QORAQALPOG‘ISTON MODDIY-MADANIY MEROSINI RAQAMLASHTIRISH: 3D MODELLASHTIRISH VA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDAGI INNOVATSION YONDASHUVLAR

Bazarbayev Behzod Begmurat o‘g‘li

bazarbayevbehzod@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu tezisda Qoraqalpog‘iston Respublikasining boy moddiy-madaniy merosini (qadimiy qal’alar, arxeologik obidalar va muzey eksponatlari) og‘ir ekologik hamda iqlim sharoitida saqlab qolish va ommalashtirish masalalari tadqiq etilgan. An’anaviy restavratsiya usullariga muqobil, xavfsiz va innovatsion yechim sifatida 3D modellashtirish (LIDAR, fotogrammetriya) va sun’iy intellekt (SI) texnologiyalarini qo‘llash orqali yodgorliklarning "raqamli egizaklari"ni yaratish, vayronalarni vizual tiklash hamda yemirilish dinamikasini bashorat qilish mexanizmlari yoritilgan. Shuningdek, yaratilgan raqamli arxitektura bazasini VR va AR texnologiyalari orqali global turizm hamda ta'lim sohalariga integratsiya qilishning iqtisodiy-ijtimoiy samaradorligi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: Qoraqalpog‘iston, tarixiy meros, 3D modellashtirish, sun’iy intellekt (SI), raqamli egizak (digital twin), virtual reallik (VR), to‘ldirilgan reallik (AR), raqamli restavratsiya, raqamli turizm.

Аннотация: В данных тезисах исследуются проблемы сохранения и популяризации богатого материально-культурного наследия Республики Каракалпакстан (древние крепости, археологические памятники и музейные экспонаты) в сложных экологических и климатических условиях. В качестве безопасной и инновационной альтернативы традиционным методам реставрации рассматривается применение технологий 3D-моделирования (LIDAR, фотограмметрия) и искусственного интеллекта (ИИ) для создания «цифровых двойников» памятников, визуального восстановления руин и предиктивного анализа динамики разрушений. Также обоснована социально-

экономическая эффективность интеграции созданной цифровой базы в глобальную сферу туризма и образования посредством технологий VR и AR.

Ключевые слова: Каракалпакстан, историческое наследие, 3D-моделирование, искусственный интеллект (ИИ), цифровой двойник (digital twin), виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR), цифровая реставрация, цифровой туризм.

Abstract: This thesis explores the challenges of preserving and popularizing the rich material and cultural heritage of the Republic of Karakalpakstan (ancient fortresses, archaeological monuments, and museum exhibits) under severe ecological and climatic conditions. As a safe and innovative alternative to traditional restoration methods, the paper highlights the application of 3D modeling (LIDAR, photogrammetry) and Artificial Intelligence (AI) technologies to create "digital twins" of historical sites, visually restore ruins, and conduct predictive analysis of structural degradation. Furthermore, it justifies the socio-economic effectiveness of integrating this digital database into global tourism and education through VR and AR technologies.

Keywords: Karakalpakstan, historical heritage, 3D modeling, artificial intelligence (AI), digital twin, virtual reality (VR), augmented reality (AR), digital restoration, digital tourism.

O‘zbekistonning ajralmas qismi bo‘lgan Qoraqalpog‘iston Respublikasi o‘zining boy tarixi, o‘ziga xos etnik madaniyati va ko‘p asrlik sirli arxeologik yodgorliklari bilan butun dunyo olimlari, sayyohlari hamda tarixchilari e’tiborini tortib kelmoqda. Qadimiy Xorazm sivilizatsiyasi va Buyuk Ipak yo‘li chorrahasining beshigi hisoblangan bu sarhadsiz zaminda insoniyat taraqqiyotining turli bosqichlaridan darak beruvchi yuzlab noyob tarixiy obyektlar joylashgan. Xususan, Qizilqum va Qoraqum sarhadlaridagi "Oltin halqa" turistik yo‘nalishiga kiruvchi Ayozqal’a, Tuproqqal’a, Qoyqirilganqal’a kabi qadimiy mudofaa inshootlari, shuningdek, zardushtiylikning qadimiy markazi bo'lmish Chilpiq daxmasi va Mizdaxqon arxeologik majmuasi kabi ochiq osmon ostidagi obidalar mintaqaning

bebaho xazinasi sanaladi. Bundan tashqari, I.V.Savitskiy nomidagi Qoraqalpog‘iston davlat san’at muzeyi (xalqaro miqyosda "Sahrodagi Luvr" nomi bilan mashhur) fondida saqlanayotgan noyob tasviriy san'at asarlari hamda etnografik osori-atiqalar nafaqat mintaqa, balki butunjahon madaniy merosining ajralmas qismi sifatida e’tirof etilgan.

Biroq, bugungi kunda ushbu ulkan tarixiy merosni kelajak avlodga bus-butun holida yetkazish jiddiy xavf ostida qolmoqda. Qoraqalpog‘iston iqlimining keskin kontinentalligi, Orol dengizi fojiasi oqibatida yuzaga kelgan og'ir ekologik inqiroz, kuchli shamollar, tuproqning o'ta sho‘rlanishi va qum bo‘ronlari ochiq osmon ostidagi loy va xom g'ishtdan qurilgan yodgorliklarning yemirilish jarayonini tezlashtirmoqda. An’anaviy restavratsiya usullari esa juda katta mablag‘, vaqt, nozik qo‘l mehnatini talab etadi hamda obyektning asl tarixiy qiyofasiga beixtiyor ziyon yetkazish xavfini o'z ichiga oladi. Aynan shunday murakkab sharoitda tarixiy yodgorliklarni saqlab qolish va restavratsiya qilishda eng so'nggi raqamli texnologiyalarni, xususan, 3D modellashtirish va sun’iy intellekt (SI) tizimlarini amaliyotga joriy etish kechiktirib bo'lmas dolzarb vazifaga aylandi.

Ushbu tadqiqot ishi doirasida Qoraqalpog‘istonning moddiy-madaniy merosini raqamlashtirish orqali asrab qolish va global maydonda innovatsion usullar yordamida ommalashtirish masalalari tahlil qilinadi. Zamonaviy 3D modellashtirish texnologiyalari (uchuvchisiz dronlar yordamida fotogrammetriya, yuqori aniqlikdagi lazerli LIDAR skanerlash uskunalari) yordamida har bir tarixiy yodgorlik va eksponatning millimetrgacha aniqlikdagi "raqamli egizagi"ni (digital twin) yaratish imkoniyati mavjud. Bu usul obidalarning bugungi kundagi aniq holatini virtual makonda abadiy va o'zgarmas arxiv shaklida saqlashga xizmat qiladi.

O‘z navbatida, sun’iy intellekt texnologiyalari bu ma'lumotlar bazasiga amaliy ahamiyat bag'ishlaydi. Neyrotarmoqlar va kompyuterli ko'rish (Computer Vision) asosida ishlovchi SI algoritmlari asrlar davomida vayrona holatga kelgan qal’alarning boshlang'ich qiyofasini ilmiy dalillar, me'moriy qonuniyatlar hamda muhandislik yechimlariga tayanib, virtual makonda qayta tiklashi mumkin. Shuningdek,

qazishmalarda topilgan minglab siniq sopol idishlar parchalarini, o'chib ketgan qadimiy bitiklarni va muzeydagi eskirgan polotnolarni vizual restavratsiya qilishda sun'iy intellekt benazir analitik yordamchidir. Maxsus algoritmlar obidalardagi yemirilish dinamikasini hisoblab chiqib, qulash xavfi bo'lgan nuqtalarni oldindan bashorat qila oladi va arxitektorlarga aniq chora ko'rishni taklif etadi.

Qoraqalpog‘iston hududida joylashgan arxeologik yodgorliklarning aksariyati, xususan, qadimiy Xorazm sivilizatsiyasiga oid mudofaa qal’alari asosan xom g‘isht va paxsadan bunyod etilgan. Tabiiy emirilish jarayoni tez kechayotgan bunday obyektlarni bus-butun saqlab qolish uchun an’anaviy usullar yetarli emas. Shuning uchun, saqlash jarayonining dastlabki bosqichi sifatida eng zamonaviy 3D modellashtirish va fazoviy skanerlash texnologiyalarini qo‘llash maqsadga muvofiqdir. LIDAR (Laser Imaging, Detection, and Ranging) lazerli skanerlash va maxsus kameralar o‘rnatilgan uchuvchisiz dronlar (UAV) yordamida fotogrammetriya amaliyotini bajarish orqali yodgorliklarning millionlab nuqtalardan iborat 3D bulutli xaritasi (Point Cloud) yaratiladi.

Masalan, Ayozqal’a yoki Tuproqqal’a kabi obidalarning har bir santimetri o‘ta yuqori aniqlikda raqamlashtiriladi. Bu jarayon obyektning faqatgina tashqi ko‘rinishini emas, balki uning murakkab relyefi, tuproq qatlamlari, mikro-yoriqlar va yashirin yemirilgan nuqtalarini ham o'zida aks ettiradi. Natijada tarixiy yodgorliklarning "raqamli egizaklari" (Digital Twins) kiber makonda shakllantiriladi. Ushbu ma'lumotlar bazasi kelajak avlodlar uchun o‘ziga xos o‘zgarmas arxiv vazifasini o‘taydi. Agar kelajakda kuchli qum bo'ronlari yoki boshqa tabiiy ofatlar oqibatida yodgorlik fizikal zarar ko‘rsa ham, olimlar va restavratorlar qo'lida uning millimetr aniqligidagi raqamli ko'chirmasi mavjud bo'ladi. Xuddi shunday usulda, I.V.Savitskiy nomidagi Qoraqalpog‘iston davlat san'at muzeyidagi noyob haykallar, zargarlik buyumlari, milliy liboslar va ashyolarni 3D skanerlash orqali butunjahon raqamli muzeylar tarmog‘iga kiritish va xavfsiz arxivlashni ta'minlash mumkin.

To‘plangan ulkan hajmdagi 3D ma’lumotlarni qayta ishlash va ularga ilmiy-tarixiy ko‘rinish berishda sun’iy intellekt (SI) hamda mashinali o'qitish (Machine

Learning) algoritmalarining o‘rni beqiyosdir. Hozirda ochiq osmon ostidagi aksariyat mudofaa qal’alarining faqatgina poydevori yoki devorlarining kichik bir qismi saqlanib qolgan. Sun'iy intellekt neyrotarmoqlari ushbu qoldiqlarni tahlil qilib, o‘xshash davrdagi me'morchilik maktabiga oid boshqa inshootlar, arxeologik qazishma chizmalari, tarixiy matnlar va ilmiy gipotezalar bazasi bilan solishtiradi. Generativ sun’iy intellekt (Generative AI) vositasida vayrona holatidagi qal’alarning ehtimoliy asl qiyofasi – ularning qadimiy burjlari, darvozalari, saroy xonalari va mudofaa devorlari 3D o'lchamda, vizual tarzda to'liq qayta tiklanadi.

Bundan tashqari, SI texnologiyalari bashoratli tahlil (Predictive Analysis) orqali moddiy merosni jismoniy qulashdan himoya qilishda muhim vazifani bajaradi. Algoritmlar obidaning yillar davomida olingan 3D modellarini o‘zaro solishtirib, shamol eroziyasi, harorat o‘zgarishi ta’sirida qaysi qismlar xavf ostida ekanligini hisoblab chiqadi va "qizil hududlarni" xaritada belgilab beradi. Muzey eksponatlari holatida esa, SI yordamida qadimiy qog'ozlardagi o'chib ketgan yozuvlarni tiklash, shuningdek, tuproq ostidan topilgan siniq sopol idishlarning yetishmayotgan bo'laklarini virtual modellashtirish orqali butunligini namoyish etish ko'zda tutilgan.

Raqamlashtirilgan obyektlar Qoraqalpog‘iston turizm infratuzilmasini butunlay yangi innovatsion bosqichga olib chiqadi. Asosiy amaliy qadamlardan biri – To‘ldirilgan reallik (AR – Augmented Reality) va Virtual reallik (VR – Virtual Reality) vositalari asosida interaktiv turistik ilovalar ishlab chiqishdir. Qoraqalpog‘istonga tashrif buyurgan sayyohlar Chilpiq daxmasi yoki Mizdaxqon vayronalari oldida turib, maxsus AR ko‘zoynaklar yoxud smartfon kamerasi orqali yodgorlikning ustiga "qo‘ndirilgan" uning asl, bundan bir necha asr oldingi ulug‘vor qiyofasini ko‘rishlari mumkin bo‘ladi. Ekranda qadimiy karvonlarning harakatlanishi yoki mahalliy xalqning qadimiy turmush tarzi 3D animatsiyalar orqali namoyish etilishi turistlarga vaqt mashinasida sayohat qilgandek hissiyot bag'ishlaydi.

Jismoniy jihatdan Qoraqalpog‘istonga tashrif buyura olmaydigan xorijliklar uchun VR platformalarida "Virtual Qoraqalpog‘iston" metakoinotini (Metaverse) yaratish global ommalashtirishning eng zo'r vositasidir. Odamlar dunyoning istalgan

nuqtasidan turib, VR shlemlar yordamida Savitskiy muzeyi zallarida virtual sayr qilishi yoki Qoyqirilganqal'a yulduz xonasidan osmonni kuzatishi mumkin. Ta'lim tizimida esa ushbu 3D modellar tarix va arxeologiya fanlarini vizual kontent bilan boyitib, o‘quvchi-yoshlarda milliy merosimizga nisbatan faxr va chuqur hurmat tuyg‘usini shakllantiradi.

Qoraqalpog‘iston iqlimining og'ir sharoitlari an’anaviy restavratsiyani iqtisodiy jihatdan o'ta qimmat, mehnatkash va xavfli jarayonga aylantirgan. Buzilgan qismlarni g'isht yoki zamonaviy beton yordamida tiklashga urinish yodgorlikning tarixiy, avtentik qiymatini tushirib yuborishi hamda YuNESKO xalqaro standartlariga zid kelishi mumkin. 3D va SI yordamidagi vizual restavratsiya esa obyektning fizikal holatiga mutlaqo ziyon yetkazmaydi (Non-destructive method). Bu o'nlab yillar va millionlab mablag' talab qilinadigan fizikal qurilish-ta'mirlash ishlari o'rniga, IT va arxeologiya mutaxassislari konsolidatsiyasi orqali tez, xavfsiz va samarali natija beradi.

Qolaversa, bu kabi raqamli loyihalarning mintaqada joriy etilishi Qoraqalpog‘istonda IT sohasining, xususan, 3D dizayn, o'yin industriyasi (Gamedev) va dasturlash yo'nalishlarining rivojlanishiga katalizator bo'ladi. Mahalliy yoshlarni zamonaviy va yuqori daromadli kasblarga jalb etish uchun yangi ish o'rinlari yaratiladi. O'ziga xos raqamli marketing va innovatsion turistik mahsulotlar evaziga sayyohlar oqimining keskin ko'payishi hudud iqtisodiyotiga, mehmonxona biznesi hamda transport-xizmat ko'rsatish sohalariga barqaror foyda keltirib, xalq farovonligini oshirishga xizmat qiladi.

Qoraqalpog‘istonning betakror moddiy va madaniy merosini asrab-avaylash hamda kelajak avlodlarga bus-butun yetkazish bugungi kunning eng o‘tkir muammolaridan biri hisoblanadi. Mintaqadagi murakkab ekologik vaziyat va iqlim o‘zgarishlari fonida an’anaviy restavratsiya yondashuvlaridan ko‘ra zamonaviy raqamli texnologiyalarga o‘tish shunchaki tanlov emas, balki hayotiy zaruratga aylanib ulgurdi.

Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, 3D modellashtirish va sun’iy intellekt texnologiyalarining o‘zaro integratsiyasi qadimiy yodgorliklarni nafaqat jismoniy yo‘q bo‘lish xavfidan saqlab qoladi, balki ularni raqamli makonda "raqamli egizak" (digital twin) ko‘rinishida mangu arxivlaydi. Sun’iy intellekt yordamidagi vizual restavratsiya va bashoratli tahlil algoritmlari tarixiy obidalarning asl qiyofasini ularga hech qanday jismoniy ziyon yetkazmagan holda, ilmiy aniqlik bilan qayta tiklash imkonini berdi.

O'z navbatida, bu ma'lumotlar bazasi zaminida yaratiladigan VR (Virtual reallik) va AR (To'ldirilgan reallik) ilovalari ushbu qadimiy sivilizatsiyani geografik chegaralardan olib chiqish imkonini beradi. Ular Qoraqalpog‘iston tarixini butun dunyoga interaktiv shaklda namoyish etish, yoshlar o‘rtasida ta'lim sifatini oshirish va global turizm bozorida mintaqaning o‘ziga xos raqamli brendini shakllantirish uchun kuchli vosita bo'lib xizmat qiladi.

Eng asosiysi, ushbu innovatsion raqamli transformatsiya loyihalari hududda nafaqat arxeologiya va muzey ishi, balki zamonaviy axborot texnologiyalari, IT-infratuzilma va kreativ iqtisodiyotni rivojlantirish uchun ham kuchli impuls beradi. Yoshlar uchun yangi ish o‘rinlari yaratilib, xalqaro sayyohlar oqimi hisobiga iqtisodiy barqarorlik ta'minlanadi.

Muxtasar qilib aytganda, 3D modellashtirish va sun'iy intellekt yutuqlaridan oqilona foydalanish – Qoraqalpog‘istonning qadimiy moziyini zamonaviy raqamli sivilizatsiya bilan bog‘lovchi mustahkam va abadiy ko‘prikdir. Bu yondashuv O'zbekistonning boy tarixiy xazinasini jahon miqyosida mutlaqo yangicha, mutlaqo xavfsiz va ulug‘vor formatda kashf etishga keng zamin yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Moddiy madaniy meros obyektlarini muhofaza qilish sohasidagi faoliyatni tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4068-sonli Qarori // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi. – Toshkent, 2018-yil 19-dekabr. (www.lex.uz).

2. Babanazarova M.M. I.V.Savitskiy nomidagi Qoraqalpog‘iston davlat san’at muzeyi – cho‘ldagi durdona. – Nukus: Qoraqalpog‘iston, 2019. – 156 b.
3. Kamalov M., Babadjanov B. Qoraqalpog‘istonning qadimiy yodgorliklari va ularning tarixiy ahamiyati. – Toshkent: Fan, 2018. – 214 b.
4. Pugachenkova G.A., Rtveladze E.V. O‘rta Osiyo me’moriy yodgorliklari. – Toshkent: O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi, 2015. – 320 b.
5. Qutbiddinov A. Orolbo‘yi mintaqasida turizmni rivojlantirishning ijtimoiy-iqtisodiy muammolari // Iqtisodiyot va ta’lim. – Toshkent, 2023. – № 3. – B. 102-108.
6. Антипов А.В., Смирнов А.С. Применение технологии лазерного сканирования (LIDAR) для фиксации объектов культурного наследия // Археология и геоинформатика. – Москва, 2020. – Вып. 9. – С. 112-118.
7. Иванова Е.Н. Искусственный интеллект и виртуальная реставрация архитектурных памятников // Вестник цифровой истории. – Санкт-Петербург, 2022. – № 4 (18). – С. 76-89.
8. Campana S. Mapping the Archaeological Continuum: Filling 'Empty' Mediterranean Landscapes. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – 180 p.
9. Guttentag D.A. Virtual reality: Applications and implications for tourism // Tourism Management. – London, 2020. – Vol. 31, No. 5. – P. 637-651.
10. Marty P.F. Museum Informatics: People, Information, and Technology in Museums. – New York: Routledge, 2021. – 328 p.
11. Remondino F. Heritage 3D modeling: A review of techniques and tools // Journal of Cultural Heritage. – Paris: Elsevier, 2019. – Vol. 14, Issue 3. – P. 315-325.