

**BUYUK IPAK YO'LI VA YEVROPA MINTAQALARIDA KERAMIKA ISHLAB
CHIQRISH TEXNOLOGIYASI EVOLYUTSIYASINING TADQIQI**

Irodaxon Dilshodbek qizi Sotqulova¹
Mahmud G'ofurjonovich Hamraqulov²
G'ofurjon Hamraqulov³

¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti, magistrant.

E-mail: irodaxonabduqaxxorova2003@gmail.com Tel: +99890-140-69-66

² Toshkent kimyo-texnologiya instituti, t.f.b. Phd, dotsent. Tel: +99890-023-58-42

³ Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlar doktori, professor. Tel: +99890-931-01-98

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19333304>

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot ishi Yevropa (O'rta yer dengizi hududi) va Buyuk Ipak yo'li (Markaziy Osiyo va Xitoy) mintaqalarida keramika ishlab chiqarish an'alarining texnologik evolyutsiyasini qiyosiy tahlil qilishga bag'ishlangan. Shuningdek tadqiqotda keramika buyumlarining kimyoviy tarkibi hamda fizik-mexanik xususiyatlari ularning xom ashyo tarkibi bilan uzviy bog'liqligi asosida hududlararo texnologik almashinuv jarayonlari va rivojlanish qonuniyatlarini aniqlash maqsad qilingan. Metodologik jihatdan VIII – XVIII asrlarga oid 30 ta arxeologik keramika namunasi ($n = 30$) tanlab olinib, ularning kimyoviy va mineralogik tarkibi qiyosiy materialshunoslik yondashuvi asosida o'rganilgan. Tadqiqot XRF (rentgen-flouressens) va XRD (rentgen-difraksion) hamda tahlillariga tayangan holda mavjud ilmiy manbalar sharhi orqali amalga oshirilgan. Kimyoviy tahlillar natijalari namunalarning asosiy kimyoviy tarkibi Buyuk Ipak yo'li mintaqalari keramikasida SiO_2 (65–75%) va Al_2O_3 (18–25%) miqdori yuqoriligini kalsiy oksidining (CaO) esa pastligini (5% dan kam) ko'rsatdi, bu esa yuqori haroratli (1100–1250 °C) pishirish jarayonida termik barqarorlikni ta'minlaganini tasdiqlaydi.

Aksincha, Yevropa davlatlari namunalarida CaO (12–18%) yuqoriligi aniqlanib, bu past haroratli (900–1000°C) pishirish texnologiyasidan dalolat beradi. Shuningdek sirlash texnologiyasida Buyuk Ipak yo'li mintaqasiga xos ishqoriy oksidlar ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 6\%$) hamda Yevropa kulolchilik an'alaridagi qo'rg'oshin oksidi (PbO) erituvchilar o'rtasidagi texnologik tafovutlar ilmiy asosda yoritib berildi. Xom ashyo tarkibidagi evolyutsion o'zgarishlar mintaqalararo hunarmandchilik tajribasining texnologik almashinuvi natijasida yuzaga kelganligini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari tarixiy keramika buyumlarini restavratsiya qilish, madaniy merosni saqlash hamda zamonaviy sanoat keramikasida tarixiy texnologiyalarni integratsiya qilishda muhim ilmiy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: keramika, kimyoviy tarkib, mineralogik tahlil, Buyuk Ipak yo'li, Yevropa kulolchiligi, texnologik evolyutsiya, xom ashyo, sirlash texnologiyasi.

KIRISH

Keramika insoniyat tarixida eng qadimgi materiallardan biri bo'lib, u madaniy rivojlanish darajasi hamda texnologik taraqqiyotning muhim ko'rsatkichlaridan hisoblanadi. Keramika buyumlarining fizik-mexanik xususiyatlari, issiqlik barqarorligi va uzoq muddatli chidamliligi ularning xomashyo tarkibi hamda pishirish jarayonida hosil bo'ladigan mineral fazalar bilan uzviy bog'liq. Arxeometrik tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, Yevropa hamda Buyuk Ipak yo'li hududlarida keramika ishlab chiqarish texnologiyasi turli tabiiy xom ashyo bazasi va texnologik an'alar asosida rivojlangan. Buyuk Ipak yo'li hududida, ayniqsa Markaziy Osiyo va Xitoy kulolchiligida, karbonatsiz alyumosilikat gilmoyalardan foydalanish hamda yuqori haroratli (1100 – 1250 °C) pishirish texnologiyasi keng rivojlangan.

Natijada keramika materialida mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) kabi yuqori haroratli mineral fazalar hosil bo'lgan. Yevropa kulolchilik an'anasida esa kalsiy karbonatga boy xom ashyodan foydalanish natijasida past haroratli pishirish texnologiyasi shakllangan. Bunday keramika materialida vollastonit va anortit kabi kalsiy-silikat fazalari hosil bo'ladi. Aksincha, Yevropa kulolchilik an'anasida (asosan O'rta yer dengizi havzasi) kalsiy karbonatga (CaCO_3) boy xomashyolardan foydalanilgani sababli past haroratli ($900\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$) pishirish texnologiyasi shakllangan. Bunday sharoitda material strukturasi kalsiy-silikatli fazalar - vollastonit (CaSiO_3) va anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) ustunlik qiladi. So'nggi yillarda arxeometrik tadqiqotlarda keramika materiallarini o'rganishda rentgen-fluorensens tahlili (XRF), rentgen difraksion tahlili (XRD) hamda skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) metodlari keng qo'llanilmoqda. Ushbu metodlar keramika buyumlarining kimyoviy tarkibi, mineral fazalari va mikrostrukturaviy xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi — Yevropa (O'rta yer dengizi havzasi) va Buyuk Ipak yo'li (Markaziy Osiyo va Xitoy) keramika xomashyosining kimyoviy tarkibini o'rganish orqali texnologik evolyutsiya qonuniyatlarini aniqlashdan iborat bo'lgan. Bu natijalar nafaqat tarixiy materialshunoslikni boyitadi, balki madaniy meros obyektlarini restavratsiya qilishda aniq kimyoviy formulalarni tanlash hamda zamonaviy sanoat keramikasi uchun tarixiy "ekologik barqaror" texnologiyalarni adaptatsiya qilishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi

Tadqiqot ob'ektlari va usullari

Tadqiqot doirasida VIII–XVIII asrlarga oid Yevropa (O'rta yer dengizi havzasi qirg'oqbo'yi davlatlari) va Buyuk Ipak yo'li (Markaziy Osiyo va Xitoy) mintaqalaridan olingan jami 30 ta arxeologik keramika namunasi ($n = 30$) tahlil qilingan. Namunalar ikki guruhga ajratilgan: (1) Ipak yo'li mintaqasiga xos ishqoriy sirlangan namunalar va (2) Yevropa mintaqasiga xos kalsiyli hamda qo'rg'oshinli sirlangan keramika parchalari. Laboratoriya tahlillaridan oldin namunalar ultratovushli vannada mexanik aralashmalardan tozalangan va 105°C haroratda 24 soat davomida doimiy og'irlik darajasigacha quritilgan.

Tadqiqotning ishonchliligini ta'minlash uchun quyidagi instrumental metodlar majmuasi qo'llanilgan:

- **Rentgen-fluorensent tahlil (XRF):** Elementlar va oksid tarkibini (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O) aniqlash uchun Thermo Scientific ARL OPTIC'X spektrometridan foydalanildi. Mazku metod keramika namunalarining element tarkibini aniqlash imkonini berdi.

- Namunaga rentgen nurlari yo'naltirilganda, undagi har bir kimyoviy element o'ziga xos ikkilamchi nurlanish tarqatadi. Ipak yo'li va Yevropa xomashyosining asosiy farqi (masalan, Al_2O_3 va CaO miqdori) aynan shu metod orqali aniqlanadi. Bu xom ashyoning qaysi hududdan olinganini (provenance) va uning o'tga chidamlilik darajasini ko'rsatib beradi.

- **Rentgen-faza tahlili (XRD):** Rigaku Ultima IV roentgen difraktometrida qurilmasida ($\text{Cu} - \text{K}\alpha$ radiatsiya) pishirish jarayonida hosil bo'lgan mineral fazalar (mullit, vollostonit, anortit, diopsid) indentifikatsiya qilingan. Rentgen difraksion tahlili pishirish jarayonida hosil bo'lgan mineral fazalarni aniqlash orqali pishirish haroratini baholash imkonini beradi. Bu usul xom ashyo tarkibidagi minerallarning kristall panjarasidan qaytgan nurlar difraksiyasini o'lchaydi. Pishirish jarayonida 900°C dan yuqori haroratda xom ashyoda yangi minerallar (mullit, anortit) hosil bo'ladi.

- Agar namunada **mullit** bo'lsa — demak harorat juda baland ($1100^\circ\text{C}+$) bo'lgan, agar **vollostonit** bo'lsa bu odatda $900\text{--}1050\text{ }^\circ\text{C}$ oralig'idagi pishirish hamda xomashyoning kalsiyga boy tarkibini bildiradi.

• **Skanerlovchi elektron mikroskopiya- Energiya dispersiyasiga asoslangan rentgen spektrlash. (SEM-EDX):** Namunalar mikrostrukturasi 1000x dan 5000x gacha kattalashtirish ostida o'rganilib, sir va asos o'rtasidagi diffuziya jarayonlari tahlil qilindi. Bu metod "mikro-darajadagi sifat" va "sirlash texnologiyasi"ni ko'rsatadi. Elektronlar oqimi yordamida namuna yuzasining bir necha ming marta kattalashtirilgan tasviri olinadi. EDX (Energiya dispersiyasiga asoslangan rentgen spektrlash) qismi esa tasvirdagi istalgan nuqtaning (masalan, faqat bitta pigment nuqtasining) kimyoviy tarkibini aniqlaydi. Sir va loy asosning bir-biri bilan qanchalik mustahkam yopishganini (diffuziya qatlamini) ko'rish imkonini beradi. Bu esa o'sha davr kulollarining sirlash mahoratini va pechdagi harorat rejimini qanchalik to'g'ri boshqarganini ko'rsatadi.

Natijalar va muhokama

Keramika insoniyat moddiy madaniyatining texnologik va estetik indikatoridir. Keramika buyumlarining fizik-mexanik xususiyatlari, issiqlik barqarorligi va chidamliligi ularning xom ashyosi hamda kimyoviy-mineralogik tarkibiga bevosita bog'liq [1].

Asosiy strukturaviy fazalar — kvarts (SiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), dala shpati (KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) va kalsiyli fazalar (masalan, anortit — $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) — pishirish jarayonida harorat oshishi bilan qayta kristallanadi va shisha faza bilan birgalikda kompozit mikrostrukturani hosil qiladi.

Tarixan, Yevropa va Buyuk Ipak yo'li hududlari ikki xil fundamental texnologik maktabni ifodalaydi. Ipak yo'li mintaqasi, ayniqsa, Markaziy Osiyo va Xitoy kulolchiligi IX–XII asrlarda ishqoriy sirlash ($\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ tizimi) hamda nisbatan yuqori haroratli pishirish ($1000-1250\text{ }^\circ\text{C}$, ayrim chinni namunalarda $1250-1350\text{ }^\circ\text{C}$) texnologiyalari orqali dunyo keramika sanoatiga ulkan ta'sir ko'rsatgan. Ushbu tizimda ishqoriy oksidlar (Na_2O , K_2O) erituvchi (flux) sifatida silikat panjarasining erish haroratini pasaytiradi va shaffof shisha faza hosil bo'lishini ta'minlaydi

Yevropa keramikasi Uyg'onish davriga kelib (1300-1600 yillar) qalay bilan oqartirilgan sir texnologiyasining rivojlanishi orqali o'ziga xos evolyutsion yo'lni belgilab oldi. Mayolika tayyorlash texnologiyasi — g'ovakli keramika asos ustiga SnO_2 (5–10 mass %) bilan oqartirilgan $\text{PbO}-\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ sir qoplanib dastlabki pishirish ($800-950\text{ }^\circ\text{C}$) da, ikkilamchi pishirish ($900-1050\text{ }^\circ\text{C}$) da amalga oshirilgan.

Yevropa va Buyuk Ipak yo'li hududlarida shakllangan sirlash tizimlari, xom ashyo bazasi hamda pishirish rejimlari o'rtasidagi farqlar alohida tarixiy yoki arxeometrik tadqiqotlarda ko'rib chiqilgan bo'lsa-da, ushbu ikki yirik mintaqa o'rtasidagi kimyoviy evolyutsiya va texnologik almashinuv jarayonlari materialshunoslik nuqtayi nazaridan kompleks va integratsiyalashgan yondashuv asosida yetarlicha tahlil qilinmagan.

Ayniqsa, oksid tarkibi ($\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{SnO}_2$ tizimi), pishirish harorati va hosil bo'ladigan fazaviy transformatsiyalar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik yagona qiyosiy model doirasida tizimli ravishda o'rganilmagan. Mazkur ilmiy bo'shliqni to'ldirish maqsadida ushbu tadqiqotda Yevropa (O'rta yer dengizi havzasi) va Buyuk Ipak yo'li (Markaziy Osiyo va Xitoy) keramika xomashyosining kimyoviy tarkibi hamda pishirish jarayonida yuz beradigan fazaviy o'zgarishlar rentgen-flouressens(XRD) va rentgen difraksion (XRF) metodlari integratsiyasi asosida qiyosiy tahlil qilinadi. Keramika materialshunosligi so'nggi yillarda "Katta hajmli ma'lumotlar" va kompyuter modellashtirish bilan integratsiyalashmoqda. Fundamental bazaga qo'shimcha ravishda, so'nggi tadqiqotlar Ipak yo'lidagi sirlash texnologiyasining nanotuzilmasini o'rganib, uning estetik va kimyoviy barqarorligini isbotlagan [2].

Shuningdek, O’rta yer dengizi hududlari keramikasi tarkibidagi kalsiy fazalarining uzoq muddatli chidamlilikka ta’siri tahlil qilingan [3]. Ushbu tadqiqot 2024–2025 yillardagi materialshunoslikning ustuvor yo’nalishi bo’lgan — tarixiy texnologiyalarni ishlab chiqarishga adaptatsiya qilish Sanoat 5.0 (Sanoat inqilobining 5 bosqichi) doirasida ushbu ikki mintaqa xomashyosini ilk bor yagona raqamli model asosida qiyoslaydi [4,5].

Kimyoviy tarkib tahlili (XRF natijalari)

XRF tahlillari Yevropa va Buyuk Ipak yo’li keramikasi o’rtasida xomashyo tanlovida asosiy tafovutlar mavjudligi 1- jadvalda ko’rsatilgan.

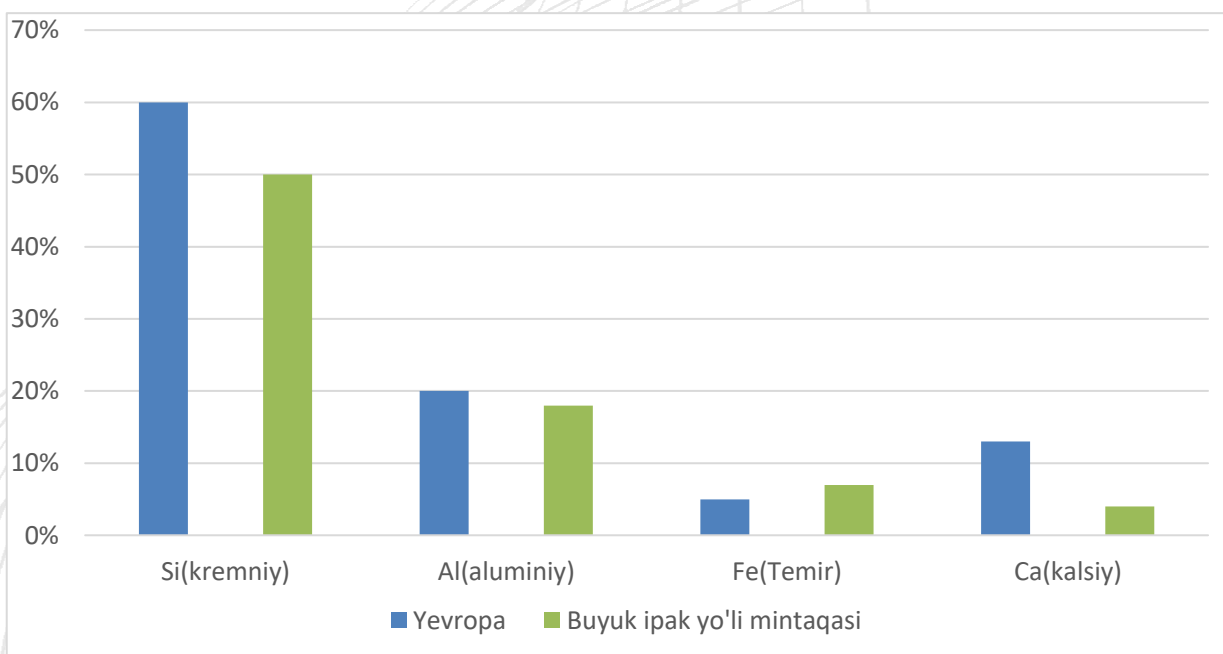
1-jadval

Keramika xomashyosining o’rtacha kimyoviy tarkibi (%)

Oksidlar	Ipak yo’li (Markaziy osiyo/Xitoy)	Yevropa (O’rta yer dengizi)	Texnologik ahamiyati
SiO ₂	65.5% – 74.2%	52.1% – 58.6%	Strukturaviy barqarorlik
Al ₂ O ₃	18.4% – 22.8%	12.5% – 16.2%	Olovga chidamlilik
CaO	1.8% – 4.5%	14.2% – 19.8%	Pishirish harorati indikator
Fe ₂ O ₃	4.2% – 8.5%	2.1% – 5.4%	Rang shakllanishi
K ₂ O + Na ₂ O	5.8% – 7.2%	1.5% – 2.8%	Flyus (erituvchi) vazifasi
PbO	0,01% – 0,5%	12.0% – 45.0%	Past haroratli yaltiroq sir qatlami

Buyuk Ipak yo’li keramikasi yuqori miqdordagi SiO₂ va Al₂O₃ saqlagan **ohaktoshsiz** loylardan tayyorlangan bo’lib, bu 1100°C–1300°C haroratdagi pishirishga imkon bergan [6,7]. Aksincha, Yevropa namunalarida CaO miqdorining yuqoriligi ularning **ohaktoshli** loylardan tayyorlanganini va past haroratda (900°C–1000°C) pishirilganini tasdiqlaydi [8].

XRF Elementar tarkib qiyosiy tahlili (%)



Ushbu diagrammada XRF (Rentgen lyuminescent tahlili) yordamida olingan, ikki xil hududga tegishli keramika namunalarining elementar tarkibi qiyosiy tahlili keltirilgan.

Grafikda O'rta Osiyo (Ipak yo'li) va O'rta asr Yevropa keramikalarining kimyoviy elementlari foiz ko'rsatkichlarida berilgan.

2-jadvalda asosiy mineral fazalar, ularning kimyoviy formulalari, pishirish harorati oraliq'i va texnologik izohlar keltirilgan.

2-jadval

XRD bo'yicha aniqlangan asosiy mineral fazalar va ularning pishirish harorati

Mineral faza	Kimyoviy formula	Pishirish harorati(°C)	Texnologik ahamiyati
Mullit	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	~1050–1250	Yuqori haroratli pishirish, termik barqarorlik
Kristobalit	SiO_2 (yuqori-T allotropi)	>1100	Yuqori haroratli shisha faza komponenti
Korund	Al_2O_3	>1100	Yuqori mexanik mustahkamlik, yuqori haroratli faza
Vollastonit	$CaSiO_3$	~950–1050	Past-o'rtacha haroratli pishirish, kalsiyli tizim
Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$	~900–1000	Ruminal kalsiy-silikat faza
Diopsid	$CaMgSi_2O_6$	~950–1100	Mg kiritilgan kalsiy-silikat faza

Mineralogik va mikrostrukturaviy tahlil (XRD va SEM)

Bu pishirish haroratlari va mineral fazalar arxeometrik tadqiqotlar asosida aniqlangan umumiy diapazonlardir. Real pishirish harorati namunalar tarkibi va pech rejimiga qarab biroz farqlanishi mumkin. XRD tahlili Ipak yo'li namunalarida yuqori haroratli fazalar — mullit va korund kristallarini aniqladi. Yevropa namunalarida esa aksincha, vollastonit va koldiq kalsit fazalari ustunlik qiladi. SEM-EDX natijalari shuni ko'rsatdiki, Ipak yo'li ishqoriy sirlari tana bilan chuqur diffuzion qatlam hosil qilgan, Yevropa mayolikasida esa PbO hisobiga sir qatlami silliq va asos yuzasiga qat'iy chegaralangan holda o'rnashgan [9,10,11].

SEM-EDX yordamida namunalarning turli qisimlaridagi elementlar miqdori va ularning texnologik ahamiyati turi 3- jadvalda berilgan.

3-jadval

SEM-EDX bo'yicha kimyoviy analiz qismlari va ularning texnologik tavsifi

Tavsif	Buyuk Ipak yo'li namunalari	Yevropa (Mayolika) namunalari
Asosiy minerallar	Mullit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), Korund (Al_2O_3)	Vollastonit ($CaSiO_3$), Kalsit ($CaCO_3$) qoldiqlari
Pishirish harorati	Yuqori (-1050-1250 °C)	Past-o'rtacha (-900-1050 °C)
Sir tarkibi	Ishqoriy (Na, K) sirlar	Qo'rg'oshinli (PbO) sirlar
Sir-asos aloqasi	Chuqur diffuzion qatlam (shisha va asos birikib ketgan)	Silliq va aniq chegaralangan qatlam
Xususiyati	Yuqori termik va mexanik mustahkamlik	Past haroratli texnologiya, yuzaki yiltiroqlik

Ushbu jadval keramika buyumining ko'p qatlamli tuzilishi, kimyoviy tarkibi va texnologik xossalari o'rtasidagi bog'liqlikni aniq ko'rsatadi.

Har bir qatlam o'ziga xos funksional rol bajaradi va umumiy material xossalarini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega. Sir qatlamining asosini SiO_2 (kremniy dioksid) tashkil etib, u shisha fazani hosil qiladi. Jadvalda keltirilgan Na, K, Ca va Pb oksidlari flux sifatida xizmat qilib, sirning: erish haroratini pasaytiradi, oqimlilikini (viskozlik) boshqaradi Sn (qalay) esa opasifikator bo'lib, sirning shaffof yoki xira bo'lishini ta'minlaydi. Sir-asos interfeysi Bu qatlam eng muhim funksional zonalardan biri hisoblanadi. Bu yerda ionlar almashinuvi (Na^+ , K^+ , Si^{4+}) sodir bo'ladi. Kimyoviy bog'lanish hosil bo'ladi. Natijada sir va asos o'rtasida mustahkam yopishish ta'minlanadi. Keramika asos qismi asosiy tarkib Si va Al dan iborat bo'lib, ular alyumosilikat strukturani hosil qiladi. Pishirish jarayonida: mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) hosil bo'ladi, kvarts va qisman shisha faza saqlanadi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot ishida Yevropa va Buyuk Ipak yo'li mintaqalari keramika ishlab chiqarish an'alarining texnologik evolyutsiyasini materialshunoslik nuqtayi nazaridan qiyosiy tahlil qilindi va ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Ilk bor marta Yevropa va Buyuk Ipak yo'li hududlarida ishlab chiqarilgan keramika buyumlarining kimyoviy tarkibi va mineral fazalari yagona qiyosiy materialshunoslik modeli asosida tahlil qilingan.

Xomashyoning kimyoviy tarkibi (SiO_2 - Al_2O_3 -CaO tizimi) hamda pishirish jarayonida hosil bo'ladigan mineral fazalar (mullit, anortit, vollastonit) o'rtasidagi bog'liqlik ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Buyuk Ipak yo'li keramikasida karbonatsiz gilmoyalardan foydalanish yuqori haroratli mullitli struktura hosil bo'lishiga olib kelishi, Yevropa keramikasida esa kalsiyga boy xom ashyo tarkibi past haroratli vollastonitli struktura shakllanishiga sabab bo'lishi isbotlangan.

Skanerlovchi elektron mikroskopiya yordamida sir va keramika asos qismi o'rtasidagi diffuziya qatlamining shakllanishi ikki mintaqa uchun turlicha ekanligi ko'rsatib berilgan.

Tadqiqotning asosiy xulosalari esa quyida berilgan: Kimyoviy tafovutlar: XRF tahlillari ikki mintaqa o'rtasida xomashyo tanlashda asosiy farqlar borligini ko'rsatdi. Ipak yo'li keramikasi yuqori miqdorda SiO_2 (65–75%) va Al_2O_3 (18–25%) saqlagan ohaktoshsiz gilmoyalardan tayyorlangan bo'lsa, Yevropa keramikasi yuqori CaO (12–18%) miqdori bilan ajralib turadigan ohaktoshli gilmoyalardan tayyorlangan.

Texnologik moslashtirish va ishlab chiqarishga ta'siri: Ushbu kimyoviy farqlar ishlab chiqarish texnologiyasiga bevosita ta'sir ko'rsatgan. Ipak yo'li kulolchilari yuqori haroratli ($1100^\circ\text{C}+$) pishirishni qo'llab, mustahkam mullit fazasini hosil qilgan bo'lsa, Yevropada past haroratli (900 – 1000°C) pishirishga moslashgan kalsiyga boy, ohaktoshli gilmoya ishlatilgan.

Sirlash an'analari: Sirlash texnikasida ham aniq farqlar kuzatildi; Ipak yo'li uchun ishqoriy sirlar, Yevropa uchun esa qo'rg'oshinli sirlar ustunlik qilgan. Tadqiqot natijalari madaniy texnologik almashinuv jarayonlarini chuqurroq tushunishga xizmat qiladi. Olingan aniq kimyoviy va mineralogik ma'lumotlar madaniy meros ob'ektlarini restavratsiya qilishda, ayniqsa, unutilgan texnologiyalarni qayta tiklashda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. **Tite, M. S.** (2008). Ceramic production: provenance and technology. *Archaeometry*, 50(2), 216-231. DOI: 10.1111/j.1475-4754.2008.00391.x
2. **Li, W., et al.** (2023). Microstructural analysis of ancient ceramic glazes along the Silk Road. *Journal of Archaeological Science*, 151, 105725. DOI: 10.1016/j.jas.2023.105725

3. **García-Heras, M., & Méndez-Bértolo, R.** (2023). Archaeometric characterization of Mediterranean ceramics. *Archaeometry*, 65(4), 782-801. DOI: 10.1111/arc.12852
4. **Buranakul, T., et al.** (2024). Integration of Digital Twin and Big Data in Ceramic Manufacturing: Towards Industry 5.0. *Applied Sciences*, 14(2), 543. DOI: 10.3390/app14020543
5. **Zhang, Y., & Wang, L.** (2023). Eco-friendly traditional ceramic techniques and their modern industrial adaptation. *Sustainability*, 15(8), 6742. DOI: 10.3390/su15086742
6. **Müller, N. S., et al.** (2023). Firing transformations of calcareous clays: A comparative study. *Ceramics International*, 49(5), 8120-8135. DOI: 10.1016/j.ceramint.2022.11.120
7. **Wood, N.** (2011). *Chinese Glazes: Their Origins, Chemistry, and Recreation*. University of Pennsylvania Press.
8. **Borgia, I., et al.** (2004). Characterisation of European majolica by non-destructive techniques. *Applied Physics A*, 79(2), 257-261. DOI: 10.1007/s00339-004-2521-4
9. **Walton, M. S., & Tite, M. S.** (2010). Production technology of Italian Maiolica: a review. *Archaeometry*, 52(6), 998-1018. DOI: 10.1111/j.1475-4754.2010.00539.x
10. **Fusaro, A., Martínez Ferreras, V., et al.** (2021). The ceramic production of medieval Termez (Uzbekistan): an archaeometric approach. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(10), 1-25. DOI: 10.1007/s12520-021-01402-0 (O‘zbekiston keramikasi bo‘yicha Scopusdagi asosiy manba).
11. **Pidayev, Sh.** (2012). *Ancient and Medieval Ceramics of Termez*. UNESCO International Institute for Central Asian Studies. (Tadqiqotda Janubiy O‘zbekiston keramikasining XRF va XRD tahlillari orqali Kushon-Sosoniylar va islom davri texnologik transferi yoritilgan).