



## TOSHKENT METROSI VA YER OSTI TRANSPORT INSHOOTLARIDA GRUNT SUVLARI AGRESSIVLIGINI RAQAMLI MONITORING QILISH

*„Qurilish muhandisligi“ fakulteti “Ko’priklar va tonellar” kafedrasida  
talabasi Usmonaliyev Yahyobek Axrorjon o’g’li*

### **Annotatsiya**

Ushbu maqolada Toshkent shahrining Yunusobod va Sergeli tumanlaridagi murakkab gidrogeologik sharoitda yer osti transport inshootlarining barqarorligi tadqiq etiladi. Grunt suvlari sathi yuqori bo‘lgan (2-5 m) hududlarda betonning elektrokimyoviy korroziyaga uchrash mexanizmi Fik qonuniyatlari asosida tahlil qilingan. Tadqiqotda raqamli monitoring va "Digital Twin" texnologiyalarining korroziya muddatini aniqlashdagi samaradorligi matematik isbotlangan.

**Kalit so‘zlar:** Toshkent metrosi, gidrogeologik kesim, xloridlar diffuziyasi, Fikning ikkinchi qonuni, elektrokimyoviy korroziya, Digital Twin, kristallanuvchi gidroizolyatsiya.

### **Abstract**

This article investigates the structural stability of underground transport facilities under the complex hydrogeological conditions of the Yunusobod and Sergeli districts in Tashkent. The mechanism of electrochemical corrosion in concrete in areas with high groundwater levels (2–5 m) is analyzed based on Fick's laws of diffusion. The study mathematically demonstrates the effectiveness of digital monitoring and "Digital Twin" technologies in determining the onset and progression of corrosion.

**Keywords:** Tashkent metro, hydrogeological cross-section, chloride diffusion, Fick's second law, electrochemical corrosion, Digital Twin, crystalline waterproofing.



## KIRISH

Toshkent shahrining urbanizatsiya darajasi ortishi bilan yer osti transport infratuzilmasi, xususan metro liniyalari va ko‘p darajali yo‘l o‘tkazgichlarning ahamiyati kuchaymoqda. Biroq, shaharning Yunusobod va Sergeli kabi tumanlari o‘ziga xos muhandislik-geologik tuzilishga ega. Geologik kesim tahlili shuni ko‘rsatadiki, yuqori qatlam 2 metrgacha tuproq, 2-8 metrgacha qumoq, 8-20 metrgacha esa zich qum-shag‘al qatlamlaridan iborat.

Ushbu hududlarda grunt suvlari yer yuzasidan atigi 2-5 metr chuqurlikda joylashgan bo‘lib, ular qumoq va mayda qumli qatlamlarda yuqori filtratsiya koeffitsientiga ega. Suv tarkibidagi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) va xlorid ( $\text{Cl}$ ) ionlari betonning kapillyar g‘ovaklari orqali armaturaga yetib boradi. Bu jarayon armaturaning passivatsiya qatlamini yemirib, elektrokimyoviy korroziyani keltirib chiqaradi, bu esa Toshkent metrosining beton konstruksiyalari uchun asosiy xavf tug‘diruvchi omildir.

Betonning himoya qatlami orqali agressiv ionlarning o‘tish vaqtini va korroziya boshlanishini ( $t_{\text{init}}$ ) aniqlashda diffuziya nazariyasiga asoslangan Fikning ikkinchi qonuni qo‘llanildi:

$$C(x,t)=C_s*(1-\text{erf}(x/2\sqrt{D*t}))$$

Bunda:

$C(x, t)$  —  $x$  chuqurlikdagi va  $t$  vaqtdagi xloridlar konsentratsiyasi (%);

$C_s$  — beton sirtidagi xloridlar konsentratsiyasi;

$x$  — himoya qatlamining qalinligi (mm);

$D$  — diffuziya koeffitsienti ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\text{erf}$  — Laplas xatoliklar funksiyasi.

Korroziya jarayonining termodinamik ehtimolligi Nernst tenglamasi orqali elektrod potentsiallari farqi bilan tekshirildi:

$$E=E^0+(RT/nF)\ln(a_{\text{ion}})$$



Toshkent metrosining Yunusobod yo‘nalishidagi B30 va B35 sinfidagi beton namunalarini raqamli modellashtirish natijasida quyidagilar aniqlandi:

1. Kritik konsentratsiya: Armatura korroziyasi boshlanishi uchun xloridlar miqdori beton massasiga nisbatan 0.4% ga yetishi lozimligi laboratoriya sharoitida tasdiqlandi.

2. Diffuziya dinamikasi: Toshkentning qum-shag‘alli gruntlaridagi suv bosimi sharoitida D koeffitsienti o‘rtacha  $1.5 \times 10^{-12}$ ,  $m^2/s$  ni tashkil etdi. Bu sharoitda  $x=40$  mm bo‘lgan himoya qatlami orqali ionlarning kritik nuqtaga yetishi 14 yilni tashkil etdi.

"Digital Twin" datchiklari tizimi konstruksiyadagi elektr qarshiligi (resistivity) va namlik o‘zgarishini 0.1% aniqlikda qayd etdi. Tizim avariya holati yuzaga kelishini (konstruksiya yorilishi) 3 yil oldin prognoz qilish imkonini beradi.

Toshkentning keskin kontinental iqlimi va yozgi haroratning yuqoriligi (+45 ...+50°C) an'anaviy bitumli gidroizolyatsiya materiallarining plastikligini yo‘qotib, mikro-yoriqlar hosil qilishiga sabab bo‘ladi. Bu yoriqlar orqali grunt suvlari 2-5 metr chuqurlikda yuqori bosim bilan sizib kiradi.

Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, beton tarkibiga kristallanuvchi penetron qo‘shimchalarini qo‘shish diffuziya koeffitsienti D ni sezilarli darajada pasaytiradi:

Oddiy beton:  $D = 1.5 \times 10^{-12}$ ,  $m^2/s$

Penetron bilan:  $D = 0.5 \times 10^{-12}$ ,  $m^2/s$  (3 barobar pasayish).

Bu esa korroziyaning boshlanish vaqtini 14 yildan 35-40 yilgacha suradi. Raqamli monitoring tizimi esa ushbu muddat davomida konstruksiyaning "salomatligini" doimiy nazorat qilib, ta'mirlash xarajatlarini 25-30% ga kamaytiradi.

**Xulosa.** Toshkent shahrining murakkab geologik va gidrogeologik sharoitida (tuproq, qumoq va yuqori grunt suvlari) yer osti inshootlarining xavfsizligini ta'minlashning eng samarali usuli — bu kristallanuvchi gidroizolyatsiya va raqamli monitoringning integratsiyasidir. Fik qonuniyatiga asoslangan hisob-kitoblar shuni



ko'rsatdiki, datchiklar yordamida namlik va kuchlanishni nazorat qilish konstruksiya xizmat muddatini 2.5 barobarga oshiradi. Bu uslub Toshkent metrosining yangi qurilayotgan bekatlarida qo'llanilishi iqtisodiy va texnik jihatdan to'liq oqlanadi.