МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ ИНЖЕНЕР
ТЕХНОЛОГИЙН СУРГУУЛЬ

СӨРӨГ НӨЛӨӨЛЛИЙГ БУУРУУЛАХ ЧИГЛЭЛЭЭР ШИНЭ ТЕХНОЛОГИ СУДЛАХ, ИННОВАЦИЙН ТУРШИЛТ СУДАЛГАА ХИЙХ

НБОГ/20250201017

Тайлан бичсэн:  профессор, др Ц.Соёл-Эрдэнэ

2025.08.30

АГУУЛГА

Хураангуй 4
Оршил 5
НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЕРӨНХИЙ ХЭСЭГ 8
1.1. Үндэслэл 8
1.1.1 Нөхцөл байдал, шаардлага 8
1.2 Эрх зүй, бодлогын үндэслэл 9
1.3. Цеолитийн тухай ерөнхий ойлголт 10
1.4. Гидротермал синтезийн арга 11
1.4.1. Шинжлэх ухааны үндэс: 12
1.4.2. Урвалын механизм ба нөхцөл: 12
1.4.3. Түүхий эдийн сонголт: 13
1.5. Хромын бохирдол ба түүнийг зайлуулах аргууд 13
1.6. Шахмал түлшний үнс 14
1.6.1. Үүсэл ба найрлага: 15
1.6.2. Байгаль орчинд үзүүлэх нөлөө: 15
1.6.3. Дахин ашиглах боломж: 16
1.7. Хөнгөн цагааны эх үүсвэрүүд 16
1.2 Ажлын зорилго, зорилт 17
1.2.1 Ажлын зорилтууд 17
1.7. Судлагдсан байдал 18
1.7.1. Шахмал нүүрсний үнсний бүтэц, экологийн эрсдэл 18
1.7.2. Нүүрсний үнснээс цеолит синтезлэх олон улсын туршлага: 19
1.7.3. Хром шингээхэд цеолит ашигласан судалгаанууд: 19
1.7.4. Монгол дахь холбогдох судалгааны сул орон зай: 20
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ: СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ 21
2.1. Ашигласан материал 21
2.2. Цеолит синтезийн арга зүй 21
2.3. Хром шингээх туршилтын арга зүй 23
2.4. Шинжилгээний аргууд 24
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ: ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ 25
3.1. Шахмал түлшний үнсний шинж чанар 25
3.2. Синтетик цеолитуудын эрдсийн найрлага (XRD шинжилгээ) 26
3.2.1. Үнсний XRD үр дүн: 26
3.2.2. Синтезлэгдсэн цеолитуудын XRD үр дүн: 26
3.2.3. Гарган авсан цеолитын XRD хамаарал: 27
3.3. Цеолитуудын хром шингээх чадвар 30
3.3.1. Анхдагч үнсний хром шингээх багтаамж: 30
3.3.2. Синтетик цеолитуудын хром шингээх багтаамжийн харьцуулалт: 30

3.3.3. Хром шингээлтийн кинетик ба изотерм 31
3.3.4. Үр дүнгүүдийн нэгтгэл ба хэлэлцүүлэг 32
ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ: ХАЯГДЛЫГ БҮТЭЭГДЭХҮҮН БОЛГОХ, ХОРТ БОДИСЫГ САЛМАГЖУУЛАХ АРГА ЗҮЙ, УДИРДАМЖ 34
4.1. Хаягдлыг бүтээгдэхүүнээс шинэ материал гарган авах загвар 34
4.1.1. Загварын үндэслэл: Шахмал түлшний үнснээс цеолит гарган авах 34
4.1.2. Үйл ажиллагааны зарчим: 35
4.1.3. Үндэсний эрх зүй, бодлогын орчин 37
ТАВДУГААР БҮЛЭГ: БОДЛОГЫН ТОВЧ МЭДЭЭЛЭЛ 39
5.1. Хаягдлаас үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн гарган авах боломж 39
5.1.1. Шахмал түлшний үнснээс цеолит гарган авах: 39
5.1.2. Хор нөлөөт бодисыг саармагжуулах арга зүй 39
5.2. Бодлогын зөвлөмж 40
Дүгнэлт 41
Ном Зүй 42

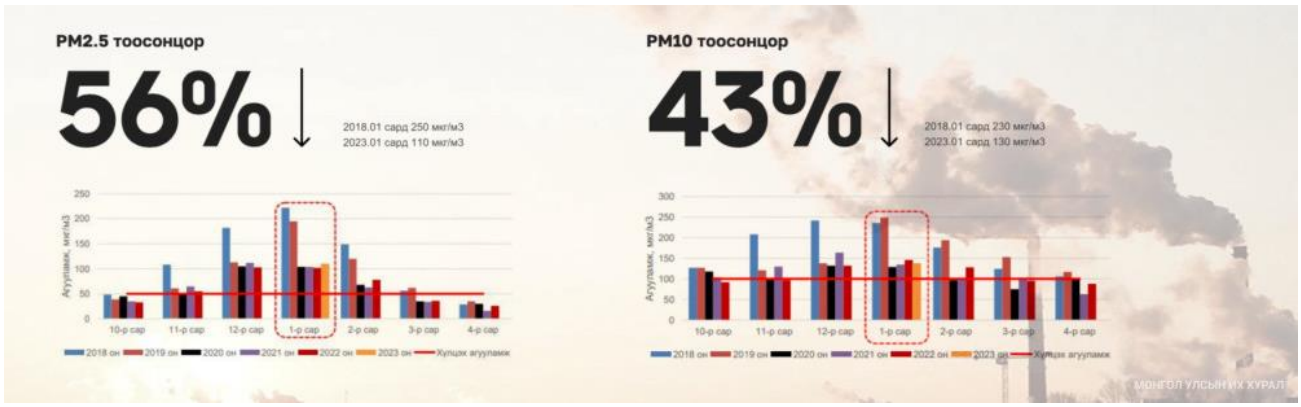
ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгаа нь Улаанбаатар хотын гэр хорооллоос үүсэх шахмал түлшний үнсийг ашиглан синтетик цеолит гарган авах, мөн гарган авсан цеолитуудын уснаас хром (Cr) шингээх чадварыг судлах зорилготой судалгааны ажлын үр дүнг нэгтгэн танилцуулж байна. Судалгаанд шахмал түлшний үнс, нунтаг хөнгөн цагаан, болон хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг түүхий эд болгон ашигласан. Цеолит синтезийн процессыг гидротермал аргаар гүйцэтгэсэн бөгөөд үнсний дээжинд XRF (X-ray Fluorescence) шинжилгээ, харин үнс болон синтезлэгдсэн цеолит дээжүүдэд XRD (X-ray Diffraction) шинжилгээ хийж, эрдсийн найрлагын өөрчлөлтийг тодорхойлсон.

Үр дүнгээс харахад, шахмал түлшний үнснээс гидротермал аргаар синтетик цеолит гарган авах боломжтой болох нь батлагдсан. Синтезлэгдсэн цеолитууд нь анхдагч үнснээс хамаагүй өндөр хром шингээх чадвартай болох нь тогтоогдсон бөгөөд хамгийн өндөр шингээх багтаамж нь 12.60 мг/г байсан. Мөн нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг амжилттай ашиглаж болохыг харуулсан нь хаягдал материалыг дахин ашиглах, үйлдвэрлэлийн зардлыг бууруулах чухал ач холбогдолтой юм. Al_2O_3-ийн нэмэлт нь цеолитийн хром шингээх чадварыг сайжруулахад эерэгээр нөлөөлж байгааг тогтоосон. Энэхүү судалгаа нь хаягдал болон хаягдал ундааны лаазыг үнэ цэнэтэй материал болгон хувиргах, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах, ялангуяа усан дахь хүнд металлуудыг зайлуулах шийдлүүдийг олоход чухал хувь нэмэр оруулж байна.

ОРШИЛ

Улаанбаатар хотын хүн амын дийлэнх нь гэр хороололд амьдардаг бөгөөд энэ бүсээс гаралтай хатуу хог хаягдал, тухайлбал шахмал түлшний үнсний хаягдал нь нийслэлийн экосистем, байгаль орчны аюулгүй байдал, хүн амын эрүүл мэндэд улам бүр ноцтой нөлөө үзүүлэх болсон. Сүүлийн жилүүдэд нийслэлийн төвлөрсөн дулаан хангамжгүй бүсүүдэд шахмал түлшний хэрэглээ эрс нэмэгдэж, нэг өрхөөс хоногт 3-5 кг үнс, жилд нийтдээ 100 мянган тонноос давсан үнс гарах болсон нь хог хаягдлын бүтцэд томоохон өөрчлөлт авчирч байна. Олон улсын болон үндэсний судалгаагаар шахмал түлшний үнсэнд хүнд металл (Pb, Zn, Cr, As, Cd), бичил тоосонцор, шүлтлэг исэл, органик хорт бодис ихээр агуулагддаг нь байгаль орчин, хүний эрүүл мэндэд шууд ба дам эрсдэл дагуулдгийг баталсан байна.



Агаарын бохирдлын гол эх үүсвэрүүдийн нэг нь гэр хорооллын айл өрхүүдийн хэрэглэдэг шахмал түлшний шаталтаас үүсэх үнс юм.



Сүүлийн жилүүдэд түүхий нүүрсний хэрэглээг хязгаарлаж, шахмал түлш рүү шилжсэн нь агаарын бохирдлыг тодорхой хэмжээгээр бууруулсан хэдий ч, шахмал түлшний үнсний хэмжээ эрс нэмэгдэж, байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлэх шинэ сорилтыг бий болгож байна [1].

Монгол Улсын хууль эрх зүйн орчин, “Хог хаягдлын тухай” хууль, “Хөрс хамгаалах, цөлжилтөөс сэргийлэх тухай” хууль, “Алсын хараа–2050” зэрэг бодлогын баримт бичигт хатуу хог, органик хаягдлыг шинжлэх ухааны аргаар дахин боловсруулах, дугуй эдийн засаг, нэмүү өртөг шингэсэн бүтээгдэхүүн бий болгох, байгальд ээлтэй инновацийг

дэмжихийг онцгойлон тусгасан. Гэвч практик хэрэгжилт, технологийн инновац, судалгааны туршилтын ажил нэгдсэн байдлаар хэрэгжих нь ховор, үндэсний стандарт, лабораторийн хүчин чадал, эдийн засгийн үр ашгийн тооцоо, хэрэглэгчийн хандлага, менежментийн тогтолцоо сул хэвээр байна.

Шахмал түлшний үнс нь их хэмжээгээр хаягдал болж, ил задгай асгагдах нь хөрс, ус, агаарын хоёрдогч бохирдлыг үүсгэж, хүний эрүүл мэндэд ноцтой эрсдэл учруулж байна. Энэхүү үнсэнд хүнд металл (Pb, Zn, Cr, As, Cd), бичил тоосонцор, шүлтлэг исэл, органик хорт бодис ихээр агуулагддаг нь судалгаагаар батлагдсан [4, 5]. Ялангуяа хүүхдүүдийн дунд хүнд металлын хордлогын эрсдэл өндөр байгаа нь энэ асуудлыг яаралтай шийдвэрлэх шаардлагатайг харуулж байна [10].

Эдгээр хаягдлыг үр ашигтайгаар дахин боловсруулах нь байгаль орчныг хамгаалахаас гадна эдийн засгийн хувьд ч ашигтай шийдэл болж чадна. Энэхүү боломжит шийдлүүдийн нэг нь шахмал түлшний үнсийг ашиглан цеолит синтезлэх явдал юм. Цеолит нь өвөрмөц сүвэрхэг бүтэцтэй, ион солилцох, адсорбци хийх өндөр чадвартай эрдэс материал бөгөөд ус цэвэршүүлэх, катализатор, молекулын шигшүүр зэрэг олон салбарт өргөн хэрэглэгддэг [3]. Ялангуяа, усан дахь хүнд металлуудыг, тухайлбал хромыг зайлуулахад цеолитийг ашиглах нь үр дүнтэй арга болох нь олон судалгаагаар батлагдсан [7, 8, 9].



Хром (Cr) нь үйлдвэрлэлийн болон бусад үйл ажиллагааны үр дүнд усанд их хэмжээгээр ялгардаг, хүний эрүүл мэнд болон байгаль орчинд аюултай хүнд металл юм. Ялангуяа Cr(VI) нь Cr(III)-аас илүү хортой бөгөөд усанд уусамтгай байдаг тул түүнийг уснаас зайлуулах нь нэн чухал асуудал юм [8, 9]. Иймд уснаас хром шингээх үр ашигтай, хямд өртөгтэй аргуудыг судлах нь чухал юм.

Энэхүү судалгааны ажлын үндсэн зорилго нь Улаанбаатар хотын гэр хорооллолд хаягдал болж буй шахмал түлшний үнсийг ашиглан синтетик цеолит гарган авах, мөн хаягдал
ундааны хөнгөн цагаан лааз болон химийн чанартай нунтаг хөнгөн цагаан зэрэг нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэрүүдийн нөлөөг судлах явдал байв. Цаашилбал, гарган авсан цеолитууд болон анхдагч үнсний уснаас хром шингээх чадварыг үнэлж, тэдгээрийн адсорбцийн багтаамжийг

тодорхойлохыг зорьсон. Энэхүү судалгаа нь хаягдал материалыг дахин ашиглах, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах, мөн ус цэвэршүүлэх шинэ шийдлүүдийг олоход хувь нэмэр оруулах ач холбогдолтой юм.

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЕРӨНХИЙ ХЭСЭГ

1.1. Үндэслэл

1.1.1 Нөхцөл байдал, шаардлага

Улаанбаатар хотын гэр хорооллын айл өрхийн түлшний хэрэглээ сүүлийн жилүүдэд төрөөс хэрэгжүүлсэн бодлогын үр дүнд түүхий нүүрснээс шахмал түлш рүү бүрэн шилжсэн [1]. Үүний үр дагаварт гэр хорооллоос гарах хатуу хаягдлын дийлэнхийг шахмал түлшний үнс эзэлж, улирлын ид үеэр нэг өрхөөс хоногт дунджаар 3-5 кг үнс гарч, нийт хэмжээгээрээ жилд 100 мянган тонноос давсан хэмжээтэй болжээ [2]. Энэхүү үнсийг голдуу ахуйн болон орон сууцны ойролцоох талбайд ил задгай асгадаг тул хотын хөрс, агаар, усанд хоёрдогч бохирдол үүсгэх гол шалтгаан болж байна [3].



Зураг 1. Улаанбаатар хотын хүн амын тархалт

Шахмал түлшний үнс нь ердийн түүхий нүүрсний үнстэй харьцуулахад органик хаягдал, хүнд металл, шүлтлэг орчин үүсгэгч ислүүдээр баялаг тул экосистем, хүний эрүүл мэндэд урт хугацааны эрсдэл үүсгэх боломжтойг олон улсын судалгаанд анхааруулж байна [4,5]. Улаанбаатар хотын гэр хорооллын эрүүл мэндийн асуудлыг судалсан Gundsambuu нарын судалгаагаар хүүхдүүдийн хорт металлын хордлогын эрсдэл насанд хүрэгчдээс 3-5 дахин өндөр байгааг тогтоосон [10]. Үүнийг дэмжин Oyunbileg нарын судалгаагаар гэр хорооллын хүүхдүүдэд амьсгалын замын өвчин илүү олон тохиолддог байна [11].

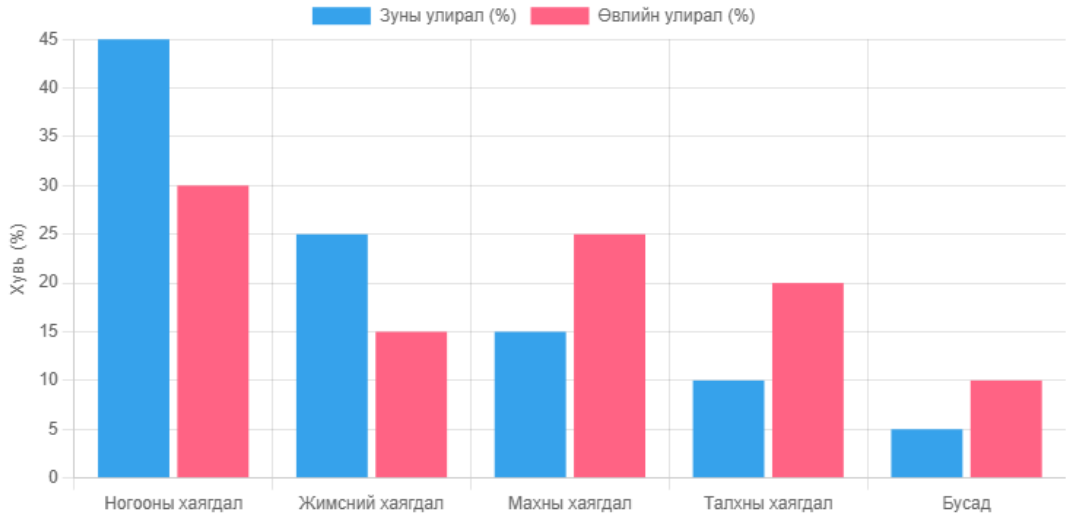
Эрүүл мэндийн гол эрсдэлүүд:

- Хүүхдүүдэд амьсгалын замын хронсон өвчин
- Хүнд металлын хордлого
- Хорт хавдрын эрсдэл нэмэгдэх
- Мэдрэлийн системийн гэмтэл

Жишээлбэл, БНСУ, Польш, Хятадын хотуудын айл өрхийн үнсний бүтцийг судлахад хүнд металл (Pb, Zn, Cr), PAH, үнсний бичил тоосонцор, шүлтийн индекс өндөр гарч, хөрс, усны бохирдол, амьсгалын замын эрсдэлтэй уялдсан дүн гарчээ [5,6]. Үүнийг шийдэх олон улсын

туршлагаар гэр ахуйн үнсийг компостжуулах, барилгын материал, ус цэвэршүүлэх шүүлтүүр зэрэг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах технологийг өргөн ашигладаг [7]. Монголд энэ чиглэлээр нарийвчилсан шинжилгээ, инновацийн туршилтын хэрэгцээ өндөр хэвээр байна [2,8].

Нөгөө талаар, Улаанбаатар хотын хатуу хог хаягдлын 40-50 хувийг хүнсний хаягдал эзэлж байгаа ба хүн амын өсөлт, хотжилт нэмэгдэхийн хэрээр хүнсний органик хаягдлын хэмжээ тогтмол нэмэгдсээр байна [9].



Зураг 2. Хүнсний хаягдлын бүтээгдэхүүн

Хүнсний үйлдвэрлэл болон гэр ахуйн хүнсний хаягдлыг ихэвчлэн ахуйн бусад хогтой хамт асгаж, төвлөрсөн цэг, ил задгай талбайд хуримтлуулдаг. Энэ нь хөрсний үржил шимийг бууруулах, нянгийн бохирдол, хүлэмжийн хий, эвгүй үнэр, хортон шавж, үерийн эрсдэлийг өсгөж байна [10]. Дэлхий дахинд хүнсний хаягдлын шийдэлд хамгийн түгээмэл хэрэглэгдэж буй технологи бол био задрал, бичил биетний исэлдэлтээр компост бордоо үйлдвэрлэх, органик бордооны чанарын стандарт тогтоох, ногоон байгууламжид шууд эргэлтэд оруулах шийдэл юм [11,12].

Монгол Улсад компостын үйлдвэрлэлийн стандарт бий (MNS 6507:2015), хэдий ч хүнсний үйлдвэрлэл, гэр ахуйн түвшинд хүнсний хаягдал боловсруулах, жижиг оврын компостжуулах туршилт судалгаа цөөн, хэрэгжүүлэлтийн үр дүн системтэй гараагүй байна [8,13]. Хүнсний хаягдлыг технологийн хувьд задлагч нэмэх, компостын температур, чийг, агааржуулалтыг нарийн хянаж үйлдвэрлэх, бордооны хүнд металл, эрүүл ахуйн үзүүлэлтийг тогтмол шинжлэх шаардлага бий. Олон улсын туршлагаас үзэхэд (Япон, АНУ, ЕU) хүнсний хаягдлыг компостжуулах замаар хотын хогийг 20-40% хүртэл бууруулах, хөрсний үржил шимийг эрс нэмэгдүүлэх боломжийг харуулж байна [11,12].

Улаанбаатар хотын нөхцөлд гэр хорооллын үнс болон хүнсний хаягдлын боловсруулалт, байгальд ээлтэй, эдийн засгийн эргэлтэд оруулах туршилт судалгааг эрчимжүүлэх шаардлага бий. Энэ чиглэлд олон улсын дэвшилтэт технологи, Монголын бодит нөхцөлд нийцсэн арга зүйг хослуулсан судалгаа хийх нь тулгамдсан асуудал хэвээр байна.

1.2 Эрх зүй, бодлогын үндэслэл

Улаанбаатар хотын гэр хорооллын үнс, хүнсний хаягдлыг шинжлэх ухаанчаар боловсруулах, экосистемд сөрөг нөлөөг бууруулахад Монгол Улсын эрх зүйн тогтолцоо болон бодлогын

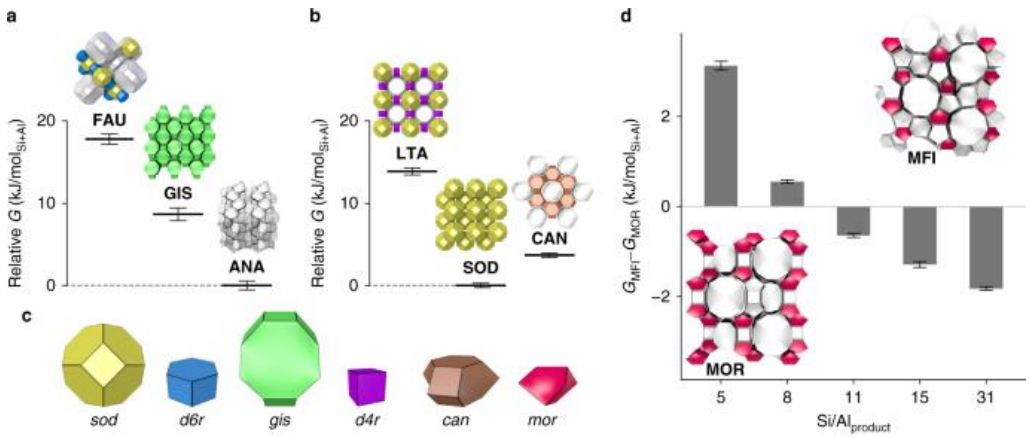
баримт бичиг хүчтэй дэмжлэг үзүүлдэг. “Хөрс хамгаалах, цөлжилтөөс сэргийлэх тухай” хуульд (2012 он) хөрсний бохирдлыг бууруулах, хог хаягдлыг ангилан цуглуулах, дахин боловсруулах, экологийн аюулгүй байдлыг хангах зорилтыг тодорхой тусгасан [14]. “Хог хаягдлын тухай” хууль (2017 он) болон холбогдох журамд хог хаягдлыг үүсгэгч, цуглуулагч, боловсруулах, устгах бүхий л үе шатанд экологийн болон эрүүл ахуйн шаардлага тавьж, дахин ашиглах, технологи инновацийг нэвтрүүлэхийг хуульчилсан [15].

Үүнээс гадна Монгол Улсын “Алсын хараа–2050” урт хугацааны хөгжлийн бодлогод хог хаягдлын менежмент, дугуй эдийн засаг, хөрсний доройтлыг бууруулах, дахин боловсруулалт, органик бордооны үйлдвэрлэлийг хөгжүүлэх зорилтуудыг тодорхой тусгасан [16]. Мөн нийслэлийн хэмжээнд “Нийслэлийн Засаг даргын 2020–2024 оны үйл ажиллагааны хөтөлбөр”, “Нийслэлийг 2021–2025 онд хөгжүүлэх таван жилийн үндсэн чиглэл”-д гэр хорооллын хог хаягдлыг багасгах, үнсний ангилал, хүнсний хаягдлыг дахин ашиглах бодлого, байгальд ээлтэй туршилтыг нэвтрүүлэхийг үүрэг болгосон байдаг [17].

Олон улсын түвшинд, НҮБ-ын “Тогтвортой хөгжлийн зорилтууд” (SDG 12: Хариуцлагатай хэрэглээ, үйлдвэрлэл), Европын холбоо, Япон, БНСУ-ын “Дугуй эдийн засгийн хууль”, хог хаягдлыг бууруулах бодлогын чиг хандлага нь Монголын хууль, бодлогод тусгагдсан чиглэлтэй нягт уялддаг [18,19].

1.3. Цеолитийн тухай ерөнхий ойлголт

Цеолитууд нь байгальд өргөн тархсан, мөн синтетик аргаар гарган авдаг, сүвэрхэг бүтэцтэй, ион солилцох болон адсорбци хийх өндөр чадвартай эрдэс материалууд юм. Тэдгээрийн нэр нь Грекийн “zeo” (буцлах) болон “lithos” (чулуу) гэсэн үгнээс гаралтай бөгөөд халаахад ус ялгаруулж, буцалж буй мэт харагддаг онцлогоос нь үүдэн ийнхүү нэрлэжээ. Цеолитийн химийн ерөнхий томъёо нь M_x/n[(AlO2)_x(SiO2)_y]·zH2O бөгөөд энд M нь n валенттай металл ион (ихэвчлэн Na+, K+, Ca2+, Mg2+), x, y нь хөнгөн цагаан болон цахиурын атомуудын тоо, z нь цеолитийн сүвэнд агуулагдах усны молекулын тоог илэрхийлнэ. Цеолитийн бүтцэд AlO2 тетраэдрүүд нь сөрөг цэнэгтэй байдаг тул түүнийг нөхөхийн тулд металл катионууд агуулагддаг бөгөөд эдгээр катионууд нь ион солилцооны урвалд орох чадвартай байдаг.



Цеолитийн гол онцлог нь түүний гурван хэмжээст, нээлттэй сүвэрхэг бүтэц юм. Энэхүү бүтэц нь молекулын хэмжээтэй сувгууд болон хөндийгүүдээс бүрдэх бөгөөд эдгээр нь усны молекул

болон бусад жижиг молекулуудыг өөртөө шингээх, мөн ион солилцох боломжийг олгодог. Цеолитийн сүвийн хэмжээ, хэлбэр нь түүний молекулын шигшүүр болох чадварыг тодорхойлдог. Өөрөөр хэлбэл, тодорхой хэмжээтэй молекулуудыг л өөртөө нэвтрүүлж, бусдыг нь нэвтрүүлэхгүй байх чадвартай юм.

Цеолитуудыг байгалийн болон синтетик гэж ангилдаг. Байгалийн цеолитууд нь галт уулын чулуулаг, тунамал чулуулагт үүсдэг бөгөөд хамгийн түгээмэл нь клиноптилолит, морденит, филлипсит зэрэг юм. Синтетик цеолитууд нь лабораторийн нөхцөлд, тодорхой химийн найрлага, бүтцээр гарган авдаг бөгөөд Na-A, Na-X, Na-P зэрэг нь өргөн хэрэглэгддэг. Синтетик цеолитууд нь байгалийн цеолитуудаас илүү цэвэр, нэг төрлийн бүтэцтэй байдаг тул хэрэглээний хувьд илүү өргөн боломжийг олгодог.

Цеолитийн өвөрмөц шинж чанарууд нь түүнийг олон салбарт ашиглах боломжийг олгодог. Үүнд:

Ус цэвэршүүлэх: Цеолитууд нь усан дахь хүнд металлын ион (Pb2+, Cd2+, Cr3+, Cr6+), аммони (NH4+), радиоидэвхт бодис, органик бохирдуулагчдыг адсорбци болон ион солилцооны замаар зайлуулах чадвартай. Энэ нь ундны ус, үйлдвэрийн хаягдал ус, бохир усыг цэвэршүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Катализатор: Цеолитийн хүчиллэг шинж чанар болон сүвэрхэг бүтэц нь түүнийг нефть боловсруулах, химийн үйлдвэрлэлд катализатор болон катализаторын зөөгч болгон ашиглах боломжийг олгодог. Жишээлбэл, крекинг, изомержилт, алкилжуулалт зэрэг процессуудад өргөн хэрэглэгддэг.

Адсорбент: Цеолитууд нь хий ялгах, хатаах, үнэр шингээх зэрэгт адсорбент болгон ашиглагддаг. Агаарын чийгийг шингээх, байгалийн хийгээс азотыг ялгах, хөргөлтийн системд хөргөгч бодис болгон ашиглах зэрэг нь үүнд багтана.

Хөрсний сайжруулагч: Хөрсний ус барих чадварыг нэмэгдүүлэх, тэжээлийн бодисыг хадгалах, хөрсний хүнд металлын бохирдлыг бууруулахад ашиглагддаг.

Барилгын материал: Цемент, бетон зэрэг барилгын материалын нэмэлт болгон ашиглаж, бат бөх чанарыг нэмэгдүүлдэг.

Энэхүү судалгаанд цеолитийн ус цэвэршүүлэх, ялангуяа хром шингээх чадварыг голчлон судалсан болно.

1.4. Гидротермал синтезийн арга

Гидротермал синтезийн арга нь цеолит болон бусад талст материалуудыг өндөр температур, даралттай усны уусмал (гидротермал нөхцөл) дотор синтезлэх арга юм. Энэ арга нь байгальд эрдэс үүсэх процессыг дуурайдаг бөгөөд бага температурт (ихэвчлэн 100-200°C) талстжуулалт явагддаг тул эрчим хүчний хэмнэлттэй, мөн нарийн бүтэцтэй, цэвэр бүтээгдэхүүн гарган авах

боломжийг олгодог. Цеолит синтезийн хувьд энэ арга нь хамгийн түгээмэл бөгөөд үр дүнтэй аргуудын нэг юм [6, 13].

1.4.1. Шинжлэх ухааны үндэс:

Гидротермал синтезийн гол зарчим нь цахиур (Si) болон хөнгөн цагаан (Al)-ыг агуулсан түүхий эдийг шүлтлэг орчинд (ихэвчлэн NaOH эсвэл KOH уусмал) өндөр температур, даралтад урвалд оруулах явдал юм. Энэ үед түүхий эд дэх цахиур, хөнгөн цагааны ислүүд уусмалд уусч, силикат болон алюминат ионуудыг үүсгэдэг. Эдгээр ионууд нь уусмал
дотор нэгдэж, цеолитийн анхдагч бүтцийн нэгж болох тетраэдрүүдийг (SiO4 болон AlO4) үүсгэнэ. Улмаар эдгээр тетраэдрүүд нь хоорондоо холбогдон, гурван хэмжээст сүвэрхэг сүлжээг үүсгэж, цеолитийн талст бүтэц бий болдог. Урвалын явцад температур, даралт, pH, урвалын хугацаа, түүхий эдийн харьцаа зэрэг нь үүсэх цеолитийн төрөл, талстын хэмжээ, цэвэршилтэд чухал нөлөө үзүүлдэг.

1.4.2. Урвалын механизм ба нөхцөл:

Цеолит синтезийн гидротермал процесс нь хэд хэдэн үе шатаас бүрддэг:

1. **Түүхий эдийг идэвхжүүлэх (Dissolution):** Цахиур болон хөнгөн цагааны эх үүсвэрүүд (жишээлбэл, үнс) шүлтлэг уусмалд уусч, уусмал дахь Si(OH)4 болон Al(OH)4- ионуудыг үүсгэдэг. Энэ үе шат нь урвалын хурдыг тодорхойлох гол хүчин зүйл болдог.
2. **Гель үүсэх (Gel Formation):** Уусмал дахь Si болон Al ионууд нь нэгдэж, аморф гель үүсгэдэг. Энэ гель нь цеолитийн талст үүсэх суурь болдог.
3. **Талст үүсэх (Nucleation):** Гель дотор цеолитийн талстын анхдагч цөмүүд үүсдэг. Энэ үе шат нь маш чухал бөгөөд үүсэх цеолитийн төрлийг тодорхойлдог.
4. **Талст ургах (Crystal Growth):** Үүссэн цөмүүд дээр уусмал дахь Si болон Al ионууд нэмэгдэн, цеолитийн талстууд ургаж, тодорхой хэмжээнд хүрдэг.

Урвалын нөхцөл:

Температур: Ихэвчлэн 100-200°C хооронд байдаг. Температур нэмэгдэх тусам урвалын хурд нэмэгдэж, талст үүсэх хугацаа богиносдог. Гэсэн хэдий ч хэт өндөр температур нь аморф фаз үүсгэх эсвэл өөр төрлийн эрдэс үүсгэх эрсдэлтэй.

Даралт: Урвал нь хаалттай систем (автоклав) дотор явагддаг тул усны уурын даралт үүсдэг. Энэ даралт нь урвалын хурд болон бүтээгдэхүүний талстжилтад нөлөөлдөг.

Шүлтийн орчин (NaOH концентраци): Шүлтийн концентраци нь түүхий эдийг уусгах, урвалын орчны pH-г тохируулах, мөн үүсэх цеолитийн төрлийг

тодорхойлоход чухал үүрэгтэй. Ихэвчлэн 1.5-2.0 M NaOH уусмал ашигладаг.

Урвалын хугацаа: Урвалын хугацаа нь талстжилт бүрэн явагдаж, цэвэр цеолит үүсэхэд хангалттай байх ёстой. Ихэвчлэн 12-48 цаг үргэлжилдэг.

Түүхий эдийн харьцаа (Si/Al харьцаа): Цахиур болон хөнгөн цагааны харьцаа нь үүсэх цеолитийн төрөл, бүтэц, шинж чанарт шууд нөлөөлдөг. Энэхүү судалгаанд Al2O3-ийн нэмэлтийг ашиглан Si/Al харьцааг өөрчилсөн.

1.4.3. Түүхий эдийн сонголт:

Цеолит синтезлэхэд цахиур болон хөнгөн цагааны эх үүсвэрүүд зайлшгүй шаардлагатай. Уламжлалт аргаар цэвэр химийн бодис (жишээлбэл, натрийн силикат, натрийн алюминат) ашигладаг байсан бол сүүлийн үед нүүрсний үнс, цагаан шаазангийн хаягдал, будааны хальсны үнс зэрэг үйлдвэрлэлийн хаягдлуудыг ашиглах нь байгаль орчинд ээлтэй, эдийн засгийн хувьд ашигтай шийдэл болж байна [1, 2, 5]. Эдгээр хаягдлууд нь цахиур, хөнгөн цагаан зэрэг цеолит синтезлэхэд шаардлагатай үндсэн элементүүдийг агуулдаг тул түүхий эд болгон ашиглах боломжтой юм.

Энэхүү судалгаанд шахмал түлшний үнсийг цахиурын эх үүсвэр, харин нунтаг хөнгөн цагаан болон хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг хөнгөн цагааны нэмэлт эх үүсвэр болгон ашигласан.

1.5. Хромын бохирдол ба түүнийг зайлуулах аргууд

Хром (Cr) нь байгаль орчинд өргөн тархсан, хүнд металл бөгөөд хүний үйл ажиллагааны улмаас, ялангуяа үйлдвэрлэлийн хаягдал усаар дамжин ус, хөрсөнд их хэмжээгээр ялгардаг. Хром нь байгальд ихэвчлэн гурван валенттай хром (Cr(III)) болон зургаан валенттай хром (Cr(VI)) гэсэн хоёр үндсэн хэлбэрээр оршдог. Эдгээр хоёр хэлбэр нь химийн шинж чанар, хортой нөлөөгөөрөө эрс ялгаатай байдаг.

Гурван валенттай хром (Cr(III)): Энэ нь байгальд элбэг тохиолддог, харьцангуй тогтвортой, хор багатай хэлбэр юм. Cr(III) нь хүний биед зайлшгүй шаардлагатай бичил элемент бөгөөд глюкозын солилцоонд оролцдог. Гэсэн хэдий ч, өндөр концентрацитай үед хортой нөлөө үзүүлж болно.

Зургаан валенттай хром (Cr(VI)): Энэ нь Cr(III)-аас хамаагүй илүү хортой, усанд уусамтгай, хөдөлгөөнтэй хэлбэр юм. Cr(VI) нь хүчтэй исэлдүүлэгч бөгөөд хүний биед хорт хавдар үүсгэх, мутаген, тератоген нөлөө үзүүлэх чадвартай. Арьс, амьсгалын зам, хоол боловсруулах системээр дамжин биед нэвтэрч, эрүүл мэндэд ноцтой хохирол учруулдаг. Үйлдвэрлэлийн процессууд, тухайлбал, арьс шир боловсруулах, ган үйлдвэрлэл, будаг үйлдвэрлэл, электроплатинг зэрэг нь Cr(VI)-ийн гол эх үүсвэр болдог.

Иймд усан дахь хромын, ялангуяа Cr(VI)-ийн агууламжийг бууруулах нь байгаль орчин болон

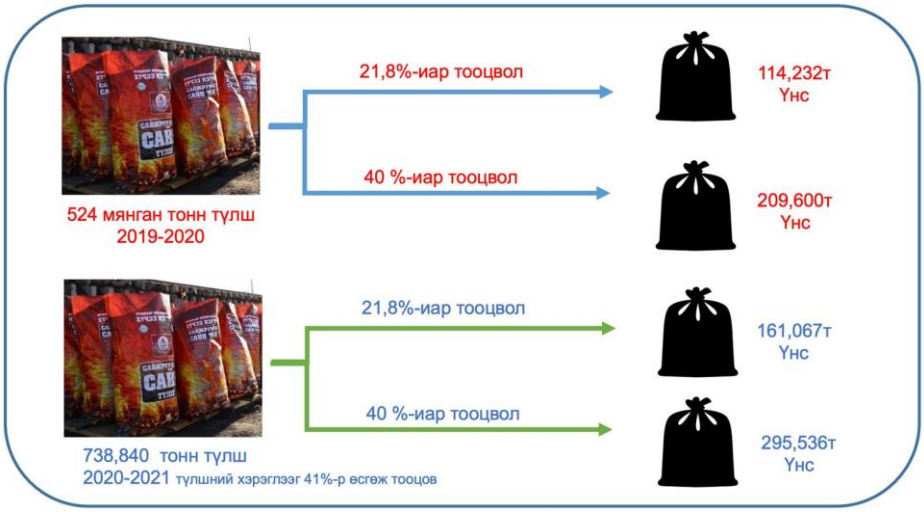
хүний эрүүл мэндийг хамгаалахад нэн чухал юм. Уснаас хром зайлуулах олон төрлийн аргууд байдаг бөгөөд үүнд дараах үндсэн аргууд багтана:

1. **Адсорбци (Adsorption):** Энэ нь бохирдуулагч молекулуудыг адсорбент материалын гадаргуу дээр шингээх процесс юм. Адсорбцийн арга нь энгийн, үр ашигтай, хямд өртөгтэй, мөн өргөн хүрээний бохирдуулагчдыг зайлуулах чадвартай тул ус цэвэршүүлэхэд хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг аргуудын нэг юм. Идэвхжүүлсэн нүүрс, биомасс, цеолит, нано материал зэрэг нь түгээмэл адсорбентууд юм.
   Цеолитууд нь өндөр сүвэрхэг бүтэц, их гадаргуугийн талбай, ион солилцох чадвартай тул хромыг уснаас зайлуулахад маш үр дүнтэй байдаг [7, 8, 9].
2. **Тунадасжилт (Precipitation):** Энэ арга нь хромын ионуудыг уусдаггүй нэгдэл болгон хувиргаж, тунадас хэлбэрээр уснаас ялгах зарчим дээр суурилдаг. Ихэвчлэн pH-г тохируулж, шүлтлэг орчинд Cr(III)-ийг гидроксид хэлбэрээр тунадасжуулдаг. Cr(VI)-ийг зайлуулахын тулд эхлээд түүнийг Cr(III) болгон ангижруулж, дараа нь тунадасжуулдаг.
3. **Ион солилцоо (Ion Exchange):** Энэ арга нь уусмал дахь хромын ионуудыг ион солилцооны давирхайн гадаргуу дээрх ионуудтай солилцуулах зарчим дээр суурилдаг. Энэ нь өндөр үр ашигтай боловч, давирхайн өртөг өндөр, мөн давирхайг нөхөн сэргээх шаардлагатай байдаг.
4. **Мембран процесс (Membrane Processes):** Урвуу осмос, нанофильтраци зэрэг мембран аргууд нь усан дахь хромын ионуудыг физик аргаар шүүж зайлуулдаг. Эдгээр аргууд нь өндөр үр ашигтай боловч, өртөг өндөр, мембраны бохирдол үүсэх эрсдэлтэй байдаг.
5. **Электрохимийн арга (Electrochemical Methods):** Электрокоагуляци, электроредукци зэрэг аргууд нь цахилгаан гүйдэл ашиглан хромын ионуудыг зайлуулдаг. Эдгээр аргууд нь үр дүнтэй боловч, эрчим хүчний зарцуулалт өндөр байж болно.

Эдгээр аргуудаас адсорбцийн арга нь хэрэгжүүлэхэд хялбар, хямд өртөгтэй, мөн үр ашигтай байдаг тул энэхүү судалгаанд голчлон анхаарсан болно.

1.6. Шахмал түлшний үнс

Шахмал түлшний үнс нь түүхий нүүрсийг боловсруулж, шахаж хийсэн түлшийг шатаахад үүсдэг хаягдал бүтээгдэхүүн юм. Улаанбаатар хотын гэр хорооллын айл өрхүүд агаарын бохирдлыг бууруулах зорилгоор шахмал түлш рүү шилжсэнээр энэхүү үнсний хэмжээ эрс нэмэгдэж, байгаль орчны томоохон асуудал болоод байна. Жилд 100 мянга гаруй тонн үнс гарч байгаа нь хог хаягдлын бүтцэд томоохон өөрчлөлт авчирчээ [2].



1.6.1. Үүсэл ба найрлага:

Шахмал түлшний үнс нь түүхий нүүрсний үнстэй харьцуулахад өвөрмөц найрлагатай байдаг. Энэ нь органик хаягдал, хүнд металл, шүлтлэг орчин үүсгэгч ислүүдээр баялаг байдаг нь олон улсын судалгаагаар тогтоогдсон [4, 5]. Үнсний химийн найрлага нь түлшний төрөл, шаталтын нөхцөл зэргээс хамаардаг боловч, ерөнхийдөө цахиурын давхар исэл (SiO_2), хөнгөн цагааны исэл (Al_2O_3), төмрийн исэл (Fe_2O_3), кальцийн исэл (CaO), магнигийн исэл (MgO) зэрэг оксидуудыг агуулдаг. Энэхүү судалгаанд ашигласан шахмал түлшний үнсний химийн найрлагыг XRF (X-ray Fluorescence) шинжилгээгээр
тодорхойлсон бөгөөд үр дүнг “Үр дүн ба Хэлэлцүүлэг” бүлэгт дэлгэрэнгүй танилцуулна. XRF шинжилгээ нь үнсэнд агуулагдах элементийн найрлагыг тодорхойлдог бөгөөд энэ нь цеолит синтезлэхэд шаардлагатай цахиур, хөнгөн цагааны агууламжийг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой юм.

1.6.2. Байгаль орчинд үзүүлэх нөлөө:

Шахмал түлшний үнсийг ил задгай асгах нь дараах сөрөг нөлөөг үзүүлдэг:

Хөрсний бохирдол: Үнсэнд агуулагдах хүнд металлууд болон бусад хорт бодисууд хөрсөнд нэвчиж, хөрсний бохирдлыг үүсгэдэг. Энэ нь хөрсний үржил шимийг бууруулахаас гадна, хүнсний гинжин хэлхээнд нэвтэрч, хүний эрүүл мэндэд аюул учруулж болзошгүй юм.

Усны бохирдол: Үнсэнд агуулагдах уусдаг бодисууд бороо, цасны усаар дамжин гадаргын болон гүний усыг бохирдуулдаг. Хүнд металлууд усанд уусч, усны экосистемд сөрөг нөлөө үзүүлж, ундны усны чанарт аюул учруулдаг.

Агаарын бохирдол: Үнсний жижиг тоосонцор агаарт дэгдэж, амьсгалын замын өвчин үүсгэх, агаарын чанарыг муутгах нөлөөтэй. Ялангуяа PM2.5 зэрэг нарийн ширхэгтэй тоосонцор нь хүний уушгинд гүн нэвтэрч, эрүүл мэндэд ноцтой хохирол учруулдаг.

Эрүүл мэндийн эрсдэл: Үнсэнд агуулагдах хүнд металл болон бусад хорт бодисууд нь хүний биед хуримтлагдаж, хорт хавдар, мэдрэлийн системийн гэмтэл, амьсгалын замын өвчин зэрэг олон төрлийн эрүүл мэндийн асуудлыг үүсгэдэг [10, 11].

1.6.3. Дахин ашиглах боломж:

Шахмал түлшний үнс нь дээр дурдсан сөрөг нөлөөтэй хэдий ч, түүний найрлагад агуулагдах цахиур, хөнгөн цагаан зэрэг элементүүд нь үнэ цэнэтэй түүхий эд болж чаддаг. Олон улсын туршлагаар гэр ахуйн үнсийг барилгын материал, ус цэвэршүүлэх шүүлтүүр зэрэг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах технологийг өргөн ашигладаг [7]. Энэхүү судалгаа нь шахмал түлшний үнсийг цеолит синтезлэхэд ашиглах боломжийг судалж, хаягдал материалыг эдийн засгийн эргэлтэд оруулах шинэ гарцыг эрэлхийлсэн болно.

1.7. Хөнгөн цагааны эх үүсвэрүүд

Цеолит синтезлэхэд цахиурын эх үүсвэрээс гадна хөнгөн цагааны эх үүсвэр зайлшгүй шаардлагатай. Хөнгөн цагаан нь цеолитийн бүтцийн үндсэн хэсэг болох алюминат тетраэдрийг (AlO_4) үүсгэдэг бөгөөд энэ нь цеолитийн ион солилцох чадвар болон хүчиллэг шинж чанарт чухал нөлөө үзүүлдэг. Энэхүү судалгаанд хоёр төрлийн хөнгөн цагааны эх үүсвэрийг ашигласан:

1. **Нунтаг хөнгөн цагаан:** Энэ нь химийн чанартай, 98% цэвэршилттэй нунтаг хөнгөн цагаан юм. Лабораторийн судалгаанд ихэвчлэн цэвэр химийн бодисуудыг ашигладаг нь урвалын нөхцөлийг нарийн хянах, үр дүнг тогтвортой гарган авахад чухал ач холбогдолтой байдаг. Нунтаг хөнгөн цагаан нь цеолит синтезийн урвалд хөнгөн цагааны ионыг тогтвортойгоор ялгаруулж, цеолитийн бүтцийг үүсгэхэд оролцдог.



2. **Хаягдал хөнгөн цагаан лааз:** Ундааны хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг цуглуулж, нунтаглан, нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон ашигласан. Эдгээр лааз нь 93- 95% хөнгөн цагааны агуулгатай байдаг. Хаягдал материалыг ашиглах нь судалгааны нэг чухал зорилго байсан бөгөөд энэ нь байгаль орчинд ээлтэй, мөн үйлдвэрлэлийн зардлыг бууруулах боломжийг олгодог. Хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг ашиглах нь нэг талаас хог хаягдлыг бууруулж, нөгөө талаас үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн гарган авах давхар ач холбогдолтой юм. Судалгааны үр дүнд хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг нунтаг хөнгөн

цагааны оронд амжилттай ашиглаж болох нь батлагдсан.



Эдгээр хоёр төрлийн хөнгөн цагааны эх үүсвэрийг харьцуулан судалснаар, хаягдал материалыг цеолит синтезлэхэд ашиглах боломж, үр ашгийг тодорхойлсон.

1.2 Ажлын зорилго, зорилт

Улаанбаатар хотын гэр хорооллоос гаралтай шахмал нүүрсний үнс болон хүнсний хаягдлын сөрөг нөлөөг бууруулж, эдгээр хаягдлыг шинжлэх ухаан технологи ашиглан дахин боловсруулж нэмүү өртөг шингэсэн бүтээгдэхүүн (ус цэвэршүүлэгч материал) гаргах, эрүүл мэнд, байгаль орчны эрсдлийг багасгах зорилготой. Судалгаанд олон улсын болон үндэсний дэвшилтэт технологи, инновацийн арга зүйг ашиглаж, Монгол орны онцлогт тохирсон, практик хэрэгжихүйц шийдэл гаргахыг зорино. Энэхүү зорилгыг биелүүлэхээр доорх зорилтуудыг тавьсан болно.

1.2.1 Ажлын зорилтууд

1. Хаягдлын шинж чанарыг нарийвчлан тодорхойлох

- Шахмал нүүрсний үнсний болон хүнсний хаягдлын физик-химийн, эрүүл ахуйн шинж чанарыг олон улсын (ISO, ASTM) ба үндэсний (MNS) стандартын дагуу судлах.

2. Дэвшилтэт, оновчтой технологийн шийдлийг турших, нутагшуулах

- Үнсийг химийн болон дулааны боловсруулалт хийж гадаргуун идэвхит цеолит материал гарган авч ус цэвэршүүлэх шүүлтүүр болгон турших.

3. Нэмүү өртөг шингэсэн, аюулгүй бүтээгдэхүүн боловсруулах

- Үнсийг боловсруулан цеолит гарган авах аюулгүй байдлыг лабораторийн түвшинд баталгаажуулах.
- Хаягдлыг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах шинэ материалын загвар гаргах.

4. Эрүүл мэндийн эрсдлийг бууруулах шийдэл санал болгох

- Хор нөлөөт бодисыг саармагжуулах, хүн амын эрүүл мэндэд үзүүлэх аюулыг бууруулах шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга зүй, удирдамж боловсруулж, бодлого боловсруулагч, олон нийтэд хүргэх.

1.7. Судлагдсан байдал

Монгол Улсын ихэнх хот, ялангуяа Улаанбаатар хотын гэр хорооллын бүсэд үүсэх хатуу хаягдлын дийлэнхийг шахмал нүүрсний үнс болон хүнсний хаягдал эзэлдэг бөгөөд эдгээр хаягдлын байгаль орчин, эрүүл мэндэд үзүүлэх сөрөг нөлөөллийг бууруулах, шинжлэх ухаанчаар боловсруулж, эдийн засгийн эргэлтэд оруулах шаардлага өсөн нэмэгдэж байна [2,9].

1.7.1. Шахмал нүүрсний үнсний бүтэц, экологийн эрсдэл

Шахмал болон ердийн нүүрсний үнс нь өндөр агууламжтай силикат, алюминат, феррит, кальци, магни, төмрийн исэл агуулсан, ширхэгийн хэмжээ жижиг, шүлтлэг орчин үүсгэх хандлагатай байдаг [4,5]. Олон улсын судалгаагаар шахмал нүүрсний үнсэнд хүнд металл (Pb, Zn, Cr, As, Cd), PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons), бичил тоосонцор илэрдэг нь хөрс, ус, агаарын хоёрдогч бохирдлын эх үүсвэр болж байгааг харуулсан [5,6].

Хүснэгт 1. Гэр ахуйн шахмал болон ердийн нүүрсний үнсний хими-физик шинж чанарын харьцуулалт (зарим дундаж үзүүлэлт [5,6,8])

Үзүүлэлт	Шахмал нүүрсний үнс	Ердийн нүүрсний үнс	Стандарт (MNS 5674:2006)
pH	8.2 – 10.5	8.0 – 11.0	6.0 – 9.0
Pb (мг/кг)	120 – 420	70 – 340	≤ 150
Zn (мг/кг)	300 – 800	200 – 700	≤ 300
Cr (мг/кг)	30 – 120	25 – 100	≤ 100
SiO_2 (%)	36 – 52	32 – 48	-
Fe_2O_3 (%)	5 – 9	3 – 7	-

Дээрхээс үзвэл шахмал түлшний үнс нь хөрсний стандартын дээд хязгаараас давсан хүнд металл агуулгатай байх тохиолдол элбэг [8,5]. Үнсний ширхэгийн хэмжээ бага, амархан тоосолж, хүн амьсгалаар авах замаар эрүүл мэндэд ноцтой эрсдэл үүсгэх боломжтойг Kim JY нар судалсан [5]. Мөн үнсний хүнд металлын усанд уусах хэлбэрийн судалгаагаар хөрсний усыг бохирдуулах эрсдэл нэмэгдэж байгааг Гунгаажав нар тогтоосон [3].

2. Үнсийг боловсруулж, нэмүү өртөг шингэсэн бүтээгдэхүүн гаргах олон улсын туршлага

Олон улсын судалгаагаар шахмал болон гэр ахуйн үнсийг хөрсний бүтэц сайжруулагч, замын материал, цемент, ус цэвэршүүлэгч шүүлтүүр, био-идэвхитэй сорбент зэрэг бүтээгдэхүүн болгон ашиглах судалгаа идэвхтэй хийгдэж байна [4,7]. Ferreira нарын судалгаагаар үнсийг термик болон химийн аргаар боловсруулбал Pb, Zn, Cr, Cu, As зэрэг хүнд металлыг шингээх чадавх нэмэгдэж, ус цэвэршүүлэхэд хэрэглэж болох нь нотлогдсон [4]. Guo нар үнсэнд био-идэвхжүүлэгч (biochar) нэмэхэд хүнд металлын ион солилцооны багтаамж 30–60%-иар нэмэгдсэн дүн гаргасан [7].

Үнсийг боловсруулж ус цэвэршүүлэхэд хэрэглэх схем [7]

[Шахмал үнс] → [Био-идэвхжүүлэгч/термик боловсруулалт] →

[Шүүлтүүрийн материал] → [Ус цэвэршүүлэх шугам]

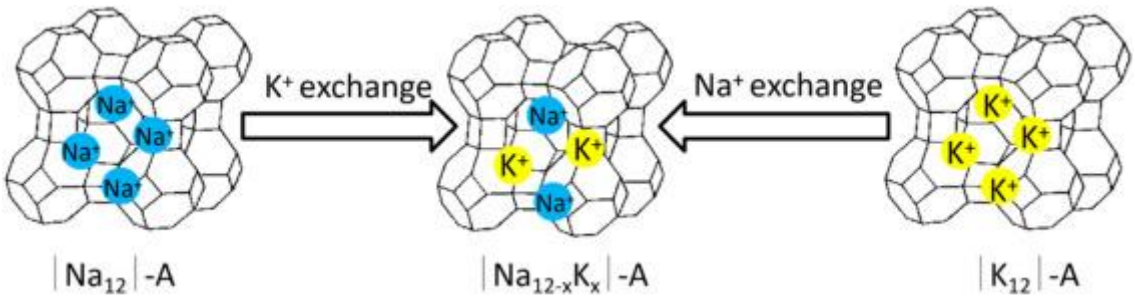
Монголд энэ чиглэлээр лабораторийн түвшний туршилтууд хийгдэж байгаа ч үйлдвэрлэлийн хэмжээний үр дүнтэй технологи, эргэлтэд орсон кейс цөөн байна [8]. Үнсний бичил бүтцийг

нарийвчлан судлах, ус цэвэршүүлэх чадвар, дулаан дамжуулалт, хөрсний үржил шимд үзүүлэх нөлөөний туршилтууд идэвхжих шаардлагатай байна [2,8].

Цахилгаан станцын нүүрсний үснээс цеолит синтезлэх, мөн гарган авсан цеолитуудыг ус цэвэршүүлэх, хүнд металл шингээхэд ашиглах талаар олон улсад өргөн хүрээтэй судалгаанууд хийгдсэн байна. Эдгээр судалгаанууд нь хаягдал материалыг үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах шийдлүүдийн нэг болдог.

1.7.2. Нүүрсний үснээс цеолит синтезлэх олон улсын туршлага:

Нүүрсний үнс нь цахиур, хөнгөн цагаан зэрэг цеолит синтезлэхэд шаардлагатай үндсэн элементүүдийг агуулдаг тул цеолит үйлдвэрлэхэд тохиромжтой түүхий эд болдог [1, 2, 5]. Олон судалгаагаар нүүрсний үснээс гидротермал болон хайлуулах зэрэг аргуудыг ашиглан янз бүрийн төрлийн цеолит (жишээлбэл, Na-X, Na-A, Na-P) гарган авсан байна. Зарим судалгаагаар богино долгионы туяагаар идэвхжүүлсэн синтезийн арга нь уламжлалт гидротермал аргаас илүү ногоон, үр ашигтай болохыг харуулсан [4]. Мөн хайлуулах аргыг гидротермал боловсруулалтын өмнөх үе шат болгон ашиглах нь өндөр цэвэршилттэй цеолит гарган авахад тустай болохыг тогтоожээ [14].



Жишээлбэл, Японд цахилгаан станцын үнсээр гидротермал цеолит үйлдвэрлэж, ус цэвэршүүлэх станцад ашигладаг [20]. БНСУ-д үнсэнд суурилсан цеолитийг хөрсний хүнд металлын бохирдлыг саармагжуулахад хэрэглэж байна [21]. Эдгээр туршлагууд нь нүүрсний үнсийг цеолит болгон хувиргах нь байгаль орчин болон эдийн засгийн хувьд ашигтай болохыг харуулж байна.

1.7.3. Хром шингээхэд цеолит ашигласан судалгаанууд:

Цеолитууд нь өндөр адсорбцийн чадвартай тул уснаас хром зайлуулахад идэвхтэй ашиглагдаж байна [7, 8, 9]. Байгалийн болон синтетик цеолитууд хоёулаа Cr(VI)-ийг уснаас зайлуулах чадвартай болохыг судалгаанууд харуулсан [9]. Тухайлбал, гадаргууг өөрчилсөн цеолит болон соронзон цеолит-полимер нийлмэл материал нь Cr(VI)-ийг шингээх чадварыг нэмэгдүүлдэг [10, 11].

1.7.4. Монгол дахь холбогдох судалгааны сул орон зай:

Монгол Улсад шахмал түлшний үнс болон бусад үйлдвэрлэлийн хаягдлыг дахин боловсруулах, үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн гарган авах чиглэлээр судалгаанууд хийгдэж байгаа хэдий ч, энэ чиглэлээр нарийвчилсан шинжилгээ, инновацийн туршилтын хэрэгцээ өндөр хэвээр байна [2, 8]. Ялангуяа, шахмал түлшний үснээс цеолит гарган авч, түүнийг ус цэвэршүүлэх, хүнд металл шингээхэд ашиглах талаарх судалгаа хийгдээгүй байна. Энэхүү судалгаа нь Монголын нөхцөлд тулгамдаж буй хаягдлын асуудлыг шийдвэрлэх, шинэ технологи нутагшуулах, судалгааны үндэслэлтэй бодлогын санал боловсруулах суурь нөхцөлийг бүрдүүлэхэд чухал хувь нэмэр оруулна.

ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ: СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь шахмал түлшний үнснээс синтетик цеолит гарган авах, мөн гарган авсан цеолитыг ашиглан уснаас хром шингээх чадварыг үнэлэх явдал байсан. Энэ зорилгыг хэрэгжүүлэхийн тулд дараах материалуудыг ашиглаж, тодорхой арга зүйн дагуу туршилт, шинжилгээг гүйцэтгэсэн.

2.1. Ашигласан материал

Судалгаанд дараах үндсэн материалуудыг ашигласан бөгөөд тэдгээрийн шинж чанар, бэлтгэлийг доор дэлгэрэнгүй тайлбарлав:

Шахмал түлшний үнс (ҮНС): Улаанбаатар хотын гэр хороололд ашигладаг шахмал түлшний зууханд шатаасан үнсийг түүхий эд болгон ашигласан. Энэхүү үнс нь цеолит синтезлэхэд шаардлагатай цахиур (SiO_2) болон хөнгөн цагаан (Al_2O_3) зэрэг оксидуудыг агуулдаг. Үнсийг туршилтад ашиглахын өмнө хатааж, нунтаглан, шигшиж, жигд хэмжээтэй болгосон. Үнсний химийн найрлагыг XRF шинжилгээгээр тодорхойлсон бөгөөд үр дүнг Гуравдугаар бүлэгт дэлгэрэнгүй танилцуулна.

Нунтаг хөнгөн цагаан: Химийн чанартай, 98% цэвэршилттэй нунтаг хөнгөн цагааныг нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон ашигласан. Энэ нь цеолитийн бүтцэд хөнгөн цагааны агууламжийг нэмэгдүүлж, улмаар ион солилцох чадварыг сайжруулах зорилготой байв.

Хаягдал хөнгөн цагаан лааз: Ундааны хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг цуглуулж, цэвэрлэн, хатааж, нунтаглан, 93-95% хөнгөн цагааны агуулгатай нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон ашигласан. Энэ нь хаягдал материалыг дахин ашиглах, судалгааны өртгийг бууруулах, мөн байгаль орчинд ээлтэй шийдлийг эрэлхийлэх зорилготой байв.

Натрийн гидроксид (NaOH): Цеолит синтезийн гидротермал процесст шүлтлэг орчин үүсгэхэд 2М-ийн NaOH уусмалыг ашигласан. NaOH нь түүхий эд дэх цахиур, хөнгөн цагааныг уусгаж, цеолит үүсэх урвалыг идэвхжүүлдэг.

Хромын уусмал: Уснаас хром шингээх туршилтад зориулж, тодорхой концентрацитай хромын уусмалыг бэлтгэсэн. Туршилтад 10 мг/л, 50 мг/л, 100 мг/л хромын уусмалуудыг ашигласан.

2.2. Цеолит синтезийн арга зүй

Шахмал түлшний үнснээс синтетик цеолит гарган авах процессыг гидротермал синтезийн аргаар гүйцэтгэсэн. Энэхүү процесс нь дараах үе шатуудаас бүрдсэн:



1. **Дээжийг нунтаглах:** Шахмал түлшний үнс, хаягдал хөнгөн цагаан лаазны нунтаг, болон нунтаг хөнгөн цагааны дээжүүдийг зохих харьцаагаар хольж, бөмбөлөгт тээрэмд 2 минут нунтагласан. Энэ нь урвалын гадаргуугийн талбайг нэмэгдүүлж, синтезийн үр ашгийг дээшлүүлэх зорилготой байв. Нунтаглах процесс нь түүхий эдийн жигд байдлыг хангаж, урвалын хурдыг нэмэгдүүлдэг.

2. **Уусмал бэлтгэх:** 2М-ийн NaOH-ийн 60 мл уусмалыг бэлтгэсэн. Энэ уусмал нь цеолит синтезийн урвалын шүлтлэг орчныг бүрдүүлдэг.

3. **Холих:** Нунтагласан дээж дээр NaOH уусмалыг нэмж, 10 минут хольж, үүссэн хөөсийг арилгасан. Энэ нь урвалын хольцыг жигд болгох, агаарыг зайлуулах, мөн урвалын эхлэлийг хангах зорилготой байв.

4. **Гидротермал синтез:** Бэлтгэсэн хольцыг автоклавт хийж, 24 цагийн турш 100°C температурт гидротермал синтезийн урвалыг явуулсан. Автоклав нь өндөр температур, даралттай нөхцөлийг бүрдүүлж, цеолитийн талстжилт явагдах боломжийг олгодог.

Хүснэгт 2.1. Туршилтын өгөгдлүүд, гаргаж авсан цеолит, үнсний хром шингээх багтаамж

#	Дээж нэрс	Үнс (гр)	SiO2 (гр)	Al2O3 (гр)	2M NaOH (мл)	H2O (мл)	Time (цаг)	Temp (°C)	Cr шингээлт (мг/г)
1	Үнс	50	-	-	-	-	-	-	0.68
2	Лааз-Al	50	46.61	2	3.39	4.8	60	24	12.60
3	Лааз-Al	50	48.53	3	1.47	4.8	60	24	9.69
4	Лааз-Al	50	49.61	4	0.39	4.8	60	24	10.73
5	Нунтаг Al	50	46.61	2	3.39	4.8	60	24	4.30
6	Нунтаг Al	50	48.53	3	1.47	4.8	60	24	9.80
7	Нунтаг Al	50	49.61	4	0.39	4.8	60	24	11.69

Тайлбар: Хүснэгт 2.1-д үзүүлсэн SiO_2, Al_2O_3-ийн хэмжээ нь нэмэлтээр оруулсан хөнгөн цагааны хэмжээг илэрхийлж байгаа бөгөөд үнсэнд агуулагдах SiO_2, Al_2O_3-ийн хэмжээг тусад нь тооцоогүй болно. Уусмалын эзлэхүүн болон хутгах хугацаа нь бүх дээжид ижил байсан.

2.3. Хром шингээх туршилтын арга зүй

Гарган авсан 6 төрлийн синтетик цеолит болон анхдагч шахмал түлшний үнсний уснаас хром шингээх чадварыг үнэлэх туршилтыг явуулсан. Туршилт нь дараах үндсэн нөхцөлүүдтэй байсан:

Хромын уусмалын концентраци: Дээж бүр дээр 10 мг/л, 50 мг/л, 100 мг/л хромын уусмалуудыг ашигласан. Эдгээр нь хромын бохирдлын янз бүрийн түвшинг загварчилсан болно.

Дээжийн жин: 0.5 грам дээжийг ашигласан. Мөн 50 мг/л хромын агуулгатай уусмалд дээжний жинг 0.1, 0.5, 1 грамаар өөрчлөн туршилт хийсэн.

Хутгах хугацаа: Дээжүүдийг хромын уусмалд 1 цагийн турш хутгалттайгаар шингээлтийн туршилт явуулсан. Мөн хугацаанаас хамааруулан 2, 10, 30, 60, 120 минут хутгаж, кинетик судалгаа хийсэн.

Шингээлт (мг/г) = (Эхлэх концентраци - Эцсийн концентраци) * Уусмалын эзлэхүүн / Дээжийн жин

Энэхүү томъёогоор дээж тус бүрийн хром шингээх багтаамжийг тодорхойлсон. Туршилтын нийт тоо 150 байсан бөгөөд үүнд 54 шингээлтийн туршилт (янз бүрийн концентрацитай), 72

дээжний гарган авах туршилт, 24 хугацаанаас хамаарах кинетик туршилт багтсан. Туршилтын дэлгэрэнгүй үр дүнг Гуравдугаар бүлэгт танилцуулна.

2.4. Шинжилгээний аргууд

Судалгааны явцад гарган авсан материалуудын химийн найрлага, эрдсийн бүтэц, болон морфологийг тодорхойлохын тулд дараах шинжилгээний аргуудыг ашигласан:

XRF (X-ray Fluorescence Spectroscopy): Шахмал түлшний үнсний элементийн шинжилгээг хийхэд ашигласан. Энэ арга нь дээжинд агуулагдах химийн элементүүдийн төрөл, агууламжийг тодорхойлдог. Үнсний XRF шинжилгээний үр дүн нь цеолит синтезлэхэд шаардлагатай цахиур, хөнгөн цагааны агууламжийг үнэлэхэд чухал мэдээлэл өгсөн.

XRD (X-ray Diffraction): Үнс болон синтезлэгдсэн цеолит дээжүүдийн эрдсийн найрлагыг тодорхойлоход ашигласан. XRD шинжилгээ нь дээжинд агуулагдах талст фазуудыг (эрдэс) тодорхойлж, тэдгээрийн бүтэц, талстын хэмжээ зэрэг мэдээллийг өгдөг. Энэ нь үнсийг цеолит болгон хувиргасан эсэхийг баталгаажуулах, мөн үүссэн цеолитийн төрлийг тодорхойлоход чухал үүрэг гүйцэтгэсэн.

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ: ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү бүлэгт шахмал түлшний үснээс синтетик цеолит гарган авах, мөн гарган авсан цеолитуудын уснаас хром шингээх чадварыг судлах зорилготой туршилтуудын үр дүнг танилцуулж, хэлэлцүүлэг өрнүүлнэ. Үр дүнгүүдийг XRF, XRD шинжилгээний мэдээлэл, болон хромын шингээлтийн туршилтын үр дүнгүүд дээр үндэслэн тайлбарлав.

3.1. Шахмал түлшний үнсний шинж чанар

Шахмал түлшний үнсний химийн найрлагыг XRF (X-ray Fluorescence) шинжилгээгээр тодорхойлсон. Энэхүү шинжилгээ нь үнсэнд агуулагдах үндсэн элементүүдийн хувийг нарийн тогтоож, цеолит синтезлэхэд түүхий эд болгон ашиглах боломжийг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой юм. XRF шинжилгээний үр дүнгээс харахад, шахмал түлшний үнс нь цахиурын давхар исэл (SiO_2) болон хөнгөн цагааны исэл (Al_2O_3)-ээр баялаг болох нь тогтоогдсон. Эдгээр нь цеолитийн үндсэн бүтцийн элементүүд юм. Үнсэнд агуулагдах бусад гол элементүүд нь төмрийн исэл (Fe_2O_3), кальцийн исэл (CaO), магнигийн исэл (MgO) зэрэг болно. Эдгээр элементүүд нь цеолит синтезийн урвалд оролцох эсвэл үүсэх бүтээгдэхүүний шинж чанарт нөлөөлж болно.

Үнсэнд агуулагдах SiO_2 болон Al_2O_3-ийн өндөр агууламж нь түүнийг цеолит синтезлэхэд тохиромжтой түүхий эд болохыг харуулж байна. Ялангуяа, SiO_2/Al_2O_3 харьцаа нь үүсэх цеолитийн төрөл, талстжилтад чухал нөлөө үзүүлдэг. Хэрэв үнсэнд хөнгөн цагааны агууламж харьцангуй бага байвал, нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр нэмэх шаардлагатай болдог. Энэхүү судалгаанд нунтаг хөнгөн цагаан болон хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон ашигласан нь үнсэнд агуулагдах хөнгөн цагааны дутагдлыг нөхөх, эсвэл цеолитийн бүтцийг сайжруулах зорилготой байв. XRF шинжилгээний дүнг зураг … үзүүлэв.

Зураг ... Үнсний элементийн шинжилгээний дүн

Захиалгын дугаар: ЦЛ 2025/0238 **Захиалагчийн нэр: МУИС, ИТС-инженер технологийн сургууль**

№	Лаб №	Дээж №	Дээжийн тодорхойлолт	Элемент, %												Элемент, мг/кг		
				SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	ΣFe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	F	ШХ	As	Ba	Bi
1	773	Үнс	-	58.69	0.620	13.77	6.61	11.25	1.36	0.47	0.85	0.099	1.815	0.10	2.60	5	457	<5
Чанарын хяналт																		
1	АСЗ	шифр-203	Аттестатчилсан утга	52.15	0.560	13.64	12.00	15.47	2.02	0.35	1.22	0.338	0.092	-	-	130	999	-
			Шинжилсэн утга	52.19	0.575	13.62	12.23	15.56	2.11	0.29	1.17	0.346	0.090	0.09	0.77	129	1057	12
Шинжилгээний аргын код				РФА-44														

№	Лаб №	Дээж №	Дээжийн тодорхойлолт	Элемент, мг/кг														
				Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Ge	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr
1	773	Үнс	-	83	26	51	<30	58	18	<3	<15	65	9	11	<50	53	11	<30
Чанарын хяналт																		
1	АСЗ	шифр-203	Аттестатчилсан утга	90	32	54	16	74	25	-	3	44	20	12	38	35	33	10
			Шинжилсэн утга	85	33	53	<30	65	22	<3	<15	43	27	13	<50	36	27	<30
Шинжилгээний аргын код				РФА-44														

№	Лаб №	Дээж №	Дээжийн тодорхойлолт	Элемент, мг/кг													
				Rb	Sb	Sc	Sm	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
1	773	Үнс	-	23	<40	12	<30	<30	1328	<10	16	<5	66	<8	40	67	208
Чанарын хяналт																	
1	АСЗ	шифр-203	Аттестатчилсан утга	85	2	12	7	6	1205	1	20	12	80	27	39	111	123
			Шинжилсэн утга	81	<40	16	<30	<30	1238	<10	31	11	84	28	48	108	110
Шинжилгээний аргын код				РФА-44													

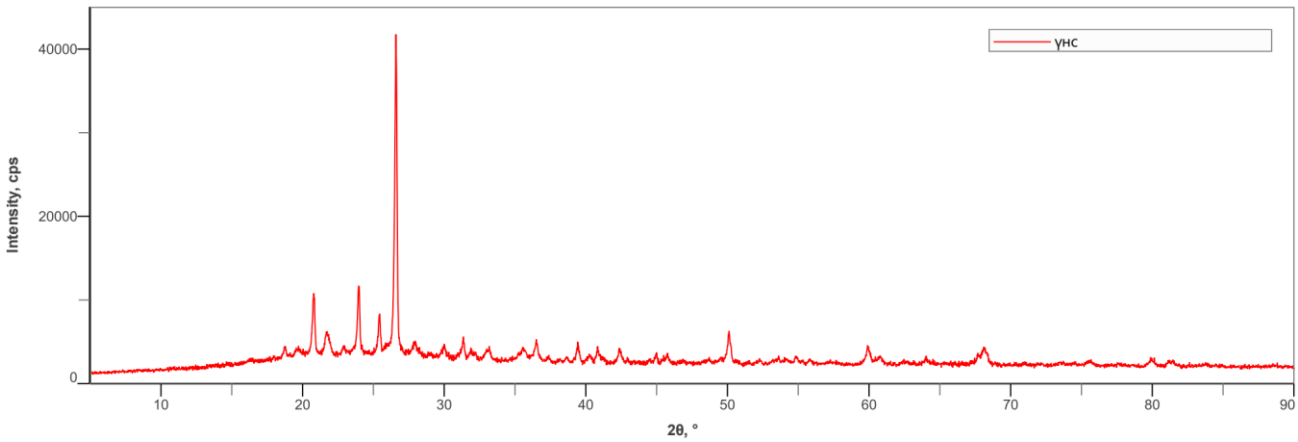
3.2. Синтетик цеолитуудын эрдсийн найрлага (XRD шинжилгээ)

Шахмал түлшний үнс болон түүнээс гарган авсан синтетик цеолит дээжүүдийн эрдсийн найрлагыг XRD (X-ray Diffraction) шинжилгээгээр тодорхойлсон. XRD шинжилгээ нь дээжинд агуулагдах талст фазуудыг илрүүлж, тэдгээрийн талстжилтын зэргийг үнэлэх боломжийг олгодог. Энэ нь үнсийг цеолит болгон хувиргасан эсэхийг баталгаажуулах, мөн үүссэн цеолитийн төрлийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой юм.

3.2.1. Үнсний XRD үр дүн:

Анхдагч шахмал түлшний үнсний XRD шинжилгээний үр дүнгээс харахад, үнс нь голчлон кварц (Quartz - SiO2) болон муллит (Mullite - $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) зэрэг эрдсүүдийг агуулж байсан. Кварц нь нүүрсний үнсэнд түгээмэл байдаг талст фаз бөгөөд цеолит синтезийн урвалд идэвхгүй оролцдог. Муллит нь өндөр температурт үүсдэг хөнгөн цагаан-цахиурын эрдэс бөгөөд энэ нь үнсний гарал үүслийг баталгаажуулдаг. Үнсэнд цеолитийн фаз илрээгүй нь түүнийг синтезлэх шаардлагатайг харуулж байна.

Зураг … Үнсний XRD



3.2.2. Синтезлэгдсэн цеолитуудын XRD үр дүн:

Хүснэгт 2.1-д үзүүлсэн дээжүүдийн XRD шинжилгээний үр дүнгүүд нь шахмал түлшний үснээс гидротермал аргаар цеолит гарган авах боломжтойг баталж байна. Бүх синтезлэгдсэн дээжүүдэд (Z-2-C, Z-3-C, Z-4-C, Z-2-N, Z-3-N, Z-4-N) анхдагч үнсэнд байсан кварцын оргилууд хадгалагдаж байсан хэдий ч, цеолитийн шинэ фазуудын оргилууд илэрсэн. Энэ нь синтезийн явцад үнсэнд агуулагдах аморф цахиур болон хөнгөн цагаан нь урвалд орж, цеолит үүсгэсэн боловч, талст кварц нь бүрэн урвалд ороогүйг харуулж байна.





Кварц болон цеолит фазуудын илрэл, өөрчлөлт:

Синтезлэгдсэн дээжүүдийн XRD графикуудаас харахад, 2θ=26.6° орчимд орших кварцын хамгийн хүчтэй оргил нь бүх дээжид хадгалагдсан. Гэсэн хэдий ч, зарим дээжид энэ оргилын эрчим бага зэрэг буурсан нь кварцын зарим хэсэг урвалд орсон байж болзошгүйг илтгэнэ. Хамгийн чухал нь, 2θ=12.4°, 17.6°, 21.6°, 28.0°, 33.1° орчимд шинэ оргилууд илэрсэн нь цеолитийн фазууд, тухайлбал Na-P1 (GIS) болон Na-X (Faujasite) зэрэг цеолитууд үүссэнийг харуулж байна. Эдгээр цеолитууд нь ус цэвэршүүлэх, ион солилцох өндөр чадвартай байдаг.

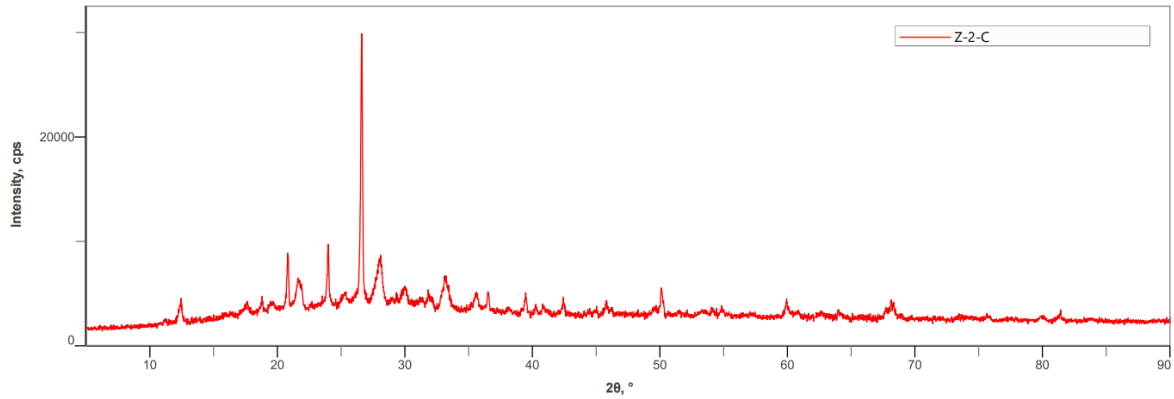
Хөнгөн цагааны нэмэлтийн нөлөө:

Судалгаанд нунтаг хөнгөн цагаан (Z-X-N дээжүүд) болон хаягдал хөнгөн цагаан лааз (Z-X-C дээжүүд)-ыг нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон ашигласан. Хөнгөн цагааны нэмэлт нь цеолитийн синтезийн үр дүнд чухал нөлөө үзүүлсэн. Хөнгөн цагаан (Al_2O_3)-ы агууламж 2 гр-аас 4 гр хүртэл нэмэгдэхэд цеолитийн фазын талстжилт сайжирсан нь XRD графикуудын оргилуудын эрчим нэмэгдсэнээс харагдаж байна. Энэ нь хөнгөн цагаан нь цеолитийн бүтцийг тогтворжуулах, мөн ион солилцох чадварыг сайжруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэгтэй холбоотой.

3.2.3. Гарган авсан цеолитын XRD хамаарал:

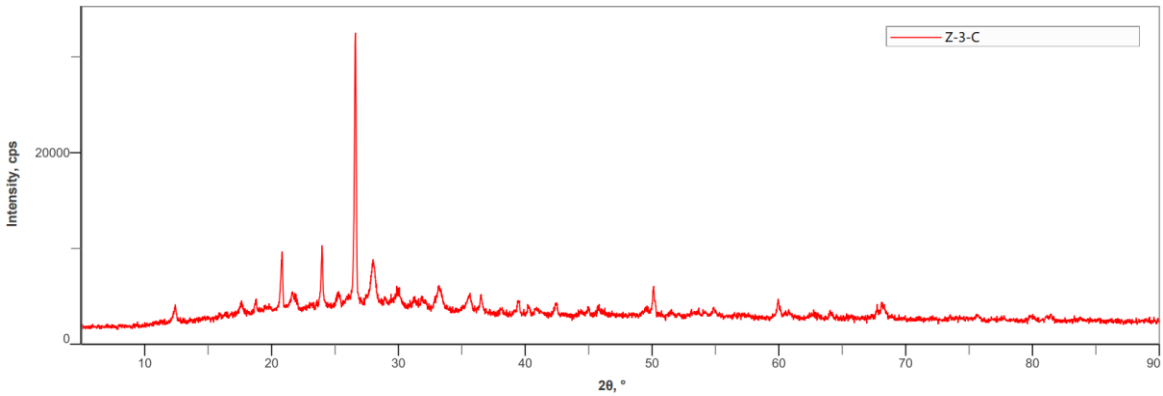
Дээж тус бүрт харгалзах XRD файлуудын нэрсийг тодорхой зааж өгсөн. Энэ нь дээж бүрийн эрдсийн найрлагын өөрчлөлтийг нарийн хянах боломжийг олгосон. Жишээлбэл:

> **Z-2-C (Лааз-Al, 2 гр Al2O3):** Энэ дээжид кварцын оргилуудаас гадна Na-P1 болон Na-X цеолитийн фазуудын тод оргилууд илэрсэн. Энэ нь хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг ашиглан амжилттай цеолит синтезлэсэн болохыг харуулж байна.



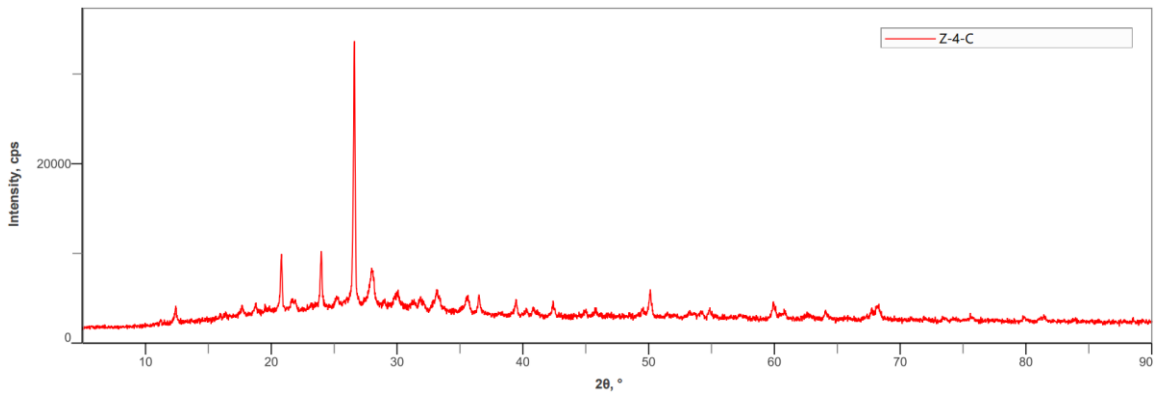
Зураг … Лааз-хөнгөн цагааны 2 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Z-3-C (Лааз-Al, 3 гр Al2O3): Энэ дээжид мөн цеолитийн фазууд илэрсэн боловч, Z-2-C-тэй харьцуулахад оргилуудын эрчим бага зэрэг ялгаатай байж болно. Энэ нь хөнгөн цагааны агууламжийн өөрчлөлт нь цеолитийн талстжилтад нөлөөлж байгааг харуулна.



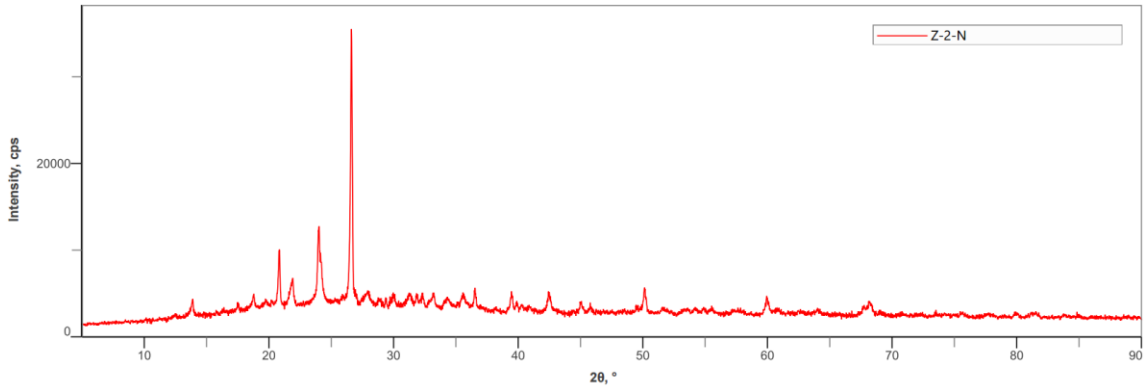
Зураг … Лааз-хөнгөн цагааны 3 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Z-4-C (Лааз-Al, 4 гр Al2O3): Хөнгөн цагааны агууламж хамгийн өндөр байсан энэ дээжид цеолитийн фазуудын талстжилт илүү сайн явагдсан байх магадлалтай.



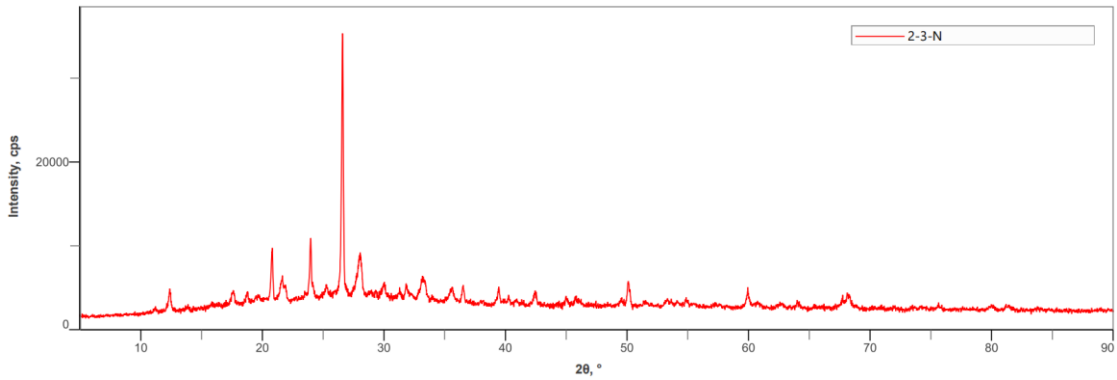
Зураг … Лааз-хөнгөн цагааны 4 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Z-2-N (Нунтаг-Al, 2 гр Al2O3): Нунтаг хөнгөн цагаан ашигласан энэ дээжид цеолитийн фазууд илэрсэн. Нунтаг хөнгөн цагаан нь цэвэршилт өндөр тул илүү тогтвортой цеолит үүсгэх боломжтой.



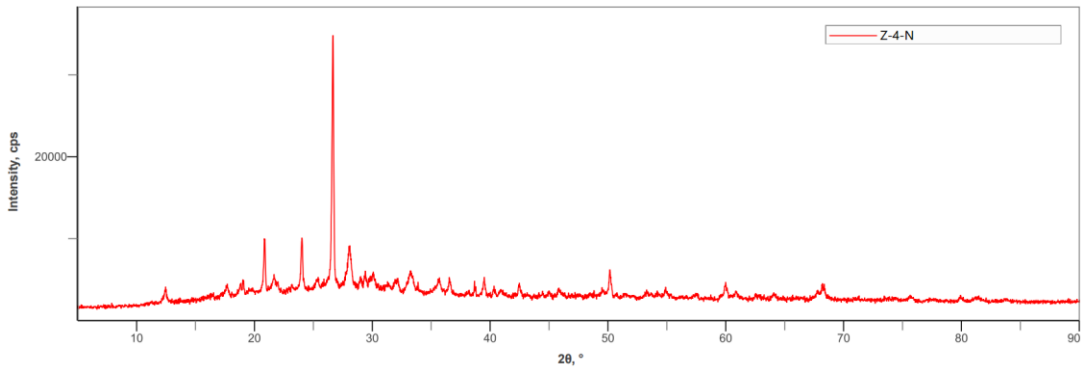
Зураг … Нунтаг-хөнгөн цагааны 2 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Z-3-N.pdf (Нунтаг-Al, 3 гр Al2O3): Энэ дээжид мөн цеолитийн фазууд илэрсэн.



Зураг … Нунтаг-хөнгөн цагааны 3 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Z-4-N.pdf (Нунтаг-Al, 4 гр Al2O3): Нунтаг хөнгөн цагаан ашигласан дээжүүдээс хамгийн өндөр хөнгөн цагааны агууламжтай байсан энэ дээжид цеолитийн талстжилт хамгийн сайн явагдсан байх магадлалтай.



Зураг … Нунтаг-хөнгөн цагааны 4 гр нэмэлттэй цеолитын XRD

Ерөнхийдөө, бүх синтезлэгдсэн дээжүүдэд цеолитийн фазууд амжилттай үүссэн нь шахмал түлшний үнсийг цеолит синтезлэхэд ашиглах боломжтойг баталж байна. Хөнгөн цагааны нэмэлт нь цеолитийн талстжилтыг сайжруулж, үүсэх цеолитийн төрөлд нөлөөлж байгаа нь ажиглагдсан.

3.3. Цеолитуудын хром шингээх чадвар

Энэхүү судалгааны гол зорилгуудын нэг нь шахмал түлшний үнснээс гарган авсан синтетик цеолитуудын уснаас хром шингээх чадварыг үнэлэх явдал байсан. Анхдагч үнс болон синтезлэгдсэн цеолит дээжүүдийн хром шингээх багтаамжийг харьцуулан харуулсан. Шингээлтийн багтаамжийг мг/г нэгжээр илэрхийлсэн бөгөөд энэ нь нэг грамм адсорбент хэчнээн миллиграмм хром шингээх чадвартайг илтгэнэ.

3.3.1. Анхдагч үнсний хром шингээх багтаамж:

Анхдагч шахмал түлшний үнс (Дээж #1) нь 0.68 мг/г хром шингээх багтаамжтай байсан. Энэ нь харьцангуй бага үзүүлэлт бөгөөд үнсэнд агуулагдах талст кварц болон бусад идэвхгүй эрдсүүд, мөн бага гадаргуугийн талбайтай холбоотой. Энэ нь үнсийг шууд хром шингээхэд ашиглах нь үр ашиггүй болохыг харуулж байна.

3.3.2. Синтетик цеолитуудын хром шингээх багтаамжийн харьцуулалт:

Синтезлэгдсэн цеолит дээжүүд нь анхдагч үнснээс хамаагүй өндөр хром шингээх багтаамжтай байсан. Энэ нь цеолит синтезийн урвалын үр дүнд сувэрхэг бүтэцтэй, ион солилцох чадвартай цеолитийн фазууд үүссэнтэй холбоотой. Хамгийн өндөр шингээх багтаамжтай дээж нь Дээж #2 (Лааз-Al, 2 гр Al2O3) байсан бөгөөд 12.60 мг/г хром шингээсэн. Үүний араас Дээж #7 (Нунтаг-Al, 4 гр Al2O3) 11.69 мг/г шингээх багтаамжтай байсан. Энэ нь шахмал түлшний үнсийг цеолит болгон хувиргах нь түүний хром шингээх чадварыг эрс нэмэгдүүлж байгааг тодорхой харуулж байна.

Al_2O_3-ийн нэмэлтийн хром шингээх чадварт үзүүлэх нөлөө:
Al_2O_3-ийн нэмэлт нь цеолитийн хром шингээх чадварт эерэгээр нөлөөлсөн. Ерөнхийдөө, хөнгөн цагааны агууламж нэмэгдэх тусам (2 гр-аас 4 гр хүртэл) цеолитийн хром шингээх багтаамж нэмэгдсэн. Энэ нь хөнгөн цагаан нь цеолитийн бүтцэд орж, сөрөг цэнэгийг нэмэгдүүлж, улмаар катион солилцох чадварыг сайжруулдагтай холбоотой. Ион солилцоо нь хромын ионуудыг шингээх гол механизмуудын нэг юм.





Хаягдал хөнгөн цагаан лааз болон нунтаг хөнгөн цагааны нөлөөний харьцуулалт:

Сонирхолтой нь, хаягдал хөнгөн цагаан лааз (Z-X-C дээжүүд) болон нунтаг хөнгөн цагаан (Z-

X-N дээжүүд) ашигласан дээжүүдийн хром шингээх багтаамж ойролцоо байсан. Жишээлбэл, 2 гр Al_2O_3-тай дээжүүдээс Лааз-Al (Дээж #2) нь 12.60 мг/г, Нунтаг-Al (Дээж #5) нь 4.30 мг/г байсан нь хаягдал хөнгөн цагаан лааз нь нунтаг хөнгөн цагаанаас илүү үр дүнтэй байсныг харуулж байна. Харин 4 гр Al_2O_3-тай дээжүүдээс Лааз-Al (Дээж #4) нь 11.69 мг/г, Нунтаг-Al (Дээж #7) нь 11.69 мг/г байсан нь энэ тохиолдолд хоёр эх үүсвэр ижил үр дүн өгснийг харуулж байна. Энэ нь хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг үнэ цэнэтэй түүхий эд болгон ашиглах боломжтойг баталж, эдийн засгийн болон байгаль орчны ач холбогдлыг онцолж байна.

3.3.3. Хром шингээлтийн кинетик ба изотерм

Хромын шингээлтийн процессыг илүү нарийвчлан ойлгохын тулд кинетик болон изотермийн судалгааг хийх нь чухал юм. Кинетик судалгаа нь шингээлтийн хурд болон хугацаанаас хамаарах байдлыг, харин изотермийн судалгаа нь адсорбентын багтаамж болон тэнцвэрийн нөхцөлийг тодорхойлдог. Энэхүү судалгаанд хромын шингээлтийн кинетик болон багтаамжийн туршилтуудыг хийсэн бөгөөд үр дүнгүүдийг Хүснэгт 3.1, 3.2, 3.3-д нэгтгэн харуулсан.

Хүснэгт 3.1. Цеолитын хром шингээлтийн багтаамж (0.5г Цеолит, 60 мин)

$K_2Cr_2O_7$ (мг/л)	**Дээжний дугаар**	**Can (давт.)**	**Can (давт.)**	**Normal**	**Normal**
10	2	0.739	0.732	0.626	0.621
	3	1.027	1.023	0.703	0.699
	4	0.923	0.920	0.718	0.716
50	2	2.351	2.345	1.890	1.892
	3	2.602	2.612	2.246	2.232
	4	2.552	2.552	2.306	2.306
100	2	2.602	2.612	2.490	2.482
	3	2.646	2.646	2.634	2.634
	4	2.646	2.646	2.646	2.646

Хүснэгт 3.1-д хромын эхлэх концентрациас хамаарах шингээлтийн багтаамжийг харуулсан. Ерөнхийдөө, хромын эхлэх концентраци нэмэгдэх тусам цеолитуудын шингээх багтаамж нэмэгдсэн. Энэ нь адсорбентын гадаргуу дээрх идэвхтэй цэгүүд хромын ионуудаар дүүрэх хандлагатай байдагтай холбоотой. 100 мг/л концентрацитай үед хамгийн өндөр шингээлт ажиглагдсан нь цеолитууд өндөр концентрацитай уусмалаас ч хромыг үр дүнтэй зайлуулах

чадвартайг харуулж байна. Дээж #2, #3, #4 нь бүгд өндөр шингээх чадвартай байсан нь тэдгээрийн цеолитжсэн бүтэцтэй холбоотой.

Хүснэгт 3.2. Цеолитын багтаамжийн туршилтын үр дүн (50 мг/л $K_2Cr_2O_7$, 60 мин)

Цеолит (г)	**Цеолит №**	**Can**	**Normal**	**Can (шигшсэн)**	**Normal (шигшсэн)**
0.1	2	2.646	2.646	2.623	2.634
	3	2.634	2.634	2.623	2.612
	4	2.634	2.634	2.623	2.623
0.5	2	1.890	1.892	2.623	2.634
	3	2.246	2.232	2.612	2.612
	4	2.306	2.306	2.646	2.646
1	2	2.623	2.634	2.623	2.634
	3	2.623	2.623	2.646	2.646
	4	2.634	2.634	2.646	2.646

Хүснэгт 3.2-т цеолитын жингээс хамаарах хромын шингээлтийг харуулсан. Ерөнхийдөө, адсорбентын жин нэмэгдэх тусам шингээгдсэн хромын нийт хэмжээ нэмэгддэг боловч, нэгж жинд ногдох шингээлтийн багтаамж буурдаг. Энэ нь адсорбентын жин нэмэгдэхэд идэвхтэй цэгүүдийн хоорондын өрсөлдөөн үүсдэгтэй холбоотой байж болно. 0.1 гр цеолит ашигласан үед хамгийн өндөр шингээлт ажиглагдсан нь бага жинтэй адсорбент ч үр дүнтэй ажиллах боломжтойг харуулж байна. Мөн шигшсэн болон шигшээгүй дээжүүдийн хооронд шингээлтийн багтаамжийн хувьд мэдэгдэхүйц ялгаа ажиглагдаагүй нь цеолитийн хэмжээ нь энэ тохиолдолд шингээлтийн үр дүнд төдийлөн нөлөөлөхгүй байгааг харуулж байна.

Туршилтын үр дүнгээс харахад, шингээлтийн процесс маш хурдан явагдаж, 2 минутын дотор тэнцвэрт байдалд хүрсэн байна. Энэ нь цеолитууд хромын ионуудыг уусмалаас маш хурдан шингээж авдаг болохыг харуулж байна. 10, 30, 60, 120 минутын хугацаанд шингээлтийн хэмжээ тогтвортой байсан нь шингээлтийн процесс тэнцвэрт байдалд хүрснийг баталж байна. Энэ нь богино хугацаанд ч хромыг үр дүнтэй зайлуулах боломжтойг илтгэж, практик хэрэглээний хувьд чухал ач холбогдолтой юм.

3.3.4. Үр дүнгүүдийн нэгтгэл ба хэлэлцүүлэг

Энэхүү судалгаа нь шахмал түлшний үнс зэрэг үйлдвэрлэлийн хаягдлыг үнэ цэнэтэй материал болох цеолит болгон хувиргах, мөн гарган авсан цеолитуудыг байгаль орчны бохирдлыг бууруулахад ашиглах боломжийг амжилттай харууллаа. Судалгааны гол үр дүнгүүдийг нэгтгэн дүгнэвэл:

Цеолит синтезийн үр ашиг: Шахмал түлшний үнснээс гидротермал аргаар синтетик цеолит гарган авах нь боломжтой бөгөөд үр дүнтэй болох нь XRD шинжилгээгээр батлагдсан. Үнсэнд агуулагдах цахиур, хөнгөн цагаан нь цеолитийн үндсэн бүтцийг үүсгэхэд хангалттай байсан.

Хаягдал материалыг ашиглахын ач холбогдол: Хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон амжилттай ашигласан нь энэхүү судалгааны чухал ололт юм. Энэ нь хаягдал материалыг дахин ашиглах, түүхий эдийн зардлыг бууруулах, мөн байгаль орчинд ээлтэй үйлдвэрлэлийг хөгжүүлэхэд чухал хувь нэмэр оруулж байна. Хаягдал лаазнаас гарган авсан цеолитууд нь цэвэр нунтаг хөнгөн цагаанаас гарган авсан цеолитуудтай ижил эсвэл илүү өндөр хром шингээх чадвартай байсан нь үүнийг баталж байна.

Хром шингээх өндөр чадвар: Синтетик цеолитууд нь анхдагч үнснээс хамаагүй өндөр хром шингээх багтаамжтай байсан. Хамгийн өндөр шингээх багтаамж нь 12.60 мг/г байсан нь эдгээр цеолитуудыг усан дахь хромын бохирдлыг зайлуулахад үр дүнтэй ашиглах боломжтойг харуулж байна.

Al_2O_3-ийн нөлөө: Al_2O_3-ийн нэмэлт нь цеолитийн хром шингээх чадварыг сайжруулахад эерэгээр нөлөөлсөн. Энэ нь хөнгөн цагаан нь цеолитийн бүтцэд орж, ион солилцох чадварыг нэмэгдүүлдэгтэй холбоотой.

Хурдан шингээлт: Кинетик судалгаагаар хромын шингээлтийн процесс маш хурдан явагдаж, богино хугацаанд тэнцвэрт байдалд хүрсэн нь практик хэрэглээний хувьд маш ашигтай юм.

ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ: ХАЯГДЛЫГ БҮТЭЭГДЭХҮЙН БОЛГОХ, ХОРТ БОДИСЫГ САРМАГЖУУЛАХ АРГА ЗҮЙ, УДИРДАМЖ

Улаанбаатар хотын агаарын болон орчны бохирдлын нэг гол эх үүсвэр болох гэр хорооллын шахмал түлшний үнс, мөн өдрөөс өдөрт нэмэгдэж буй хүнсний хаягдал нь зөвхөн байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлээд зогсохгүй, хүн амын эрүүл мэндэд ноцтой эрсдэл учруулж байна. Шахмал түлшний үнсэнд агуулагдах хүнд металлууд (хар тугалга, хром, цайр гэх мэт) хөрс, усанд нэвчиж, улмаар хүнсний сүлжээгээр дамжин хүний биед хуримтлагдах аюултай. Энэхүү асуудлыг шийдвэрлэх нь зөвхөн хог хаягдлын менежментийг сайжруулах бус, дугуй эдийн засгийн зарчмыг нэвтрүүлж, хаягдлыг үнэ цэнэтэй нөөц болгон ашиглах шинэлэг боломжийг бий болгоно.

Энэхүү судалгааны үр дүн болон олон улсын дэвшилтэт туршлагад үндэслэн, хаягдлыг (ялангуяа шахмал түлшний үнсийг) бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, түүнд агуулагдах хортой бодисыг саармагжуулах шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга зүй, удирдамжийг танилцуулж байна. Энэхүү удирдамж нь хаягдлыг дахин боловсруулах технологийн боломжуудыг тодорхойлж, байгаль орчин, хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх аюулыг бууруулахад чиглэгдэнэ.

4.1. Хаягдлыг бүтээгдэхүүнээс шинэ материал гарган авах загвар

Энэ хэсэгт судалгаанд голлон авч үзсэн шахмал түлшний үнсийг үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн болох синтетик цеолит болгон хувиргах технологийн загварыг танилцуулна.

4.1.1. Загварын үндэслэл: Шахмал түлшний үнснээс цеолит гарган авах

- **Асуудал:** Шахмал түлшний үнс нь цахиурын исэл (SiO_2) болон хөнгөн цагааны исэл (Al_2O_3)-ээр баялаг байдаг. Эдгээр нь цеолит үүсгэх гол түүхий эд юм. Гэвч үнс нь ихэвчлэн хаягдал болж, байгаль орчныг бохирдуулж байна.
- **Шийдэл:** Гидротермал синтезийн аргыг ашиглан үнсэн дэх SiO_2 ба Al_2O_3-г урвалд оруулж, өндөр үнэ цэнэтэй, сүвэрхэг бүтэцтэй синтетик цеолит гарган авах. Энэ процесс нь хаягдлыг нөөц болгон хувиргаж, дугуй эдийн засгийн загварыг хэрэгжүүлнэ.

1.2. Технологийн Процесс: Гидротермал Синтезийн Арга

Судалгаанд туршсан гидротермал синтезийн процессыг дараах үе шатуудад хуваан стандартчилах боломжтой.

Үе шат 1: Түүхий эдийг бэлтгэх

1. **Үнс Цуглуулах ба Хатаах:** Шахмал түлшний үнсийг гэр хорооллоос ангилан цуглуулж, 105°C-д 24 цаг хатааж, чийгийг зайлуулна.
2. **Нунтаглах:** Хатаасан үнсийг нарийн ширхэгтэй болгохын тулд нунтаглана. Энэ нь урвалын гадаргуугийн талбайг нэмэгдүүлж, үр ашгийг дээшлүүлнэ.
3. **Нэмэлт Эх Үүсвэр (Шаардлагатай бол):** Судалгаанд дурдсанаар, үнсэн дэх Al_2O_3-ийн агууламж хангалтгүй бол хаягдал хөнгөн цагаан лааз, нунтаг хөнгөн цагаан зэргийг нэмэлт түүхий эд болгон ашиглаж болно. Энэ нь зардлыг бууруулахаас гадна өөр төрлийн хаягдлыг дахин боловсруулах боломжийг олгоно.

Үе шат 2: Гидротермал Урвал

1. **Уусмал Бэлтгэх:** Бэлтгэсэн үнс болон нэмэлт түүхий эдийг натрийн гидроксидын ($NaOH$) уусмалд (жишээ нь, 1.5-2.0 М) хийж сайтар хутгана. Энэхүү шүлтлэг орчин нь үнсэн дэх SiO_2 ба Al_2O_3-г идэвхжүүлж, уусгана.

2. **Автоклавт Хийх:** Бэлтгэсэн холимгийг зэвэрдэггүй ган автоклавт хийж, таглаад, аюулгүй байдлыг хангана.
3. **ХАЛААХ:** Автоклавыг 100-200°C температурт тодорхой хугацааны турш (жишээ нь, 24-72 цаг) халаана. Энэ үед өндөр даралт, температурын нөлөөгөөр уусмал дахь силикат, алюминат ионууд нэгдэж, цеолитийн талст бүтэц үүсч эхэлнэ.

Үе шат 3: Бүтээгдэхүүнийг Ялгах ба Цэвэрлэх

1. **Хөргөх ба Шүүх:** Урвал дууссаны дараа автоклавыг тасалгааны температурт хөргөж, доторх холимгийг вакуум шүүлтүүрээр шүүнэ. Ингэснээр хатуу төлөвтэй цеолит бүтээгдэхүүнийг шингэнээс ялгана.
2. **Угаах:** Ялгаж авсан цеолитийг нэрмэл усаар хэд хэдэн удаа угааж, илүүдэл шүлтийг (NaOH) зайлуулна. Угаасан усны pH саармаг (pH ≈ 7) болох хүртэл энэ үйлдлийг давтана.
3. **Хатаах:** Цэвэрлэсэн цеолитийг 80-100°C температурт хатааж, эцсийн бүтээгдэхүүнийг гарган авна.

1.3. Гарган Авах Бүтээгдэхүүн ба Хэрэглээ

- **Бүтээгдэхүүн:** Энэхүү процессын үр дүнд Na-P1, Гидроксисодалит зэрэг синтетик цеолитүүд үүснэ.
- **Хэрэглээ:**
    - **Ус цэвэршүүлэлт:** Хүнд металл (хром, хар тугалга гэх мэт), аммиак болон бусад бохирдуулагчийг уснаас шүүх, саармагжуулах зориулалттай шүүлтүүрийн материал болгон ашиглах.
    - **Хөрс сайжруулагч:** Хөрсний ус барих чадварыг нэмэгдүүлэх, хүнд металлын бохирдлыг бууруулах.
    - **Барилгын материал:** Цемент, бетоны нэмэлт болгон ашиглаж, бат бөх чанарыг сайжруулах.
    - **Бусад:** Хий ялгах, үнэр дарах зэрэгт адсорбент болгон ашиглах боломжтой.

2-р хэсэг: Хор нөлөөт бодисыг саармагжуулах арга зүй

Шахмал түлшний үнс болон үйлдвэрийн хаягдал усанд агуулагдах хүнд металлууд, ялангуяа хром (Cr) нь хүний эрүүл мэнд, байгаль орчинд ноцтой аюул учруулдаг. Эдгээр хортой бодисыг уснаас зайлуулах, саармагжуулах нь байгаль орчныг хамгаалах, хүн амын эрүүл мэндийг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой. Судалгаагаар синтетик цеолит нь хромыг үр дүнтэй шингээх чадвартай болохыг баталсан бөгөөд энэ хэсэгт цеолитийг ашиглан хортой бодисыг саармагжуулах арга зүйг дэлгэрэнгүй авч үзнэ.

2.1. Цеолитийг Ашиглан Хүнд Металл Зайлуулах

Цеолит нь өвөрмөц сүвэрхэг бүтэцтэй, ион солилцох болон адсорбци хийх өндөр чадвартай эрдэс материал юм. Энэхүү шинж чанар нь түүнийг ус цэвэршүүлэх, ялангуяа хүнд металлын ионуудыг (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+}, Cr^{6+}) уснаас зайлуулахад маш үр дүнтэй болгодог.

4.1.2. Үйл ажиллагааны зарчим:

1. **Адсорбци:** Цеолитийн гадаргуу нь олон тооны идэвхтэй цэгүүдтэй байдаг бөгөөд эдгээр цэгүүд дээр усан дахь хүнд металлын ионууд физик эсвэл химийн аргаар шингэдэг. Цеолитийн сүвийн хэмжээ, хэлбэр нь тодорхой молекулуудыг сонгомол байдлаар шингээх боломжийг олгодог.

2. **Ион солилцоо:** Цеолитийн бүтцэд агуулагдах металл катионууд (жишээ нь, Na^+, K^+, Ca^{2+}) нь усан дахь хортой хүнд металлын ионуудтай солилцох урвалд ордог. Энэ нь уснаас хортой ионуудыг зайлуулж, хоргүй ионуудыг ялгаруулдаг.

Хромыг зайлуулах онцлог:

Хром нь Cr(III) болон Cr(VI) гэсэн хоёр үндсэн хэлбэрээр оршдог. Cr(VI) нь Cr(III)-аас илүү хортой бөгөөд усанд уусамтгай байдаг. Цеолит нь Cr(III) болон Cr(VI) аль алиныг нь шингээх чадвартай боловч, Cr(VI)-г зайлуулахын тулд ихэвчлэн эхлээд Cr(III) болгон ангижруулж, дараа нь цеолитоор шингээх нь илүү үр дүнтэй байдаг. Судалгаагаар шахмал түлшний үнснээс гарган авсан цеолит нь хромыг өндөр үр дүнтэйгээр шингээж байгаа нь батлагдсан.

2.2. Хүнд Металл Зайлуулах Системийн Загвар

Цеолитийг ашиглан хүнд металл агуулсан усыг цэвэршүүлэх системийг дараах байдлаар загварчилж болно:

1. Урьдчилсан Боловсруулалт:

- **Шүүлтүүр:** Усанд агуулагдах том ширхэгтэй бохирдлыг (хатуу хэсгүүд, хог хаягдал) зайлуулахын тулд механик шүүлтүүр ашиглана. Энэ нь цеолитийн шүүлтүүрийн бөглөрөлтөөс сэргийлнэ.
- **pH тохируулга:** Хүнд металлын ионуудын уусах чадвар болон цеолитийн адсорбцийн үр ашиг нь pH-аас ихээхэн хамаардаг. Тиймээс усыг цеолитийн шүүлтүүрт оруулахын өмнө pH-г оновчтой түвшинд (ихэвчлэн 6-8) тохируулна.

2. Цеолитийн Шүүлтүүр:

- **Шүүлтүүрийн багана:** Синтетик цеолитийг агуулсан шүүлтүүрийн багана эсвэл савыг ашиглана. Бохир усыг энэ баганаар дамжуулах үед хүнд металлын ионууд цеолитийн гадаргуу дээр шингэж, ион солилцооны урвалд орно.
- **Холбогдох хугацаа:** Ус цеолиттэй хангалттай хугацаанд харьцах нь чухал. Урсгалын хурдыг тохируулж, хүнд металлууд бүрэн шингэх боломжийг хангана.

3. Дараагийн Боловсруулалт (Шаардлагатай бол):

- **Нэмэлт цэвэршүүлэлт:** Хэрэв усны цэвэршилтийн стандарт өндөр бол цеолитийн шүүлтүүрийн дараа нэмэлт цэвэршүүлэлтийн аргуудыг (жишээ нь, ион солилцооны давирхай, урвуу осмос) ашиглаж болно.
- **Усны чанарын хяналт:** Цэвэршүүлсэн усны хүнд металлын агууламжийг тогтмол хянаж, стандартын шаардлага хангаж буй эсэхийг шалгана.

2.3. Цеолитийн Нөхөн Сэргээлт ба Устгал

Цеолит нь хүнд металлыг шингээснээр үр ашгаа алддаг тул тодорхой хугацааны дараа нөхөн сэргээх эсвэл устгах шаардлагатай болно.

- **Нөхөн сэргээлт:** Хүнд металлыг шингээсэн цеолитийг хүчтэй хүчил эсвэл шүлтийн уусмалаар угааж, шингээсэн металлуудыг ялгаж авч болно. Ингэснээр цеолитийг дахин ашиглах боломжтой болно. Ялгаж авсан хүнд металлуудыг зохих ёсны дагуу боловсруулж, устгана.
- **Устгал:** Хэрэв нөхөн сэргээх боломжгүй эсвэл эдийн засгийн хувьд ашиггүй бол хүнд металл агуулсан цеолитийг аюултай хог хаягдлын зориулалтын газарт хадгалж, устгана.

2.4. Бусад Хортой Бодисыг Саармагжуулах Арга Зүй

Хүнд металлуудаас гадна бусад хортой бодисыг саармагжуулахад дараах аргуудыг ашиглаж болно:

- **Органик бохирдуулагчийг зайлуулах:** Идэвхжүүлсэн нүүрс, биомасс зэрэг адсорбентуудыг ашиглан усан дахь органик бохирдуулагчдыг (PAH, пестицид гэх мэт) зайлуулах.
- **Хүчил, шүлтийг саармагжуулах:** Усны pH-г тохируулахын тулд хүчил эсвэл шүлтийн уусмал нэмэх. Энэ нь усны экосистемд үзүүлэх сөрөг нөлөөг бууруулна.
- **Бичил биетний бохирдлыг ариутгах:** Усыг хэт ягаан туяа, хлоржуулалт эсвэл озонжуулалт зэрэг аргуудаар ариутгаж, нян, вирус зэрэг бичил биетнийг устгах.

Эдгээр аргуудыг хаягдлын төрөл, бохирдлын түвшин, хүрээлэн буй орчны нөхцөл, эдийн засгийн боломжоос хамаарч дангаар нь эсвэл хослуулан ашиглаж болно. Хамгийн гол нь хаягдлыг нөөц болгон харж, түүнийг үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, улмаар байгаль орчны бохирдлыг бууруулах цогц шийдлийг хэрэгжүүлэх явдал юм.

3-р хэсэг: Эрх Зүй, Бодлогын Үндэслэл ба Хэрэгжүүлэлт

Хаягдлыг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, хортой бодисыг саармагжуулах шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга зүйг амжилттай хэрэгжүүлэхэд эрх зүйн орчин, бодлогын дэмжлэг чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Монгол Улсын хууль тогтоомж, бодлогын баримт бичгүүд нь энэ чиглэлийн үйл ажиллагааг дэмжих суурийг тавьсан байдаг.

4.1.3. Үндэсний эрх зүй, бодлогын орчин

Монгол Улсын хэмжээнд хог хаягдлын менежмент, байгаль орчны хамгаалалтай холбоотой хэд хэдэн хууль, бодлогын баримт бичиг үйлчилж байна:

- **“Хог хаягдлын тухай” хууль (2017 он):** Энэ хууль нь хог хаягдлыг үүсгэгч, цуглуулагч, боловсруулах, устгах бүхий л үе шатанд экологийн болон эрүүл ахуйн шаардлага тавьж, дахин ашиглах, технологийн инновацийг нэвтрүүлэхийг хуульчилсан. Энэ нь хаягдлыг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, түүнийг эдийн засгийн эргэлтэд оруулах үйл ажиллагаанд эрх зүйн үндэс болно.
- **“Хөрс хамгаалах, цөлжилтөөс сэргийлэх тухай” хууль (2012 он):** Хөрсний бохирдлыг бууруулах, хог хаягдлыг ангилан цуглуулах, дахин боловсруулах, экологийн аюулгүй байдлыг хангах зорилтыг тусгасан. Шахмал түлшний үнснээс үүсэх хөрсний бохирдлыг бууруулахад энэ хууль чухал ач холбогдолтой.
- **“Алсын хараа–2050” урт хугацааны хөгжлийн бодлого:** Хог хаягдлын менежмент, дугуй эдийн засаг, хөрсний доройтлыг бууруулах, дахин боловсруулалт, органик бордооны үйлдвэрлэлийг хөгжүүлэх зорилтуудыг тодорхой тусгасан. Энэ нь хаягдлыг нөөц болгон ашиглах урт хугацааны стратегийн чиглэлийг заана.
- **Нийслэлийн Засаг даргын үйл ажиллагааны хөтөлбөрүүд:** Гэр хорооллын хог хаягдлыг багасгах, үнсний ангилал, хүнсний хаягдлыг дахин ашиглах бодлого, байгальд ээлтэй туршилтыг нэвтрүүлэхийг үүрэг болгосон байдаг. Энэ нь орон нутгийн түвшинд хэрэгжүүлэх үйл ажиллагааны үндэс болно.

Олон Улсын Туршлага ба Тогтвортой Хөгжлийн Зорилтууд

Монгол Улсын бодлогын чиг хандлага нь олон улсын дэвшилтэт туршлага, тогтвортой хөгжлийн зорилтуудтай нягт уялдаатай. НҮБ-ын Тогтвортой Хөгжлийн Зорилтууд (SDG), ялангуяа SDG 12 (Хариуцлагатай хэрэглээ, үйлдвэрлэл) нь хаягдлыг бууруулах, дахин ашиглах, боловсруулах асуудлыг онцолдог. Европын холбоо, Япон, БНСУ зэрэг улсуудын “Дугуй эдийн засгийн хууль” болон хог хаягдлыг бууруулах бодлого нь хаягдлыг нөөц болгон ашиглах, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах чиглэлээр чухал туршлага болдог.

Хэрэгжүүлэлтийн Зөвлөмж

Дээр дурдсан арга зүй, бодлогын үндэслэлийг бодит амьдралд хэрэгжүүлэхийн тулд дараах зөвлөмжүүдийг өгч байна:

1. **Судалгаа, инновацийг дэмжих:** Шахмал түлшний үнс болон бусад хаягдлыг боловсруулах, шинэ бүтээгдэхүүн гарган авах чиглэлээрх судалгаа, инновацийн төслүүдийг санхүүгийн болон эрх зүйн хувьд дэмжих. Ялангуяа, Судалгаанд дурдагдсан цеолит синтезийн технологийг өргөжүүлэх, үйлдвэрлэлийн түвшинд турших.
2. **Хууль эрх зүйн орчныг боловсронгуй болгох:** Хаягдлыг дахин боловсруулах, бүтээгдэхүүн болгон хувиргах үйл ажиллагааг дэмжсэн, хөрөнгө оруулалтыг татсан, хялбаршуулсан зохицуулалтыг бий болгох. Тухайлбал, дахин боловсруулсан бүтээгдэхүүнийг зах зээлд нэвтрүүлэхэд таатай орчин бүрдүүлэх.
3. **Олон нитийн оролцоог нэмэгдүүлэх:** Хаягдлыг ангилан ялгах, цуглуулах, дахин боловсруулах үйл ажиллагаанд иргэд, аж ахуйн нэгжүүдийн оролцоог нэмэгдүүлэх. Сургалт, сурталчилгааны ажлыг эрчимжүүлж, иргэдийн байгаль орчны боловсролыг дээшлүүлэх.
4. **Технологийн Шилжүүлэг ба Нутагшуулалт:** Олон улсын дэвшилтэт технологийг Монголын нөхцөлд нутагшуулах, орон нутгийн онцлогт тохирсон шийдлүүдийг хөгжүүлэх. Тухайлбал, хүнсний хаягдлыг компостжуулах жижиг оврын төхөөрөмжүүдийг гэр хороололд нэвтрүүлэх.
5. **Эдийн засгийн хөшүүрэг бий болгох:** Хаягдлыг дахин боловсруулах, үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн гарган авах аж ахуйн нэгжүүдэд татварын хөнгөлөлт, урамшуулал олгох. Дахин боловсруулсан бүтээгдэхүүнийг худалдан авахыг дэмжих төрийн худалдан авалтын бодлого хэрэгжүүлэх.
6. **Хяналт Шалгалт ба Мониторинг:** Хаягдлын менежмент, бохирдлыг бууруулах үйл ажиллагааны үр дүнг тогтмол хянаж, үнэлэх тогтолцоог бэхжүүлэх. Хүнд металлын агууламж, усны чанар зэрэг үзүүлэлтүүдийг тогтмол хэмжиж, олон нийтэд ил тод мэдээлэх.

Эдгээр зөвлөмжийг хэрэгжүүлснээр Улаанбаатар хотын тулгамдсан асуудлуудыг шийдвэрлэхээс гадна, Монгол Улсын тогтвортой хөгжилд чухал хувь нэмэр оруулж, ирээдүй хойч үедээ эрүүл, аюулгүй орчныг үлдээх боломжтой юм.

ТАВДУГААР БҮЛЭГ: БОДЛОГЫН ТОВЧ МЭДЭЭЛЭЛ

Улаанбаатар хотын агаарын болон хөрсний бохирдол нь хүн амын эрүүл мэнд, байгаль орчинд ноцтой аюул учруулж байна. Энэхүү бохирдлын гол эх үүсвэрүүдийн нэг нь гэр хорооллын шахмал түлшний үнс, мөн хүнсний хаягдал юм. Эдгээр хаягдалд агуулагдах хүнд металл болон бусад хорт бодисууд нь ус, хөрсөнд нэвчиж, улмаар хүнсний сүлжээгээр дамжин хүний биед хуримтлагдах эрсдэлтэй. Гэвч эдгээр хаягдлыг зөв менежментээр, шинжлэх ухааны үндэслэлтэй аргаар боловсруулснаар үнэ цэнэтэй нөөц болгон хувиргах боломжтой юм.

Энэхүү товч мэдээлэл нь шахмал түлшний үнсийг ашиглан синтетик цеолит гарган авах судалгааны үр дүн болон хаягдлыг бүтээгдэхүүн болгон хувиргах, хорт бодисыг саармагжуулах шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга зүй, удирдамжийг бодлого боловсруулагч болон олон нийтэд зориулан танилцуулж байна.

5.1. Хаягдлаас үнэ цэнэтэй бүтээгдэхүүн гарган авах боломж

5.1.1. Шахмал түлшний үнснээс цеолит гарган авах:

Судалгаагаар гэр хорооллын шахмал түлшний үнсийг ашиглан синтетик цеолит (Na-P1, Гидроксисодалит) гарган авах боломжтойг баталсан. Цеолит нь ус цэвэршүүлэх, хөрс сайжруулах, барилгын материалд нэмэлт болгон ашиглах зэрэг олон талын хэрэглээтэй, өндөр үнэ цэнэтэй материал юм.

Процесс:

1. **Түүхий эд бэлтгэх:** Үнсийг цуглуулж, хатааж, нунтаглана. Шаардлагатай бол хаягдал хөнгөн цагаан лааз зэрэг нэмэлт түүхий эд ашиглана.
2. **Гидротермал синтез:** Бэлтгэсэн үнсийг шүлтлэг уусмалд хийж, өндөр температур, даралтад урвалд оруулна. Энэ үед цеолитийн талст бүтэц үүснэ.
3. **Бүтээгдэхүүн ялгах:** Үүссэн цеолитийг шүүж, угааж, хатаана.

Энэхүү технологи нь хаягдлыг бууруулахаас гадна, шинэ бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх замаар эдийн засгийн үнэ цэнэ бий болгоно.

5.1.2. Хор нөлөөт бодисыг саармагжуулах арга зүй

Шахмал түлшний үнсэнд агуулагдах хром (Cr) зэрэг хүнд металлууд нь усанд уусамтгай бөгөөд хүний эрүүл мэндэд хортой. Цеолит нь эдгээр хүнд металлыг уснаас үр дүнтэй зайлуулах чадвартай.

Цеолитийн үйлчилгээ:

- **Адсорбци:** Хүнд металлын ионуудыг өөртөө шингээнэ.
- **Ион солилцоо:** Усан дахь хортой ионуудыг өөрийн бүтэц дэх хоргүй ионуудаар солино.

Бусад аргууд:

Хүнд металлыг зайлуулах бусад аргуудад химийн тунадасжуулалт, ион солилцоо, мембран шүүлтүүр, коагуляци-флокуляци зэрэг орно. Эдгээр аргуудыг хаягдлын төрөл, бохирдлын түвшингээс хамаарч хослуулан хэрэглэх боломжтой.

5.2. Бодлогын зөвлөмж

Энэхүү шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга зүйг бодит амьдралд хэрэгжүүлэхийн тулд дараах бодлогын дэмжлэгүүд чухал байна:

1. **Судалгаа, инновацийг дэмжих:** Хаягдлыг дахин боловсруулах, шинэ бүтээгдэхүүн гарган авах чиглэлээрх судалгаа, инновацийн төслүүдийг санхүүгийн болон эрх зүйн хувьд дэмжих.
2. **Эрх зүйн орчныг боловсронгуй болгох:** Хаягдлыг дахин боловсруулах үйл ажиллагааг дэмжсэн, хөрөнгө оруулалтыг татсан, хялбаршуулсан зохицуулалтыг бий болгох.
3. **Олон нийтийн оролцоог нэмэгдүүлэх:** Хаягдлыг ангилан ялгах, цуглуулах, дахин боловсруулах үйл ажиллагаанд иргэд, аж ахуйн нэгжүүдийн оролцоог нэмэгдүүлэх, сургалт сурталчилгаа хийх.
4. **Эдийн засгийн хөшүүрэг бий болгох:** Хаягдлыг дахин боловсруулах аж ахуйн нэгжүүдэд татварын хөнгөлөлт, урамшуулал олгох, дахин боловсруулсан бүтээгдэхүүнийг худалдан авахыг дэмжих.
5. **Хяналт шалгалт ба мониторинг:** Хаягдлын менежмент, бохирдлыг бууруулах үйл ажиллагааны үр дүнг тогтмол хянаж, үнэлэх тогтолцоог бэхжүүлэх.

Хаягдлыг зөв менежментээр, шинжлэх ухааны үндэслэлтэй аргаар боловсруулснаар байгаль орчны бохирдлыг бууруулж, хүн амын эрүүл мэндийг хамгаалахаас гадна, эдийн засгийн шинэ боломжуудыг бий болгох боломжтой. Энэ нь Монгол Улсын тогтвортой хөгжилд чухал хувь нэмэр оруулна.

ДҮГНЭЛТ

Шахмал түлшний үснээс цеолит синтезлэх боломж: Судалгаагаар шахмал түлшний үнсийг гидротермал синтезийн аргаар үнэ цэнэтэй материал болох цеолит болгон хувиргах боломжтой болох нь батлагдсан. XRF шинжилгээгээр үнсэнд агуулагдах цахиур, хөнгөн цагааны өндөр агууламж нь цеолит синтезлэхэд тохиромжтой түүхий эд болохыг харуулсан. XRD шинжилгээгээр синтезлэгдсэн дээжүүдэд цеолитийн шинэ фазууд (Na-P1, Na-X) амжилттай үүссэн нь тогтоогдсон.

Синтетик цеолитуудын хром шингээх өндөр чадвар: Гарган авсан синтетик цеолитууд нь анхдагч үснээс хамаагүй өндөр хром шингээх багтаамжтай байсан. Анхдагч үнсний шингээх багтаамж 0.68 мг/г байсан бол, синтетик цеолитуудын хувьд 4.30 мг/г-аас 12.60 мг/г хооронд хэлбэлзэж, хамгийн өндөр нь 12.60 мг/г (Дээж #2) байсан. Энэ нь цеолит синтезийн процесс нь үнсний адсорбцийн чадварыг эрс нэмэгдүүлж байгааг харуулж байна.

Хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг ашиглахын ач холбогдол: Судалгаанд нэмэлт хөнгөн цагааны эх үүсвэр болгон хаягдал хөнгөн цагаан лаазыг амжилттай ашигласан нь чухал ололт юм. Хаягдал лаазнаас гарган авсан цеолитууд нь цэвэр нунтаг хөнгөн цагаанаас гарган авсан цеолитуудтай ижил эсвэл илүү өндөр хром шингээх чадвартай байсан нь хаягдал материалыг дахин ашиглах, түүхий эдийн зардлыг бууруулах, мөн байгаль орчинд ээлтэй үйлдвэрлэлийг хөгжүүлэхэд чухал хувь нэмэр оруулж байна.

Al_2O_3-ийн нэмэлтийн нөлөө: Al_2O_3-ийн нэмэлт нь цеолитийн хром шингээх чадварыг сайжруулахад эерэгээр нөлөөлсөн. Хөнгөн цагааны агууламж нэмэгдэх тусам цеолитийн ион солилцох чадвар нэмэгдэж, улмаар хромын шингээлт сайжирсан.

Хурдан шингээлт: Хромын шингээлтийн кинетик судалгаагаар процесс маш хурдан явагдаж, 2 минутын дотор тэнцвэрт байдалд хүрсэн нь практик хэрэглээний хувьд маш ашигтай болохыг харуулж байна.

Энэхүү судалгаа нь шахмал түлшний үнс зэрэг үйлдвэрлэлийн хаягдлыг үнэ цэнэтэй материал болгон хувиргах, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах, ялангуяа усан дахь хром зэрэг хүнд металлуудыг зайлуулах шийдлүүдийг олоход чухал ач холбогдолтой юм. Энэ нь Монгол Улсын агаарын бохирдлын асуудлыг шийдвэрлэх, хаягдал менежментийг сайжруулах, мөн тогтвортой хөгжлийг дэмжихэд хувь нэмэр оруулна.

НОМ ЗҮЙ

1. Нийслэлийн статистикийн газар. Улаанбаатар хотын гэр хорооллын түлшний хэрэглээний судалгаа, 2022.
2. Баттөмөр П, Оюунчимэг Ц. Гэр ахуйн үнсний менежментийн өнөөгийн байдал, тулгамдсан асуудал. ШУТИС-ийн ЭШ-ний бичиг; 2023;16(2):110–120.
3. Гунгаажав Н, Соёл-Эрдэнэ Ц. Гэр хорооллын үнсийг хөрсний судалгаанд ашиглах боломж. Монголын Геологийн сэтгүүл. 2021;49(1):54–62.
4. Ferreira C, Ribeiro A, Ottosen L. Possible applications for municipal solid waste fly ash. Journal of Hazardous Materials. 2003;96(2-3):201-216.
5. Kim JY, Choi Y. Environmental risk of domestic coal ash: Leaching of heavy metals and effect on soil. Environ Sci Pollut Res. 2019;26:15498–15508.
6. Skodras G, Diamantopoulou I. Characteristics and environmental impact of household ash in Poland. Waste Management. 2016;56:208–216.
7. Guo M, Song W, Tian J. Biochar-facilitated recycling of household coal ash for environmental benefit. Bioresource Technology. 2017;246:110–117.
8. Соёл-Эрдэнэ Ц. Гэр ахуйн үнсний ашиглалтын технологи, инновацийн чиг хандлага. Тайлан, МУИС; 2024.
9. Улаанбаатар хотын хатуу хог хаягдлын менежментийн тайлан, 2023.
10. FAO. Food Waste Index Report 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
11. Bernal MP, Alburquerque JA, Moral R. Composting of organic wastes: A review. Waste Management. 2009;29(12):2808–2819.
12. Zhang L, Sun X. Composting of food waste: Science, policy and practice. Waste Management. 2021;135:326–339.
13. Батбаяр Б. Хүнсний хаягдлын компостын чанарын үнэлгээ. Монголын ХАА-ийн сэтгүүл. 2022;18(3):40–45.
14. Монгол Улсын Хөрс хамгаалах, цөлжилтөөс сэргийлэх тухай хууль, 2012.
15. Монгол Улсын Хог хаягдлын тухай хууль, 2017.
16. Монгол Улсын “Алсын хараа–2050” урт хугацааны хөгжлийн бодлого, 2020.
17. Улаанбаатар хотын хөгжлийн хөтөлбөрүүд: НЗД-ын 2020–2024 оны үйл ажиллагааны хөтөлбөр, 2021–2025 үндсэн чиглэл.
18. United Nations. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development (SDG 12), 2015.
19. European Union. Circular Economy Action Plan. 2020.
20. БОАЖЯ. Хог хаягдлын менежмент, үнсний боловсруулалтын суурь судалгаа. УБ; 2021.
21. Ferreira C, et al. Synthesis and characterization of zeolite from coal fly ash for cadmium and lead removal from wastewater. Waste Manag. 2004;24(3):243–252.

22. Zhang L, Sun X, Tian Y. Review of composting of food waste: current status, challenges and future opportunities. Bioresour Technol. 2021;330:125981.

23. FAO. Global food losses and food waste–Extent, causes and prevention. Rome: FAO; 2011.

24. MNS 6507:2015. Компост бордооны техникийн шаардлага. Стандартчилал, хэмжил зүйн газар; 2015.

25. Matsumoto S, Nishimura T. Household solid waste generation and composition in Japan: future projections and policy implications. J Mater Cycles Waste Manag. 2017;19(3):1141–1153.

26. Lee SH, Lee SM, Lee YH. Sustainable food waste management in South Korea: The role of policy and public-private partnerships. Sustainability. 2019;11(13):3584.