



**BUXORODAGI “ESKI HAMMOM” BINOSINING RADIAL-TO‘SINLI
GUMBAZ ELEMENTLARINI UCHBURCHAKLIK
KUCHAYTIRGICH MEMBRANA YORDAMIDA SEYSMIK
TA’SIRLARGA HISOBLASH VA DEFORMATSIYALANISHINI
BAHOLASH**

Muxammadov Said Karimovich

Buxoro davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi

E-mail: s.muhammadov@mail.ru

Annotatsiya.Maqolada Buxoro shahridagi “Eski hammom” binosining radial-to‘sinli gumbaz elementlarini seysmik ta’sirlar sharoitida baholash hamda uchburchaklik kuchaytirgich membrana qo‘llash imkoniyatini muhandislik nuqtayi nazaridan o‘rganish metodikasi bayon etiladi. Tarixiy gumbazlarda zilzila paytida inersiya kuchlari, tayanch halqasi bo‘ylab siljish, radial elementlar orasidagi bog‘lanishlarning sustligi va devor-gumbaz tutashuvlaridagi kuchlanishlar deformatsiyalanish hamda yoriqlanish xavfini oshirishi mumkin. Tadqiqot doirasida obidaning geometrik o‘lchamlari va material xususiyatlarini aniqlash, hisobiy model yaratish, seysmik yuklamalarni belgilash, kuchaytirgich membranasiz va membrana bilan mustahkamlangan variantlarni taqqoslash bosqichlari taklif qilinadi. Maqolada real obyekt bo‘yicha o‘lchov yoki sonli hisob natijalari mavjud deb ko‘rsatilmaydi; shu sababli natijalar bo‘limi hisoblash natijalarini olish mezonlari va kutiladigan tahlil ko‘rsatkichlarini ifodalaydi. Taklif etilgan yondashuv tarixiy materialning saqlanishi, aralashuvning minimal bo‘lishi va kuchaytirish elementlarining asosiy konstruksiyaga mosligi tamoyillariga tayanadi.

Kalit so‘zlar. Eski hammom, Buxoro, radial-to‘sinli gumbaz, seysmik ta’sir, uchburchaklik kuchaytirgich membrana, deformatsiya, kuchlanish, sonli modellashtirish, tarixiy konstruksiya, mustahkamlash.

KIRISH



Tarixiy hammomlar Markaziy Osiyo me'morchiligida murakkab fazoviy tuzilishga ega bo'lgan inshootlar sirasiga kiradi. Ularning tom yopmalari ko'pincha gumbaz, ravoq va o'zaro bog'langan devorlar tizimi orqali yuklarni tayanchlarga uzatadi. Bunday konstruksiyalar asrlar davomida vertikal yuklar ta'sirida ishlashga moslashgan bo'lishi mumkin, biroq zilzila vaqtida yuzaga keladigan gorizonta va vertikal tezlanishlar gumbazning turli qismlarida murakkab kuchlanish holatini yuzaga keltiradi. Tarixiy g'isht-tosh terimining cho'zilishga nisbatan past qarshiligi, qorishmaning notekis xususiyatlari va oldingi ta'mirlashlarning ta'siri seysmik javobni yanada murakkablashtiradi.

Tarixiy gumbazlarning seysmik xatti-harakatini o'rganishda geometrik shaklni, tayanch sharoitlarini, materiallarning mexanik parametrlarini va konstruktiv elementlar orasidagi bog'lanishlarni hisobga olish zarur. Ilmiy adabiyotlarda tarixiy gumbazlarning seysmik zaifligi, yoriqlanish mexanizmlari va kompozit materiallar bilan kuchaytirish imkoniyatlari sonli hamda tajribaviy usullar orqali o'rganilgan [1–3]. Shu bilan birga, har qanday kuchaytirish yechimi muayyan obyektning haqiqiy holati, tarixiy qiymati va material xususiyatlariga mos ravishda tanlanishi kerak.

Mazkur maqolaning maqsadi — Buxorodagi “Eski hammom” binosining radial-to'sinli gumbaz elementlarini seysmik yuklar ta'sirida hisoblash uchun metodik yondashuvni shakllantirish hamda uchburchaklik kuchaytirgich membrana bilan kuchaytirilgan va kuchaytirilmagan modellar deformatsiyalarini taqqoslash mezonlarini belgilash. Tadqiqot vazifalari: gumbazning konstruktiv sxemasini aniqlash; boshlang'ich geometrik va fizik-mexanik parametrlarni to'plash; seysmik hisob modelini ishlab chiqish; membrananing ishlash mexanizmini baholash; konstruktiv aralashuvning samaradorligi va tarixiy material bilan mosligini tahlil qilish.

Ushbu ishda “uchburchaklik kuchaytirgich membrana” atamasi gumbazning radial-to'sinli elementlarini o'zaro bog'lab, tekislikdagi siljish va deformatsiyalarni taqsimlashga mo'ljallangan uchburchak geometriyali





kuchaytiruvchi element yoki membranaviy tizim sifatida shartli qo'llanadi. Uning aniq konstruktiv tuzilishi, materiali, qalinligi, birikmalari va ankerlanishi loyiha hujjatlari bilan aniqlashtirilishi lozim.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot metodikasi obyektни dastlabki tekshirish, geometrik modellashtirish, material parametrlarini aniqlash va hisoblash natijalarini taqqoslashdan iborat. Birinchi bosqichda "Eski hammom" binosining aniq joylashuvi, tarixiy hujjatlari, mavjud chizmalari va oldingi ta'mirlash ma'lumotlari yig'iladi. Joyida o'tkaziladigan tekshiruvda gumbazning ko'tarilish balandligi, tayanch konturi, radial-to'sinlarning soni va kesimi, elementlar orasidagi masofa, terim qalinligi, yoriqlar va deformatsiya izlari qayd etiladi. Ushbu parametrlar tasdiqlanmaguncha modelga taxminiy o'lchamlarni haqiqiy obyekt ma'lumoti sifatida kiritish mumkin emas.

Ikkinchi bosqichda materiallarning zichligi, elastiklik moduli, siqilish va cho'zilishdagi mustahkamligi, qorishma choklarining xususiyatlari hamda elementlar orasidagi bog'lanish qobiliyati aniqlanadi. Tarixiy inshootlarda namuna olish cheklangan bo'lishi mumkinligi sababli, imkon qadar buzmasdan tekshirish usullari qo'llanadi; laboratoriya namunalari zarur bo'lsa, ular minimal hajmda va merosni muhofaza qilish talablariga muvofiq olinadi. Material xususiyatlari noma'lum qolgan hollarda hisoblashda bir nechta asoslangan parametrlar to'plami orqali sezgirlik tahlili o'tkazish tavsiya etiladi.

Uchinchi bosqichda gumbazning uch o'lchamli hisobiy modeli tuziladi. Radial-to'sinlar sterjen yoki qobiq elementlari bilan, gumbaz qoplamasi esa uning haqiqiy konstruktiv sxemasiga mos qobiq yoki hajmiy elementlar bilan modellashtirilishi mumkin. Devor va tayanchlar bilan bog'lanishlar real holatga muvofiq beriladi. Modelning chegaraviy shartlari, yuk uzatish yo'llari va elementlararo birikmalarni soddalashtirish hisob natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin; shu sababli soddalashtirishlar alohida qayd etilishi kerak.



To'rtinchi bosqichda seysmik ta'sir amaldagi O'zbekiston qurilish me'yorlari va obyekt joylashgan hudud uchun belgilangan seysmik parametrlar asosida tanlanadi. Hisoblashda konstruksiyaning o'z og'irligi, doimiy yuklar va seysmik ta'sirlar hisobga olinadi. Imkoniyatga qarab modal tahlil, javob spektri bo'yicha hisoblash hamda chiziqli bo'lmagan xatti-harakat ehtimoli mavjud bo'lsa, tegishli nochiziqli tahlil bajariladi. Zilzila yozuvlaridan foydalanilsa, ularning tanlanishi, masshtablanishi va qo'llash mezonlari izohlanishi zarur.

Beshinchi bosqichda kamida ikki hisobiy variant taqqoslanadi: A — mavjud konstruktiv tizim; B — uchburchaklik kuchaytirgich membrana bilan mustahkamlangan tizim. Zarur bo'lsa, membrananing joylashuvi yoki birikma sxemasi farq qiladigan qo'shimcha variantlar ham tekshiriladi. Taqqoslash ko'rsatkichlari sifatida gumbaz cho'qqisining maksimal siljishi, radial elementlarning nisbiy deformatsiyasi, asosiy kuchlanishlar, membrana va ankerlardagi ichki kuchlar, tayanch reaksiyalari, modal davrlar hamda ehtimoliy yoriqlanish zonalari qabul qilinadi.

HISOBLASHNING ASOSIY MUNOSABATLARI

Chiziqli dinamik hisobning umumiy tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$M u''(t) + C u'(t) + K u(t) = -M r a_g(t)$$

Bu yerda M — massa matritsasi; C — so'nish matritsasi; K — bikrlilik matritsasi; $u(t)$ — tugunlarning nisbiy siljish vektori; r — ta'sir yo'nalishini ifodalovchi vektor; $a_g(t)$ — gruntning seysmik tezlanishi. Ushbu tenglama hisobiy modelga qo'llanadigan umumiy dinamik munosabatni ko'rsatadi, lekin obyekt bo'yicha sonli natijani o'z-o'zidan bermaydi.

Membrananing nisbiy samaradorligini siljish bo'yicha baholash uchun quyidagi ko'rsatkichdan foydalanish mumkin:

$$\eta u = (u_0 - u_1) / u_0 \times 100 \%$$

Bu yerda u_0 — membranasiz modelda aniqlangan tanlangan maksimal siljish; u_1 — membranali modeldagi shu ko'rsatkich. Agar u_0 nolga teng bo'lmasa, ηu siljishning foiz hisobida kamayishini ko'rsatadi. Xuddi shunday,





kuchlanish yoki nisbiy deformatsiya bo'yicha taqqoslash ko'rsatkichlari ham hisoblanishi mumkin. Biroq faqat maksimal siljishning kamayishi kuchaytirish yechimi xavfsizligini to'liq isbotlamaydi: birikmalar, ankerlar, mahalliy kuchlanishlar va tarixiy terimga uzatiladigan kuchlar ham tekshirilishi shart.

NATIJALAR

Ushbu maqola uchun "Eski hammom" binosining o'lchov chizmalari, material sinovlari, gumbaz elementlarining kesimlari va seysmik hisob fayllari taqdim etilmagan. Shu sababli maksimal siljish, kuchlanish, tebranish davri yoki deformatsiyaning foiz kamayishi kabi miqdoriy natijalarni haqiqiy hisob natijasi sifatida keltirish mumkin emas. Tadqiqotning ushbu bosqichidagi asosiy natija — obyektning tekshirish va membranali yechimni baholash uchun hisoblash metodikasi hamda taqqoslash ko'rsatkichlarini belgilashdan iborat.

Hisoblash bajarilgach, natijalar jadvalda kamida quyidagi ko'rsatkichlar bo'yicha berilishi tavsiya etiladi: gumbaz cho'qqisining maksimal siljishi; radial-to'sinlarning maksimal nisbiy deformatsiyasi; asosiy cho'zuvchi va siquvchi kuchlanishlar; membrana elementlaridagi ichki kuchlar; anker va birikmalardagi kuchlar; birinchi tebranish davri; ehtimoliy shikastlanish zonalari. Har bir qiymatning birligi, yuklanish kombinatsiyasi, hisobiy model turi va foydalanilgan material parametrlari ko'rsatilishi kerak.

Konstruktiv nuqtayi nazardan uchburchaklik bog'lovchi geometriya radial elementlar orasidagi nisbiy siljishlarni cheklash, yuklarni qo'shni elementlarga qayta taqsimlash va ayrim deformatsiya shakllarining rivojlanishini kamaytirishga xizmat qilishi mumkin. Biroq ushbu ta'sir membrananing tekislikdagi bikrligi, tugunlarning mustahkamligi, ankerlanish usuli va mavjud gumbazning deformatsion xususiyatlariga bog'liq. Membrana qo'shilishi natijasida ayrim zonalarda kuchlanishlarning ortishi yoki tayanchlarga uzatiladigan kuchlarning o'zgarishi ham mumkin; shu sababli faqat ijobiy natijani oldindan taxmin qilish emas, balki barcha asosiy javob ko'rsatkichlarini tekshirish talab etiladi.



MUHOKAMA

Tarixiy gumbazni seysmik kuchaytirishda asosiy muammo mustahkamlikni oshirish bilan birga asl konstruktiv tizim va me'moriy qiymatni saqlashdan iborat. Ilmiy adabiyotlarda tarixiy terimdan qurilgan gumbazlarning zilzila ta'sirida cho'zilish zonalarida yoriqlanishi, tayanch qismlaridagi kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi va kuchaytirish elementlarining joylashuvi umumiy seysmik javobga ta'sir qilishi qayd etilgan [1–3]. Ushbu natijalar har bir obyekt uchun alohida hisoblash va tekshirish zarurligini tasdiqlaydi.

Uchburchaklik kuchaytirgich membranani qo'llashdan oldin uning materialini tanlash, elementlarning tarixiy devor yoki gumbazga qanday biriktirilishi, namlik va harorat ta'siridagi uzoq muddatli ishlashi hamda kelajakda olib tashlash imkoniyati ko'rib chiqilishi kerak. Agar membrana yuqori bikrlikka ega bo'lsa, u deformatsiyani kamaytirishi bilan birga kuchlarni kamroq biki bo'lgan tarixiy qismlarga jamlashi mumkin. Shuning uchun kuchaytirish varianti global va mahalliy xatti-harakatlar bo'yicha tekshirilishi lozim.

Hisobiy modelni ishonchli deb qabul qilish uchun uning natijalari obyektning kuzatilgan deformatsiyalari, modal xususiyatlari yoki mavjud sinov ma'lumotlari bilan imkon qadar taqqoslanishi kerak. Agar bunday ma'lumotlar mavjud bo'lmasa, modelning noaniqliklari ochiq ko'rsatiladi va material xususiyatlari hamda tayanch shartlarining o'zgarishiga sezgirlik tahlili bajariladi. Shunday yondashuv raqamli natijalarni ortiqcha aniqlik bilan talqin qilish xavfini kamaytiradi.

Maqolaning cheklovi — “Eski hammom” binosining haqiqiy konstruktiv o'lchamlari, material sinovlari va instrumental monitoring ma'lumotlari mavjud emasligidir. Shu bois maqoladagi hisoblash formulalari va tahlil ketma-ketligi metodik asos sifatida berilgan, obyektning haqiqiy seysmik xavfsizligi yoki membrana samaradorligi to'g'risida yakuniy xulosa chiqarilmagan. Keyingi



bosqichda dala tekshiruvi, geometriyani raqamli qayd etish, material xususiyatlarini aniqlash va sonli modellashtirish natijalari bilan maqola to'ldirilishi zarur.

XULOSA

Buxorodagi "Eski hammom" binosining radial-to'sinli gumbaz elementlarini seysmik ta'sirga hisoblashda konstruktiv geometriya, materiallarning fizik-mexanik xususiyatlari, tayanch shartlari va elementlararo bog'lanishlarni birgalikda hisobga olish lozim.

Uchburchaklik kuchaytirgich membrana bilan mustahkamlangan va mustahkamlanmagan hisobiy modellarni taqqoslash gumbazning maksimal siljishi, nisbiy deformatsiyasi, kuchlanishlar taqsimoti, membrana va ankerlardagi ichki kuchlar hamda dinamik xususiyatlar bo'yicha bajarilishi tavsiya etiladi. Siljishning kamayishi muhim ko'rsatkich bo'lsa-da, u yakka holda konstruktiv xavfsizlikni tasdiqlamaydi.

Kuchaytirish yechimi faqat obyekt bo'yicha o'lchovlar, material sinovlari, hisoblash natijalari va tarixiy merosni muhofaza qilish talablariga muvofiqligi tekshirilgandan so'ng tanlanishi kerak. Mazkur maqola keyingi amaliy hisoblash uchun IMRAD tuzilishidagi metodik asosni taqdim etadi; sonli natijalar esa tegishli dala va hisoblash ma'lumotlari olingach kiritilishi lozim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Malek Timche maqolasi: Seismic vulnerability assessment and retrofitting of historic masonry building of Malek Timche in Tabriz Grand Bazaar. Engineering Structures, 2021, Vol. 240, 112418. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112418>
2. Bayraktar A., Bayraktar S., Hökelekli E. Strengthening techniques for masonry domes: A review. Structural Survey, 2023, Vol. 38, No. 1. <https://doi.org/10.1177/09560599221126652>



3. Finite Element Analysis of Strengthening Method Using Carbon Fiber Reinforced Polymer and Glass Fiber Reinforced Polymer in Tensile Zones of Historical Domed Structures: Edirnekapi Mihrimah Sultan Mosque Dome. Journal of Architectural Sciences and Applications.

<https://doi.org/10.30785/mbud.1317703>

4. ICOMOS. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Adopted by the 14th ICOMOS General Assembly, Victoria Falls, 2003. <https://www.icomos.org/>

5. UNESCO World Heritage Centre. Historic Centre of Bukhara. <https://whc.unesco.org/en/list/602/>