणनीतिक और तकनीकी क्षमता को और अधिक सुदृढ़ किया। विभिन्न वैज्ञानिक सम्मेलनों, विज्ञान मेलों तथा जन-जागरूकता कार्यक्रमों ने अनुसंधान, नवाचार और वैज्ञानिक दृष्टिकोण को प्रोत्साहित किया। समग्र रूप से, मार्च 2026 की घटनाएँ यह दर्शाती हैं कि विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में निरंतर प्रगति मानव कल्याण, राष्ट्रीय विकास और वैश्विक सहयोग के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है। इसलिए अनुसंधान, नवाचार और वैज्ञानिक शिक्षा में सतत निवेश भविष्य की चुनौतियों का सामना करने और सतत विकास सुनिश्चित करने के लिए आवश्यक है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. http://www.seasky.org/astronomy/astronomy-calendar-2026.html
2. https://www.svbony.com/blog/astronomical-events-in-march-2026?srsltid=AfmBOooXoQXDXKLtVDbXB5kIQjckSYFAUvvcjqvV3IeU8outbrQUGMHB
3. https://en.wikipedia.org/wiki/2026_in_science
4. https://wsds.teriin.org/2026/
5. https://www.youtube.com/watch?v=MAFdj6B3GRY&t=19s
6. https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2237432&reg=48&lang=2
7. https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=2246125&reg=48&lang=2
8. https://ssbcrackexams.com/monthly-defence-current-affairs-march-2026/
9. https://www.ikigailaw.com/article/674/defence-dispatch---march-2026
10. https://srijandefence.gov.in/CMM/AboutTheEvent.aspx
11. https://en.wikipedia.org/wiki/2026_in_science
12. https://drdo.gov.in/drdo/sites/default/files/drdo_news/NPC12March2026.pdf
13. https://www.drishtiias.com/images/pdf/Saraansh%20March%202026%201.pdf
14. https://www.vedantu.com/blog/celebrating-world-water-day

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.8

रामन के जर्मन सम्बन्ध

देवेंद्र नाथ त्रिपाठी
नेशनल पी० जी० कालेज बड़हलगंज गोरखपुर
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- dntripathi.gkp@gmail.com

आलेख प्राप्त: २७ जून २०२६; स्वीकृत: २६ जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ जून २०२६

सारांश

सर सी0वी0रामन का जर्मनी के साथ एक जटिल और महत्वपूर्ण सम्बन्ध था, जिसमें प्रारंभिक बौद्धिक प्रभाव और वैज्ञानिक सहयोग से लेकर पेशेवर मतभेदों और नाजी शासन से भाग रहे जर्मन वैज्ञानिकों का समर्थन करना शामिल था। अपने कैरियर के आरम्भ में रामन जर्मन विज्ञान से बहुत प्रभावित थे। जर्मन भौतिक विज्ञानी हरमन वॉन हेल्महोल्ट्ज और उनकी पुस्तक **'द सेन्शेसन ऑफ टोन'** का उनपर बहुत गहरा प्रभाव था, जिसने ध्वनिकी और संगीत वाद्य यंत्रों के भौतिकी के क्षेत्र में रमन के प्रारंभिक शोध को आकार दिया। रामन जर्मन भाषा के पारंगत थे और अपने पूरे कैरियर के दौरान जर्मन वैज्ञानिकों के साथ संवाद करते रहे। संक्षेप में, जर्मनी के साथ रामन का सम्बन्ध उसकी वैज्ञानिक परम्परा के प्रति प्रशंसा, सक्रिय सहयोग, जर्मन वैज्ञानिकों के लिए मानवीय समर्थन और कठोर अकादमिक मतभेदों का मिश्रण था।

सूचक शब्द : ऑप्टिक्स, अधिस्वर, स्पेक्ट्रोस्कोपी, स्पेक्ट्रम, संनादी

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.8

Raman's Relationship with Germany

Devendra Nath Tripathi
National P.G. College, Barhalganj, Gorakhpur
Corresponding Author Email*: dntripathi.gkp@gmail.com

Received on: 27 June 2026; Accepted: 29 June 2026
Published Online First on: 29 June 2026

ABSTRACT

C. V. Raman's relationship with Germany was complex and significant. It encompassed early intellectual influence and scientific collaboration, as well as professional disagreements and his support for German scientists fleeing the Nazi regime. Early in his career, Raman was deeply influenced by German science. The German physicist Hermann von Helmholtz and his book **On the Sensations of Tone** had a profound impact on him, shaping Raman's early research in acoustics and the physics of musical instruments. Raman was fluent in the German language and maintained communication with German scientists throughout his career. In short, Raman's relationship with Germany was a blend of admiration for its scientific tradition, active collaboration, humanitarian support for German scientists, and strong academic disagreements.

Keywords: Optics, Overtone, Spectroscopy, Spectrum, Harmonic

लेखक परिचय

देवेंद्र नाथ त्रिपाठी

डॉ. डी० एन० त्रिपाठी का जन्म सिद्धार्थनगर जनपद के बांसी तहसील में ०१.०२.१९५९ को हुआ। डॉ. त्रिपाठी की उच्च शिक्षा गोरखपुर विश्वविद्यालय में पूर्ण हुई। वर्ष १९७७ में एम०एस०सी० (भौतिकी) व वर्ष १९८१ में पीएच. डी. उपाधि प्राप्त की। शोध कार्य के लिए CSIR की जूनियर व सीनियर रिसर्च फेलोशिप प्राप्त की। १९ जुलाई १९८१ से बुद्ध स्नातकोत्तर महाविद्यालय कुशीनगर में असिस्टैन्ट प्रोफेसर के रूप में कार्य प्रारम्भ। १९ जुलाई १९९४ से एसोसिएट प्रोफेसर के रूप में नियुक्त हुए । १३ दिसम्बर २००५ तक यहां सेवा करने के पश्चात् डी० ए० वी० पी० जी० कालेज गोरखपुर में स्थानान्तरित हुए। उ०प्र० उच्चतर शिक्षा सेवा आयोग से चयनित होकर नेशनल पी. जी. कालेज बड़हलगंज गोरखपुर में अक्टूबर २०१० से प्राचार्य एवं प्रोफेसर के पद पर सेवा प्रदान किया एवं ३० जून २०१८ को सेवानिवृत्त हुए। अपने सेवा के प्रारंभिक वर्षों में विश्वविद्यालय अनुदान अयोग द्वारा अनुदानित चार शोध परियोजनाएं पूर्ण की। विजिटिंग एसोसिएट (यू० जी. सी० द्वारा अनुदानित) के रूप में तीन वर्षों तक विभिन्न विश्वविद्यालय/संस्थानों में शोध सम्बन्धी कार्य किया। कुल ८ शोध पत्र विभिन्न अन्तरराष्ट्रीय ख्याति प्राप्त जर्नल्स में प्रकाशित है। भौतिकी के सभी शाखाओं पर लिखित लगभग २५ पुस्तकें प्रकाशित की है। अनेक राष्ट्रीय व अंतर्राष्ट्रीय संगोष्ठीयों में सहभागिता किया है। आप हिंदी भाषा में विज्ञान लेखन एवं अध्ययन को बढ़ावा देने के लिए सतत प्रत्यनशील है।

रामन की पृष्ठभूमि:

चन्द्रशेखर वेंकटरामन भारत के महानतम् वैज्ञानिक थे। यहाँ हम उन परिस्थितियों की विवेचना करेगें जिसने उन्हें वैज्ञानिक अनुसंधान के लिए अपना सारा जीवन समर्पित कर देने के लिए प्रेरित किया। इसके आधार पर ही रामन की साधना को हम सही रूप में समझ पायेगें।

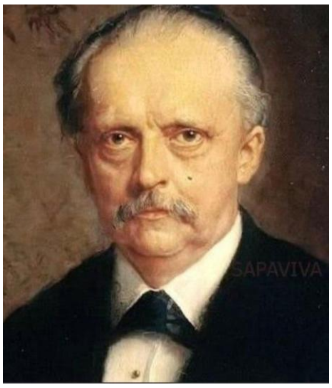
चन्द्रशेखर वेंकट रामन ने **''रामन प्रभाव''** की खोज की और इस महान खोज के लिए 1930 में उन्हें भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मिला। इसलिए रामन के प्रकाशिकी (ऑप्टिक्स) के क्षेत्र के अनुसंधान—कार्य की ही ज्यादा चर्चा होती है। मगर सच्चाई यह है कि रामन का आरंभिक खोजकार्य ध्वानिकी (एकाउस्टिक्स) से संबंधित है। उन्होने भारतीय संगीत और भारतीय वाद्यों का गहन अध्ययन किया था। वे स्वयं एक कुशल बीणा—वादक थे। उनकी पत्नी लोक सुन्दरी भी एक कुशल वीणा—वादक थीं। संगीत के प्रति रामन की यह रूझान पैतृक देन थी।

परंतु भारतीय संगीत—वाद्यों के प्रति उनका लगाव केवल रसास्वादन तक सीमित नहीं रहा। उन्होंने ध्वनिशास्त्र की दृष्टि से भारतीय वाद्यों का, विशेषकर तबला और मृदंग का, गहन अध्ययन किया और इनको बारे में नयी मान्यताएं प्रस्तुत की। यह सारा अनुसंधान—कार्य उन्होंने 1907 में सहायक महालेखापाल का सरकारी पद संभालने के बाद किया। रामन का यह अनुसंधान—कार्य इतना मौलिक और महत्वपूर्ण था कि इसी की महत्ता को पहचान कर सर आशुतोष मुखर्जी ने 1917 में उन्हें कलकत्ता विश्वविद्यालय के नए साइंस कॉलेज में भौतिकी का पालित प्राध्यापक बनने के लिए आमंत्रित किया था। ध्वनिशास्त्र के इसी अनुसंधान—कार्य के लिए लंदन की प्रख्यात रॉयल सोसायटी ने 1924 में रामन को अपना फैलो चुना था। रामन पहले विदेशी वैज्ञानिक थे जिनका **''संगीत—वाद्य और उनके स्वर''** विषयक एक लंबा लेख 1927 में जर्मनी के एक प्रख्यात विज्ञान—कोश **हांडवुख डेर फिजिक**[1] में प्रकाशित हुआ था। तात्पर्य यह कि, प्रकाशिकी के क्षेत्र में खोजकार्य करके **''रामन प्रभाव''** के लिए नोबेल पुरस्कार प्राप्त करने के पहले ही रामन संगीत व वाद्ययंत्रों से संबंधित अपने अनुसंधान—कार्य के लिए जागतिक ख्याति अर्जित कर चुके थे।

जर्मन विज्ञान का प्रभाव :

संगीत के प्रति रामन की प्रीति पैतृक थी, मगर इस क्षेत्र में मौलिक अनुसंधान कार्य और विज्ञान की सेवा के लिए अपना समपूर्ण, जीवन समर्पित कर देने की प्रेरणा रामन को कहाँ से मिली?

इस प्रेरणा का स्रोत था एक जर्मन ग्रंथ—सुर का संवेदन। अंग्रेजी में **संसेशन ऑफ टोन**[2] शीर्षक से अनूदित इस ग्रंथ की रचना उन्नीसवीं सदी के महान जर्मन वैज्ञानिक हेरमान वॉन हेल्महोल्ट्ज (1821—94) ने 1862 में की थी। रामन के ही शब्दों में पढ़िए कि हेल्महोल्ट्ज की इस कृति ने उन्हें विद्यार्थी जीवन में कितना अधिक प्रभावित किया था।



हेल्महोल्ट्जः भौतिक शास्त्री और शरीर विज्ञानी

मैं हेरमान वॉन हेल्महोल्ट्ज को आधुनिक जगत की सर्वश्रेष्ठ विभूति मानता हूँ। जब मैं उनके ज्ञान—भंडार की गहराई और उनकी वैज्ञानिक दृष्टि की स्पष्टता एवं गहनता पर गौर करता हूं, तो वे मुझे अन्य सभी वैज्ञानिकों से, यहां तक कि आइजेक न्यूटन से भी, श्रेष्ठ प्रतीत होते हैं। उन्हें ठीक ही उन्नीसवीं

सदी की महान प्रतिभा माना जाता है। यह मेरा सौभाग्य था कि जब मैं अभी कालेज का विद्यार्थी ही था कि मुझे उनकी कृति **सुर का संवेदन** का अंग्रेजी अनुवाद पढ़ने का मौका मिला (बहुत संभव है कि यह पुस्तक रामन के संगीत–प्रेमी पिता के संग्रह में मौजूद रही हो)। जैसा कि सर्वविदित है, हेल्महोल्ट्ज की यह सर्वश्रेष्ठ कृति थी। इसमें संगीत और संगीत–वाद्यों का किया गया विवेचन, न केवल ज्ञान की दृष्टि से गहन है, बल्कि भाषा की दृष्टि से भी सुस्पष्ट है। मैंने स्वयं यह पुस्तक प्राप्त की और बड़ी लगन से इसका अध्ययन किया।

''यदि मैं कहूं कि इस ग्रंथ ने मेरे बौद्धिक दृष्टिकोण को बेहद प्रभावित किया, तो यह अतिशयोक्ति नहीं है। इस ग्रंथ को पढ़कर मैं पहली बार समझ पाया कि वैज्ञानिक अनुसंधान वस्तुतः क्या होता है और इसे किस तरह करना चाहिए। इस ग्रंथ से मैंने कई प्रकार की वैज्ञानिक समस्याओं का भी चयन किया, जिन्होंने मुझे आगे कई सालों तक व्यस्त रखा।''

भारत पर लंबे समय तक अंग्रेजों का शासन रहा है और यूरोप के आधुनिक विज्ञान का परिचय हम प्रमुखतः अंग्रेजी के माध्यम से ही प्राप्त करते आ रहे हैं, इसलिए यह स्वाभाविक ही है कि अंग्रेजीभाषी वैज्ञानिकों के बारे में हम अपेक्षाकृत ज्यादा जानते हैं। यूरोप के गैर–अंग्रेजी वैज्ञानिकों के बारे में हमारी जानकारी प्रायः अधूरी ही रह जाती है। विज्ञान के हमारे कितने विद्यार्थियों और अध्यापकों को जर्मन वैज्ञानिक हेल्महोल्ट्ज के महान कृतित्व की जानकारी है?

बहुतों को शायद इतना ही पता होगा कि रेडियो–तरंगों के आविष्कारक जर्मन वैज्ञानिक हेनरिंक हट्र्स (1857–94) हेल्महोल्ट्ज के शिष्य थे। ऐसी स्थिति में रामन का हेल्महोल्ट्ज को न्यूटन से भी श्रेष्ठ वैज्ञानिक मानना अनेकों को अतिशयोक्तिपूर्ण भी लग सकता है।

मगर रामन के कथन में कोई अतिशयोक्ति नहीं है। पढ़िए हेल्महोल्ट्ज के समकालीन महान आंग्ल–गणितज्ञ विलियम किंगडोन क्लिफोर्ड (1845–79) द्वारा प्रस्तुत उनका मूल्यांकनः[3,4]

''हेल्महोल्ट्ज ने सर्वप्रथम शरीर विज्ञान का अध्ययन आरंभ किया। उन्होनें आंख और कान का विच्छेदन करके जानने का प्रयास किया कि ये अवयव किस प्रकार काम करते हैं और इनकी रचना ठीक किस प्रकार की है। परंतु जब उन्हें पता चला कि प्रकाश और ध्वनि के स्वरूप को समझे बिना आंख व कान की कार्यविधि को ठीक से समझ पाना असंभव है, तब उन्होंने भौतिकी का अध्ययन आरम्भ कर दिया। भौतिकी का अध्ययन आरम्भ करने के पहले ही वे इस सदी के सर्वश्रेष्ठ शरीरविज्ञानी माने गए थे। और, अब उन्हें इस सदी का सर्वश्रेष्ठ भौतिकवेत्ता माना जाता है। फिर उन्हें पता चला कि गणित की गहरी जानकारी के बिना भौतिकी को ठीक से समझ पाना असंभव है। इसलिए उन्होंने गणित का गहन अध्ययन किया। और अब उन्हें इस सदी का एक सर्वश्रेष्ठ गणितज्ञ माना जाता है।''

हेल्महोल्ट्ज उन्नीसवीं सदी के यूरोपीय विज्ञान के शलाका पुरुष थे। उनके प्रयासों से जर्मन विज्ञान ने यूरोप में जो उच्च हैसियत हासिल की थी वह दूसरे महायुद्ध के आरम्भ तक कायम रही। दृष्टि और श्रवण–क्रिया से संबंधित हेल्महोल्ट्ज की मौलिक गवेषणाओं को आज भी महत्वपूर्ण माना जाता है। रामन की युवावस्था में हेल्महोल्ट्ज का केवल **सुर का संवेदन** ग्रंथ ही अंग्रेजी अनुवाद में उपलब्ध था। उनके दूसरे ग्रंथ **दृष्टि की दैहिकी** (द फिजिऑलॉजी ऑफ विजन) का तब तक अंग्रेजी में अनुवाद नहीं हुआ था। उस समय उस ग्रंथ को न पढ़ पाने का रामन को बड़ा अफसोस रहा।

हेल्महोल्ट्ज की भौतिकी के क्षेत्र की गवेषणाएं भी बड़ी महत्वपूर्ण हैं। 1847 में एरहाल्टुंग डेर शीर्षक से हेल्महोल्ट्ज की एक पुस्तिका प्रकाशित हुई।[5] इसमें उन्होंने क्राफ्ट ऊर्जा की अविनाशिता के सिद्धांत का प्रतिपादन किया। भौतिकी के इस आधारभूत सिद्धांत के अनुसार, विश्व की समस्त ऊर्जा की मात्रा, अपने विविध रूपांतरणों में, स्थिर बनी रहती है। गणित के क्षेत्र की भी हेल्महोल्ट्ज की गवेषणाएं इतनी महत्वपूर्ण हैं कि लोबाचेवसकी, बोल्याई तथा रीमान की तरह उन्हें भी अ–यूक्लिडीय ज्यामिति का एक संस्थापक माना जाता है। हेल्महोल्ट्ज ने हेनरिंक हर्त्स जैसे अपने अनेक शिष्यों को विज्ञान के क्षेत्र में खोजकार्य करने के लिए प्रेरित किया। हेल्महोल्ट्ज और रामन के बीच का दिक्काल का अंतर द्रोणाचार्य और एकलव्य के संबंध के रूप में फलित हुआ।

यूरोप में संगीत और संगीत–वाद्यों के वैज्ञानिक अध्ययन की परंपरा बहुत पुरानी है। प्राचीन युनान के प्रायः प्रत्येक गणितज्ञ ने संगीत के बारे में भी पुस्तक लिखी थी।[6,7] महान गणितज्ञ आयलर (1707–83) ने तंतु–वाद्यों का गणितीय अध्ययन प्रस्तुत किया था। प्राचीन भारत के सांस्कृतिक जीवन में संगीत–वाद्यों ने महान भूमिका अदा की, मगर हमारे यहां इन वाद्यों के जो विवरण उपलब्ध हैं वे इनके प्रयोगों तक ही सीमित हैं। रामन को लगा कि भारतीय संगीत–वाद्यों की विशेषताओं को समझने के लिए इनका वैज्ञानिक दृष्टि से अध्ययन करना जरूरी है। रामन को यह प्रेरणा हेल्महोल्ट्ज की कृति से मिली।

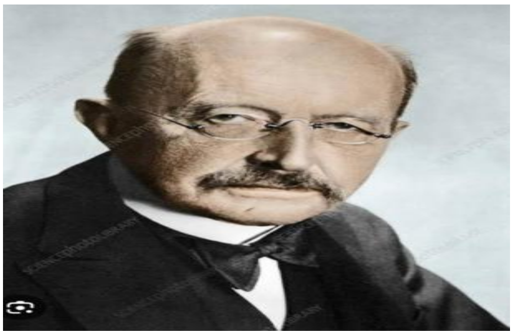
वैज्ञानिक आदान-प्रदान एवं मान्यता :

रामन ने ध्वनिकी का अपना अध्ययन तंत्री–वाद्यों से शुरू किया। उन्होंने वीणा और तानपुरा जैसे प्राचीन भारतीय तंत्री–वाद्यों में स्थापित किए जाने वाले वक्र मेरू (घोड़ी) की महत्ता को स्पष्ट किया। फिर उन्होंने वायलिन और सेलो – जैसे तंत्री–वाद्यों के बारे मे भी गणितीय सिद्धांत प्रस्तुत किए। वायलिन की ध्वनिकी से संबंधित रामन की गवेषणाएं इतनी महत्वपूर्ण हैं कि केवल इसी विषय पर अध्ययन के लिए समर्पित अमेरिका के काटगुट एकाउस्टिकल सोसायटी ने उन्हें अपना माननीय सदस्य चुन लिया था।

रामन के पहले यही समझा जाता था कि तबला और मृदंग – जैसे भारतीय आघात–वाद्य जो अधिस्वर पैदा करते हैं वे संनादी नहीं होते, इसलिए ये एक प्रकार से शोर करने वाले वाद्य हैं। मगर रामन ने सिद्ध कर दिखाया कि भारतीय तालवाद्य अपनी एक विशेषता के कारण, संगीतमय ध्वनि पैदा करने में समर्थ हैं। ये संगीतमय अधिस्वर तबला और मृदंग– जैसे वाद्यों के चमड़ों पर चिपकाई जाने वाली लेई के कारण पैदा होते हैं।

मैक्स वार्नः जर्मन वैज्ञानिक

रामन की ध्वनिकी के क्षेत्र की इन गवेषणाओं को बड़ी ख्याति मिली थी। इसलिए प्रसिद्ध जर्मन विज्ञान–कोश **हांडबुख डेर फिजिक** के लिए **''संगीत–वाद्य और उनके स्वर''** विषय पर एक विस्तृत लेख लिखने का उनसे अनुरोध किया गया था। उस समय (1927) रामन ध्वनिकी को छोड़कर प्रकाशिकी के अध्ययन में जुटे हुए थे। इसलिए उन्होंने सूर्योदय के पहले के घंटों में अतिरिक्त समय निकालकर कुछ दिनों में लेख तैयार कर लिया। रामन का अंग्रेजी में लिखा गया वह लेख जर्मन में अनुदित होकर प्रकाशित हुआ। रामन ने विद्यार्थी जीवन में हेल्महोल्ट्ज की एक कृति अंग्रेजी अनुवाद में पढ़ी थी। उस समय जर्मन न जानने के कारण हेल्महोल्ट्ज की दूसरी कृति को मूल में न पढ़ पाने का रामन को बड़ा अपफसोस रहा। मगर बाद में उन्होंने जर्मन भाषा सीख ली थी और वे जर्मन में लिखे गए शोध–निबंध मज़े से पढ़ लेते थे। जरूरत पड़ने पर वे जर्मन बोल भी लेते थे।



मैक्स प्लांक

एक बार का मज़ेदार किस्सा है। रामन पहली बार सोवियत संघ गए। वहां लेनिनग्राद में एक प्रोफ़ेसर ने उनके सन्मुख एक नए प्रयोग का प्रदर्शन किया। वह प्रोफ़ेसर अंग्रेजी नहीं जानता था, मगर जर्मन भाषा अच्छी तरह जानता था। प्रयोग को देखने के बाद रामन जर्मन में बोले : ''डास इस्ट सेहर शोन; आबेर इस्ट एस निरूट रोज्देस्तवेंस्की– एक्सपेरिमेंट?'' (यह अत्युत्तम है, मगर क्या यह रोज्देस्तवेंस्की प्रयोग नहीं है?)

रोज्देस्तवेंस्की

उस प्रोफ़ेसर का उत्तर थाः ''या, इश बिन रोज्देस्तवेंस्की'' (हां, मैं रोज़ेस्तवंस्की हूं।)

रामन का जर्मन वैज्ञानिकों के प्रति गहरा अनुराग था, तो जर्मन वैज्ञानिकों से भी उन्हें अपार स्नेह और सम्मान मिला। घटना 1928 की है। उस साल 28 फरवरी को **''रामन प्रभाव''** की खोज होने से कुछ दिन पहले की बात है। रामन को सूचना मिली कि प्रख्यात जर्मन भौतिक विद् आर्नोल्ड सोम्मेरफेल्ड (1868–1951) भारत से होते हुए पूर्व के रास्ते अमेरिका जा रहे हैं। रामन ने 11 फरवरी, 1928 को (''रामन–प्रभाव'' की खोज के केवल 17 दिन पहले) सोम्मेरफ़ेल्ड् को एक तार भेजकर कलकत्ता विश्वविद्यालय में भाषण देने के लिए आमंत्रित किया।

सोम्मेरफ़ेल्ड् बेंगलूर पहुंचकर बीमार पड़ गये, इसलिए अक्तूबर के आरम्भ में ही कलकत्ता पहुंच पाए। सोम्मेरफेल्ड पहले विदेशी वैज्ञानिक थे जिनके सामने रामन ने अपनी महान खोज का प्रदर्शन किया। उस समय यूरोप में कुछ ऐसे भी वैज्ञानिक थे जो ''रामन प्रभाव'' के परिणामों में विश्वास नहीं कर पा रहे थे। मगर सोम्मेरफ़ेल्ड रामन प्रभाव के प्रयोग को प्रत्यक्ष देख कर बड़े प्रभावित हुए। उन्होंने न केवल रामन की इस खोज की स्तुति की, बल्कि नोबेल पुरस्कार के लिए रामन के नाम का प्रस्ताव भी भेज दिया। बाद में और भी कुछ वैज्ञानिकों ने नोबेल पुरस्कार के लिए रामन का नाम प्रस्तावित किया।

उसी दौरान जर्मनी के दो और वैज्ञानिकों ने कलकत्ता की इंडियन एसोसिएशन की रामन की प्रयोगशाला को भेंट दी – 1928 में फोन कारमान ने और 1929 में हाइज़ेनवर्ग ने। वस्तुतः आरम्भ में **''रामन प्रभाव''** की खोज को सबसे ज्यादा सम्मान जर्मन वैज्ञानिकों से ही मिला। आइंस्टाइन ने 1953 में लिखा थाः ''रामन पहले वैज्ञानिक हैं जिन्होंने स्पष्ट पहचाना, और प्रमाणित किया कि द्रव्य के भीतर प्रकाश के फोटान कण की ऊर्जा में आंशिक परिवर्तन हो सकता है। मुझे आज भी स्मरण है कि इस खोज ने हम सब को बड़ा प्रभावित किया था।''

रामन के जर्मन संबंधों के संदर्भ में यह भी एक उल्लेखनीय घटना है कि उनकी महान खोज को ''रामन प्रभाव'' का नाम सर्वप्रथम एक जर्मन वैज्ञानिक ने दिया था। बर्लिन विश्वविद्यालय के प्रो. पीटर प्रिंगशइम ने अगस्त 1928 में (खोज के केवल पांच महीने बाद) जर्मन पत्रिका नातूरविस्सेनशाफ्टेन में रामन की खोज के बारे में एक विस्तृत निबंध प्रकाशित किया। उसमें उन्होंने लिखा कि ''रामन की खोज एक नितांत नई घटना है, इसलिए यह उचित है कि इसे **''रामन प्रभाव''** (डेर रामन इफेक्ट) का और इस से संबंधित नई रेखाओं के स्पेक्ट्रम को ''रामन स्पेक्ट्रम'' का नाम दिया जाए.........। निस्संदेह, रामन की इस खोज ने स्पेक्ट्रोस्कोपी के एक नितांत नए और विस्तृत क्षेत्र का उद्घाटन किया है।

प्रो. प्रिंगशइम के लेख के प्रकाशित होने के बाद ही वैज्ञानिक जगत में ''रामन प्रभाव'' का व्यापक रूप से स्वागत हुआ और इस खोज की विस्तृत चर्चा हुई।

जर्मन वैज्ञानिकों की भर्ती :

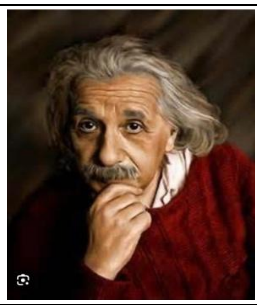
वे भारत पर अंग्रेजों के शासन के दिन थे। वैज्ञानिक जगत पर भी राजनीतिक परिस्थितियों का प्रभाव पड़ता ही है। उन दिनों की परिस्थितियों में भारतीय और जर्मन वैज्ञानिकों का एक–दूसरे के प्रति अधिक लगाव होना एक स्वाभाविक बात थी।

रामन 1933 में इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस के निदेशक नियुक्त होकर कलकत्ता छोड़कर बेंगलूर आए। उसी दौरान जर्मनी में हिटलर का शासन शुरू हुआ। नाज़ियों के अत्याचारों से बचने के लिए अनेक जर्मन वैज्ञानिक देश छोड़कर विदेशों में शरण लेने लगे। तब रामन ने सोचा कि उन में से कुछ श्रेष्ठ वैज्ञानिकों को बेंगलूर में बुलाना चाहिए। उस योजना के बारे में रामन ने अपने विचार व्यक्त किए हैं:

''वैज्ञानिक अनुसंधान के लिए भारतीय तरूणों का विदेश जाना मुझे पसंद नहीं था। क्योंकि, यदि उन्हें ऐसे विदेशी वातावरण में प्रशिक्षण मिलता है जो भारत में उपलब्ध नहीं है, तो फिर उनका प्रशिक्षण देश के लिए निरूपयोगी बन सकता है। परंतु अपना वतन छोड़ रहे वैज्ञानिक दूसरे देश में शरण मांग रहे हों, तो उन्हें स्थान व सुविधाएं प्रदान करके देश में एक बड़ा वैज्ञानिक आंदोलन खड़ा किया जा सकता है।''

इसी विचार से स्वदेश छोड़ रहे कुछ श्रेष्ठ वैज्ञानिकों को भारत में बुलाने की रामन ने एक योजना बनाई थी। सबसे पहले उन्होंने तरंग–यांत्रिकी के बुनियादी समीकरणों के आविष्कारक एरविन श्रोडिंगर (1887–1961) को पत्र लिखा। मगर रामन का पत्र मिलने के पहले ही वे डब्लिन विश्वविद्यालय का निमंत्रण स्वीकार कर चुके थे। उन्होंने भारत न आ सकने के लिए अफसोस जाहिर किया।

फ्राइबर्ग विश्वविद्यालय के वैज्ञानिक ग्यॉर्ग फोन हेवेसी ने रामन का निमंत्रण स्वीकार कर लिया। क्रिस्टल रसायन के विशेषज्ञ गोल्डश्मिड्ट ने भी रामन का प्रस्ताव स्वीकार कर लिया था। मगर आगे जाकर बेंगलूर में जो परिस्थितियां बनीं उनके कारण ये दोनों ही वैज्ञानिक भारत नहीं आ पाए।

			
हाइजेनबर्ग	**नील बोर**	**श्रोडिंगर**	**आइन्सटाइन**

वैज्ञानिक सहयोग एवं मतभेद :

मैक्स बोर्न (1882–1970), रामन का आमंत्रण स्वीकार कर अपनी पत्नी के साथ 1935 के अंतिम दिनों में बेंगलूर पहुंच भी गए। आरंभ में बोर्न को बेंगलूर के संस्थान में छः महीने तक व्याख्यान देने के लिए बुलाया गया था। बोर्न और उनकी पत्नी का भारत में मन भी रम गया था। तब रामन ने बोर्न से अनुरोध किया कि वे संस्थान में स्थायी पद स्वीकार कर लें। बोर्न मान गए। इस नियुक्ति का अनुमोदन करने के लिए कौंसिल की बैठक बुलाई गई। बैठक में रामन ने एक श्रेष्ठ वैज्ञानिक, शिक्षक और व्यक्ति के रूप में मैक्स बोर्न का परिचय दिया। तभी एक अनहोनी घटना घटी।

बैठक में उपस्थित एक अंग्रेज इंजीनियर ने, जिनका विज्ञान के क्षेत्र में कोई उल्लेखनीय योगदान नहीं था और केवल शासक–वर्ग का सदस्य होने के कारण संस्थान में हैसियत का पद पाया था, मैक्स बोर्न की निंदा की। उसने बोर्न को स्वदेश से भागा हुआ एक घटिया वैज्ञानिक बताया और कहा कि वे बंगलूर के इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस में पद पाने की योग्यता नहीं रखते।

जैसा कि स्वाभाविक था, मैक्स बोर्न इस अपमान को सहन नहीं कर पाए। वे भारत से वापस चले गए। मैक्स बोर्न के साथ किए गए बदसलूकी की जानकारी मिलने पर हेवेसी और गोल्डश्मिड्ट ने भी भारत आने का अपना इरादा बदल दिया। इस प्रकार रामन की योजना असफल हो गयी।

उपसंहार :

रामन की वह योजना देश के लिए बड़ी हितकर थी। उन्होंने योग्य वैज्ञानिकों को आमंत्रित किया था। यह इसी से स्पष्ट है कि बाद में हेवेसी और बोर्न ने नोबेल पुरस्कार प्राप्त किए।

रामन के प्रयासों से जो बात भारत में हो सकती थी वह अमेरिका में हुई। अमेरिका ने यूरोप के अनेक निर्वाचित वैज्ञानिकों को शरण दी, सुविधाएं प्रदान कीं। फलतः वहां विज्ञान के विकास का एक नया युग शुरू हुआ।

यदि रामन की योजनाओं और मान्यताओं को अंग्रेज तथा भारतीय प्रशासकों का भरपूर सहयोग मिला होता, तो आज हमें अमेरिका जैसे देशों में अपनी प्रतिभाओं के पलायन के दुखद दिन नहीं देखने पड़ते।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Musical Insturments and their tones, Chapter 8 of Volume 8 (Akustik) of the prestigious ‘Handbuch der Physik’ 1927
2. On the sensation of tone as a physiclogical basis for the theory of music (Original work published in 1863)’, translated by A.J. Ellis, Dover Publication 1875.
3. The philosophy of pure Sciences by Clifford W.K. edited by Leslie Stephen and Frederick Pollock London Macmillan & Co. 1879.
4. ‘On the facts which lie at the Foundation of Geometry’ translate by W.K. Chifford . Nature 3 (1870) 14-17.
5. ‘Musical Drums with harmonic overtones’ Nature 104, 500 (1920)
6. ‘The Indian Mucial Drums’ Proc mdran Acad of Sciences A1 179-188 (1934).
7. An attempt at a new theory of Music, exposed in all clearness according to the most well founded principles of harmony’ (1739) published by St. Petersburg Academy of Sciences

मार्च 2026 अंक

ई-विज्ञानम
e-Vigyanam

एक अंतर्विषयक मासिक विज्ञान पत्रिका

मुक्तज्ञानम पब्लिकेशन
एम्० आई० जी० -२७, गौतम विहार कॉलोनी, तारामंडल, गोरखपुर
उत्तर प्रदेश, भारत-२७३०१७
वेबसाइट: https://muktagyanam.com

द्वारा संचालित: श्रीमती जाह्नवी सिंह
ई-मेल: admin@muktagyanam.com