ME'MORIY MEROS OBYEKTLARINING TEXNIK HOLATINI MASOFADAN TURIB KUZATISH VA SAQLASHDA ZAMONAVIY RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR IMKONIYATLARI

Ismoilov Oybek Aburashid o'g'li
Mustaqil izlanuvchi, Samarqand, O'zbekiston
oybekismoilovenuz@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.23217776

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada me'moriy meros obyektlarining texnik holatini masofadan turib kuzatish va saqlashda zamonaviy raqamli texnologiyalarning imkoniyatlari tahlil qilinadi. Hozirgi kunda iqlim o'zgarishi, urbanizatsiya va tabiiy ofatlar tarixiy obidalarga jiddiy xavf solmoqda. An'anaviy monitoring usullari ko'p vaqt va xarajat talab qilib, obyektning holatini real vaqt rejimida baholash imkonini bermaydi. Tadqiqotning maqsadi — masofadan zondlash, IoT-sensorlar, sun'iy intellekt va raqamli egizak texnologiyalarining me'moriy merosni saqlashdagi samaradorligini ilmiy asoslashdan iborat. Ishda Yevropa Ittifoqining ARGUS loyihasi, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlariga asoslangan InSAR texnologiyasi, dronlar yordamida fotogrammetrik tadqiqotlar va HBIM (Heritage Building Information Modeling) tizimlarining imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, zamonaviy raqamli vositalar yordamida me'moriy meros obyektlarining texnik holatini masofadan turib, yuqori aniqlikda va uzluksiz kuzatish mumkin. Bu esa o'z navbatida restavratsiya ishlarini rejalashtirish, favqulodda vaziyatlarni oldini olish va merosni uzoq muddatli saqlash uchun mustahkam asos yaratadi.

Kalit so'zlar: Me'moriy meros, masofadan monitoring, raqamli egizak, IoT-sensorlar, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, InSAR, dron fotogrammetriyasi, HBIM, sun'iy intellekt, saqlash.

KIRISH

Jahon miqyosida me'moriy meros obyektlari insoniyatning umumiy boyligi hisoblanadi. Biroq ushbu obyektlar vaqt o'tishi bilan tabiiy eskirish, iqlim o'zgarishi, zilzilalar, suv toshqinlari va boshqa xavf-xatarlarga duch kelmoqda [1]. An'anaviy monitoring usullari, ya'ni mutaxassislarning obyektga jismonan tashrif buyurishi va ko'zdan kechirishi ko'p mehnat va vaqt talab qiladi, shuningdek, ba'zi hollarda obyektga yetib borish qiyin bo'lgan hududlarda umuman imkonsiz bo'ladi [2].

So'nggi yillarda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi me'moriy merosni saqlash sohasida tub o'zgarishlar yasadi. Masofadan zondlash, IoT (Internet of Things) sensorlari, sun'iy intellekt, raqamli egizak (Digital Twin) va HBIM kabi texnologiyalar tarixiy obidalarning texnik holatini masofadan turib, real vaqt rejimida va yuqori aniqlikda kuzatish imkonini bermoqda [3], [4].

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son Farmoniga muvofiq, 2030-yilga qadar barcha madaniy meros obyektlarini raqamlashtirish, ularning

raqamli egizaklarini shakllantirish va yagona raqamli platforma yaratish rejalashtirilgan [5]. Bu esa mavzuning dolzarbligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Ushbu maqolaning maqsadi — me'moriy meros obyektlarining texnik holatini masofadan turib kuzatish va saqlashda zamonaviy raqamli texnologiyalarning imkoniyatlarini ilmiy asoslashdan iborat. Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilab olindi: masofadan monitoring texnologiyalarini tahlil qilish; IoT, sun'iy yo'ldosh va dron ma'lumotlarining imkoniyatlarini o'rganish; raqamli egizak va HBIM texnologiyalarining ahamiyatini yoritish; xalqaro va mahalliy tajribani qiyosiy o'rganish.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Adabiyotlar tahlili. Mavzu bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, me'moriy merosni masofadan monitoring qilish bo'yicha jahon miqyosida ko'plab tadqiqotlar olib borilmoqda [1], [2].

Yevropa Ittifoqining ARGUS loyihasi (Horizon Europe, Grant Agreement No. 101132308) masofadagi madaniy meros obyektlarini nosozliksiz, kengaytiriladigan va aqlli monitoring qilishga qaratilgan [1]. Loyiha doirasida raqamli egizak modeli, ilg'or raqamlashtirish ishlari, ko'p miqyosli va ko'p rejimli monitoring yondashuvlari hamda sun'iy intellektga asoslangan qarorlarni qabul qilish usullari ishlab chiqilmoqda [1]. ARGUS loyihasining maqsadi — masofadagi me'moriy meros obyektlarining holatini real vaqt rejimida kuzatish, uzoq muddatli tahlil qilish va saqlash strategiyalarini ishlab chiqishdir [1].

Raqamli egizak (Digital Twin) texnologiyasi me'moriy merosni saqlashda tobora keng qo'llanilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, raqamli egizak yordamida tarixiy inshootlarning holatini real vaqt rejimida kuzatish, potentsial zaif joylarni aniqlash va restavratsiya bo'yicha aniq qarorlar qabul qilish mumkin [6], [7]. Masalan, LiDAR va ko'p manbali masofadan zondlash ma'lumotlariga asoslangan raqamli egizak texnologiyasi me'moriy meros obyektlarining strukturaviy zaif joylarini aniqlash va mustahkamlash choralarini optimallashtirish imkonini beradi [6].

Sun'iy yo'ldosh ma'lumotlariga asoslangan InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) texnologiyasi tarixiy inshootlarning deformatsiyasini millimetr aniqligida aniqlash imkonini beradi [2]. Boloniyadagi Portico di San Luca misolida olib borilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari yordamida tarixiy inshootlardagi strukturaviy anomaliyalarni real vaqtga yaqin rejimda aniqlash mumkin [2]. Bu usul an'anaviy monitoring usullariga qaraganda ancha tejamkor va keng ko'lamli hududlarni qamrab olish imkoniyatiga ega [2].

Dronlar yordamida fotogrammetrik tadqiqotlar me'moriy meros obyektlarining 3D modellarini yaratish va ularning holatini baholashda samarali vosita hisoblanadi [4], [8]. Venetsiya cherkovlarining fasadlarini o'rganishda dronlar yordamida yuqori aniqlikdagi 3D modellar yaratilib, ular asosida strukturaviy zaiflik tahlillari o'tkazilgan [4]. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, dronlar yordamida olingan ma'lumotlar tarixiy inshootlarning holatini masofadan turib baholash va xavf-xatarlarni erta aniqlash imkonini beradi [4].

HBIM (Heritage Building Information Modeling) texnologiyasi me'moriy meros obyektlarining raqamli modelini yaratish va uni real vaqt ma'lumotlari bilan boyitish imkonini beradi [9]. Kavur kanali suv ko'prigi misolida olib borilgan tadqiqotda HBIM modeli IoT-sensorlardan olingan real vaqt ma'lumotlari bilan integratsiya qilinib, interaktiv

veb-platforma yaratilgan [9]. Ushbu platforma muhim holatlarni aniqlash va real vaqt rejimida ogohlantirishlar berish imkoniyatiga ega [9].

IoT-sensorlar me'moriy meros obyektlarining atrof-muhit sharoitlarini (harorat, namlik, tebranish va boshqalar) uzluksiz kuzatish imkonini beradi [7], [10]. LoRa texnologiyasiga asoslangan IoT-sensorlar yordamida qadimiy haykallarning holatini millimetr aniqligida kuzatish mumkin [7]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, IoT-sensorlar va raqamli egizak texnologiyalarining integratsiyasi me'moriy meros obyektlarining holatini real vaqt rejimida kuzatish va prognozlash imkonini beradi [7], [10].

O'zbekiston sharoitida ham bu borada dastlabki qadamlar qo'yilmoqda. Xorazm viloyatidagi 37 ta gilxomashyodan tiklangan me'moriy yodgorliklarning elektron ma'lumotlar bazasi yaratilgan [11]. Shuningdek, Ichan-Qal'a majmuasidagi tarixiy obidalarni raqamli hujjatlashtirish va 3D modellashtirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda [12].

METODLAR

Tadqiqot metodologiyasi tizimli yondashuv, qiyosiy tahlil, hujjatli kuzatish va ekspert baholash usullariga asoslangan [1], [2]. Tadqiqotda quyidagi ilmiy usullardan foydalanildi:

Tahliliy usul — mavzu bo'yicha ilmiy adabiyotlar, normativ hujjatlar va xalqaro standartlarni o'rganish va umumlashtirish [1], [5].

Qiyosiy usul — xorijiy va mahalliy tajribani qiyoslash, ilg'or yondashuvlarni aniqlash [2], [4].

Tizimli yondashuv — masofadan monitoring texnologiyalarini bosqichlarga ajratish va har bir bosqichning o'zaro bog'liqligini tahlil qilish [3], [6].

Ekspert baholash — soha mutaxassislarining fikrlarini yig'ish va umumlashtirish [8], [12].

NATIJALAR

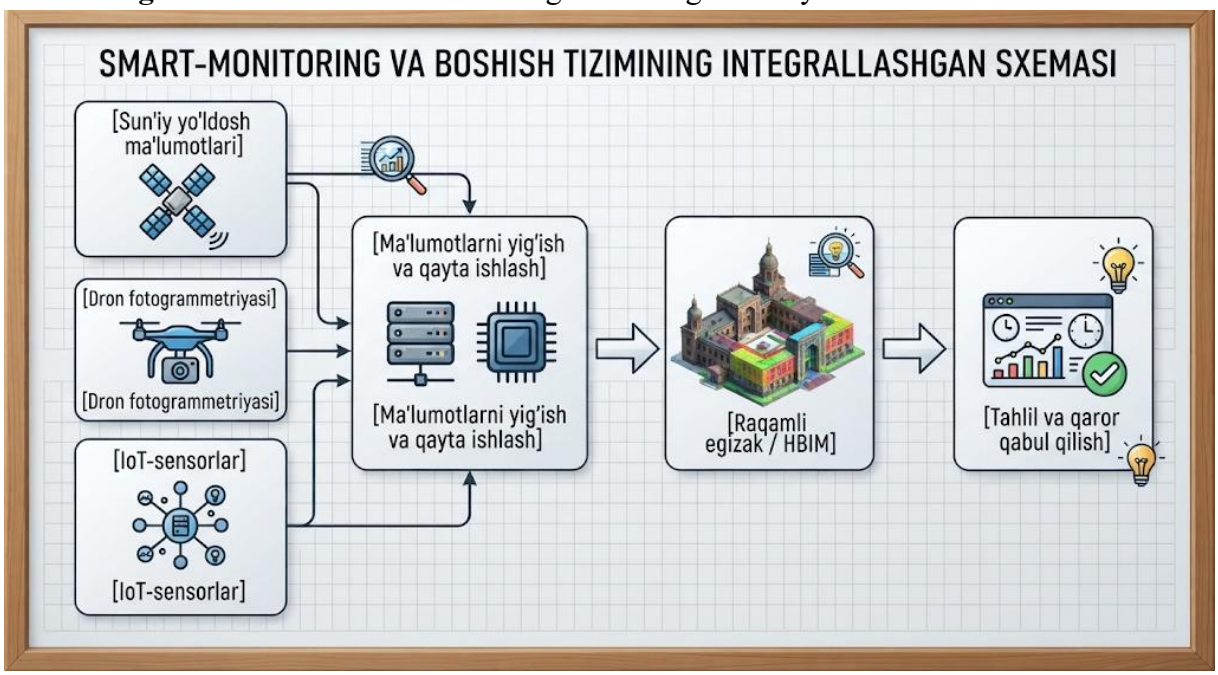
Tadqiqot natijalariga ko'ra, me'moriy meros obyektlarining texnik holatini masofadan turib kuzatish va saqlashda zamonaviy raqamli texnologiyalarning imkoniyatlari keng va xilma-xildir. Quyida ushbu texnologiyalarning asosiy turlari va ularning imkoniyatlari keltirilgan.

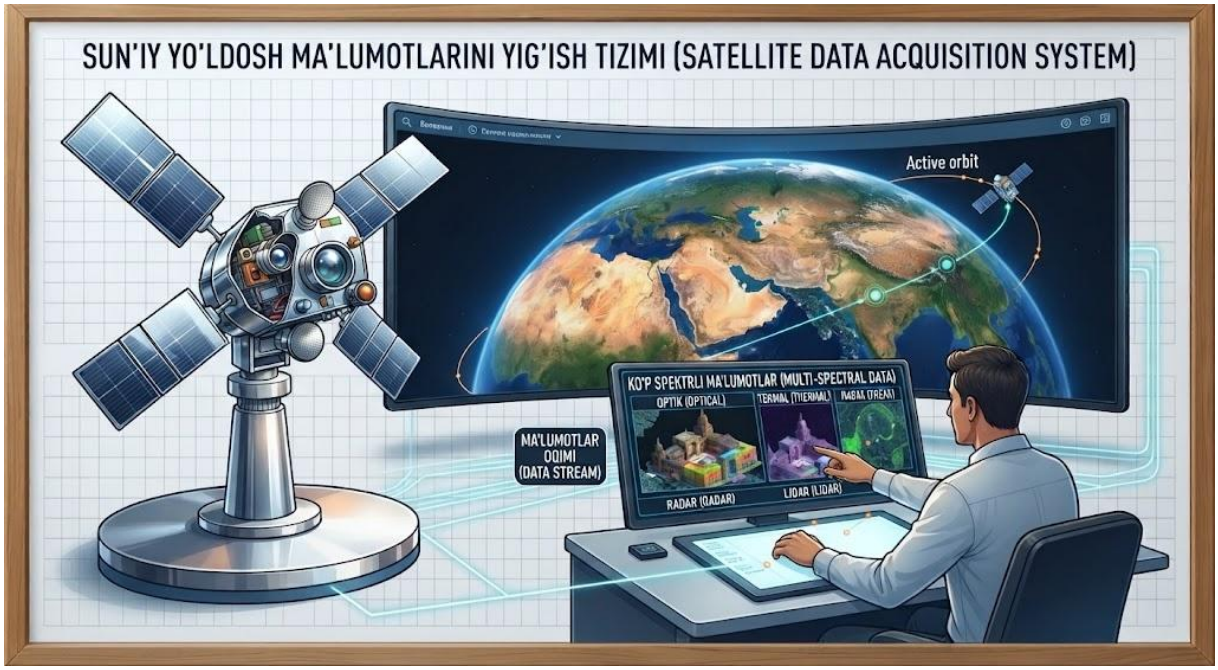
1-jadval. Me'moriy merosni masofadan monitoring qilish texnologiyalari va ularning imkoniyatlari

Texnologiya	Qo'llanilish sohasi	Aniqlik darajasi	Afzalliklari	Manba
InSAR (sun'iy yo'ldosh)	Deformatsiya va cho'kishlarni aniqlash	Millimetr aniqligida	Keng hududni qamrab olish, tejamkor	[2]
Dron fotogrammetriyasi	3D model yaratish, fasad tahlili	Yuqori aniqlik	Tezkor, xavfsiz, kam xarajatli	[4]
IoT-sensorlar	Atrof-muhit va	Real vaqt	Uzluksiz	[7], [10]

Texnologiya	Qo‘llanilish sohasi	Aniqlik darajasi	Afzalliklari	Manba
	struktura monitoringi		kuzatish, avtomatik ogohlantirish	
Raqamli egizak (Digital Twin)	Strukturaviy zaifliklarni aniqlash	Yuqori aniqlik	Prognozlash, qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlash	[6], [7]
HBIM	Raqamli model va ma’lumotlar integratsiyasi	Yuqori aniqlik	Interaktiv boshqaruv, real vaqt ma’lumotlari	[9]

1-diagramma. Masofadan monitoring tizimining umumiy arxitekturasi





Ko'p spektrli sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini yig'ish stansiyasi

Tavsif: Sun'iy yo'ldosh blokining kengaytirilgan versiyasi. Kosmosdan Yerga qarab turgan orbita platformasi ko'rsatilgan. Uning yonida yer usti boshqaruv markazining miniatyura tasviri bo'lib, sun'iy yo'ldoshdan olingan ko'p spektrli (masalan, termal, optik, radar) ma'lumotlar oqimi katta ekranlarda aks etmoqda. Bu ma'lumotlarning xilma-xilligini ko'rsatadi.

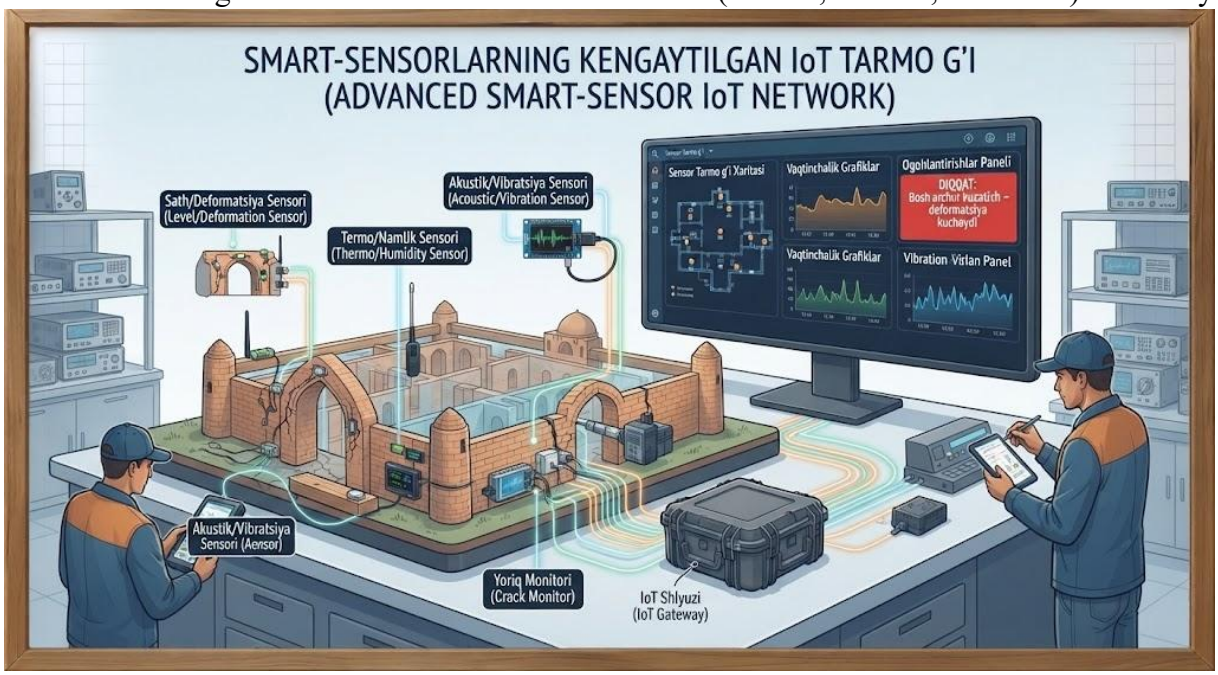


Dronlar flotini avtonom boshqarish va ma'lumot uzatish

Tavsif: Dron blokining kengaytirilgan versiyasi. Bu yerda bitta emas, balki uchta turli xil dronlar (kvadrokopter, qattiq qanotli, geksakopter) avtonom qo'nish platformasidan havoga ko'tarilmoqda. Ularning har biri ma'lumotlarni uzatuvchi antenna bilan jihozlangan. Yuqorida, bulutlar orasida, dronlar yig'ayotgan ma'lumotlarning 3D skaneri (Lidar) tasviri ko'rsatilgan.

Smart-sensorlarning kengaytirilgan IoT tarmog'i

Tavsif: IoT-sensorlar blokining kengaytirilgan versiyasi. Sensorlar shunchaki nuqta emas, balki real ob'ektlarga (masalan, tarixiy devor, quvur, tuproq) o'rnatilgan kichik, aqlli modullar sifatida ko'rsatilgan. Ular atrof-muhit ma'lumotlarini (harorat, namlik, tebranish) markaziy



shlyuzga simsiz uzatmoqda. Tarmoqning qamrovi va zichligi ta'kidlangan.

Tadqiqot davomida masofadan monitoring texnologiyalarining quyidagi afzalliklari aniqlandi:

Birinchi afzallik — real vaqt rejimida kuzatish. IoT-sensorlar va sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari yordamida me’moriy meros obyektlarining holatini real vaqt rejimida kuzatish mumkin [7], [10]. Bu esa favqulodda vaziyatlarni (zilzila, suv toshqini va boshqalar) erta aniqlash va zarur choralar ko‘rish imkonini beradi [2].

Ikkinchi afzallik — keng hududni qamrab olish. Sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlariga asoslangan InSAR texnologiyasi bir vaqtning o‘zida katta hududdagi ko‘plab obyektlarni kuzatish imkonini beradi [2]. Bu ayniqsa, tog‘li va chekka hududlarda joylashgan me’moriy meros obyektlari uchun muhimdir [1]

Uchinchi afzallik — yuqori aniqlik va ishonchlilik. Dronlar va lazerli skanerlar yordamida olingan ma’lumotlar asosida yaratilgan raqamli modellar yuqori aniqlikka ega bo‘lib, ular strukturaviy zaifliklarni aniq aniqlash imkonini beradi [4], [6]. LiDAR va ko‘p manbali masofadan zondlash ma’lumotlariga asoslangan raqamli egizak texnologiyasi 4.65 mm gacha deformatsiyani aniqlay oladi [6].

To‘rtinchi afzallik — xarajatlarni kamaytirish. Masofadan monitoring usullari an’anaviy usullarga qaraganda ancha tejamkor bo‘lib, obyektga jismonan tashrif buyurish zaruratini kamaytiradi [2]. Bu esa resurslarni tejash va ko‘proq obyektlarni qamrab olish imkonini beradi [1].

2-jadval. Masofadan monitoring texnologiyalarining an’anaviy usullar bilan qiyosiy tahlili

Mezon	An’anaviy usullar	Masofadan monitoring
Kuzatish davriyligi	Vaqti-vaqti bilan	Uzluksiz / real vaqt
Aniqlik darajasi	Subyektiv (mutaxassisga bog‘liq)	Yuqori aniqlik (millimetr)
Xarajat	Yuqori (tashrif, ekspertiza)	Nisbatan past
Hudud qamrovi	Cheklangan	Keng (sun’iy yo‘ldosh orqali)
Favqulodda ogohlantirish	Yo‘q	Mavjud
Ma’lumotlarni saqlash	Qog‘oz shaklida	Raqamli, uzoq muddatli

MUHOKAMA

Masofadan monitoring texnologiyalari me’moriy merosni saqlashda katta imkoniyatlar yaratsa-da, ularni joriy etishda bir qator muammolar mavjud.

Texnik muammolar. O‘zbekistonda masofadan monitoring uchun zarur bo‘lgan lazerli skanerlar, dronlar, IoT-sensorlar va yuqori unumdorlikka ega kompyuter texnikasi yetarli darajada emas [1]. Shuningdek, ma’lumotlarni saqlash va qayta ishlash uchun katta hajmdagi server quvvatlari zarur [10].

Kadrlar muammosi. Masofadan monitoring texnologiyalaridan foydalanish uchun maxsus bilim va ko‘nikmalarga ega mutaxassislar (GIS mutaxassislari, dasturchilar, sun’iy intellekt bo‘yicha mutaxassislar) yetishmaydi [4], [12]. Xalqaro tajribada bu sohada maxsus o‘quv kurslari va malaka oshirish dasturlari mavjud [1].

Ma’lumotlar xavfsizligi. Raqamli ma’lumotlar kiberhujumlar, texnik nosozliklar va ma’lumotlarning yo‘qolishi xavfiga duch keladi [10]. Shu sababli, zaxira serverlar, bulutli texnologiyalar va blokcheyn texnologiyalaridan foydalanish samarali hisoblanadi [10].

Moliyaviy muammolar. Masofadan monitoring tizimlarini joriy etish katta moliyaviy xarajatlarni talab qiladi [2]. Uskunalar sotib olish, dasturiy ta’minot litsenziyalari, mutaxassislarni o‘qitish va tizimni yangilab borish uchun doimiy investitsiyalar zarur [5]. Davlat-xususiy sheriklik mexanizmlarini joriy etish bu muammoni qisman hal qilishi mumkin [5].

Yuqoridagi muammolarni hal qilish bo‘yicha quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi:

Davlat-xususiy sheriklikni yo‘lga qo‘yish — masofadan monitoring loyihalarini moliyalashtirishda xususiy sektor ishtirokini kengaytirish [5].

Xalqaro standartlarni joriy etish — YUNESKO va ICOMOS standartlarini milliy qonunchilikka uyg‘unlashtirish [1].

Mutaxassislarni tayyorlash tizimini yaxshilash — oliy ta’lim muassasalarida raqamli meros bo‘yicha maxsus kurslar tashkil etish [4].

Yagona elektron platforma yaratish — barcha idoralar uchun umumiy ma’lumotlar bazasini shakllantirish [5], [10].

Ma’lumotlarni zaxiralash va xavfsizligini ta’minlash — bulutli texnologiyalar va blokcheyndan foydalanish [10].

XULOSA

Xulosa o‘rnida shuni ta’kidlash mumkinki, me’moriy meros obyektlarining texnik holatini masofadan turib kuzatish va saqlashda zamonaviy raqamli texnologiyalar katta imkoniyatlar yaratmoqda. Sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari, dron fotogrammetriyasi, IoT-sensorlar, raqamli egizak va HBIM texnologiyalarining integratsiyasi me’moriy merosni saqlashda yangi bosqichni boshlab berdi [1], [6], [9].

Tadqiqot natijalari quyidagi xulosalarga olib keldi:

Masofadan monitoring texnologiyalari me’moriy meros obyektlarining holatini real vaqt rejimida, yuqori aniqlikda va uzluksiz kuzatish imkonini beradi [2], [7].

InSAR, dron fotogrammetriyasi va IoT-sensorlar an’anaviy monitoring usullariga qaraganda ancha samarali va tejamkordir [2], [4].

Raqamli egizak va HBIM texnologiyalari me’moriy meros obyektlarining raqamli modelini yaratish va uni real vaqt ma’lumotlari bilan boyitish imkonini beradi [6], [9].

O‘zbekistonda masofadan monitoring texnologiyalarini joriy etish bo‘yicha dastlabki qadamlar qo‘yilmoqda, ammo tizimli yondashuv va yagona metodologiya hali to‘liq shakllanmagan [5], [11].

Masofadan monitoring texnologiyalarini joriy etishda texnik, kadrlar, moliyaviy va ma’lumotlar xavfsizligi bilan bog‘liq muammolar mavjud bo‘lib, ularni hal qilish uchun kompleks chora-tadbirlar zarur [1], [10].

Taklif etilayotgan yondashuv mahalliy sharoitda me’moriy merosni boshqarish tizimini raqamlashtirishga xizmat qiladi va kelgusida O‘zbekistonning boy me’moriy merosini asrash hamda kelgusi avlodlarga yetkazishda muhim qadam bo‘ladi [5].

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. ARGUS Project. Non-destructive, scalable, smart monitoring of remote cultural treasures // CORDIS, Horizon Europe, Grant Agreement No. 101132308. – Brussels, 2026.
2. Anomaly identification in historical modular structures using satellite data: Methodology and application to Portico di San Luca, Bologna // Developments in the Built Environment, Elsevier, 2025.
3. Reconstructing Historical Monuments and Environments: A Digital Approach to Education // 2025 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2025.
4. Digital heritage preservation through drone surveying: Vulnerability analysis of Venetian church façades // Journal of Cultural Heritage, Elsevier, 2026.
5. O‘zbekistonda madaniy merosning raqamli platformasi yaratiladi // Gazeta.uz, 2026-yil 10-sentabr.

6. Optimization of structural reinforcement assessment for architectural heritage digital twins based on LiDAR and multi-source remote sensing // npj Heritage Science, 2024.
7. Development of a Digital Twin-Based Visualization System for Restoring Ancient Architectural Sculptures // International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems, IGI Global, 2026.
8. Structural deformation monitoring using UAV photogrammetry to assess slender historic buildings // Journal of Building Engineering, Elsevier, 2025.
9. From the 3D metric survey to a living digital shadow through IoT integration of real-time data. The case study of the Cavour Canal water bridge // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2026.
10. Defining a New Digital Twin Ontology for Cultural Heritage Preservation – the Case of ARGUS // Digital Heritage, Zenodo, 2025.
11. Создана электронная база данных о реставрированных историко-архитектурных глинобитных памятниках Хорезмской области // O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi, 2025.
12. Duschanov Sh.Sh. Improving the efficiency of using electronic databases in the restoration, design, and preservation of historical monuments // Zenodo, 2025.