

Химийн аргаар гарган авсан зэсийн оксидын нанонунтгийн фотокаталик болон бактерийн эсрэг идэвхийн шинж чанарын судалгаа

С. Баасанжаргал¹, М. Зулхүү², С. Мөнхцэцэг³, Д. Рэнцэнмядаг², Г. Эрдэнэ-Очир^{3,*}

¹ ШУТИС, Хүнсний Эрдэм Шинжилгээ, Судалгааны хүрээлэн,

² МУИС, ШУС, БУС, Химийн тэнхим

³ МУИС, ШУС, БУС, Физикийн тэнхим

Энэхүү судалгаанд зэсийн оксидын нанонунтаг (*CuO NPs*)-ийг химийн тунадасжуулах аргаар гарган авч, түүний шинж чанар, фотокаталитик идэвх болон бактерийн эсрэг идэвхийг судлав. Судалгааны ажлын дүнд дунджаар 500 нм хүртэл хэмжээтэй бөөгнөрсөн, ойролцоогоор 7.066 нм урттай, кристал хэлбэртэй, моноклин талст бүтэцтэй нанонунтаг үүссэн болох нь батлагдсан. 301.12 нм долгионы уртын мужид гэрлийн максимум шингээлт, 690 см^{-1} болон 490 см^{-1} мужид зэс болон хүчилтөрөгчийн холбоо (Cu-O)-ны валентын хэлбэлзэл тус тус илэрсэн. Фотокаталитик идэвхийн судалгааг метиллийн хөх будагч бодис дээр хэт ягаан туяаны ламп ашиглан нанонунтаг нэмсэн үед шингээлтийн спектрийг судлахад туршилтын эхний 10 минутанд фотокаталитик идэвх сайн үзүүлсэн. Дискэнд шингээх аргаар бактерийн эсрэг идэвхийг *S. aureus* болон *E. coli* бактерийн омгууд дээр *CuO NPs*-ийн ялгаатай таван концентраци (1000, 500, 250, 120, 60 мг/л)-тай уусмалыг нэмж, үүссэн зоны өргөнийг хэмжих замаар судалсан. 1000 мг/л концентрацитай нанонунтаг бүхий дискэнд хамгийн өргөн зон илэрсэн бөгөөд бактерийн эсрэг идэвх үзүүлэх хамгийн бага концентрацийг 250 мг/л хэмээн тогтоосон.

Түлхүүр үгс: Зэсийн оксидын нанонунтаг, метиллийн хөх, фотокаталитик идэвх, бактерийн эсрэг идэвх, *S. aureus*, *E. coli*

I. УДИРТГАЛ

Дэлхий дээр жил бүр 700000 гаруй синтетик будаг үйлдвэрлэгдэж, үүнээс 15% орчим нь хаягдал болон байгальд хаягддаг. Хаягдаж буй будагны 97% нь нэхмэл болон ноос ноолуурын үйлдвэр, хоол хүнсний үйлдвэрээс гаралтай байдаг [1]. Гэвч байгаль дээр будагч бодисын задрал маш удаан явагддаг [2] тул будагч бодисын агууламжийг бууруулах зорилгоор фотокатализ, элетрохими, шингээх, шүүх зэрэг аргуудыг практикт түлхүү ашиглаж байна. Ялангуяа хагас дамжуулагч материалыг ашиглах нь байгальд ээлтэй, хямд арга болдог [3]. Тэр дундаа зэсийн оксидын нанонунтаг (*CuO NPs*) нь бусад металлын оксид [4] болон Ag, Au, Pt металлтай харьцуулахад олдоц сайн, хямд [5] тул хаягдал усыг цэвэрлэх судалгаа ихээр хийгдэж байна [6], [7], [8].

Мөн хаягдал усанд агуулагдах *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella spp.*, *Vibrio spp.*, зэрэг өвчин үүсгэгч бактериуд нь төрөл бүрийн гэдэсний өвчинг үүсгэхээс гадна зарим тохиолдолд бөөрний үйл ажиллагааг доголдуулж, үхэлд хүргэх [9] зэрэг

аюултай байдаг. Иймд сүүлийн үед нанонунтгийг ашиглан микроорганизмын хэмжээг бууруулах судалгаа ихээр хийгдэж байна. Мөн *CuO NPs*-ийн микроорганизмын эсрэг өндөр идэвхтэй [10], хоруу чанар багатай [4] зэрэг шинжүүдэд үндэслэн анагаах ухаанд бактерийн эсрэг бодис болгон ашигласаар ирсэн [11].

Фотокаталитик болон бактерийн эсрэг идэвх нь тухайн нанонунтгийн морфологи бүтэц, хэмжээ, гарган авах аргаас хамаарч харилцан адилгүй тул *CuO NPs*-ийг тунадасжуулах аргаар гарган авч, түүний шинж чанарт үндэслэн хэрэглэнд ашиглах боломжийг судаллаа.

II. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

2.1 Судалгааны материал

Судалгаанд BioLab компанийн Мюллер Хинтон тэжээлт орчин болон Analytical Reagent компанийн Зэсийн (II) сульфат 99.0% ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Натрийн гидроксид 96.0% (NaOH), Метиллийн хөх 99.0% ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

*Э-шуудан: erdeneochir_g@num.edu.mn

бодисуудыг тус тус Грийн Химистри ХХК-ээс худалдан авсан.

Судалгаанд XRD-7000 маркийн Рентген дифрактометр, SEM-Quanta FEG-250 маркийн Сканинг электрон микроскоп, Shimadzu IR Prestige-21 маркийн НУТ-ны спектрофотометр, Shimadzu UV-2401PC маркийн ХЯТ-ны спектрофотометрийг тус тус ашигласан.

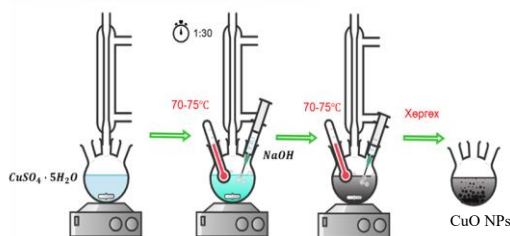
2.2 Зэсийн оксидын нанонунтгийн синтез

Туршилтанд бэлтгэн 250 мл-ийн гурван хүзүүт колбоны голын хүзүүг эргэх хөргүүртэй холбон, цахилгаан халаагуур дээр тавьсан.

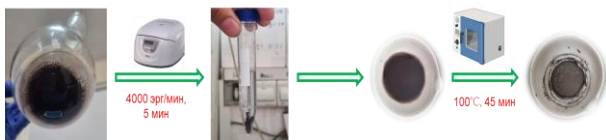
0.6254 г (2.5 ммоль) зэсийн (II) сульфат цэнхэр талстыг гурван хүзүүт колбо руу хийж, дээр нь 25 мл нэрмэл ус нэмсэн. Зэсийн (II) сульфатыг бүрэн уусгахын тулд уусмалыг тасалгааны температурт 30 минутын турш соронзон хутгуураар 375 эрг/мин хурдтай хутгасан. Ингэхэд цэнхэр өнгөтэй уусмал үүссэн.

Үүний дараа хутгалтыг зогсоохгүйгээр колбоны нэг амсарт термометр байрлуулан уусмалын температур 70-75°C байхаар халаасан. Уусмал буцалж эхлэх үед колбо руу 1М натрийн гидроксидын 25 мл уусмалыг дусал дуслаар нэмж, 90 минутын турш урвалыг явуулсан. Тасалгааны температурт колботой уусмалыг хөргөхөд хар өнгөтэй нанонунтгууд тунадасжин колбоны ёроолд буусан (схем 1).

Колботой уусмалыг гурван удаа нэрмэл усаар угааж, уусмалыг 4000 эрг/мин хурдаар 5 минут центрифугдсэн. Ялган авсан уусмалыг хатаах шүүгээнд 100°C температурт 45 минут хатаан хар өнгөтэй 0.2812 г (44.99% гарцтай) CuO NPs-ийг гарган авсан (схем 2).



Схем 1. CuO NPs-ийг тунадасжуулах аргаар гарган авах туршилтын аргачлал



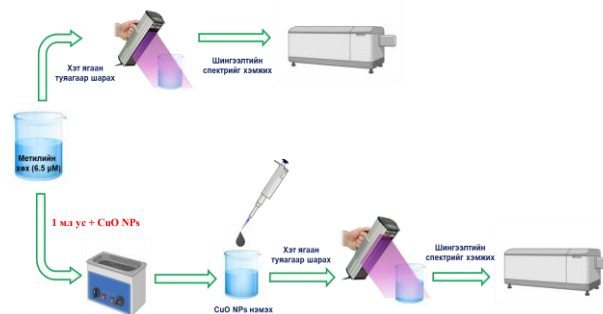
Схем 2. Гарган авсан CuO NPs-ийг ялган авах аргачлал

2.3 Фотокаталитик идэвхийн судалгаа

Гарган авсан CuO NPs-ийн фотокаталитик идэвхийг хэт ягаан туяаны лампаар шарж, ХЯТ-ны спектрофотометр багажаар гэрэл шингээлтийг хэмжсэн.

Нанонунтгийн фотокаталитик идэвхийг харьцуулан судлах зорилгоор метилийн хөхийн 6.5 μM концентрацитай 20 мл уусмал бэлтгэн, 50 мл-ийн шилэн аяганд хийсэн. Үүний дараа нийт 90 минутын хугацаанд 10 минутын зайтай хэт ягаан туяаны лампаар шарж, гэрэл шингээлтийг хэмжсэн.

Үүний дараа 10 мг CuO NPs-ийг 1 мл нэрмэл усанд хийн ультрасоник хэт авиан усан баннд 5 минут чичирхийлсэн. Нанонунтаг агуулсан уусмалыг 20 мл будагч бодистой шилэн аягатай уусмал дээр нэмж, харанхуй орчинд 30 минут соронзон хутгуураар тогтмол хурдтай хутгасан. Дараа нь нийт 90 минутын хугацаанд 10 минутын зайтай хэт ягаан туяаны лампаар шарж, гэрэл шингээлтийг хэмжсэн. 1.5 мл-ийн кварцан кюветэнд 200-700 нм долгионы уртын мужид ХЯТ-ны спектрофотометр багажаар хэмжилтийг хийсэн (схем 3). Фотокаталитик идэвхийн туршилтыг нийт 7 удаа гүйцэтгэсэн.



Схем 3. Фотокаталитик идэвхийн судалгааны аргачлал

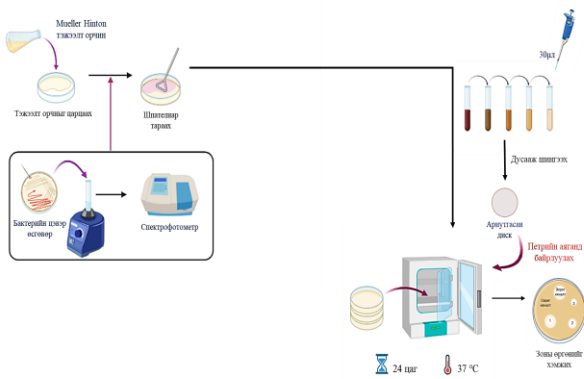
2.4 Бактерийн эсрэг идэвхийн судалгаа

Дискэнд шингээх аргаар бактерийн эсрэг идэвхийг Грам-ээрэг *Staphylococcus aureus* (*S. aureus* ATCC 6538), Грам-сөрөг *Escherichia coli* (*E. coli* ATCC 8739) бактерийн омгууд дээр судалсан [13].

Мюллер Хинтоны тэжээлт орчныг 1 л усанд 38 г-ийг уусган бэлтгэж, автоклаванд 121°C температурт 15 минут ариутгасан. Ламинар боксонд бэлтгэсэн тэжээлт орчныг 1 петрийн аяганд 25 мл байхаар хийн аягалж, нийт 30 петрийн аягатай тэжээлт орчинг бэлтгэсэн.

Урьдчилан 24 цаг өсгөвөрлөсөн *S. aureus*, *E. coli* бактерийн цэвэр өсгөвөрөөс бактерлогийн гогцоогоор аваад хуруу шилэнд буй 8 мл ариутгасан физиологийн уусмалд суспензэлж, холигчоор сайтар хольсон. Дараа нь бактерийн

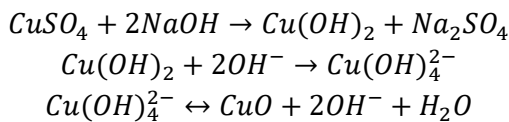
суспензээс 200 мкл-ийг хатуу тэжээлт орчин дээр асгаж шпателиар шингэтэл нь тарааж түрхсэн. Эерэг хяналтаар амокциллин, сөрөг хяналтаар нэрсэн усыг сонгон авсан. Нунтаг нанонунтаас 0.1 мг-ийг жинлэн авч 1000, 500, 250, 125, 60 мг/л концентрацитай уусмалуудыг бэлтгэн, сайтар хутгасны дараа тус бүр 30 мкл-ийг автомат пипеткагаар авч 6×6 мм хэмжээтэй ариутгасан диск бүр дээр шингээсэн. Дусаасан уусмалыг бүрэн хатсаны дараа нэг петрийн аяганд 3 ялгаатай концентрацитай диск, 2 хяналтын диск байхаар тус тус петрийн аяганд хямсаагаар авч байрлуулсан. Хувилбар тус бүрийг 4 удаагийн давталттай гүйцэтгэсэн. Дараа нь петрийн аягыг инкубаторт 37°C температурт 24 цаг өсгөвөрлөн үүссэн зоны өргөнийг шугамаар хэмжин үр дүнг боловсруулсан (схем 4).



Схем 4. Бактерийн эсрэг идэвхийн судалгааны аргачлал

III. ҮР ДҮН ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Зэсийн (II) сульфат болон натрийн гидроксидын уусмалаас зэсийн оксид үүсэх урвалын тэгшитгэлийг доор үзүүлэв.

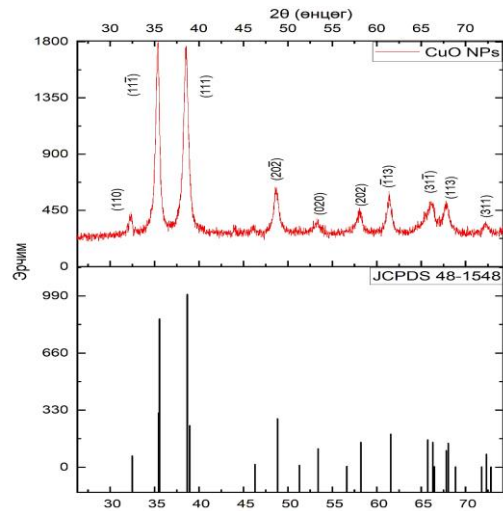


Эхний урвалаар үүссэн зэсийн (II) гидроксид (Cu(OH)_2) орчины OH^- ион нөлөөгөөр илүү тогтвортой зэсийн (II) тетрагидроксо анион (Cu(OH)_4^{2-})-ыг үүсгэдэг. Энэхүү анион нь гидроксид ион болон усны молекулаа алдан конденсацлагдаж, зэсийн (II) оксид (CuO)-ыг үүсгэдэг [15].

3.1 Зэсийн оксидын нанонунтгийн талст бүтэц

Гарган авсан CuO NPs -ийн талст бүтцийг 1.541874 Å долгионы урттай $\text{CuK}\alpha$ рентген туяагаар шарж, 5°-80° (2θ) мужид Рентген

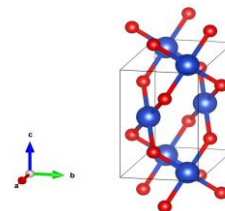
дифрактометр багажаар хэмжилтийг хийсэн үр дүнг зураг 1-т харуулав.



Зураг 1. Гарган авсан CuO NPs -ийн рентген дифрактограмм

Зураг 1-д харуулсанаар $2\theta=32.48, 35.48, 38.61, 48.70, 53.49, 58.26, 61.51, 65.99, 67.94, 72.76$ өнцгүүдэд (110), (11 $\bar{1}$), (111), (20 $\bar{2}$), (020), (202), ($\bar{1}$ 13), (31 $\bar{1}$), (113), (311) гэсэн талстын хавтгайнууд тус тус харгалзаж байна. Зэсийн (I) оксид зэрэг өөр нэгдэл үүсээгүй болох нь JCPDS 48-1548 стандарт карттай тохирч байгаагаар батлагдаж байна [4], [3]. Мөн нарийн хурц пик үзүүлсэн байгаагаас цэвэр талст бүтэцтэй нанонунтаг үүссэн болохыг харж болно.

Мөн нанонунтгийн талст бүтцийг VESTA программ ашиглан зурахад $a = 4.68320 \text{ \AA}$, $b = 3.42880 \text{ \AA}$, $c = 5.12970 \text{ \AA}$ гэсэн талын урттай, $\alpha = 90.0000^\circ$, $\beta = 99.3086^\circ$, $\gamma = 90.0000^\circ$ гэсэн өнцөгтэй ($a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta = \gamma$) талдаа төвтэй моноклин бүтэцтэй талст үүссэн нь батлагдсан. Үүнийг зураг 2-д цэнхэр өнгөөр зэсийн атомыг, улаан өнгөөр хүчилтөрөгчийн атомыг дүрслэн харуулав.



Зураг 2. Талдаа төвтэй моноклин бүтэцтэй CuO NPs

CuO NPs -ийн талсжилтын хэмжээг рентген дифракцид илэрсэн пикүүдийг ашиглан Дебай-Шеррерийн тэгшитгэл (1) тооцолсон үр дүнг хүснэгт 1-д нэгтгэн үзүүлэв.

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

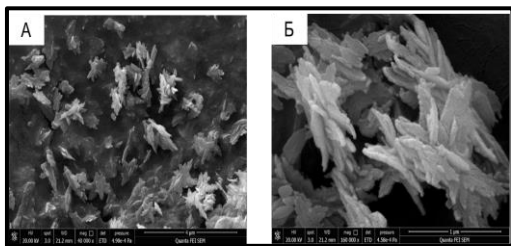
Хүснэгт 1. Зэсийн оксидын нанонунтгийн талсжилтын дундаж хэмжээ

hjk	2θ [°]	FWHM	D [нм]	Талстын дундаж хэмжээ [нм]
110	32.48	0.546	15.83	12.76
111	35.48	0.512	17.03	
111	38.61	0.673	13.08	
202	48.70	0.698	13.05	
020	53.49	0.946	9.82	
202	58.26	0.787	12.08	
113	61.51	0.634	15.10	
311	65.99	1.349	7.35	
113	67.94	0.736	13.60	
311	72.76	0.968	10.63	

Талстын дундаж хэмжээг тооцоолоход 12.76 нм гарсан нь Wellington нарын 75°C -т гарган авсан *CuO NPs*-ийн талстын дундаж хэмжээ 14.5 нм [4] утгатай ойролцоо байна.

3.2 Зэсийн оксидын нанонунтгийн морфологи бүтэц

Гарган авсан *CuO NPs*-ийн гадаргууг 60-75 секундын турш 0.05 нм зузаантай алтаар бүрхэж, Сканинг электрон микроскопоор хийсэн хэмжилтийн үр дүнг зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3. (А) *CuO NPs* 4000 дахин өсгөлттэй, (Б) *CuO NPs* 160000 дахин өсгөлттэй SEM зураг

Зураг 3-аас харахад гарган авсан *CuO NPs* нь кристал хэлбэртэй, 500 нм хүртэл хэмжээтэй бөөгнөрсөн байна. Үүнийг нанонунтууд гадаргуун талбай ихтэй байдаг тул Ван дер Ваальсын хүчээр хоорондоо татагдаж, бөөгнөрөх хандлагатай байдгаар тайлбарлаж болно [3]. Бусад зэсийн (II) сульфат ашиглан гарган авсан нанонунтаг нь кристал хэлбэртэй байсан [4].

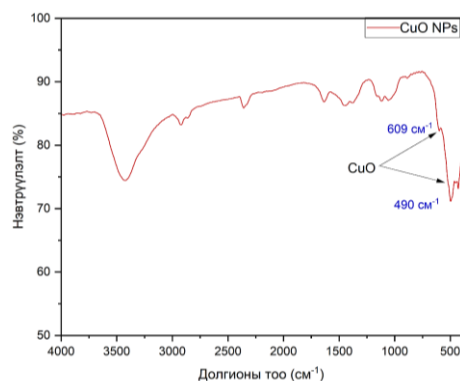


Зураг 4. ImageJ программ ашиглан нанонунтгийн уртыг хэмжсэн байдал

ImageJ программ ашиглан 160000 дахин өсгөлттэй хэд хэдэн SEM зурагнаас нэг нанонунтгийн дундаж уртыг хэмжихэд ойролцоогоор 7.066 нм урттай байсан (зураг 4). Өөрөөр хэлбэл гарган авсан нанонунтаг нь гадаргуун талбай ихтэй байгаа тул хоорондоо амархан татагдаж, 500 нм хүртэл хэмжээтэй болтлоо бөөгнөрсөн байна. Нанонунтгийн морфологи бүтэц нь синтез явуулсан нөхцөл буюу температур, ангижруулагч болон тогтворжуулагчийг нэмэх хурд болон эх бодисоос хүчтэй хамаардаг. Иймд зэсийн (II) сульфат ашиглан тунадасжуулах аргаар *CuO NPs* гарган авсан ихэнх судалгааны ажлын үр дүнгээс харьцангуй том хэмжээтэй бөөгнөрсөн, нэгэн жигд бус нанонунтаг үүссэн [4], [13] нь бусад судалгааны ажил дээр дурдагдсан байсан. Харин зэсийн (II) нитрат ($(CuNO_3)_2$) болон зэсийн (II) ацетат ($(Cu(CH_3COO)_2)$ -ыг ашиглан гарган авсан *CuO NPs* нь бөмбөлөг төст хэлбэртэй болох нь судлаачдын хийсэн туршилтын үр дүнгээс харагдаж байна [17], [5].

3.3 Зэсийн оксидын нанонунтгийн функциональ бүлгийн шинжилгээ

Гарган авсан *CuO NPs*-ийг калийн бромидын нунтагтай 5:95 харьцаатай хольж, НУТ-ны спектрофотометр багаж дээр хэмжилтийг хийсэн үр дүнг зураг 5-т харуулав.

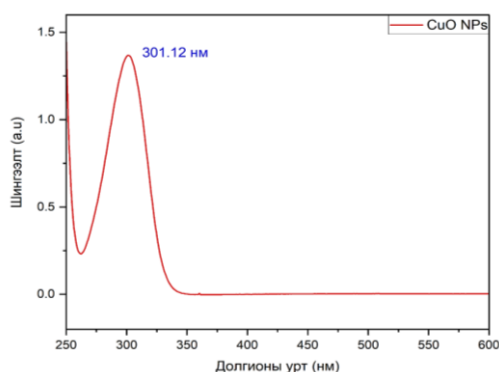


Зураг 5. Гарган авсан *CuO NPs*-ийн НУТ-ны спектр

Спектрт 609 cm^{-1} болон 490 cm^{-1} мужид зэс хүчилтөрөгчийн холбоо (Cu-O)-ны валентын хэлбэлзлийн зурвас илэрсэн нь синтез амжилттай болсонг илтгэж байна (зураг 5). Спектрт 3430 cm^{-1} мужид O-H бүлгийн валентын хэлбэлзэл илэрч байгаа нь натрийн гидроксидын үлдэгдлээс бүрэн салгаж чадаагүйг харуулж байна.

3.4 Зэсийн оксидын нанонунтгийн оптик шинж чанар

Нунтаг CuO NPs -ийг 1 мл усанд уусган 10 минутын турш ультрасоник хэт авиан усан баннд чичирхийлүүлэн ХЯТ-ны спектрофотометр багаж дээр хийсэн хэмжилтийн үр дүнг зураг 6-д үзүүлэв.

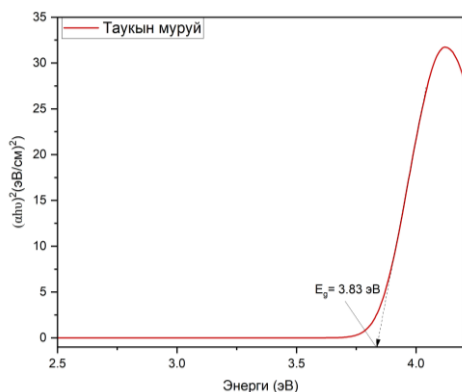


Зураг 6. Гарган авсан CuO NPs -ийн шингээлтийн спектр

Зураг 6-аас харахад гэрэл шингээлтийн максимум утга нь 301.12 нм долгионы уртын мужид илэрсэн нь зэсийн оксидын молекул орбиталын диаграммын n орбитал дээрх холбоонд оролцоогүй электроноос хамгийн ойр байрлах үл холбогдсон π^* орбитал руу электрон шилжсэнээр үүснэ. Өөрөөр хэлбэл ХЯТ-ны нөлөөгөөр $n \rightarrow \pi^*$ шилжилт болсоноор максимум шингээлт ажиглагдаж байна.

Хориотой бүсийн өргөн нь хагас дамжуулагч материалын чухал параметруудийн нэг юм. Хориотой бүсийн өргөнийг Таукын тэгшитгэл (2)-ийг ашиглан фотоны энерги ($E = h\nu$) болон $(\alpha E)^2$ хамаарлын муруйг байгуулан абцисс тэнхлэгийн экстраполяциар тооцоолсон байдлыг зураг 7-д харуулав.

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g) \quad (2)$$

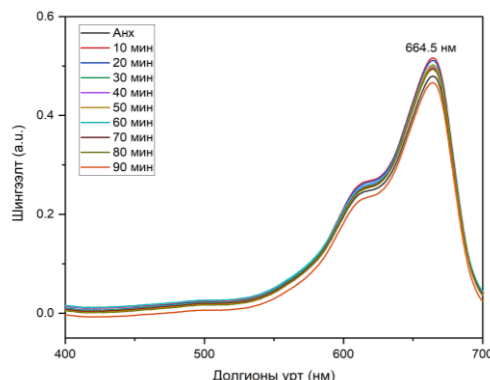


Зураг 7. Гарган авсан CuO NPs -ийн хориотой бүсийн өргөнийг тооцоолсон Таукын муруй

Хориотой бүсийн өргөнийг тооцоолоход 3.83 эВ гарсан бөгөөд хагас дамжуулагч болохыг харуулж байна (зураг 7).

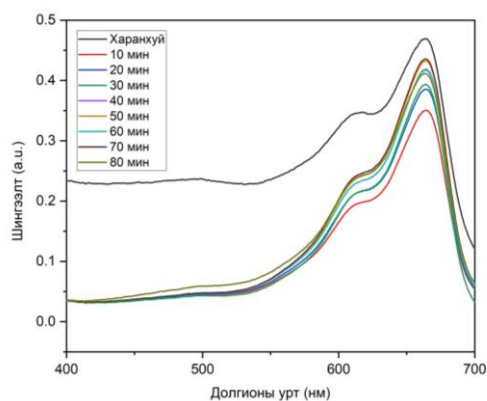
3.5 Зэсийн оксидын нанонунтгийн фотокаталитик идэвхийн судалгаа

Фотокаталитик идэвхийг метилийн хөх будагч бодис дээр судалсан туршилтын үр дүнг зураг 8, 9-д үзүүлэв.



Зураг 8. CuO NPs нэмээгүй үеийн метилийн хөх будагч бодисын шингээлтийн спектр

Спектрээс харвал метилийн хөх 664.5 нм долгионы мужид максимум шингээлт өгдөг болох нь батлагдаж байна (зураг 8). Нанонунтаг нэмээгүй үед 90 минутын хугацаанд шингээлтийн спектр болон уусмалын өнгөнд онцлох өөрчлөлт ажиглагдаагүй. Энэ нь метилийн хөхийн задрал катализаторгүй орчинд маш удаан явагддаг болохыг харуулж байна.



Зураг 9. CuO NPs нэмсэн үеийн метилийн хөх будагч бодисын шингээлтийн спектр

Зураг 9-аас харахад 10 минут хэт ягаан туяаны лампаар шарсаны дараах (улаанаар дүрслэв) шингээлтийн эрчмийг харанхуй орчинд хэмжсэн шингээлтийн эрчим (хараар дүрслэв)-тэй харьцуулахад $\sim 0.45-0.35$ а.у болж буурсан болох нь харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл харанхуй орчинд нанонунтаг каталитик идэвхгүй, харин гэрлээр үйлчилснээс хойш эхний 10 минутанд катализаторын үүргээ гүйцэтгэж байна гэсэн үг юм. Гэвч туршилтын үлдсэн хугацаанд шингээлтийн эрчим хугацаанаас хамааран буурсан зүй тогтол илрээгүй нь фотокаталитик идэвх маш бага байгааг харуулж байна. Үүнийг

фотокаталитик идэвх тухайн нанонунтгийн хэмжээ, концентраци, морфологи бүтэц, шарж буй гэрлийн төрлөөс ихээхэн хамаардгаар тайлбарлаж болох юм [3].

Будагч бодисын концентраци их үед электрон-нүхний хос хангалттай үүсэхгүй байх боломжтой байдаг тул туршилтыг 7 удаа гүйцэтгэхдээ метилийн хөх будагч бодисын концентрацийг 10 ppm, 20 ppm, 6.5 µM болгон өөрчилж туршсан. Энэ үед гэрэл шингээлтийн эрчим болоод метилийн хөх уусмалын өнгөнд өөрчлөлт ажиглагдаагүй болно.

3.6 Зэсийн оксидын нанонунтгийн бактерийн эсрэг идэвхийн судалгаа

Гарган авсан *CuO NPs*-ийн бактерийн эсрэг идэвхийг Грам-ээрэг *S. aureus* болон Грам-сөрөг *E. coli* бактери дээр хийсэн туршилтын үр дүнг зураг 10-т харуулав.



Зураг 10. *S. aureus*, *E. coli* бактери дээр хийсэн туршилтын үр дүн

Зураг 10-т петрийн аяган дээр нэмэх тэмдгээр амокциллин (ээрэг хяналт), сөрөг тэмдгээр ус (сөрөг хяналт), 1 цифрээр 1000 мг/л, 2 цифрээр 500 мг/л, 3 цифрээр 250 мг/л концентрацитай *CuO NPs* уусмал агуулсан дискүүдийг тэмдэглэсэн болно. Эерэг хяналт болох амокциллин хамгийн том зоныг үүсгэсэн байгаа бол сөрөг хяналт болох ус зон үүсгээгүй байна. Энэ нь ус бактерийн эсрэг идэвх үзүүлээгүй буюу туршилтын явцад алдаа үүсээгүй болохыг илтгэж байна.

Хамгийн том зоныг 1000 мг/л концентрацитай *CuO NPs*-ийн уусмал агуулсан диск үзүүлсэн бөгөөд 120 болон 60 мг/л концентрацитай дискэнд зон үүсгээгүй. Иймд бактерийн эсрэг идэвх үзүүлэх зэсийн оксидын нанонунтгийн хамгийн бага концентраци нь 250 мг/л байна гэж үзэв (хүснэгт 2). Мөн Грам-ээрэг *S. aureus* бактерит Грам-сөрөг *E. coli* бактеритай харьцуулахад харьцангуй өргөн зон үүсгэсэн байна.

Туршилтыг гүйцэтгэхдээ нанонунтгийг уусмалд нэгэн жигд тархаахын тулд холигчоор сайтар холь дискэнд шингээсэн. Уусмал дахь харьцангуй том хэмжээтэй нанонунтаг нь

микроорганизмын мембран бүрхүүл эсвэл эсийн хананд наалдах замаар, жижиг нанонунтаг нь мембраны нүх сүвээр эс дотогш нэвтрэх замаар тодорхой хэсэгт очин үйлчилж бактерийн эсрэг үйлчилгээ үзүүлэн ургалтыг зогсоосон хэмээн үзэж байна.

Хүснэгт 2. *S. aureus* болон *E. coli* бактериудад

үүсгэсэн зоны өргөн

Бактери	<i>CuO NPs</i> концентраци (мг/л)	Зоны өргөн (мм)
<i>S. aureus</i>	1000	15
	500	14
	250	11
	120	Зон үүсээгүй
	60	Зон үүсээгүй
<i>E. coli</i>	1000	13
	500	12
	250	10
	120	Зон үүсээгүй
	60	Зон үүсээгүй

IV. ДҮГНЭЛТ

Химийн тунадасжуулах аргаар зэсийн (II) сульфат болон натрийн гидроксидын уусмалуудаас *CuO NPs*-ийг амжилттай гарган авсан нь шинжилгээний үр дүнгээр тус тус батлагдлаа. XRD үр дүнд зөвхөн *CuO* агуулсан кристал бүтэцтэй, 12.76 нм хэмжээтэй талст бүхий моноклин бүтэцтэй нанонунтаг үүссэн болох нь харагдлаа. FT-IR спектрийн дүнд 609 cm^{-1} болон 490 cm^{-1} мужид илэрсэн Cu-O холбооны валентын хэлбэлзлийн зурвасаас гадна 3430 cm^{-1} мужид илэрсэн O-H холбооны валентын хэлбэлзлийн зурвас нь туршилтанд ашигласан натрийн гидроксидыг уусмалаас бүрэн угааж чадаагүйг харуулж байна. Иймд синтезийн сүүлийн шатанд нанонунтгийг нэрмэл усаар гурваас дээш удаа угаах нь зүйтэй гэж үзэж байна. Мөн Таукын тэгшитгэлээс хориотой бүсийн өргөнг 3.83 эВ гэж тооцоолсон бөгөөд хагас дамжуулагч шинж чанартай болох нь батлагдсан.

SEM зурагт харьцангуй бөөгнөрөл ихтэй нанонунтаг дүрслэгдсэн тул фотокаталитик болон бактерийн эсрэг туршилтыг гүйцэтгэхдээ нанонунтгийн уусмалыг холигчоор сайтар

хольсон. *CuO NPs*-ийн каталитик идэвхийг судлах зорилгоор метилийн хөх будагч бодисыг хэт ягаан туяаны лампаар шарж, фотокаталитик идэвхийг судлахад эхний 10 минутанд фотокаталитик идэвх сайн байсан ч, 10 минутаас хойш хугацаанд каталитик идэвх муу буюу үзүүлээгүй. Үүнийг нанонунтгийн морфологи бүтэц, түүний хэмжээгээр тайлбарлахаас гадна нанонунтгийн хориотой бүсийн өргөнөөс шалтгаалан 10 минутын зайтай гэрлээр шарах үед нанонунтгийн гадаргуу хангалттай өдөөгдөж чадаагүйтэй холбож тайлбарлаж болох юм. Мөн дискэнд шингээх аргаар бактерийн эсрэг идэвхийг Грам-эерэг *S. aureus* болон Грам-сөрөг *E. coli* бактериудад судлахад Грам-эерэг бактериудад бактерийн эсрэг идэвх харьцангуй сул байсан бөгөөд бактерийн эсрэг идэвх үзүүлэх хамгийн бага концентрацийг 250 мг/л хэмээн тогтоосон. Дээрх үр дүнгээс харвал гарган авсан фотокаталитик идэвх богино хугацаанд өндөр байгаа тул түлхүү бактерийн эсрэг үйлчилгээний зорилгоор ашиглах боломжтой хэмээн үзэж байна. Мөн туршилтыг дэлгэрүүлэн (жишээ нь: фотокаталитик идэвхийн туршилтын гэрэл шаралтын хоорондын хугацаа болон бусад нөхцлийг өөрчлөх) бусад хэрэглээнд нэвтрүүлэх боломжийг бүрэн судлах боломжтой.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] M. Farhan Hanafi and N. Sapawe, A review on the water problem associate with organic pollutants derived from phenol, methyl orange, and remazol brilliant blue dyes, *Mater. Today Proc.* **31**, A141 (2020).
- [2] I. Kazeminezhad and A. Sadollahkhani, Influence of pH on the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **27**, 4206 (2016).
- [3] S. Aroob et al., Green Synthesis and Photocatalytic Dye Degradation Activity of CuO Nanoparticles, *Catalysts* **13**, 502 (2023).
- [4] W. M. Rangel, R. A. A. Boca Santa, and H. G. Riella, A facile method for synthesis of nanostructured copper (II) oxide by coprecipitation, *J. Mater. Res. Technol.* **9**, 994 (2020).
- [5] K. Dulta, G. K. Ağçeli, P. Chauhan, R. Jasrotia, G. Chandan, and P. K. Chauhan, *Multifunctional CuO Nanoparticles with Enhanced Photocatalytic Dye Degradation and Antibacterial Activity*.
- [6] A. Farrouji, A. Eddine, S. Bouzit, B. Boualy, A. Mehdi, L. Firdoussi, and M. Ali, Degradation of Methylene Blue Using Synthesized Nanostructured CuO with High Specific Surface Area through Catalytic Oxidation, *Int. Res. J. Pure Appl. Chem.* **8**, 190 (2015).
- [7] A. I. Khedr and M. H. H. Ali, Eco-friendly fabrication of copper oxide nanoparticles using peel extract of Citrus aurantium for the efficient degradation of methylene blue dye, *Sci. Rep.* **14**, 29156 (2024).
- [8] Z. Alhalili, *Metal Oxides Nanoparticles: General Structural Description, Chemical, Physical, and Biological Synthesis Methods, Role in Pesticides and Heavy Metal Removal through Wastewater Treatment*, *Molecules* **28**, 3086 (2023).
- [9] O. V. Obayomi, D. C. Olawoyin, O. Oguntimehin, L. S. Mustapha, S. O. Kolade, P. O. Oladoye, S. Oh, and K. S. Obayomi, Exploring emerging water treatment technologies for the removal of microbial pathogens, *Curr. Res. Biotechnol.* **8**, 100252 (2024).
- [10] A. Azam, Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains, *Int. J. Nanomedicine* 3527 (2012).
- [11] J. Suárez-Cerda, H. Espinoza-Gómez, G. Alonso-Núñez, I. A. Rivero, Y. Gochi-Ponce, and L. Z. Flores-López, A green synthesis of copper nanoparticles using native cyclodextrins as stabilizing agents, *J. Saudi Chem. Soc.* **21**, 341 (2017).
- [12] K. Zhang, H. Ding, W. Pan, J. Ma, Y. Zhao, J. Song, and Z. Zhang, Research progress of modified and optimized AMn2O5 catalyst for efficient degradation of gaseous pollutants, *J. Mol. Struct.* **1289**, 135828 (2023).
- [13] Shraddha Shirsat, Dhanashri Pawar, Nishita Jain, Jayant Pawar, Vidya S Tale, and Rabinder Henry, SYNTHESIS OF COPPER OXIDE NANOPARTICLES BY CHEMICAL PRECIPITATION METHOD FOR THE DETERMINATION OF ANTIBACTERIAL EFFICACY AGAINST STREPTOCOCCUS SP. AND STAPHYLOCOCCUS SP., *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 135 (2019).
- [14] G. Borkow, J. Gabbay, R. Dardik, A. I. Eidelman, Y. Lavie, Y. Grunfeld, S. Ikher, M. Huszar, R. C. Zatzoff, and M. Marikovsky, Molecular mechanisms of enhanced wound healing by copper oxide-impregnated dressings, *Wound Repair Regen.* **18**, 266 (2010).
- [15] Y. Cudennec and A. Lecerf, The transformation of Cu(OH)₂ into CuO, revisited, *Solid State Sci.* **5**, 1471 (2003).
- [16] J. Zhao, C. Chen, and W. Ma, Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants Under

Visible Light Irradiation, Top. Catal. **35**, 269 (2005).

- [17] H. Saha, A. Dastider, M. J. Ferdous Anik, S. R. Mim, S. Talapatra, U. Das, M. Jamal, and M. M. Billah, Photocatalytic performance of CuO NPs: An experimental approach for process parameter optimization for Rh B dye, Results in Materials **24**, 100614 (2024).