



UDK: 537.622:537.311.3

Asliddin ABDURAKHMONOV,
Dept. of Physics, Jizzakh Polytechnic Institute, Acting Associate Professor
E-mail: asliddinabdurahmonov246@gmail.com

Based on the review by A. Mustafakulov, Professor Jizzakh Polytechnic Institute

PREPARATION OF MAGNETIC FLUIDS WITH VARIOUS CONCENTRATIONS AND STUDY OF THEIR ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES

Annotation

In this article, magnetic nanoparticles based on iron-group metals (Fe, Co, Ni) were synthesized using the chemical condensation method, and their size and crystal structure were investigated. The synthesized magnetic nanoparticles are in the form of metal ferrites - specifically FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , and NiFe_2O_4 - and their sizes were examined using transmission electron microscopy, revealing dimensions in the range of approximately 10 - 50 nm. The consistency of this size with X-ray diffraction results was experimentally verified. Using these synthesized magnetic nanoparticles, several magnetic fluids with low concentrations and water as the base liquid medium were prepared. In addition, the electrical conductivity and magnetic susceptibility of magnetic fluids prepared at room temperature were measured. The obtained results are of significant importance for enhancing the future application of magnetic fluids and for the development of new materials.

Keywords: Disperse system, magnetic nanoparticle, magnetic fluid, magnetization, ferrite, colloidal concentration, temperature.

TURLI KONSENTRATSIYALI MAGNIT SUYUQLIKLARNI TAYYORLASH VA ULARNING ELEKTR HAMDA MAGNIT XOSSALARINI O'RGANISH

Annotatsiya

Ushbu maqolada temir guruhi metallari Fe, Co, Ni asosida magnit nanozarralari kimyoviy kondensatsiya usulida sintez qilinib, bu magnit nanozarralarining o'lchamlari va kristall strukturasi o'rganilgan. Sintez qilingan magnit nanozarrachalar metall ferrit yani FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 va NiFe_2O_4 ko'rinishda bo'lib, bu magnit nanozarralarning o'lchamlarini transmission elektron mikroskop orqali o'rganildi va bu o'lcham taxminan 10-50 nm atrofida ekanligi aniqlandi. Bu o'lchamni esa rentgen diffraksiya olingan natijalarga mosligi eksperimental tarzda tekshirildi. Ushbu sintez qilingan magnit nanozarralar orqali, asosiy suyuq muhiti suv bo'lgan kichik konsentratsiyali bir nechta magnit suyuqliklar hosil qilingan. Shuningdek, xona temperaturasida hosil qilingan magnit magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi va magnit qabul qiluvchanligi o'lchandi. Olingan natijalar magnit suyuqliklarning kelajakdagi qo'llanilishini yaxshilash va yangi materiallar yaratishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: Dispers sistema, magnit nanozarra, magnit suyuqlik, magnitlanish, ferrit, konsentratsiya, temperatura.

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

Аннотация

В данном исследовании методом химической конденсации были синтезированы магнитные наночастицы на основе металлов группы железа (Fe, Co, Ni), а также изучены их размеры и кристаллическая структура. Синтезированные магнитные наночастицы представляли собой ферриты металлов - а именно FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 и NiFe_2O_4 ; их размеры были проанализированы методом просвечивающей электронной микроскопии, показавшим диапазон размеров примерно 10 - 50 нм.

Размер частиц был экспериментально проверен на соответствие результатам рентгеноструктурного анализа. На основе синтезированных магнитных наночастиц были приготовлены магнитные жидкости с низкой концентрацией частиц и водой в качестве жидкой дисперсионной среды. Кроме того, при комнатной температуре были измерены электропроводность и магнитная восприимчивость полученных магнитных жидкостей. Результаты работы важны для расширения сфер применения магнитных жидкостей в будущем и для разработки новых материалов.

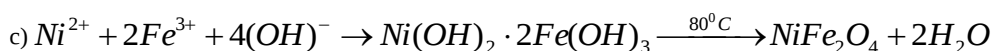
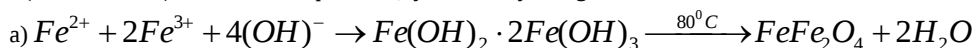
Ключевые слова: Дисперсная система, магнитная наночастица, магнитная жидкость, намагниченность, феррит, концентрация, температура.

Kirish. Magnit suyuqliklar zamonaviy materialshunoslikda va texnologiyada keng qo'llaniladigan, tashqi magnit maydoni ta'sirida o'zining fizik xossalarini o'zgartirish qobiliyatiga ega bo'lgan aqlli materiallar sinfiga kiradi. Bu suyuqliklar, asosan, magnit nano zarrachalar (asosiy qismi, yani yadrosi) va suyuqlik asosidan tashkil topgan bo'lib, ular o'zining magnit maydoni ta'sirida fizikaviy va kimyoviy xossalarini o'zgartirish qobiliyati bilan ajralib turadi. Magnit suyuqliklarda magnitlanadigan zarrachalar odatda nanometr darajasida yani 10-50 nm bo'lib, tashqi magnit maydoni ta'sirida o'zining xususiyatlarini o'zgartirishi tufayli, ilgari sanoat va ilmiy tadqiqotlarda ishlatilgan boshqa suyuqliklardan ajralib turadi. Magnit maydonlari ta'sirida o'zgaruvchan magnit xossalari, masalan, yopishqoqligi va elektr o'tkazuvchanligining boshqarilishi, yangi materiallarning ishlab chiqilishida katta yordam beradi. Magnit suyuqliklarni tayyorlash va ularning xossalarini o'rganish jarayoni zamonaviy materialshunoslik va nanotexnologiyalar uchun juda muhim hisoblanadi.

Biz bu tadqiqot ishida temir gurihi metallari asosidagi magnit nonazarralarini sintez qilish va ularning o'lchami, kimyoviy tarkibi, kristall tuzilishi hamda suyuq asosi suvdan tashkil topgan turli xil konsentratsiyali magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligini, magnit qabul qiluvchanligini xona temperaturasida o'lchash ishlarini olib bordik.

Tadqiqot metodologiyasi. Magnit suyuqlikni tayyorlash uchun avvalo ushbu suyuqlikning kolloid zarrachalari sintez qilindi, keyin esa bu zarrachalarga sirt faol modda qatlami qo'shildi. Hosil bo'lgan massani suv bilan bir xil muhit bo'lguncha aralashtirilib, tarkibida magnit nanozarrachalari bo'lgan kichik konsentratsiyali magnit suyuqliklar sintez qilindi. Kimyoviy kondensatsiya (bir necha metal birikmalarini birgalikda cho'ktirish) usuli magnit materiallarning sintezi uchun eng keng tarqalgan va oson amalga oshiriladigan usullardan biridir. Bu usulda, bir nechta metal ionlari birgalikda cho'kib tushadi va natijada bir xil kimyoviy tarkibga ega magnit nanozarralar hosil bo'ladi.

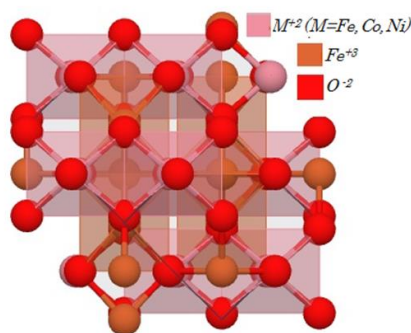
FeFe₂O₄, CoFe₂O₄ va NiFe₂O₄ magnit nanozarralarini sintez qilish. Sintez qilish uchun asosiy materiallar sifatida gidratlangan temir xlorid (FeCl₃ · 6H₂O), temir sulfat (FeSO₄ · 7H₂O) va natriy gidroksid (NaOH) ishlatilgan. 1 mol FeSO₄ · 7H₂O va 2 mol FeCl₃ · 6H₂O eritmaları 200 ml distillangan suvda eritilib 90° C gacha qizdirildi. Reaksiya eritmaning butun hajmi boylab tekis tasimlanguncha kuchli aralashtirildi. Hosil bo'lgan aralashmaga 100 ml 1mol NaOH eritmasi qo'shilib, magnit aralashtirgich yordamida yaxshi aralashtirildi. Bunda pH 9-10 atrofida ushlab turilgan holda 80° C temperaturada 2 soat qizdirildi. Reaksiya aralashmasining kichik qismi tortib olinib, uning hajmi ikki barobarga oshgancha suyultirildi va kolbada 0,2 Tesla o'zgaras magnit Olingan chukmani 2 sutka davomida xona temperaturasida quritib olindi. Xuddu shunday usul bilan NiFe₂O₄ (Nekilli ferrit), CoFe₂O₄ (Kobaltli ferrit) lar ham hosil qilindi. Quyiya reaksiya tenglamalarini keltiramiz:



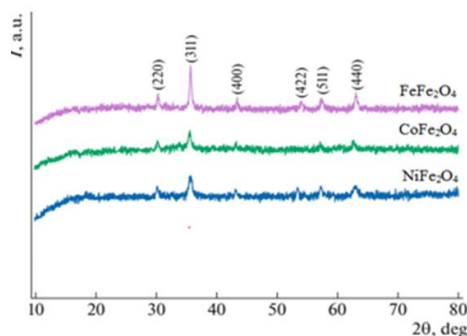
Sintez qilingan magnit nanozarralar olein kislotasi (C₁₈H₃₄O₂) si sirt faol modda sifatida va distrlangan suv suyuqlik sifatida qo'shildi va 1 soat davomida 90°C da isitilib aralashtirildi. FeFe₂O₄, CoFe₂O₄ va NiFe₂O₄ magnit nanozarralari asosida bir necha xil hajmiy konsentratsiyalariga ega magnit suyuqliklar tayyorlandi. Namunalarning hajmiy konsentratsiyalari quyidagi formuladan foydalanib aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{m_1 / \rho_1}{(m_1 / \rho_1) + (m_2 / \rho_2) + (m_3 / \rho_3)} \cdot 100\%$$

Tahlil va natijalar. FeFe₂O₄, CoFe₂O₄, va NiFe₂O₄, magnit nanozarralarning kristall tuzilishini rentgen nurlar difraksiyasi spektrlari orqali o'rgandik. FeFe₂O₄, CoFe₂O₄, va NiFe₂O₄, magnit nanozarralarini quritib, poroshok shakliga keltirib, maxsus idishga joylashtirilib, uning sirtiga birxil to'liq uzunligidagi rentgen nurlari 10°-80° burchak ostida tushirdik. Bu qaytgan nurlar Vulf-Berg shartini bajaruvchi burchak ostida joylashganda magnit nanozarrachalarda difraksiyalandi. Ushbu difraksiyalangan rentgen nurlari intensivligining nanozarra sirtiga tushish burchagiga bog'liqligi 2-rasmda ko'rsati



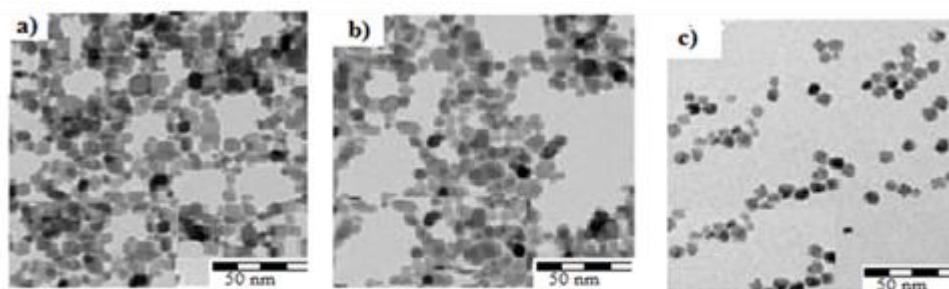
Rasm1. (M=Fe,Co,Ni) MFe₂O₄ magnit nanozarralarining kristall tuzilishi.



Rasm2. (M=Fe,Co,Ni) MFe₂O₄ magnit nanozarralarining rentgen nurlari spektri.

2-rasmdan ko'rinadiki, hosil bo'lgan magnit nanozarrachalarning rentgen nurlari difraktsiyasi spektrida intensevlik cho'qqilar (220), (311), (400), (422), (511) va (400) ga mos keldi. Difraksiyalangan rentgen nurlarining spektri barcha difraktsiya cho'qqilari FeFe₂O₄, CoFe₂O₄, va NiFe₂O₄, magnit nanozarralarida bir fazali teskari kubik shpinel tuzilishda shakllanganligini ko'rsatadi va [***] ilmiy maqolada olingan natijalar bilan mos keladi (1-rasm). (M=Fe,Co,Ni) MFe₂O₄ umumiy formulaga ega bo'lgan kimyoviy formula shpinel ferritlar hisoblanadi, bu yerda M=Fe,Co,Ni ikki valentli metall ionini, Fe esa temirning uch valentli holatini ifodalaydi. (M=Fe,Co,Ni) MFe₂O₄ ko'rinishidagi shpinel ferritlar 1-rasmda ko'ringanidek, Bir butun katta magnit nanozarrasida 64 tetraedrik va 32 oktaedrik kristall panjaralardan tuzilgan bo'ladi. Shunday qilib, MFe₂O₄ shpinel ferritlarda (3-rasm) Fe³⁺ ionlari oktaedrik kristall panjarada, (M=Fe,Co,Ni)²⁺ ionlari tetraedrik kristall panjarada joylashgan bo'ladi. Ushbu shpinel ferritlarda (3-rasm) esa (M=Fe,Co,Ni)²⁺ ionlari va Fe³⁺ ionlarining yarim qismi oktaedrik kristall panjarada, qolgan yarim Fe³⁺ ionlari esa tetraedrik kristall panjarada joylashgan bo'ladi. joylarda joylashgan [10].

FeFe₂O₄, CoFe₂O₄, va NiFe₂O₄, magnit nanozarralarini kristall o'lchamining o'rtacha qiymati rentgen nurlar difraktsiyasi spektrining eng yuqori intensevlik (311) cho'qqisidan Debay-Sherer tenglamasidan foydalanib hisoblab chiqildi. Magnit suyuqlik zarralari o'lchami bo'yicha transmission elektron mikroskopda olingan va yarim-empirik hisoblangan natijalar 3- rasmda keltirilgan[4,6,9].



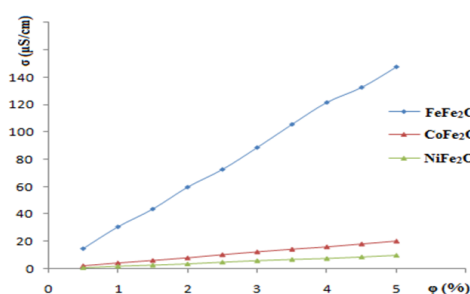
Rasm 3. Magnit nanozarralarining TEMda olingan fotosuratlari a) FeFe_2O_4 , b) CoFe_2O_4 va c) NiFe_2O_4

Yuqoridagi 5-rasmda FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 va NiFe_2O_4 magnit nanozarralarining o'lchami va morfologiyasi transmission elektron mikroskop yordamida fotosurati olinib FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 va NiFe_2O_4 magnit nanozarralarining ko'rinishi sharsimon shaklga ega ekanligi tasdiqlashimiz mumkin. Olingan natijalarning barchasi tahlil va qisqa hisoblashlardan keyin 2-jadvalda ko'rsatib o'tildi.

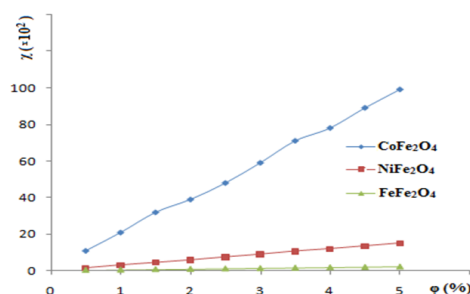
FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , va NiFe_2O_4 magnit nanozarralar asosida hosil qilingan magnit suyuqliklarning magnit xossalarini juda ham qiziq, chunki magnit nanozarrachalarning shakli, o'lchami, yuzasining ta'siri, magnit anizotropiyasi va boshqa parametrlari magnit suyuqliklarning magnit xususiyatlariga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi [51].

FeFe_2O_4 , CoFe_2O_4 va NiFe_2O_4 magnit nanozarralari asosidagi magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi va magnit qabul qiluvchanligi turli xil konsentratsiyalarga bog'liqligi xona temperaturasi $t = 25^\circ \text{C}$ haroratda o'lchandi. Olingan natijalar 4va 5-rasmlarda keltirilgan.

Magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi juda murakkab bo'lib, ushbu suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi ularning ichki tuzilishiga, shuningdek, sirt faol modda, suyuq asos (distrlangan suv)larning xususiyatlariga va magnit suyuqlikdagi magnit nanozarrachalar konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi.



Rasm 4. Xona temperaturasi magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligining konsentratsiyaga bog'liqligi



Rasm 5. Xona temperaturasi magnit suyuqliklarning magnit qabul qiluvchanligining konsentratsiyaga bog'liqligi

CoFe_2O_4 (Kobalt ferriti), NiFe_2O_4 (Nikel ferriti) va Fe_3O_4 (Magnetit) kabi ferritlar, o'z xususiyatlari bo'yicha, elektr o'tkazuvchanlikni past darajada saqlaydi, chunki ular asosan dielektrik materiallar hisoblanadi. 4-rasmdan ko'rinib turibdiki, hosil qilingan magnit suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi xona temperaturasi quyidagicha bo'ldi: FeFe_2O_4 asosli magnit suyuqlik uchun, magnit nanozarrachalari konsentratsiyasi 0,5 % dan 5 % oralig'ida, elektr o'tkazuvchanligi 15,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 147,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gacha chiziqli ravishda ortib bordi; CoFe_2O_4 asosli magnit suyuqlik uchun, magnit nanozarrachalari konsentratsiyasi 0,5 % dan 5 % oralig'ida, elektr o'tkazuvchanligi 2,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 20,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gacha chiziqli ravishda ortib bordi;

Ushbu hosil qilingan magnit suyuqliklarda magnit nanozarrachalarining konsentratsiyasi oshgani sari, ularning magnit qabul qiluvchanligi sezilarli daraja ortib boradi. 5-rasmdan ko'rinib turibdiki, hosil qilingan magnit suyuqliklarning magnit qabul qiluvchanligi xona temperaturasi quyidagicha bo'ldi: FeFe_2O_4 asosli magnit suyuqlik uchun, magnit nanozarrachalari konsentratsiyasi 0,5 % dan 5 % oralig'ida, magnit qabul qiluvchanligi $0,2 \cdot 10^2$ dan $1,9 \cdot 10^2$ gacha chiziqli ravishda ortib bordi.

Jadval. Sintez qilingan magnit suyuqliklarni umumiy parametrlari.

Magnit suyuqlik nanozarrachasi	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Konsentratsiya (%)	Zichligi (g/cm^3)	Elektr o'tkazuvchanligi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	magnit qabul qiluvchanligi $\chi \cdot 10^2$
FeFe_2O_4	25	0,5	1,09	15,6	0,2
		5	1,24	147,8	1,9
CoFe_2O_4	25	0,5	1,11	2,1	11,1
		5	1,27	20,2	98,7
NiFe_2O_4	25	0,5	1,15	0,23	1,5
		5	1,32	10,4	14,9

Xulosalar. ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$) MFe_2O_4 magnit nanozarralari kimyoviy cho'ktirish usuli orqali muvaffaqiyatli sintez qilindi. ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$) MFe_2O_4 magnit nanozarralarida bir fazali kubik shpinel tuzilishda shakllanganligini ko'rsatdi. ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$) MFe_2O_4 magnit nanozarralarning o'lchami TEM da olingan fotosurati hamda Debay-Sherer tenglamasi yordamida hisoblanganda nanozarralarning diametri mos ravishda FeFe_2O_4 uchun 20-40 nm, CoFe_2O_4 uchun 12-27 nm va NiFe_2O_4 uchun 8-20 nm atrofida ekanligi aniqlandi. ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$) MFe_2O_4 magnit nanozarralari asosida konsentratsiyasi 0,5% dan 5 % gacha bo'lgan magnit

suyuqliklar hosil qilindi. Xona temperaturasida o'lchangan elektr o'tkazuvchanligining eng past qiymati NiFe_2O_4 asosli magnit suyuqlikning 0,5 % konsentratsiyasida $0,23 \mu\text{S/cm}$ ekanligi va eng yuqori qiymati FeFe_2O_4 asosli magnit suyuqlikning 5 % konsentratsiyasida $147,8 \mu\text{S/cm}$ ekanligi qayd etildi. Bu haqiqatda juda muhim natija bo'lib, yangi aqlli materiallarni sintez qilishda, shuningdek, ishlab chiqarish texnika va texnologiyalarida samarali tarzda qo'llanilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Lu, A.-H.; Salabas, E.L.; Schüth, F. Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization, and Application. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, 46, 1222–1244.
2. Laurent, S.; Forge, D.; Port, M.; Roch, A.; Robic, C.; Vander Elst, L.; Muller, R.N. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications. *Chem. Rev.* 2008, 108, 2064–2110.
3. D.H.K. Reddy, Y.-S. Yun, Spinel ferrite magnetic adsorbents: alternative future materials for water purification? *Coord. Chem. Rev.* 315 (2016) 90–111.
4. K.K. Kefeni, B.B. Mamba, Photocatalytic application of spinel ferrite nanoparticles and nanocomposites in wastewater treatment, *Sustainable materials and technologies* 23 (2020), e00140.
5. S. Mokhosi, W. Mdlalose, S. Mngadi, M. Singh, T. Moyo, Assessing the structural, morphological and magnetic properties of polymer-coated magnesium-doped cobalt ferrite (CoFe_2O_4) nanoparticles for biomedical application, in: *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2019.
6. G. Asab, E.A. Zereffa, T. Abdo Seghne, Synthesis of silica-coated Fe_3O_4 nanoparticles by microemulsion method: characterization and evaluation of antimicrobial activity, *International journal of biomaterials* (2020) 2020.
7. O.K. Mmesesi, N. Masunga, A. Kuvarega, T.T. Nkambule, B.B. Mamba, K.K. Kefeni, Cobalt ferrite nanoparticles and nanocomposites: photocatalytic, antimicrobial activity and toxicity in water treatment, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 123 (2021), 105523.
8. M. Anand, Hysteresis in a linear chain of magnetic nanoparticles, *J. Appl. Phys.* 128 (2) (2020), 023903.
9. G Rana, P.Dhiman, A.Kumar, D. Vo, G. Sharma, S. Sharma, M. Naushad, Recent advances on nickel nano-ferrite: a review on processing techniques, properties and diverse applications, *Chem. Eng. Res. Des.* 175 (2021) 182–208.
10. H. Moradmard, S.F. Shayesteh, P. Tohidi, Z. Abbas, M. Khaleghi, Structural, magnetic and dielectric properties of magnesium doped nickel ferrite nanoparticles, *J. Alloys Compd.* 650 (2015) 116–122.
11. M. Hashim, A. Ahmed, S.A. Ali, S.E. Shirsath, M.M. Ismail, R. Kumar, S. Kumar, S.S. Meena, D. Ravinder, Structural, optical, elastic and magnetic properties of Ce and Dy doped cobalt ferrites, *J. Alloys Compd.* 834 (2020), 155089.
12. J. Xu, H. Yang, W. Fu, K. Du, Y. Sui, J. Chen, Y. Zeng, M. Li, G. Zou, Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol–gel method, *J. Magn. Magn Mater.* 309 (2) (2007) 307–311.
13. Ashrafi, N.; Ariff, A.H.M.; Sarraf, M.; Sulaiman, S.; Hong, T. Microstructural, thermal, electrical, and magnetic properties of optimized Fe_3O_4 –SiC hybrid nano filler reinforced aluminium matrix composite. *Mater. Chem. Phys.* 2021, 258, 123895.
14. Gencel, O.; Nodehi, M.; Hekimoğlu, G.; Ustaoglu, A.; Sari, A.; Kaplan, G.; Bayraktar, O.Y.; Sutcu, M.; Ozbakkaloglu, T. Foam Concrete Produced with Recycled Concrete Powder and Phase Change Materials. *Sustainability* 2022, 14, 7458.
15. Reddy, P.N.; Kavyateja, B.V.; Jindal, B.B. Structural health monitoring methods, dispersion of fibers, micro and macro structural properties, sensing, and mechanical properties of self-sensing concrete—A review. *Struct. Concr.* 2021, 22, 793–805.