

TOSHKENT METROPOLITENI YER USTI LINIYALARI QURILISHIDA QO‘LLANILADIGAN BETON TURLARI VA TAHLILI

A'zamov Nodirbek Faxriddin o'g'li

*Toshkent davlat transport
universiteti 1-bosqich tayanch doktoranti*

Annotatsiya: Ushbu maqolada Toshkent yer usti metrosi (halqa yo‘li) estakada konstruksiyalarining xavfsizligi va chidamliligini ta’minlashda yuqori mustahkamlikka ega zamonaviy beton turlarining roli tahlil qilinadi. Tadqiqot doirasida betonning fizik-mexanik xususiyatlari, uning tajovuzkor tashqi muhit ta’siriga bardoshliligi hamda yuqori seysmik faollikka ega bo‘lgan hududlarda konstruksiyalarning dinamik yuklamalarga nisbatan ishlash tamoyillari atroflicha o‘rganilgan.

Kalit so‘zlar: polikarboksilat efirlari, mikro kremnezem, elastiklik moduli, duktilik, seysmik xavfsizlik darajasi.

Аннотация: В данной статье анализируется роль современных высокопрочных видов бетона в обеспечении безопасности и долговечности эстакадных конструкций наземного метрополитена города Ташкента (Кольцевая линия). В рамках исследования подробно изучены физико-механические свойства бетона, его устойчивость к воздействию агрессивной внешней среды, а также принципы работы конструкций при динамических нагрузках в условиях высокой сейсмической активности.

Ключевые слова: поликарбосилатные эфиры, микрокремнезём, модуль упругости, дуктильность, уровень сейсмической безопасности.

Kirish. Toshkent shahrining murakkab gidrogeologik sharoiti hamda 8-9 ballgacha baholanadigan yuqori seysmik faolligi transport infratuzilmasi obyektlariga, ayniqsa yer usti metropoliten inshootlariga alohida muhandislik talablarini qo‘yadi. Hududning grunt tarkibi, yer osti suvlari sathi, namlik rejimi va

mavsumiy harorat keskin o'zgarishlari viaduk tipidagi konstruksiyalarning uzoq muddatli mustahkamligi va barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu bois loyihalash va qurilish jarayonida konstruktiv yechimlar bilan bir qatorda, qo'llaniladigan qurilish materiallarining, xususan betonning fizik-mexanik xossalariga ustuvor ahamiyat qaratiladi.

Toshkent sharoitida yer usti metro liniyalari yillar davomida quyosh radiatsiyasi, atmosfera yog'inlari, shamol yuklamalari hamda keskin harorat tebranishlari ta'sirida bo'ladi. Bundan tashqari, poyezdlar harakati natijasida yuzaga keladigan doimiy va o'zgaruvchan dinamik yuklamalar, vibratsiyalar va zarbaviy ta'sirlar konstruksiyalarda qo'shimcha ichki kuchlanishlar hosil qiladi. Bunday ekspluatatsion sharoitda beton nafaqat yuqori siqilish mustahkamligiga, balki yorilishga chidamlilik, sovuqqa bardoshlilik, suv o'tkazmaslik va charchoqqa qarshilik kabi ko'rsatkichlarga ham ega bo'lishi lozim.

Yer usti metropoliteni estakadalarida qo'llaniladigan temir-beton va oldindan zo'riqtirilgan (prestress) elementlarning ishonchliligi, avvalo, betonning sifatiga, to'g'ri tanlangan mustahkamlik sinfiga va texnologik intizomga bog'liqdir. Beton tarkibining optimal tanlanishi, zamonaviy kimyoviy qo'shimchalardan foydalanish hamda quyish va parvarishlash jarayonlariga qat'iy rioya etish inshootning xizmat muddatini uzaytiradi va uning seysmik xavfsizligini oshiradi.

Shu nuqtai nazardan, Toshkent metropoliteni yer usti liniyalarida qo'llaniladigan beton turlarini ilmiy-texnik jihatdan asoslash, ularning mustahkamlik va ekspluatatsion xususiyatlarini tahlil qilish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqot aynan viaduk konstruksiyalarida ishlatiladigan betonning muhim parametrlarini o'rganish va ularni mahalliy sharoitga moslashtirishga qaratilgan.

Qo'llaniladigan beton sinflari va markalari

Toshkent yer usti metrosi qurilishida loyiha-smeta hujjatlari hamda amaldagi qurilish me'yorlari talablariga muvofiq ravishda yuqori mustahkamlikka ega og'ir temir-beton aralashmalari qo'llanilgan. Beton sinfini tanlashda konstruksiyaning yuk ko'tarish qobiliyati, seysmik barqarorligi, ekspluatatsion muhit agressivligi va uzoq

muddatli deformatsion xususiyatlari (sirtqi muhit ta'siri, charchoqqa chidamlilik, sudralish va cho'kish jarayonlari) inobatga olingan.

B30 — B35 (M400-M450). Mazkur sinfdagi og'ir betonlar asosan poydevor bloklari, rostverklar hamda yer osti tayanch elementlari uchun qo'llanilgan. Ushbu konstruksiyalar grunt bosimi, yer osti suvlari ta'siri va dinamik yuklamalarni qabul qilishi sababli betonning:

- siqilishdagi hisobiy mustahkamligi 30-35 MPa,
- suv o'tkazmaslik darajasi W8-W10,
- sovuqqa chidamliligi kamida F200,
- zichligi 2400-2500 kg/m³ bo'lishi talab etiladi.

Bunday beton tarkibida past suv-sement nisbati ($W/C \approx 0,40-0,45$) hamda gidrotexnik qo'shimchalar qo'llanib, kapillyar g'ovaklik kamaytiriladi va filtratsion bardoshlilik oshiriladi. Natijada poydevor qismlarining uzoq muddatli ishonchliligi ta'minlanadi.

B40 — B45 (M500-M600). Ushbu yuqori mustahkamlik sinfiga mansub betonlar estakada ustunlari (pilonlar), rigellar va tayanch balkalari uchun mo'ljallangan. Mazkur elementlar vertikal (o'lik va foydali yuklar), gorizontal (shamol va seysmik) hamda dinamik (harakatlanuvchi tarkibdan keladigan) kuchlanishlarni qabul qiladi. B40-B45 betonlarining asosiy ko'rsatkichlari:

- siqilishdagi mustahkamlik 40-45 MPa,
- elastiklik moduli 32-36 GPa,
- past sudralish koeffitsienti,
- yuqori yorilishga qarshilik.

Seysmik faol hudud hisoblangan Toshkent sharoitida ushbu beton sinfi konstruksiyaning energiyani so'rish va plastiklik xususiyatlarini oshirish bilan birga, deformatsion barqarorlikni ta'minlaydi. Armatura bilan samarali birikish (adhezion mustahkamlik) ham muhim omil hisoblanadi.

B60 va undan yuqori. B60 va undan yuqori sinfdagi betonlar oldindan zo'riqtirilgan (prestress) oraliq balkalarda qo'llaniladi. Ushbu konstruktiv elementlar

katta oraliqlarni (span) qamrab olishi va egilish momentlariga bardosh berishi lozim.

B60 betonning texnik afzalliklari:

- siqilishdagi mustahkamlik ≥ 60 MPa,
- yuqori elastiklik moduli (38-42 GPa),
- past deformatsion sudralish,
- yuqori zichlik va mikrostrukturaviy mustahkamlik.

Prestress tizimida po'lat trosalar oldindan tortilib, beton qotgach ichki siquv kuchlanishi hosil qilinadi. Bu esa egilishdagi cho'zilish zonalarida yoriqlar paydo bo'lishining oldini oladi va konstruksiyani xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi. Bunday yuqori sinfli betonlarda superplastifikatorlar, mikrokremnezem (silica fume) va mineral qo'shimchalar qo'llanib, strukturaning bir jinsliliigi hamda chidamliligi oshiriladi.

Shu tariqa, yer usti metropoliteni viaduklarida qo'llanilgan beton sinflari konstruksiyani yuk ko'tarish qobiliyati, seysmik xavfsizligi va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini ta'minlashga qaratilgan ilmiy-texnik asoslangan tanlov natijasidir.

Beton sinfi (Markasi)	Qo'llaniladigan konstruksiya turlari	Asosiy texnik ko'rsatkichlari	O'ziga xos xususiyatlari va afzalliklari
B30 — B35 (M400-M450)	Poydevor bloklari, rostverklar, yer osti tayanch elementlari.	Mustahkamlik: 30-35 MPa Suv o'tkazmaslik: W8-W10 Sovuqqa chidamlilik: F200 Zichlik: 2400-2500 kg/m³	Grunt bosimi va yer osti suvlariga chidamli. Past suv-sement nisbati ($W/C \approx 0.40-0.45$) hisobiga kapillyar g'ovaklik kamaytirilgan.

B40 — B45 (M500-M600)	Estakada ustunlari (pilonlar), rigellar, tayanch balkalari.	Mustahkamlik: 40-45 MPa Suv o'tkazmaslik: $\geq W10$ Sovuqqa chidamlilik: F200-F300 Elastiklik moduli: 32-36 GPa Yuqori yorilishga qarshilik.	Seysmik bardoshli (energiyani so'rish). Vertikal, gorizontal va dinamik yuklamalarga chidamli. Armatura bilan yuqori adgeziya.
B60 va undan yuqori	Oldindan zo'riqtirilgan (prestress) oraliq balkalar.	Mustahkamlik: ≥ 60 MPa Suv o'tkazmaslik: $\geq W12$ Sovuqqa chidamlilik: F200-F300 Elastiklik moduli: 38-42 GPa Past deformatsion sudralish.	Katta oraliqlarni (span) qamrab olish imkoniyati. Egilish momentlariga yuqori bardoshlilik va mikrostrukturaviy mustahkamlik.

Kimyoviy tarkib va modifikatorlar

Betonning uzoq muddatli mustahkamligi va ekspluatatsion barqarorligini ta'minlash maqsadida uning tarkibiga zamonaviy kimyoviy hamda mineral qo'shimchalar kiritiladi. Bunday qo'shimchalar beton aralashmasining reologik xususiyatlarini yaxshilash, kapillyar g'ovaklikni kamaytirish, suv o'tkazmaslik va sovuqqa chidamlilik ko'rsatkichlarini oshirishga xizmat qiladi. Ayniqsa, seysmik va keskin kontinental iqlim sharoitida qo'llaniladigan metro inshootlari uchun bu qo'shimchalar muhim ahamiyatga ega.

Polikarboksilat asosli plastifikatorlar. Polikarboksilat efirlari (PCE) asosidagi yuqori samarali superplastifikatorlar beton qorishmasining harakatchanligini (S4-S5 cho'kish darajasi) saqlagan holda suv-sement nisbatini (W/C) 0,35 gacha pasaytirish imkonini beradi. Suv miqdorining kamayishi sement toshining zichligini oshiradi va natijada:

- siqilishdagi mustahkamlik ortadi;
- kapillyar g'ovaklik kamayadi;
- suv o'tkazuvchanlik keskin pasayadi;

- sudralish va cho‘kish deformatsiyalari kamayadi.

Bundan tashqari, PCE qo‘shimchalari beton aralashmasining bir jinsliligini ta’minlab, armatura bilan yopishish (adhezion) xususiyatini yaxshilaydi. Bu esa yuqori mustahkamlik sinflarida (masalan, B40-B60) ayniqsa muhimdir.

Mikrokremnezem. Kremniy ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan juda mayda dispersli (zarralari 0,1 mkm atrofida) faol mineral qo‘shimcha hisoblanadi. U beton tarkibida ikki asosiy vazifani bajaradi:

Fizik ta’sir — sement toshidagi mikropora va kapillyar bo‘shliqlarni to‘ldirib, betonning strukturasini zichlashtiradi;

Kimyoviy ta’sir — kalsiy gidroksid bilan puzollan reaksiyasiga kirishib, qo‘shimcha kalsiy gidrosilikat (C-S-H) hosil qiladi.

Natijada betonning suv o‘tkazmasligi (W12 va undan yuqori), agressiv muhit (sulfatlar, karbonatlashuv) ta’siriga chidamliligi hamda abraziv yemirilishga qarshiligi oshadi. Bu xususiyatlar yer usti metro estakadalarining atmosfera va namlik ta’sirida uzoq muddat xizmat qilishini ta’minlaydi.

Havo jalb qiluvchi qo‘shimchalar. Havo jalb qiluvchi (air-entraining) qo‘shimchalar beton tarkibida mikroskopik, teng taqsimlangan yopiq havo pufakchalari hosil qiladi. Ushbu mikrog‘ovaklar muzlash jarayonida suvning hajm kengayishini kompensatsiya qiladi. Natijada:

- sovuqqa chidamlilik darajasi F300 va undan yuqori ko‘rsatkichlarga yetadi;
- muzlash-erish sikllari ta’sirida ichki yorilish xavfi kamayadi;
- betonning uzoq muddatli strukturaviy yaxlitligi saqlanadi.

Kontinental iqlim sharoitida haroratning -20°C dan $+40^{\circ}\text{C}$ gacha o‘zgarishi mumkin bo‘lgan hududlarda bunday qo‘shimchalar ekspluatatsion ishonchlilikni sezilarli darajada oshiradi.

Shunday qilib, polikarboksilat asosli plastifikatorlar, mikrokremnezem va havo jalb qiluvchi qo‘shimchalar kompleks qo‘llanilganda betonning zichligi, mustahkamligi, suv o‘tkazmasligi va sovuqqa chidamliligi sezilarli ravishda ortadi. Bu esa metro viaduklari kabi yuqori yuklama va murakkab iqlim sharoitida ishlaydigan

inshootlarning xizmat muddatini uzaytirish hamda xavfsizligini ta'minlashga xizmat qiladi.

Xulosa. Toshkent yer usti metropoliteni konstruksiyalarida yuqori texnologik, yuqori mustahkamlik va zich mikrostrukturaga ega betonlardan foydalanish inshootning ekspluatatsion ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi. Bunday betonlar zamonaviy superplastifikatorlar, mineral qo'shimchalar va nazoratli texnologik jarayon asosida tayyorlanib, murakkab iqlim va seysmik sharoitlarda barqaror ishlashga mo'ljallangan.

Toshkent sharoitida qo'llanilayotgan yuqori texnologik betonlar quyidagi muhim natijalarni ta'minlaydi:

Inshootning xizmat muddati 80-100 yilgacha uzayadi. Yuqori zichlikka ega, past suv-sement nisbatli betonlar kapillyar g'ovaklikni kamaytiradi va karbonatlashuv, armatura korroziyasi hamda agressiv muhit ta'sirini sezilarli darajada cheklaydi. Natijada:

- betonning suv o'tkazmasligi va sovuqqa chidamliligi oshadi;
- ichki mikroshikastlanishlarning rivojlanish tezligi kamayadi;
- kapital ta'mirlash oralig'i uzayadi;
- hayotiy sikl xarajatlari kamayadi.

To'g'ri loyihalash va sifatli ekspluatatsiya sharoitida viaduk tipidagi inshootlarning hisobiy xizmat muddati 80-100 yilgacha yetishi mumkin.

Seysmik xavfsizlik darajasi 9 ballgacha ta'minlanadi. Yuqori mustahkamlik va yuqori elastiklik moduliga ega beton konstruksiyaning qattiqligini oshiradi hamda zilzila vaqtida hosil bo'ladigan ichki deformatsiyalarni chegaralaydi.

- siqilish zonalarida betonning ezilish ehtimoli kamayadi;
- armatura bilan birgalikda energiya dissipatsiyasi samaradorligi ortadi;
- plastik bo'g'in zonalarida nazoratli deformatsiya ta'minlanadi.

Bu omillar yuqori seysmik hududlar uchun belgilangan 9 ballgacha bo'lgan intensivlikdagi zilzilalarda konstruktiv barqarorlikni saqlash imkonini beradi.

Dinamik tebranishlar va shovqin darajasi kamayadi. Metro poyezdlarining harakati natijasida yuzaga keladigan tebranishlar viaduk orqali atrof-muhitga uzatiladi. Yuqori sifatli, zich va bir jinsli beton:

- konstruksiyaning ichki soʻnish (damping) koeffitsientini oshiradi;
- rezonans hodisalarining ehtimolini kamaytiradi;
- tebranish amplitudasini pasaytiradi;
- konstruktiv elementlarda yoriqlar hosil boʻlishini cheklaydi.

Natijada shovqin darajasi kamayadi, ekspluatatsion qulaylik va ekologik xavfsizlik koʻrsatkichlari yaxshilanadi.

Yuqori texnologik betonlardan foydalanish yer usti metro viaduklarining nafaqat yuk koʻtarish qobiliyatini, balki ularning uzoq muddatli barqarorligi, seysmik xavfsizligi va ekspluatatsion qulayligini ham taʼminlaydi. Bu yondashuv zamonaviy muhandislik talablariga javob beruvchi, iqtisodiy va texnik jihatdan samarali infratuzilma obyektlarini barpo etishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Shaumarov S.S., Toshkent metropoliteni inshootlarini loyihalash va qurishda innovatsion texnologiyalar // “Transportda resurs tejamkor texnologiyalar” ilmiy-texnik konferensiya materiallari. – Toshkent, 2021.
2. Raupov Ch.S., Karimov A.A. Beton va temir-beton buyumlar texnologiyasi. – Toshkent: “Yangi asr avlodi”, 2016.
3. Axmedov M.A., Betonning fizik-mexanik xususiyatlariga kimyoviy qoʻshimchalarning taʼsiri // “Qurilish va meʼmorchilik muammolari” jurnali. – Samarqand, 2022.
4. Asatov N.U., Zokirov J.J., Temir-beton konstruksiyalarining seysmik mustahkamligi. – Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2018.
5. Aitcin P.C. High-Performance Concrete. – London: E & FN Spon, 1998. (Yuqori mustahkamlikdagi betonlar boʻyicha dunyodagi asosiy qoʻllanmalardan biri).
6. Neville A.M. Properties of Concrete. – 5th Edition, Pearson Education Limited, 2011.

7. Wang X., et al. Seismic Performance of High-Strength Concrete Columns // Journal of Structural Engineering. – 2020. Vol. 146, Issue 5.