

Research Paper

Synthesis of Aluminum Hydroxide Nanoparticles and Nanostructures and Investigation of Its Synergistic Properties with Silver Nanoparticles in Wood Coating to Increase Anti-Fungal Properties and Flame Retardancy¹

Amir Hoshang Ramezani^{2*}, Zhaleh Ebrahimejad³ and Mojghan Adnan⁴

Received: 2024.12.01

Revised: 2025.02.09

Accepted: 2025.03.01

1. Introduction

Nanostructures have been used to alter or improve a material's surface of well-designed devices. The material used strongly affects the features of a nanostructure and its application area. Wood, known for its renewable nature and commendable mechanical characteristics, is a cost-effective resource with plentiful reserves. Its versatility finds application across diverse sectors, ranging from furniture and construction to high-tech industries. Apart from its traditional roles in furniture crafting and interior adornment, wood demonstrates potential in advanced technological domains. Centuries ago, ancient civilizations like the Romans and Egyptians employed alum and vinegar to diminish the combustibility of wood. The xylem of wood primarily consists of lignin, cellulose, and hemicellulose, rendering it susceptible to thermal degradation at moderate to high temperatures. This degradation releases substantial heat, smoke, and noxious fumes, thereby increasing the likelihood of fire outbreaks and posing significant risks to human safety. Many researchers opt to enhance the fire resistance of wood by incorporating flame retardants through conventional physical techniques. Additive flame retardants, particularly intumescent types, are widely employed for this purpose. However, the utilization of traditional carbon sources is often limited by their high hygroscopic nature and tendency to precipitate on matrix surfaces during processing. Moreover, with the increasing consumption of

¹ <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.49101.1437>

² Associate Professor, Physics Department, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) Email: Ramezani.1972@gmail.com

³ Assistant Professor, Physics Department, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: zhl.ebrahimi@gmail.com

⁴ Instructor, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: mozhganadnan@yahoo.com



petrochemical resources, traditional carbon sources derived mainly from petroleum-cracking products become both costlier and less sustainable. Wood finds widespread application across various industries such as construction, furniture making, shipbuilding, and more, owing to its organic nature, renewability, biodegradability, low-carbon footprint, and environmental benefits.

2. Methodology

The methodology employed for the fabrication of silver and aluminum-modified wood coatings involves a systematic approach. Initially, wood substrates are subjected to dual-layer coating processes. The first layer comprises a pure deposition of silver and aluminum hydroxide. Subsequently, variations in coating sequences are implemented: one sample receives a silver coating followed by aluminum hydroxide, exhibiting enhanced decay resistance. Conversely, another sample undergoes aluminum hydroxide coating followed by silver, showcasing superior antibacterial and antifungal properties attributed to silver. Lastly, a simultaneous deposition of silver and aluminum hydroxide in a single layer is executed, revealing combined properties of decay resistance and antibacterial efficacy, despite the absence of distinct XRD peaks. This methodology facilitates a comprehensive evaluation of coating configurations, elucidating the synergistic effects of silver and aluminum hydroxide on wood surfaces. The synthesis process begins with the preparation of aluminum hydroxide, where wood samples are immersed in a solution of deionized water containing aluminum nitrate hexahydrate and stearic trimethylammonium bromide as a surfactant. Sulfuric acid is then added to adjust the pH to eleven before subjecting the solution to autoclave treatment at 220 degrees Celsius for five hours.

3. Results and Discussion

Image from SEM showcases silver nanoparticles coated on wood surfaces, measuring approximately 200 nanometers, with individual particle sizes ranging between 40 to 50 nanometers. The image reveals uniformly distributed small-sized silver particles, along with the wood surface featuring carvings and rough areas surrounding the nanoparticles. X-ray Diffraction (XRD) is an analytical method utilizing high-frequency X-rays to investigate and identify crystalline structures.

Thermogravimetric analysis (TGA) is an analytical method used to examine changes in the physical and chemical properties of materials as a function of temperature. In this analysis, the weight of the sample is monitored as the temperature increases from an initial temperature to a higher temperature. The weight curve in this analysis shows that the sample weight progressively decreases at different temperatures. At higher temperatures, this weight loss indicates the decomposition of compounds and chemical changes in the sample. These changes may be due to water loss, decomposition of organic materials, or conversion of materials into other forms.

The findings reveal that the diameter of the inhibition zone formed by *Klebsiella* bacteria surpasses that of the other bacterial strains. Subsequently, the diameter of the inhibition zone formed by *Pseudomonas* appears slightly

smaller than that of *Klebsiella*, while the *Staphylococcus* strain demonstrates the smallest inhibition zone. These outcomes likely stem from variations in the bacterial structures, properties, and their unique responses to the presence of silver. It is plausible that *Klebsiella* bacteria exhibit heightened susceptibility to silver, thereby yielding a larger inhibition zone compared to other bacterial strains. FTIR analysis, a valuable technique utilized for evaluating the chemical and structural properties of aluminum hydroxide, reveals distinctive peaks in the infrared spectrum. Specifically, the peak around 3300 cm^{-1} corresponds to the hydroxyl (-OH) bonds, while peaks in the range of 950 to 1100 cm^{-1} represent various carbon-oxygen single bonds, and those around 400 to 600 cm^{-1} indicate the metal-oxygen bond. The results obtained from FTIR analysis on aluminum hydroxide illustrate the presence of bands related to hydroxyl groups (OH-) and other active groups within its structure. Overall, FTIR analysis provides valuable insights into the chemical and structural characteristics of aluminum hydroxide.

The wood appears completely black and green (almost rotten), indicating likely fungal and bacterial growth. All samples have been incubated in conditions conducive to fungal and bacterial contamination with high moisture levels. The first sample utilizes pure silver, and the second pure aluminum, is applied to the wood. The third sample is initially coated with aluminum hydroxide, followed by silver coating, while the fourth sample follows the opposite process. In the last sample, aluminum nitrate and silver nitrate salts are simultaneously added to the solution, immersing the wood. While this method may not yield a uniform phase, it creates favorable antifungal and antibacterial properties.

4. Conclusion

In conclusion, the comprehensive analysis presented in this study highlights the diverse applications of various analytical techniques in assessing the properties of silver and aluminum hydroxide-coated wood surfaces. The SEM images provide valuable insights into the uniformity and distribution of nanoparticles on the wood surface. XRD analysis reveals the crystalline structure of the coated nanoparticles, further confirming their presence and characteristics. TGA analysis elucidates the thermal behavior of the samples, shedding light on the decomposition and stability of the coatings at different temperatures. The antibacterial tests demonstrate the effectiveness of the coatings against different bacterial strains, with varying degrees of inhibition observed. Moreover, FTIR spectroscopy offers valuable chemical insights into the composition and structure of aluminum hydroxide. Overall, these findings contribute to a deeper understanding of the functional properties and potential applications of silver and aluminum hydroxide-coated wood surfaces in various fields, including antimicrobial coatings and environmental remediation.

Keywords: *Nanoparticle Synthesis, Aluminum Hydroxide, Silver, Fire-retardant Properties, Antifungal Properties.*



References

- [1] Boverhof D. R., Bramante C. M., Butala J. H., Clancy S. F., Lafranconi M., West J., Gordon S. C., Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations, *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 73,137–1502015 <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.001>. Epub 2015 Jun 23.
- [2] Capon A, Rolfe M, Gillespie J, Smith W., Is the risk from nanomaterials perceived as different from the risk of 'chemicals' by the Australian public?, *Public Health Res Pract.* 15;26(2):2621618, 2016, <https://doi.org/10.17061/phrp2621618>.
- [3] Carbon-Based Nanomaterials. Essentials in Nanoscience and Nanotechnology, Kumar N., Kumbhat S., John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, U.S.A., 189–236, 2016, <https://doi.org/10.1002/9781119096122>.
- [4] Gokarna A., Parize R., Kadiri H., Nomenyo K., Patriarche G., Miska P., Lerondel G., Highly crystalline urchin-like structures made of ultra-thin zinc oxide nanowires, *RSC Adv.* 4, 47234–47239, 2014, <https://doi.org/10.1039/C4RA06327A>.
- [5] Tiwari J. N., Tiwari R. N., Kim K. S., Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices, *Prog. Mater. Sci.* 57, 724–803, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.08.003>
- [6] Hochella M. F. Jr., Spencer M. G., Jones K. L., Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild?, *Environ. Sci.: Nano* 2, 114–119, 2015, <https://doi.org/10.1039/C4EN00145A>.
- [7] Sharma V. K., Filip J., Zboril R., Varma R. S., Natural inorganic nanoparticles – formation, fate, and toxicity in the environment, *Chem. Soc. Rev.* 44, 8410–8423, 2015, <https://doi.org/10.1039/C5CS00236B>.
- [8] Walter P., Welcomme E., Hallégot P., Zaluzec N. J., Deeb C., Castaing J., Veyssi re P., Br niaux R., Lévêque J.-L., Tsoucaris G., Early use of PbS nanotechnology for an ancient hair dyeing formula, *Nano Lett.* 6, 2215–2219, 2006, <https://doi.org/10.1021/nl061493u>.
- [9] Al-Dabbous A. N., Kumar P., Evaluation of elemental concentrations of uranium, thorium and potassium in top soils from Kuwait, *Environ. Sci. Technol.* 48, 13634–136432014, <https://doi.org/10.1021/es505175u>
- [10] Durán N., Seabra A. B., de Lima R., Cytotoxicity and genotoxicity of biogenically synthesized silver nanoparticles. In *Nanotoxicology*, Springer: Berlin, Germany, 245–2632014, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8993-1_11.
- [11] Taylor D. A., Dust in the wind, *Environ. Health Perspect.* 110, A80, 2002, <https://doi.org/10.1289/ehp.110-a8>.
- [12] The nanoscience and technology of renewable biomaterials; Lucia, L. A.; Rojas, O., John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, U.S.A., 2009, <https://doi.org/10.1002/9781444307474.ch3>.

- [13] Mohammadinejad R., Karimi S., Iravani S., Varma R. S., Plant-derived nanostructures: types and applications, *Green Chem.* 18, 20–52, 2016, <https://doi.org/10.1039/C5GC01403D>.
- [14] Gorb E., Haas K., Henrich A., Enders S., Barbakadze N., Gorb S. J., Contribution of pitcher fragrance and fluid viscosity to high prey diversity in a *Nepenthes* carnivorous plant from borneo, *Exp. Biol.* 208, 4651–4662, 2005, <https://doi.org/10.1007/s12038-008-0028-5>.
- [15] Bargel H., Koch K., Cerman Z., Neinhuis C., Structure-function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes - a smart material?, *Funct. Plant Biol.* 33, 893–910, 2006, <https://doi.org/10.1071/FP06139>.
- [16] Plant cuticles: an integrated functional approach, Barnes J., Cardoso Velhena J., BIOS Scientific Publishers Ltd.: Oxford, United Kingdom, 1996.
- [17] Pfündel E. E., Agati G., Cerovic G. Z., Optical properties of plant surfaces. In *Biology of the plant cuticle*; Reiderer, M.; Mueller, C., Eds.; Blackwell Publishing: Oxford, United Kingdom, 216–239, 2008.
- [18] Barthlott W., Neinhuis C., *Planta*, Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, 202, 1–8, 1997, <https://doi.org/10.1007/s004250050096>.
- [19] Sastry M., Ahmad A., Khan M. I., Kumar R., Biosynthesis of metal nanoparticles using fungi and actinomycete, *Curr. Sci.* 85, 162–170, 2003, <http://www.ias.ac.in/curresci/jul252003/162.pdf>.
- [20] Mukherjee P., Senapati S., Mandal D., Ahmad A., Khan M. I., Kumar R., Sastry M., Extracellular synthesis of gold nanoparticles by the fungus *Fusarium oxysporum*, *ChemBioChem*, 3, 461–463, 2002, [https://doi.org/10.1002/1439-7633\(20020503\)3:5](https://doi.org/10.1002/1439-7633(20020503)3:5).
- [21] Ahmad A., Mukherjee P., Senapati S., Mandal D., Khan M. I., Kumar R., Sastry M., Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*, *Colloids Surf.* 28, 313–318B, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00174-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00174-1).
- [22] Ahmad A., Mukherjee P., Mandal D., Senapati S., Khan M. I., Kumar R., Sastry M. J., Biosurfactants as green stabilizer for the biological synthesis of nanoparticles, *Taylor & Francis Critical Reviews in Biotechnology*, 31(4):354-64, 2011 <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.539971>.
- [23] Bansal V., Rautaray D., Ahmad A., Sastry M. J., Biosynthesis of zirconiananoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*, *Mater. Chem.* 14, 3303–3305, 2004, <https://doi.org/10.1039/B407904C>.
- [24] Dameron C. T., Reese R. N., Mehra R. K., Kortan A. R., Carroll P. J., Steigerwald M. L., Brus L. E., Winge D. R., Biosynthesis of cadmium sulphide quantum semiconductor crystallites, *Int. J. Biol. Chem.* 263, 12832–12835, 1988, <https://doi.org/10.1038/338596a0>.
- [25] Williams P., Keshavarz-Moore E., Dunnill P., Efficient production of microbially synthesized cadmium sulfide quantum semiconductor crystallites, *Enzyme and Microbial Technology*, 19(3), 208-213, 1996, [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(95\)00233-2](https://doi.org/10.1016/0141-0229(95)00233-2).



- [26] Kowshik M., Vogel W., Urban J., Kulkarni S. K., Paknikar K. M., Microbial Synthesis of Semiconductor PbS Nanocrystallites, *Adv. Mater.* 14, 815–818, 2002, [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020605\)14:11](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020605)14:11).
- [27] Kowshik M., Ashtaputre S., Kharrazi S., Vogel W., Urban J., Kulkarni S. K., Paknikar K. M., Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3, *Nanotechnology*, 14, 95–100, 2002, DOI 10.1088/0957-4484/14/1/321.
- [28] Fricker M., Ågren J., Segerman B., Knutsson R., Ehling-Schulz M., Evaluation of Bacillus strains as model systems for the work on Bacillus anthracis spores, *Int. J. Food Microbiol.* 145, S129–S136, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.036>.
- [29] Lee S., Shin J. H., Choi, M. Y., Watching the growth of aluminum hydroxide nanoparticles from aluminum nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation in aqueous surfactant solution, *Journal of nanoparticle research*, 15, 1-8. 2013, <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1473-0>.
- [30] Lozhkomoiev A. S., Kazantsev S. O., Glazkova E. A., Bakina O. V., Kondranova A. M., Svarovskaya N. V., et.al., Synthesis, characterization and properties of porous micro/nanostructures obtained by oxidizing aluminum nanoparticles with water in the presence of glass fibers, *Materials Research Express*, 5(11), 115011. 2018, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadce6>.
- [31] Liu X., Niu, C., Zhen X., Wang J., Su, X, Novel approach for synthesis of boehmite nanostructures and their conversion to aluminum oxide nanostructures for remove Congo red, *Journal of colloid and interface science*, 452, 116-125, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.04.037>.
- [32] Sui R., Lo J. M., Lavery C. B., Deering C. E., Wynnyk K. G., Chou N., Marriott R. A., Sol-Gel-Derived 2D Nanostructures of Aluminum Hydroxide Acetate: Toward the Understanding of Nanostructure Formation, *The Journal of Physical Chemistry C*, 122(9), 5141-5150, 2018, <https://doi.org/10.1021/ACS.JPCC.7B12490>.
- [33] Park Y. K., Tadd E. H., Zubris M., Tannenbaum R., Size-controlled synthesis of alumina nanoparticles from aluminum alkoxides, *Materials Research Bulletin*, 40(9), 1506-1512, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2005.04.031>.
- [34] Kazantsev S. O., Lozhkomoiev A. S., Glazkova E. A., Gotman I., Gutmanas E. Y., Lerner M. I., Psakhie, S. G., Preparation of aluminum hydroxide and oxide nanostructures with controllable morphology by wet oxidation of AlN/Al nanoparticles. *Materials Research Bulletin*, 104, 97-103. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.04.011>.
- [35] Lozhkomoiev A. S., Glazkova E. A., Kazantsev S. O., Gorbikov I. A., Bakina, O. V., Svarovskaya, N. V., et.al., Formation of micro/nanostructured AlOOH hollow spheres from aluminum nanoparticles. *Nanotechnologies in Russia*, 10, 858-864. 2015, <https://doi.org/10.1134/S1995078015060075>.
- [36] Chen B., Wang J. X., Wang D., Zeng X. F., Clarke S. M., Chen J. F., Synthesis of transparent dispersions of aluminium hydroxide

- nanoparticles, *Nanotechnology*, 29(30), 305605, 2018, <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aac371>.
- [38] Jian H., et.al., Research Progress on the Improvement of Flame Retardancy, Hydrophobicity, and Antibacterial Properties of Wood Surfaces, *Polymers* 15, 951, 2023, <https://doi.org/10.3390/polym15040951>.
- [39] Lee Y. X., et.al, Flame-retardant coatings for wooden structures, *Progress in Organic Coatings* 198, 108903, 2025, [10.1016/j.porgcoat.2024.108903](https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108903).
- [40] Tabassum N., Khan F., Jeong G.J., Jo D.M, Kim Y.M., Silver nanoparticles synthesized from *Pseudomonas aeruginosa* pyoverdine: Antibiofilm and antivirulence agents, *Biofilm* 7, 100192, 2024, [https://10.1016/j.bioflm.2024.100192](https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2024.100192).



سنتز نانوذرات و نانو ساختارهای آلومینیم هیدروکسید و بررسی خواص هم افزایی آن با نانوذرات نقره، در پوشش دهی چوب با هدف افزایش خاصیت ضد قارچی و ماندگاری بیشتر^۱

امیر هوشنگ رضانی^۲، ژاله ابراهیمی نژاد^۳ و مژگان عدنان^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا

سال پانزدهم، پیاپی ۴۰، بهار ۱۴۰۴

صص ۹۶ - ۱۲۰

چکیده:

در تحقیق حاضر، بررسی می‌شود که چگونه سنتز نانوذرات و نانو ساختارهای آلومینوم هیدروکسید و نقره، به عنوان پوشش‌هایی بر روی سطح چوب، می‌تواند خواص ضد قارچی و ماندگاری بیشتر آن را افزایش دهد. برای سنتز، از روش ماکروویو استفاده شده است و سپس خواص پوشش‌های حاصل، از جمله خواص ضدباکتریایی و ضدآتش‌سوزی، با استفاده از تحلیل‌های *SEM*، *XRD*، *TGA* و آزمون‌های آتش‌سوزی *UL-94* و ضریب حداقل اکسیژن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پوشش‌های دولایه با نقره و آلومینوم هیدروکسید، به ترتیب، خواص ضد قارچی و ماندگاری بیشتر بهتری را نسبت به پوشش‌های تک لایه دارند. همچنین، در آخرین نمونه که از هر دو نمک آلومینوم نیترات و نقره نیترات استفاده شده است، همگرایی بین خواص ضد قارچی و ماندگاری بیشتر به خوبی مشاهده شده است.

واژگان کلیدی: سنتز نانوذرات، آلومینوم هیدروکسید، نقره، ماندگاری بیشتر، خواص ضد قارچی.

^۱ <https://doi.org/10.22051/ijap.2025.49101.1437>

^۲ دانشیار، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). Email: Ramezani.1972@gmail.com

^۳ استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران. Email: zhl.ebrahimi@gmail.com

^۴ مربی، گروه فیزیک، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. Email: mozhganadnan@yahoo.com



۱. مقدمه

در حوزه فناوری نانو، سنتز نانوذرات و نانو ساختارها به عنوان یکی از مباحث مهم و پرطرفدار مورد توجه قرار گرفته است. نانومواد به دلیل ساختارهای خاص و خواص منحصر به فرد در مقیاس نانومتری، توجه بسیاری را به خود جلب کرده و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرند [۱-۱۰]. آتش سوزی جنگل ها رویدادهایی با منشأ طبیعی هستند که گزارش شده اند مقادیر زیادی نانوذرات را تولید می کنند که به طور قابل توجهی بر کیفیت هوای جهان تأثیر می گذارد. به طور مشابه، حمل و نقل، عملیات صنعتی و سوزاندن زغال چوب برخی از فعالیت های انسانی است که منجر به پیدایش ^۱NPs مصنوعی می شود. تنها حدود ۱۰ درصد از ذرات معلق در هوا به طور کلی در اتمسفر توسط فعالیت های انسانی تولید می شود، در حالی که آئروسول های تولید شده به طور طبیعی ۹۰ درصد از آئروسول های جوی را تشکیل می دهند [۱۱]. چوب از الیاف طبیعی ساخته شده است که به عنوان کامپوزیت های زیستی سلسله مراتبی سلولی در نظر گرفته می شود. الیاف طبیعی ترکیبی از فیبرهای سلولزی در سطح نانو هستند. ساده ترین شکل فیبرهای سلولزی به اندازه نانومتر، ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر طول دارند و شامل بخش های کریستالی و آمورف هستند. استحکام منحصر به فرد و خواص عملکرد فوق العاده الیاف طبیعی مختلف مانند چوب به ساختار سلسله مراتبی اولیه آنها با اجزای نانوفیبریلار نسبت داده می شود [۱۲]. جداسازی نانو سلولز از منابع طبیعی از طریق فناوری نانو امکان پذیر است که نیازمند روش های ترکیبی از جمله فرآیندهای مکانیکی، شیمیایی و غیره است. نانوالیاف سلولزی حاصل می توانند مورفولوژی های متمایزی مانند NPS میله مانند یا شبکه درهم تنیده (نانوالیاف) داشته باشند [۱۳]. سطوح گیاهی، به ویژه برگها، حاوی نانو ساختارهایی هستند که برای اهداف متعددی مانند لغزش حشرات [۱۴]، پایداری مکانیکی [۱۵]، افزایش نور مرئی و انعکاس مضر UV و جذب تشعشع به ترتیب [۱۶، ۱۷]، استفاده می شود. خاصیت معروف نانو ساختاری در گیاهان، آبگریز بودن در برگ های نیلوفر آبی است که به خود تمیز شوندگی و مرطوب شدن فوق العاده برگ ها کمک می کند [۱۸]. مواد چوبی از جمله موادی هستند که در صنایع ساختمانی و مبلمان سازی به طور گسترده استفاده می شوند. با این حال، مقاومت آنها در برابر آفت های زیستی، از جمله قارچ ها و میکروارگانیزم ها، یکی از مسائلی است که مورد توجه قرار گرفته است [۱۹-۲۳].

¹ Nano Particle



در حوزه علوم مواد و نانوتکنولوژی، به دنبال ارتقاء و بهبود خواص مختلف مواد برای کاربردهای مختلف، توجه بسیاری شده است. یکی از رویکردهای جذاب در این زمینه، سنتز و استفاده از نانوذرات و نانو ساختارها برای بهبود خواص مواد می باشد. بخصوص، ترکیباتی همچون آلومینیم هیدروکسید به دلیل خواص منحصر به فرد خود، از جمله موادی هستند که جهت بهبود خواص مختلف مواد مورد استفاده قرار می گیرند. در این میان، یکی از کاربردهای مهم این ترکیبات، در زمینه پوشش دهی سطوح مختلف، به خصوص سطوح چوبی، به منظور بهبود خواص آن ها می باشد [۲۴ - ۲۸]. در این راستا، افزودن نانوذرات دیگری همچون نقره، که خواص ضد میکروبی و ضد قارچی قوی دارد، می تواند بهبودی چشمگیری در خواص پوشش دهی چوبی ایجاد نماید به منظور بهبود خواص حفاظتی چوب و جلوگیری از سوختگی و تخریب آن، استفاده از پوشش های حاوی نانوذرات به عنوان مواد ضد قارچی و ماندگاری بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۹ - ۳۳]. یکی از نانوذراتی که به عنوان پایه ای برای ساخت نانو مواد دیگر استفاده می شود، آلومینیم هیدروکسید $Al(OH)_3$ است [۳۴ - ۴۰]. در این مطالعه، تمرکز بر روی استفاده از نانوذرات نقره (Ag) و آلومینیم هیدروکسید برای بهبود خواص پوشش های چوب است. در بخش دوم، مواد و روش آزمایشگاهی توضیح داده شده است. بحث و تحلیل نتایج در فصل سوم آمده است و نتایج کلی در بخش چهارم جمع بندی شده اند.

۲. مواد و روش آزمایشگاهی

در این تحقیق، یک روش ساده و سازگار با محیط زیست برای تهیه نانو ساختارهای آلومینیم اکسی هیدروکسید و تری هیدروکسید با شکل قابل کنترل توسط اکسیداسیون مرطوب نانوذرات ترکیبی AlN/Al ارائه شده است. نانوذرات AlN/Al مورد استفاده در این تحقیق به وسیله انفجار الکتریکی یک سیم آلومینیم در جوی نیتروژن تولید شده اند. با استفاده از تکنیک های مختلفی از جمله پراش پرتو ایکس (XRD)^۱ میکروسکوپی الکترونی روبشی، تجزیه و تحلیل ترمو گرانیتری^۲ (TGA) و تکنیک جذب-واجذب نیتروژن، نانو ساختارهای به دست آمده مشخصه سازی شده اند. در این پژوهش، با توجه به اهمیت موضوع، سنتز نانوذرات و نانو ساختارهای آلومینیم هیدروکسید به عنوان پایه اصلی پوشش دهی چوبی و همچنین سنتز نانوذرات نقره به منظور بهبود خواص ضد قارچی و ماندگاری بیشتر این پوشش ها را به روش ماکروویو مورد بررسی و ارزیابی قرار می دهیم.

^۱ X-ray Diffraction

^۲ Thermogravimetric Analysis



این مطالعه به دنبال بررسی خواص هم افزایی این دو نوع نانوذرات در پوشش دهی چوبی برای افزایش مقاومت در برابر قارچ و ماندگاری بیشتر می باشد.

یک نمونه شکل از پلاستیک با طول ۱۲۰ میلی متر و عرض ۱۳ میلی متر و بنا به کاربرد مورد نظر ضخامت های ۰/۸، ۱/۶ و ۳/۲ میلی متر تهیه می شود. نمونه به صورت عمودی قرار می گیرد و از بالا نگه داشته می شود. تعدادی پنبه و پارچه جراحی در ۳۰۰ میلیمتری زیر نمونه قرار می گیرد تا قطره های اشتعال پذیر پلاستیک که پنبه را می سوزاند را شناسایی کند. یک چراغ بونزن (ارتفاع: ۱۹ میلیمتر) برای سوزاندن نمونه استفاده می شود، که این سوزاندن برای دو مرتبه و هر مرتبه ۱۰ ثانیه صورت می گیرد. بعد از هر اعمال، زمان سوختن اندازه گیری می شود. موادی را که در زمان کمتر از ۱۰ ثانیه بعد از هر اعمال شعله خاموش می شود در دسته V-0 طبقه بندی می شود. متوسط زمان سوختن برای پنج نمونه (اعمال ۱۰ بار شعله) نباید از ۵ ثانیه بیشتر شود و هیچ گونه قطرات سوختنی نباید دیده شود. در دسته V-1 موادی قرار دارند که بیشینه زمان سوختن آن ها کمتر از ۵۰ ثانیه است و متوسط زمان سوختن برای ۵ نمونه کمتر از ۲۵ ثانیه است هیچ گونه قطرات سوختنی نباید مشاهده شود. دسته V-2 شرایط و زمان ها شبیه به V-1 است با این تفاوت که قطرات آتشگیر پنبه نیز وجود دارد. در این آزمایش، چوب به عنوان سطح پایه برای پوشش دهی و اعمال نانوذرات استفاده شده است (شکل ۱ و ۲).

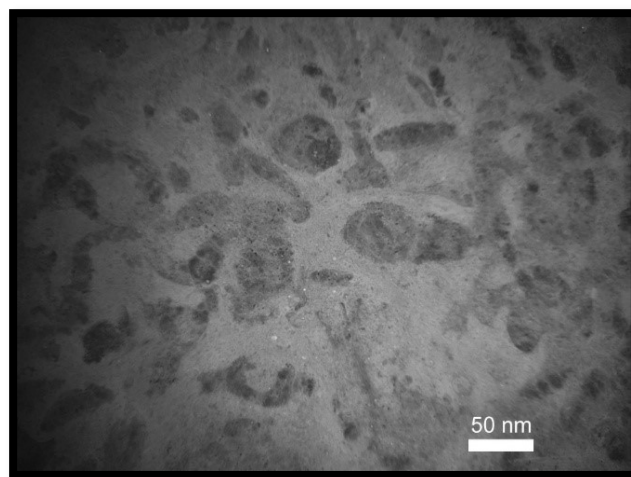


Fig. 1 Silver nanoparticles on wood.

شکل ۱. تصویر tem نانوذرات بر روی چوب است که از آن یک برش نازک داده شده است.



Fig. 2 Silver nanoparticles on wood.

شکل ۲. نانوذرات نقره بر روی چوب.

ابتدا، نمونه چوب را درون ۵۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه قرار می دهیم. به این محلول، دو گرم آلومینیم نیترات شش آبه اضافه می کنیم. سپس، دو گرم از ستیل تری متیل آمونیوم بر مید را به عنوان عامل پوشاننده اضافه می کنیم. مقداری از سود سود آور یک مولار به عنوان رسوب گیرنده نیز به محلول اضافه می شود. این محلول تا رسیدن به 11pH اسیدی مورد اضافه قرار می گیرد. سپس، محلول به داخل اتوکلاو منتقل می شود. اتوکلاو به دمای 220°C درجه سانتی گراد رسانده می شود. محلول در دمای گفته شده، به مدت پنج ساعت در اتوکلاو نگهداری می شود تا فرآیند سنتز کامل شود. شکل ۳، نقره‌ی تازه سنتز شده و شکل ۴، نانوذرات نقره را نشان می دهد که با گذشت زمان تیره شده اند.



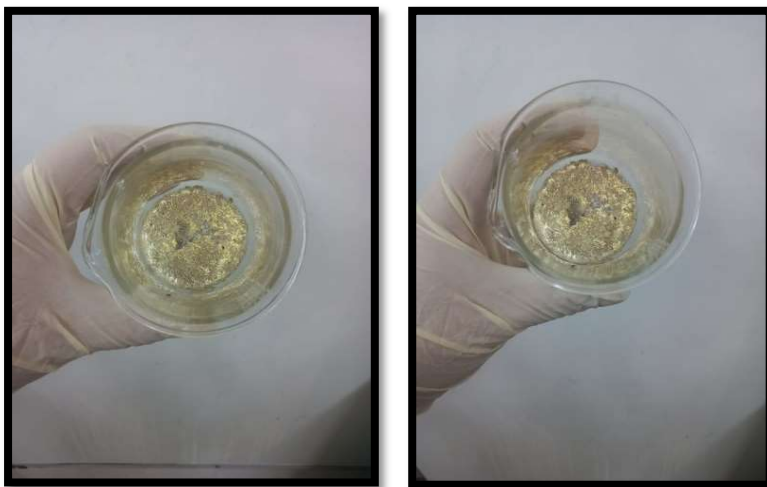


Fig. 3 Freshly synthesized silver nanoparticles

شکل ۳. نقره تازه سنتز شده.



Fig. 4 Silver nanoparticles that darken due to the passage of time (Right).

شکل ۴. نانوذرات نقره که با گذشت زمان تیره می شوند.

در ادامه، مراحل سنتز آلومینیم هیدروکسید بر روی نقره انجام می شود (شکل ۵). این شامل تهیه محلول آلومینیم هیدروکسید، پوشش دادن بر روی نقره، خشک کردن، و سپس سنتز آلومینوم هیدروکسید بر روی نقره می شود. ابتدا، پوشش آلومینیم بر روی سطح چوب اعمال می شود و سپس

خشک می شود. سپس، مراحل سنتز نانوذرات نقره بر روی آلومینیم انجام می شود. این شامل تهیه محلول نقره، پوشش دادن بر روی آلومینیم، خشک کردن، و سپس سنتز نانوذرات نقره بر روی آلومینیم می شود.

در هر دو روش، پوشش دولایه ایجاد می شود که از لایه اول نقره و لایه دوم آلومینیم یا از لایه اول آلومینیم و لایه دوم نقره تشکیل شده است. این دو لایه می توانند بهبودهای مختلفی در خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی و ماندگاری بیشتر چوب ایجاد کنند. نمونه آخر با استفاده از حل نمک نقره نیترات و آلومینیم نیترات تهیه می شود. سپس به این محلول، همزمان پوشاننده و رسوب گیرنده اضافه می شود. در ادامه، نمونه تهیه شده با استفاده از شاهد انجام گرفته است.

در این روش، فرآیند سنتز به صورت همزمان انجام می شود و محصول نهایی به عنوان یک مخلوط ناخالص تهیه می شود که شامل هر دو پوشاننده و رسوب گیرنده است. این نمونه مخلوط برای بررسی و تحلیل با استفاده از شاهد مورد ارزیابی قرار می گیرد. این روش می تواند به عنوان یک روش ساده و کارآمد برای تهیه نمونه های دولایه با استفاده از نقره و آلومینیم برای پوشش دهی چوب استفاده شود.



Fig. 5 Synthetic aluminum hydroxide.

شکل ۵. مراحل سنتز آلومینیم هیدروکسید بر روی نقره.



۳. نتایج و بحث

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ SEM، می توان اندازه، شکل، و توزیع نانوذرات و نانو ساختارها را بر روی سطح نمونه‌ها مشاهده کرد.

XRD^۲ پراش پرتو ایکس برای تعیین ساختار کریستالی نمونه‌ها استفاده می‌شود. این روش اطلاعاتی را درباره‌ی جنس و اندازه کریستال‌های موجود در نمونه‌ها ارائه می‌دهد. با تجزیه الگوی پراش، می توان ترکیب فازهای موجود در نمونه‌ها را تشخیص داد.

تجزیه و تحلیل ترموگرافی^۳ TGA برای بررسی تغییرات وزنی نمونه‌ها به ازای تغییرات دما استفاده می‌شود. این روش به ما اطلاعاتی درباره تغییرات فیزیکی و شیمیایی مانند تجزیه و آهک شدن مواد را در طول تغییرات دما ارائه می‌دهد.

تست آنتی باکتریال برای ارزیابی خاصیت ضدباکتریایی نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این تست، میزان کشت باکتری‌ها روی نمونه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد تا خاصیت ضدباکتریایی نمونه‌ها مشخص شود.

تست آزمایشگاهی UL-94 برای ارزیابی میزان آتش گیری مواد پلاستیکی طراحی شده است. این تست قابلیت اشتعال و گسترش شعله مواد پلیمری را در معرض شعله کوچک اندازه گیری می‌کند. این تست برای استاندارد سازی در بیشتر کشورها پذیرفته شده است. پنج نوع دسته بندی برای این تست وجود دارد، اما در این جا فقط سه نوع از آنها که در بیشتر انتشارات علمی مورد استفاده قرار گرفته اند را توضیح می‌دهند. روش کار دستگاه به صورت زیر می باشد:

یکی از پر کاربرد ترین تست های آزمایشگاهی تکنیک ضریب حداقل اکسیژن می باشد. این تست بسیار ساده، دقیق و تکرار پذیر است. این تست اندازه گیری درصد حجمی اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن می باشد. نمونه پلیمری در یک نگهدارنده بصورت عمودی و شمع مانند شروع به سوختن می کند. اندازه نمونه در LOI زمانی که ماده ی مورد آزمایش پلاستیک‌های سخت می‌باشد معمولا نوارهای ۳ × ۶۵ × ۱۰۰ است. نمونه بصورت عمودی در یک محفظه شیشه‌ای قرار می‌گیرد و از پایین نگه داشته شده است. محفظه بطور پیوسته با مخلوط نیتروژن و اکسیژن پر می‌شود. شعله ای از چراغ بونزن از بالای نمونه اعمال شده تا سطح نمونه آتش بگیرد. اگر نمونه بعد از ۳۰ ثانیه آتش نگیرد، غلظت اکسیژن را افزایش می‌دهند. بطور ایده آل نمونه باید یک سوختن

¹ Scanning Electron Microscopy

² X-ray diffraction

³ Thermogravimetric Analysis

⁴ Limiting Oxygen Index



پایدار شمع مانند را نشان بدهد. اگر سوختن نمونه بیشتر از ۳ دقیقه بعد از برداشتن منبع آتشگیری ادامه پیدا کند و یا از نظر طولی بیشتر از ۵ سانتیمتر از نمونه مصرف شود باید یک نمونه جدید نصب گردد و تست در مقدار غلظت اکسیژن کمتر تکرار بشود. مقدار LOI، حداقل غلظت اکسیژن لازمی است که نمونه در کمتر از ۳ دقیقه خاموش بشود در حالی که از نظر طولی کمتر از ۵ سانتیمتر از طول نمونه مصرف شده باشد. هر چند شاید تست ضریب حداقل اکسیژن نمایشگر یک معیار حقیقی آتشگیری نباشد اما آن به خاطر اینکه مقادیر عددی به جای دسته بندی ها به ما می دهد یک ابزار آزمایشی خوب محسوب می شود. طیف سنجی فروسرخ تبدلی^۱ FTIR برای شناسایی گروه های عاملی و ارتباطات شیمیایی موجود در نمونه ها استفاده می شود. این روش می تواند به ما در درک ساختار شیمیایی نمونه ها و تغییراتی که در طول فرآیندهای مختلف رخ می دهند کمک کند.

۳-۱ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل ۶، میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) نشان دهنده نانوذرات نقره که بر روی سطح چوب پوشش داده شده است، با ابعاد ۲۰۰ نانومتر است. اندازه ذرات این نانوذرات بین ۴۰ تا ۵۰ نانومتر است. در این تصویر، می توان ذرات نقره با اندازه کوچک و یکنواخت را مشاهده کرد. در اطراف نانوذرات نقره، سطح چوب با خودکاری و نواحی ناهموار نیز قابل مشاهده است. از طریق افزایش بزرگنمایی تصویر در میکروسکوپ الکترون روبشی با مقدار بالا (SEM MAG: 135 kx)، این نانوذرات و ساختار سطحی چوب به دقت بیشتر مورد بررسی قرار می گیرند. فاصله بین نمونه و لنز میکروسکوپ الکترون (WD: 5.78 میلی متر) نیز مشخص شده است که به دقت تصویردهی و کیفیت تصویر کمک می کند.

¹ Fourier-transform infrared spectroscopy



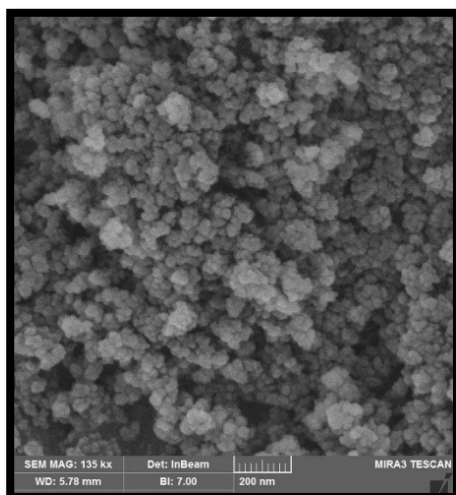


Fig. 6 Scanning electron microscope silver nanoparticles coated on wood

شکل ۶. تصویر میکروسکوپ الکترون رویشی نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب.

شکل ۷، میکروسکوپ الکترون رویشی (SEM) نشان دهنده نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید که بر روی سطح چوب پوشش داده شده است، با ابعاد ۲۰۰ نانومتر است. اندازه ذرات این نانوذرات ۶۰ نانومتر است. در تصویر، نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید با سطحی صاف و یکنواخت قابل مشاهده هستند. این ذرات با توجه به تفاوت در خواص و جذیت‌های سطحی، باعث ایجاد یک پوشش متفاوت با نانوذرات نقره می‌شوند. از طریق افزایش بزرگنمایی تصویر در میکروسکوپ الکترون رویشی با مقدار بالا (SEM MAG: 200 kx)، جزئیات کوچک‌تر و نواحی مختلف ساختار سطحی را می‌توان دقیق‌تر مشاهده کرد. همچنین، فاصله بین نمونه و لنز میکروسکوپ الکترون (WD: 5.78 میلی‌متر) نیز برای بهبود دقت تصویردهی و کیفیت تصویر ارائه شده است.

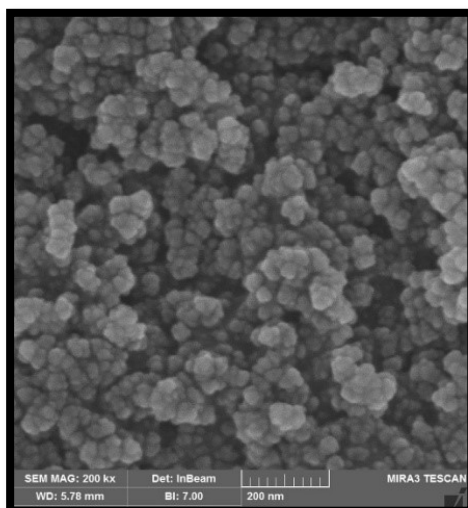


Fig. 7 Scanning electron microscope aluminum hydroxide nanoparticles coated on wood

شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی نانوذرات آلومینیم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب.

شکل ۸، میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) نشان دهنده پوشش دولایه با نقره و سپس آلومینیم بر روی سطح چوب است، با ابعاد ۲۰۰ نانومتر. در این تصویر، اندازه ذرات کمتر از نمونه‌های قبلی تخمین زده می‌شود. علاوه بر این، تصاویری که از ساختار بدون ترتیب یا توده‌مانند نانوذرات به دست می‌آید، قابل مشاهده است. در تصویر، لایه‌های دولایه با نقره و سپس آلومینیم به صورت یکنواخت و بدون عیوب قابل مشاهده هستند. این لایه‌ها به دقت ترکیبی از نانوذرات نقره و آلومینیم هیدروکسید را نشان می‌دهند که به نمونه اعمال شده است.

با افزایش بزرگمایی تصویر در میکروسکوپ الکترون روبشی با مقدار بالا (SEM MAG: 200 kX)، جزئیات کوچک‌تر و ساختار دقیق‌تر پوشش دولایه قابل مشاهده و بررسی می‌شود. همچنین، فاصله بین نمونه و لنز میکروسکوپ الکترون (WD: 5.90 میلی‌متر) نیز برای بهبود دقت تصویردهی و کیفیت تصویر ارائه شده است.



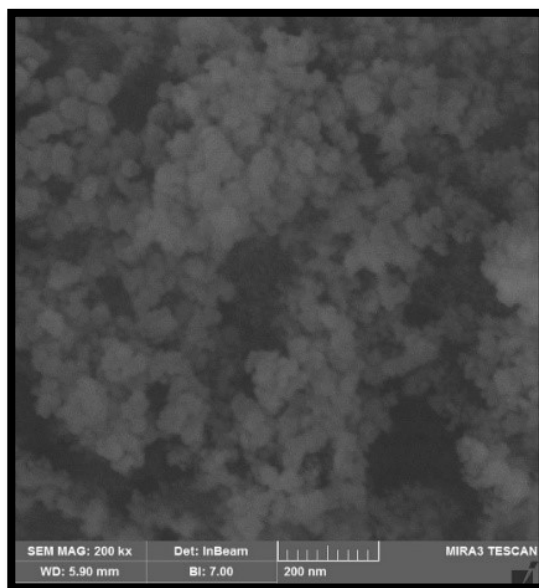


Fig. 8 Scanning electron microscope double coating with silver and then aluminum on wood.

شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی پوشش دولایه با نقره و سپس آلومینیم بر روی چوب.

۲-۳ پراش پرتو ایکس (XRD)

پراش پرتو ایکس (XRD) یک روش تجزیه و تحلیل است که از پرتوهای ایکس با فرکانس بالا برای بررسی و شناسایی ساختارهای بلوری استفاده می‌کند. در شکل ۹، قله‌هایی که در زوایای ۳۸ درجه، ۴۴ درجه، ۶۵ درجه و ۷۸ درجه در XRD ظاهر می‌شوند، نشان‌دهنده وجود ساختارهای بلوری خاص در نمونه نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب هستند. حضور نقاط اوج در زوایای 2θ با مقادیر ذکر شده به ترتیب با صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) مطابقت دارند.

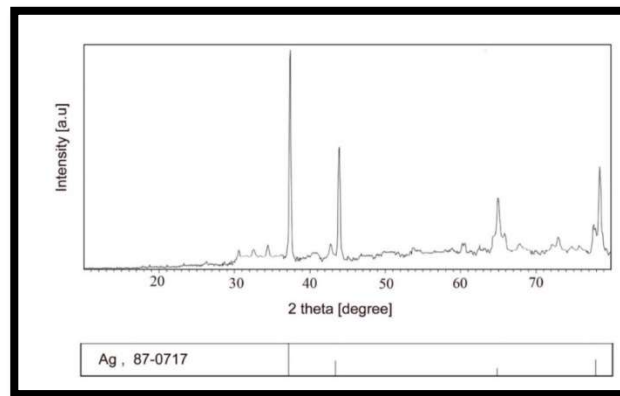


Fig. 9 X-ray diffraction of nanoparticles silver coated on wood

شکل ۹. پراش پرتو ایکس نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب.

در شکل ۱۰، ۵ که پراش پرتو ایکس نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب است، نقاط اوج در زوایای 2θ با مقادیر ۱۸، ۲۱، ۲۸، ۴۱ و ۵۴ به ترتیب با صفحات (۰۰۱)، (۱۰۰)، (۱۰۱)، (۱۱۱) و (۱۱۲) مطابقت دارند.

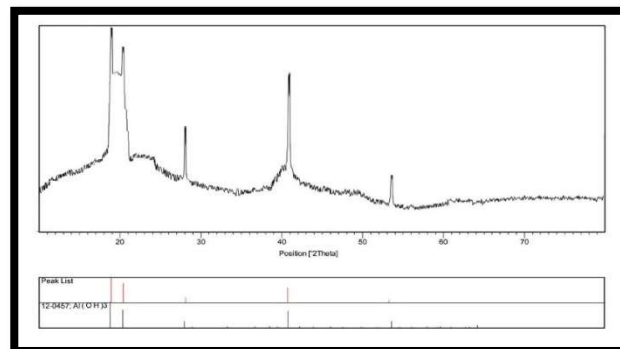


Fig. 10 X-ray diffraction of nanoparticles aluminum hydroxide coated on wood.

شکل ۱۰. پراش پرتو ایکس نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب.

۳-۳ تجزیه و تحلیل ترموگرافی (TGA)

تجزیه و تحلیل ترموگرافی یک روش آنالیزی است که برای بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد به ازای تغییر در دما استفاده می‌شود. در توضیحات زیر، تصویر تجزیه و تحلیل ترموگرافی نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب را توضیح خواهیم داد:



نمودار شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در دمای ۰ درجه، وزن نمونه ۱۰۰ است. این نشانگر وزن مواد موجود در نمونه در دمای اولیه قبل از اعمال حرارت است. در دمای ۳۰۰ درجه، وزن نمونه به ۹۳ کاهش یافته است. این کاهش وزن نشان‌دهنده احتمالاً انجام فرایندهایی مانند اتلاف آب، تجزیه ترکیبات آلی، یا تبدیل مواد به شکل‌های دیگر در دماهای بالاتر می‌باشد. در دمای ۴۰۰ درجه، وزن نمونه به ۳۰ کاهش یافته است. این کاهش وزن ممکن است به دلیل ادامه فرایندهای تجزیه و تغییر شیمیایی در نمونه باشد. در دمای ۶۰۰ درجه، وزن نمونه به ۳ کاهش یافته است. این مقدار وزن بسیار کم نشان می‌دهد که ممکن است در این دما، بخش عمده‌ای از مواد موجود در نمونه تجزیه شده و از دست رفته باشند، یا اینکه نمونه بسیار سبک شده است و فقط بخش کوچکی از آن باقی مانده است. با توجه به اطلاعات بالا، تحلیل ترموگرافی نشان می‌دهد که تغییرات مهم در وزن نمونه، به ویژه در دماهای بالاتر، به دلیل تغییرات شیمیایی و فیزیکی در نمونه ایجاد شده است که می‌تواند به عواملی مانند تجزیه مواد آلی، انتقال حرارت، یا تبدیل شیمیایی مواد در پوشش نقره داده شده روی چوب بازگردد.

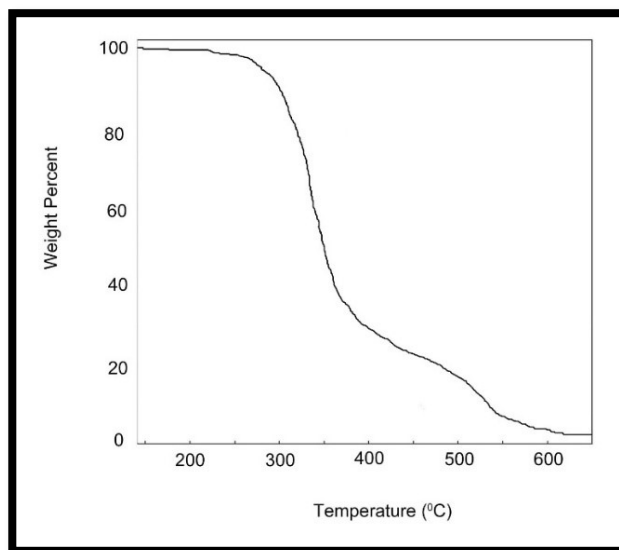


Fig. 11 Image of thermographic analysis of nanoparticles silver coated on wood

شکل ۱۱. تصویر تجزیه و تحلیل ترموگرافی نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب.

شکل ۱۲، تجزیه و تحلیل ترموگرافی نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب را نشان می دهد که مانند تصویر قبلی دمای ۰ درجه، وزن نمونه ۱۰۰ است. در دمای ۳۰۰ درجه وزن ۹۷، در دمای ۴۳۰ درجه وزن نمونه ۷۳ و در دمای ۵۰۰ درجه وزن نمونه ۶۸ می باشد.

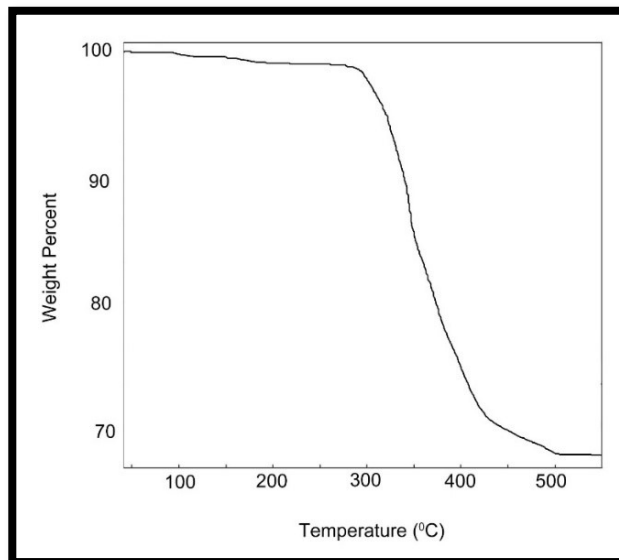


Fig. 12 Image of thermographic analysis of nanoparticles aluminum hydroxide coated on wood.

شکل ۱۲. تصویر تجزیه و تحلیل ترموگرافی نانوذرات آلومینیوم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب.

۳-۴ آزمایش های آنتی باکتریال

در آزمایش های آنتی باکتریال انجام شده، سه نوع باکتری شامل کلیفرم، سودوموناس و استافیلوکوک با استفاده از نمونه های حاوی نقره مورد بررسی قرار گرفته اند. باکتری های کلیفرم، سودوموناس و استافیلوکوک سه گونه مختلف باکتری هستند که هر کدام خصوصیات و ویژگی های منحصر به فردی دارند. در ادامه، به طور مختصر و مفصل به هر یک از این باکتری ها اشاره خواهیم شد.

باکتری کلیفرم اعضای از جنس باکتریایی کلسترییدیوم هستند که برخی از گونه های آنها می توانند عوامل بیماری زا در انسان و حیوانات باشند. این باکتری ها گرم مثبت هستند و برخی از گونه هاشان توانایی تولید عوامل سمی مانند توکسین های بوتولینوم را دارند. کلیفرم ها برای رشد به محیط بدون



اکسیژن نیاز دارند و می‌توانند در شرایطی مانند خاک و رودخانه‌ها یا در دستگاه گوارش حیوانات زنده باشند. باکتری‌های سودوموناس یک گروه گسترده از باکتری‌های محیطی هستند که می‌توانند در محیط‌های مختلفی از جمله خاک، آب، گیاهان، و حتی در دستگاه‌های زنده به ویژه در بیماری‌های التهابی مانند عفونت‌های مزمن ریه و عفونت‌های پوستی یا زخم‌ها حضور داشته باشند. این باکتری‌ها نیز گرم مثبت هستند و می‌توانند توکسین‌ها و آنزیم‌های مخرب تولید کنند. استافیلوکوک‌ها باکتری‌هایی گرم مثبت هستند که در محیط‌های مختلفی از جمله پوست و مخاط، دستگاه گوارش و حتی در محیط‌های بیمارستانی حضور دارند. برخی از گونه‌های استافیلوکوک می‌توانند باعث بیماری‌های جدی مانند عفونت‌های پوستی، آنتی‌بیوتیک‌های مقاوم، و حتی عفونت‌های خونی شوند. استافیلوکوک‌ها ممکن است مقاومت زیادی نسبت به ضدعفونی‌کننده‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها داشته باشند که این امر باعث می‌شود که مدیریت و درمان عفونت‌های ناشی از آنها چالشی باشد. در کل، هر یک از این باکتری‌ها خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فردی دارند که برای درک بهتر واکنش آنها در مواجهه با مواد آنتی‌باکتریال مختلف ضروری است. نتایج در شکل‌های ۱۳-۱۵ نشان داده شده‌اند. مطابق تست‌ها، اندازه هاله تشکیل شده توسط باکتری کلیرم از همه بزرگتر است. سپس، اندازه هاله تشکیل شده توسط سودوموناس کمی کوچک‌تر از کلیرم است و در انتها، اندازه هاله تشکیل شده توسط باکتری استافیلوکوک کمترین اندازه را دارد. این نتایج ممکن است به دلیل تفاوت‌های در ساختار و خصوصیات باکتری‌ها، و همچنین واکنش آنها به نقره، باشد. احتمالاً باکتری کلیرم بیشترین حساسیت به نقره را دارد و بنابراین هاله‌ای بزرگتر از دیگر باکتری‌ها ایجاد می‌کند، در حالی که باکتری استافیلوکوک کمترین حساسیت را نسبت به نقره از خود نشان می‌دهد و هاله‌ای کمتری ایجاد می‌کند.



Fig. 13 Antibacterial test of silver by bacteria Coliform
شکل ۱۳. تست آنتی باکتریال نقره توسط باکتری کلیفرم.



Fig. 14 Antibacterial test of silver by bacteria Pseudomonas
شکل ۱۴. تست آنتی باکتریال نقره توسط باکتری سودوموناس.





Fig. 15 Antibacterial test of silver by bacteria Coliform

شکل ۱۵. تست آنتی باکتریال نقره توسط باکتری کلیفرم.

۳-۵ آنالیز طیف سنجی مادون قرمز FTIR

آلومینیوم هیدروکسید به عنوان یک ترکیب شیمیایی با اهمیت در صنایع مختلف شناخته شده است. برای ارزیابی و تحلیل ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری آلومینیوم هیدروکسید، از تکنیک طیف‌سنجی مادون قرمز FTIR استفاده می‌شود. در این تکنیک، تأثیر توان امواج مادون قرمز از طریق نمونه اندازه‌گیری شده و طیفی از امواج ایجاد می‌شود که معمولاً به عنوان طیف FTIR شناخته می‌شود. پیک محدود ۳۳۰۰ مربوط به پیوند اکسیژن-هیدروژن، پیک در محدوده ۹۵۰ تا ۱۱۰۰ مربوط به انواع پیوندهای کربن-اکسیژن یگانه و پیوند ۴۰۰ تا ۶۰۰ برای پیوند فلز اکسیژن است.

شکل ۱۶، نتایج حاصل از آنالیز FTIR بر روی آلومینیوم هیدروکسید نشان می‌دهند که در طیف مادون قرمز، نوارهایی وجود دارند که مربوط به اتصالات هیدروکسیل (OH^-) و گروه‌های فعال دیگر در ساختار آلومینیوم هیدروکسید می‌باشند. به طور کلی، نتایج آنالیز FTIR به ما اطلاعات مفیدی درباره ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری آلومینیوم هیدروکسید ارائه می‌دهند. در نهایت، آنالیز FTIR یکی از روش‌های مهم و کارآمد برای بررسی و تحلیل ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری

مواد است که می‌تواند به ما در درک بهتری از ویژگی‌های آلومینیم هیدروکسید کمک کند و اطلاعات مفیدی برای طراحی و بهینه‌سازی مواد و محصولات فراهم کند.

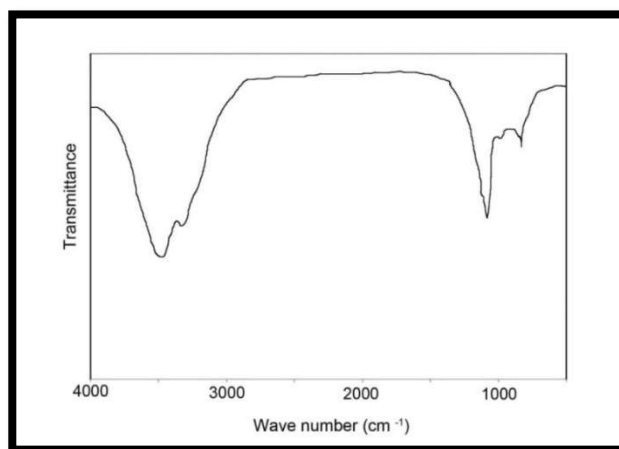


Fig. 16 Infrared spectroscopic analysis of aluminum hydroxide nanoparticles coated on wood.

شکل ۱۶. آنالیز طیف سنجی مادون قرمز نانوذرات آلومینیم هیدروکسید پوشش داده شده بر روی چوب.

۳-۶ تست چوب و قارچ

در شکل ۱۷، چوب کاملاً سیاه و سبز شده است (چوب یکی مانده به آخر) که احتمالاً نشان از رشد قارچ و باکتری دارد. تمام نمونه‌ها در انکوباتور در شرایط آلوده به قارچ و باکتری و با رطوبت زیاد قرار داده شده‌اند. نمونه اول از نقره خالص و نمونه دوم از آلومینیم خالص بر روی چوب استفاده شده است. نمونه سوم ابتدا با آلومینیم هیدروکسید پوشش داده شده و سپس با نقره پوشش داده شده است، در حالی که نمونه چهارم برعکس این روند است.





Fig. 17 Pictures related to wood and mushroom test.

شکل ۱۷. تصاویر مربوط به تست چوب و قارچ.

در نمونه آخر، همزمان نمک‌های آلومینیم نیترات و نقره نیترات به محلول اضافه شده و چوب به محلول غوطه‌ور شده است. این روش ممکن است فاز خوبی ایجاد نکند، اما خواص ضد قارچ و ضد باکتریایی مناسبی ایجاد می‌کند.

۷-۳ تست ضریب حد اقل اکسیژن LOI

یکی از پر کاربرد ترین تست های آزمایشگاهی تکنیک ضریب حد اقل اکسیژن می باشد. این تست بسیار ساده، دقیق و تکرار پذیر است. این تست اندازه گیری درصد حجمی اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن می باشد. نمونه پلیمری در یک نگهدارنده بصورت عمودی و شمع مانند شروع به سوختن می کند. اندازه نمونه در LOI زمانی که ماده ی مورد آزمایش پلاستیک‌های سخت می باشد معمولا نوارهای $3 \times 65 \times 100$ است. نمونه بصورت عمودی در یک محفظه شیشه‌ای قرار می گیرد و از پایین نگه داشته شده است. محفظه بطور پیوسته با مخلوط نیتروژن و اکسیژن پر می

شود. شعله ای از چراغ بونزن از بالای نمونه اعمال شده تا سطح نمونه آتش بگیرد. جدول (۱) مقادیر ضریب حداقل اکسیژن را در نمونه های چوب نشان می دهد.

اگر نمونه بعد از ۳۰ ثانیه آتش نگیرد، غلظت اکسیژن را افزایش می دهند. بطور ایده آل نمونه باید یک سوختن پایدار شمع مانند را نشان بدهد. اگر سوختن نمونه بیشتر از ۳ دقیقه بعد از برداشتن منبع آتشگیری ادامه پیدا کند و یا از نظر طولی بیشتر از ۵ سانتیمتر از نمونه مصرف شود باید یک نمونه جدید نصب گردد و تست در مقدار غلظت اکسیژن کمتر تکرار بشود. مقدار LOI، حداقل غلظت اکسیژن لازمی است که نمونه در کمتر از ۳ دقیقه خاموش بشود در حالی که از نظر طولی کمتر از ۵ سانتیمتر از طول نمونه مصرف شده باشد. هر چند شاید تست ضریب حداقل اکسیژن نمایشگر یک معیار حقیقی آتشگیری نباشد، اما به دلیل این که مقادیر عددی به جای دسته بندی ها به ما می دهد، ابزار آزمایشی خوبی محسوب می شود.

جدول ۱. مقادیر ضریب حداقل اکسیژن را در نمونه های چوب

Table 1. LOI coefficient values in wood samples

Sample	LOI
Wood	19
Wood-Ag	20
Wood-Al(OH) ₃	21
Wood-Al(OH) ₃ -Ag	22

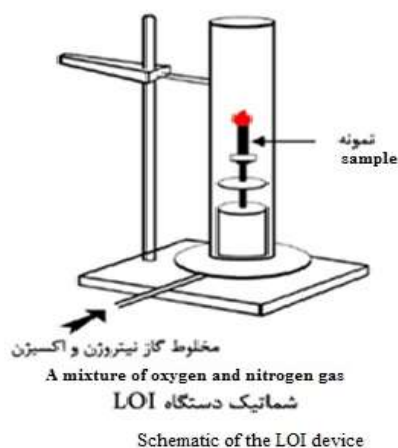


Fig. 18 Schematic of the LOI device

شکل ۱۸. شماتیک دستگاه ضریب حداقل اکسیژن



۴. نتیجه گیری

در این پژوهش، سنتز و بررسی خواص پوشش‌های نانوساختاری نقره و آلومینیم هیدروکسید بر روی سطح چوب به منظور افزایش خواص ضدباکتریایی و ماندگاری بیشتر^۱ مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از روش سنتز ماکروویو، تجزیه و تحلیل گرما-وزن سنجی، میکروسکوپ الکترونی و آزمون‌های آنتی‌باکتریال بر روی باکتری‌های مختلف از جمله کلیفرم، سودوموناس و استافیلوکوک، مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مقاله، به بررسی جزئیات سنتز، ویژگی‌های نانوساختاری، نتایج تحلیل‌های مختلف و استنتاجات نهایی از پژوهش ارائه خواهیم داد. این مقدمه به خواننده کمک می‌کند تا به طور خلاصه با اهداف و نتایج این پژوهش آشنا شود و بتواند از مطالب فصل نتیجه‌گیری بهره‌برد. با استفاده از روش ماکروویو، نانوذرات آلومینوم هیدروکسید با ابعاد ۴۰-۵۰ نانومتر و نانوذرات نقره با ابعاد ۲۰۰ نانومتر با میکروسکوپ الکترونی روشی سنتز شدند. تجزیه و تحلیل SEM نشان داد که نانوذرات نقره دارای ابعاد ۲۰۰ نانومتر با توزیع یکنواختی هستند، در حالی که نانوذرات آلومینوم هیدروکسید ابعادی بین ۴۰ تا ۵۰ نانومتر و با توزیع مناسبی دارند. آنالیز XRD نشان داد که نانوذرات آلومینوم هیدروکسید و نقره با ساختارهای بلوری مشخصی همراه هستند، با پیک‌هایی در زوایا ۳۸، ۴۴، ۶۵ و ۷۸ درجه. تحلیل TGA نشان داد که نانوذرات نقره پوشش داده شده بر روی چوب، در دمای ۶۰۰ درجه وزن خود را از ۱۰۰ به ۳ درصد کاهش داده است. نتایج آزمایشات آنتی‌باکتریال نشان داد که پوشش دولایه نقره و سپس آلومینوم بر روی چوب، مقاومت بیشتری در برابر باکتری‌های کلیفرم، سودوموناس و استافیلوکوک داشته است.

منابع

- [1] Boverhof D. R., Bramante C. M., Butala J. H., Clancy S. F., Lafranconi M., West J., Gordon S. C., Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations, Regul. Toxicol. Pharmacol. 73, 137-150 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.001>. Epub 2015 Jun 23.
- [2] Capon A, Rolfe M, Gillespie J, Smith W., Is the risk from nanomaterials perceived as different from the risk of 'chemicals' by the Australian public?, Public Health Res Pract. 15;26(2):2621618, 2016, <https://doi.org/10.17061/phrp2621618>.
- [3] Carbon-Based Nanomaterials. Essentials in Nanoscience and Nanotechnology, Kumar N., Kumbhat S., John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, U.S.A., 189-236, 2016, <https://doi.org/10.1002/9781119096122>.

¹ Resistance to Decay



- [4] Gokarna A., Parize R., Kadiri H., Nomenyo K., Patriarche G., Miska P., Lerondel G., Highly crystalline urchin-like structures made of ultra-thin zinc oxide nanowires, *RSC Adv.* 4, 47234–47239, 2014, <https://doi.org/10.1039/C4RA06327A>.
- [5] Tiwari J. N., Tiwari R. N., Kim K. S., Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices, *Prog. Mater. Sci.* 57, 724–803, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.08.003>
- [6] Hochella M. F. Jr., Spencer M. G., Jones K. L., Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild?, *Environ. Sci.: Nano* 2, 114–119, 2015, <https://doi.org/10.1039/C4EN00145A>.
- [7] Sharma V. K., Filip J., Zboril R., Varma R. S., Natural inorganic nanoparticles – formation, fate, and toxicity in the environment, *Chem. Soc. Rev.* 44, 8410–8423, 2015, <https://doi.org/10.1039/C5CS00236B>.
- [8] Walter P., Welcomme E., Hallégot P., Zaluzec N. J., Deeb C., Castaing J., Veysseyre P., Bréniaux R., Lévêque J.-L., Tsoucaris G., Early use of PbS nanotechnology for an ancient hair dyeing formula, *Nano Lett.* 6, 2215–2219, 2006, <https://doi.org/10.1021/nl061493u>.
- [9] Al-Dabbous A. N., Kumar P., Evaluation of elemental concentrations of uranium, thorium and potassium in top soils from Kuwait, *Environ. Sci. Technol.* 48, 13634–13643, 2014, <https://doi.org/10.1021/es505175u>
- [10] Durán N., Seabra A. B., de Lima R., Cytotoxicity and genotoxicity of biogenically synthesized silver nanoparticles. In *Nanotoxicology*, Springer: Berlin, Germany, 245–263, 2014, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8993-1_11.
- [11] Taylor D. A., Dust in the wind, *Environ. Health Perspect.* 110, A80, 2002, <https://doi.org/10.1289/ehp.110-a8>.
- [12] The nanoscience and technology of renewable biomaterials; Lucia, L. A.; Rojas, O., John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, U.S.A., 2009, <https://doi.org/10.1002/9781444307474.ch3>.
- [13] Mohammadinejad R., Karimi S., Irvani S., Varma R. S., Plant-derived nanostructures: types and applications, *Green Chem.* 18, 20–52, 2016, <https://doi.org/10.1039/C5GC01403D>.
- [14] Gorb E., Haas K., Henrich A., Enders S., Barbakadze N., Gorb S. J., Contribution of pitcher fragrance and fluid viscosity to high prey diversity in a *Nepenthes* carnivorous plant from borneo, *Exp. Biol.* 208, 4651–4662, 2005, <https://doi.org/10.1007/s12038-008-0028-5>.
- [15] Bargel H., Koch K., Cerman Z., Neinhuis C., Structure-function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes - a smart material?, *Funct. Plant Biol.* 33, 893–910, 2006, <https://doi.org/10.1071/FP06139>.
- [16] Plant cuticles: an integrated functional approach, Barnes J., Cardoso Velhena J., BIOS Scientific Publishers Ltd.: Oxford, United Kingdom, 1996.
- [17] Pfündel E. E., Agati G., Cerovic G. Z., Optical properties of plant surfaces. In *Biology of the plant cuticle*; Reiderer, M.; Mueller, C., Eds.; Blackwell Publishing: Oxford, United Kingdom, 216–239, 2008.
- [18] Barthlott W., Neinhuis C., Planta, Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, 202, 1–8, 1997, <https://doi.org/10.1007/s004250050096>.
- [19] Sastry M., Ahmad A., Khan M. I., Kumar R., Biosynthesis of metal nanoparticles using fungi and actinomycete, *Curr. Sci.* 85, 162–170, 2003, <http://www.ias.ac.in/currensci/jul252003/162.pdf>.
- [20] Mukherjee P., Senapati S., Mandal D., Ahmad A., Khan M. I., Kumar R., Sastry M., Extracellular synthesis of gold nanoparticles by the fungus *Fusarium oxysporum*, *ChemBioChem* , 3, 461–463, 2002, [https://doi.org/10.1002/1439-7633\(20020503\)3:5](https://doi.org/10.1002/1439-7633(20020503)3:5).



- [21] Ahmad A., Mukherjee P., Senapati S., Mandal D., Khan M. I., Kumar R., Sastry M., Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*, *Colloids Surf.* 28, 313–318B, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00174-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00174-1).
- [22] Ahmad A., Mukherjee P., Mandal D., Senapati S., Khan M. I., Kumar R., Sastry M. J., Biosurfactants as green stabilizer for the biological synthesis of nanoparticles, *Taylor & Francis Critical Reviews in Biotechnology*, 31(4):354-64, 2011 <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.539971>.
- [23] Bansal V., Rautaray D., Ahmad A., Sastry M. J., Biosynthesis of zirconiananoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*, *Mater. Chem.* 14, 3303–3305, 2004, <https://doi.org/10.1039/B407904C>.
- [24] Dameron C. T., Reese R. N., Mehra R. K., Kortan A. R., Carroll P. J., Steigerwald M. L., Brus L. E., Winge D. R., Biosynthesis of cadmium sulphide quantum semiconductor crystallites, *Int. J. Biol. Chem.* 263, 12832–12835, 1988, <https://doi.org/10.1038/338596a0>.
- [25] Williams P., Keshavarz-Moore E., Dunnill P., Efficient production of microbially synthesized cadmium sulfide quantum semiconductor crystallites, *Enzyme and Microbial Technology*, 19(3), 208-213, 1996, [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(95\)00233-2](https://doi.org/10.1016/0141-0229(95)00233-2).
- [26] Kowshik M., Vogel W., Urban J., Kulkarni S. K., Paknikar K. M., Microbial Synthesis of Semiconductor PbS Nanocrystallites, *Adv. Mater.* 14, 815–818, 2002, [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020605\)14:11](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020605)14:11).
- [27] Kowshik M., Ashtaputre S., Kharrazi S., Vogel W., Urban J., Kulkarni S. K., Paknikar K. M., Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3, *Nanotechnology*, 14, 95–100, 2002, DOI 10.1088/0957-4484/14/1/321.
- [28] Fricker M., Ågren J., Segerman B., Knutsson R., Ehling-Schulz M., Evaluation of *Bacillus* strains as model systems for the work on *Bacillus anthracis* spores, *Int. J. Food Microbiol.* 145, S129–S136, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.036>.
- [29] Lee S., Shin J. H., Choi, M. Y., Watching the growth of aluminum hydroxide nanoparticles from aluminum nanoparticles synthesized by pulsed laser ablation in aqueous surfactant solution, *Journal of nanoparticle research*, 15, 1-8. 2013, <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1473-0>.
- [30] Lozhkomoiev A. S., Kazantsev S. O., Glazkova E. A., Bakina O. V., Kondranova A. M., Svarovskaya N. V., et.al., Synthesis, characterization and properties of porous micro/nanostructures obtained by oxidizing aluminum nanoparticles with water in the presence of glass fibers, *Materials Research Express*, 5(11), 115011. 2018, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadce6>.
- [31] Liu X., Niu, C., Zhen X., Wang J., Su, X, Novel approach for synthesis of boehmite nanostructures and their conversion to aluminum oxide nanostructures for remove Congo red, *Journal of colloid and interface science*, 452, 116-125, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.04.037>.
- [32] Sui R., Lo J. M., Lavery C. B., Deering C. E., Wynnyk K. G., Chou N., Marriott R. A., Sol-Gel-Derived 2D Nanostructures of Aluminum Hydroxide Acetate: Toward the Understanding of Nanostructure Formation, *The Journal of Physical Chemistry C*, 122(9), 5141-5150, 2018, <https://doi.org/10.1021/ACS.JPCC.7B12490>.
- [33] Park Y. K., Tadd E. H., Zubris M., Tannenbaum R., Size-controlled synthesis of alumina nanoparticles from aluminum alkoxides, *Materials Research Bulletin*, 40(9), 1506-1512, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2005.04.031>.
- [34] Kazantsev S. O., Lozhkomoiev A. S., Glazkova E. A., Gotman I., Gutmanas E. Y., Lerner M. I., Psakhie, S. G., Preparation of aluminum hydroxide and oxide nanostructures with controllable morphology by wet oxidation of AlN/Al nanoparticles. *Materials*



- Research Bulletin, 104, 97-103. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.04.011>.
- [35] Lozhkomoev A. S., Glazkova E. A., Kazantsev S. O., Gorbikov I. A., Bakina, O. V., Svarovskaya, N. V., et.al., Formation of micro/nanostructured AlOOH hollow spheres from aluminum nanoparticles. *Nanotechnologies in Russia*, 10, 858-864. 2015, <https://doi.org/10.1134/S1995078015060075>.
- [36] Chen B., Wang J. X., Wang D., Zeng X. F., Clarke S. M., Chen J. F., Synthesis of transparent dispersions of aluminium hydroxide nanoparticles, *Nanotechnology*, 29(30), 305605, 2018, <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aac371>.
- [38] Jian H., et.al., Research Progress on the Improvement of Flame Retardancy, Hydrophobicity, and Antibacterial Properties of Wood Surfaces, *Polymers* 15, 951, 2023, <https://doi.org/10.3390/polym15040951>.
- [39] Lee Y. X., et.al, Flame-retardant coatings for wooden structures, *Progress in Organic Coatings* 198, 108903, 2025, 10.1016/j.porgcoat.2024.108903.
- [40] Tabassum N., Khan F., Jeong G.J., Jo D.M, Kim Y.M., Silver nanoparticles synthesized from *Pseudomonas aeruginosa* pyoverdine: Antibiofilm and antivirulence agents, *Biofilm* 7, 100192, 2024, 10.1016/j.bioflm.2024.100192.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

