JOURNAL OF TRANSPORT

ISSUE 1, 2026 vol. 3
E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164

SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

Tashkent state transport university

JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 1

MARCH, 2026

jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

The **"Journal of Transport"** established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo'lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organizatsion
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Deflection behavior of reinforced concrete beams with hybrid steel – glass fiber composite reinforcement

N.R. Khodjiev[1][a], K.K. Muminov[1]
[1]Namangan state technical university, Namangan, Uzbekistan

Abstract: In this study, the moment–deflection behavior of six reinforced concrete beams with hybrid steel–glass composite reinforcement (GFRP) and three reinforced concrete beams with conventional steel reinforcement was numerically modeled and investigated using the ANSYS software. A total of nine beams were divided into three groups, and within each group, one reinforced concrete beam with conventional steel reinforcement was considered as a control specimen for comparison with the hybrid steel–glass composite reinforced beams. The obtained results indicate that the load-carrying capacity and deformability of reinforced concrete beams with hybrid reinforcement are nearly equivalent to those of beams reinforced with conventional steel reinforcement.

Keywords: steel reinforcement, glass fiber–reinforced polymer (GFRP) reinforcement, hybrid reinforcement, strength, deflection, reinforced concrete beam

Gibrid po‘lat-shisha kompozit armaturali temirbeton to‘sinlar solqiligi

Xodjiyev N.R.[1][a], Muminov K.K.[1]
[1]Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada olti xil gibrid po‘lat–shisha kompozit armaturali (ShKA) temirbeton to‘sinlar va uch xil an’anaviy po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarning moment–solqiligi ANSYS dasturida raqamli modellashtirildi va o‘rganildi. Jami to‘qqiz xil to‘sinlar uchta guruhga ajratildi, har bir guruhda gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlar bilan taqqoslash uchun bitta nazorat namunasi sifatida olingan po‘lat armaturali temirbeton to‘sinlarga taqqoslandi. Olingan natijalar gibrid armaturali temirbeton to‘sinlarning yuk ko‘tarish qobiliyati va deformatsiyalanuvchanligi an’anaviy po‘lat armaturali to‘sinlarnikiga deyarli teng ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: po‘lat armatura, shisha kompozit armatura, gibrid armaturalash, mustahkamlik, solqilik, temirbeton to‘sin

1. Kirish

Bugungi kunda jahon qurilish sohasida inshootlarning yuk ko‘tarish qobiliyatini oshirish, hususiy og‘irligini kamaytirish hamda texnik, iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali yechimlarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biriga aylanib bormoqda [1]. Temirbeton konstruksiyalarda keng qo‘llaniladigan po‘lat armatura yuqori mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, uning korroziyaga moyilligi, massasi va tannarxining yuqoriligi qo‘llanilish sohalarida ayrim cheklovlarga sabab bo‘lmoqda [2–3].

Temirbeton konstruksiyalarda po‘lat armaturaning korroziyasi inshootning yaxlitligi va xizmat muddatini kamaytiradi. Po‘lat korroziyaga uchraganda, temirbeton konstruksiyalarda darzlar paydo bo‘ladi va armatura bilan beton o‘rtasidagi bog‘lanish mustahkamligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi, bu esa yuk ko‘tarish qobiliyatining sezilarli kamayishiga olib kelishi mumkin [4–5]. Temirbeton konstruksiyalarda korroziya jarayoni suv va kislorod mavjudligida, shuningdek dengiz suvi yoki tarkibida tuzi mavjud suvlardan kelib chiqqan xlorid ionlari ta’sirida sodir bo‘ladi. Po‘lat korroziyasining boshlanishi bilan hosil bo‘lgan kimyoviy reaksiyalar beton matritsasi bo‘ylab tarqaladi va beton ichida darzlar hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi [6–8].

Beton o‘ziga xos fizik-mexanik xususiyatlarga ega bo‘lgan va darz hosil bo‘lishga moyil material hisoblanadi. Ichki g‘ovakliklar va mikrodarzlarning o‘zaro tutashishi tufayli elektrolitlar kapillyarlar orqali o‘tib, armaturaga yetib boradi. Qulay muHit sharoitida erigan xlorid ionlari (Cl^-) va karbonat angidrid (CO_2) korroziya eHtimolini yanada oshiradi [9–11]. Betonning karbonizatsiyasi va xlorid ionlarining kirib borishi beton ichidagi g‘ovaklar strukturasini o‘zgartiradi. Bunday sharoitlar po‘lat armaturaning tashqi sirtidagi himoya qiluvchi sirtga salbiy ta’sir ko‘rsatib, korroziya jarayonini tezlashtiradi. Shuningdek, CO_2 kirib borishi natijasida yuzaga keladigan karbonizatsiya kislotali muhitni hosil qiladi va xlorid ionlari mavjud bo‘lgan hollarda po‘lat armaturaning zaiflashgan zonalarda korroziyaga uchrashiga olib keladi [12–14].

[a] https://orcid.org/0000-0002-1153-7757

Qurilish sanoati rivojlanib borishi bilan temirbeton elementlarning xizmat muddatini uzaytirish maqsadida po‘lat armaturani korroziyadan himoya qilish usullari bo‘yicha keng ko‘lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu muammoni hal etishda amaliy yechimlardan biri po‘lat armaturani korroziyaga chidamli armatura turi bilan almashtirish hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, kompozit armatura muhim va ishonchli muqobil yechim sifatida namoyon bo‘lmoqda [15]. U elektr o‘tkazmasligi, diamagnitligi va korroziyaga uchramasligi bilan ajralib turadi, bu esa uni noqulay sharoitdagi inshootlar uchun mos qiladi. Yuqori mustahkamligi tufayli kompozit armatura konstruksiyalarning hususiy og‘irligini kamaytiradi. Bundan tashqari, kompozit armaturaning xarorat ta’sirida kengayish koeffitsienti po‘latnikiga nisbatan past bo‘lgani sababli, beton konstruksiyalarda termik darzlar xavfini kamaytiradi [16].

Garchi kompozit armaturali beton konstruksiyalarni loyihalash qoidalari bir qator davlatlar me’yoriy hujjatlarida keltirilgan bo‘lsa-da, kompozit armaturaning mo‘rtligi uni po‘lat armaturaning to‘liq o‘rnini bosuvchi material sifatida tavsiya etishga to‘sqinlik qiladi [17]. Shu sababli beton elementlarda gibrid po‘lat–kompozit armaturalash g‘oyasi taklif etilgan. Po‘lat armatura gibrid armaturali elementlarga egiluvchanlini ta’minlaydi, kompozit armatura esa cho‘zilishdagi yuqori mustahkamligi sababli konstruksiyaning umumiy yuk ko‘tarish qobiliyatini oshiradi. Ushbu yondashuv gibrid armaturali beton to‘sinlarning mo‘rt buzilish xavfini kamaytirishga xizmat qiladi [18].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Hozirgi muhandislik amaliyotida chekli elementlar usuliga asoslangan raqamli modellashtirish dasturlari butun dunyo bo‘ylab konstruktiv elementlar, jumladan to‘sinlarning kuchlanish–deformatsiya holatini, yuk ko‘tarish qobiliyatini, darzbardoshligini, shuningdek solqiligini o‘rganishda keng qo‘llanilmoqda. Ushbu usul amaliy va nazariy natijalarni samarali integratsiya qilish imkonini beradi. ANSYS Workbench dasturida modellashtirishda, ayniqsa temirbeton konstruksiyalarni tahlil qilishda yuqori samaradorlik, aniqlik va o‘ziga xos funksional imkoniyatlari bilan ajralib turadi.

1-rasm. To‘sinlarning ko‘ndalang kesim o‘lchamlari va armaturalarning joylashishi

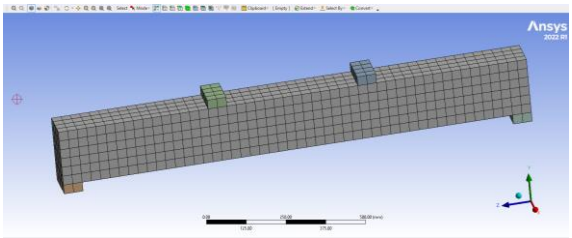
Jami to‘qqizta to‘sin cho‘zilish zonasiga joylashtirilgan armaturalar soniga ko‘ra uchta guruhga ajratildi [6, 9].

1-guruh to‘sinlari (B1-3S12, B2-1S12-2G10 va B3-1S12-2G12) cho‘zilish zonasida uchta armatura qo‘llanildi. B1-3S12 to‘sini ushbu guruh uchun nazorat namunasi bo‘lib xizmat qildi va u po‘lat armatura bilan armaturalangan. B2-1S12-2G10 hamda B3-1S12-2G12 namuna to‘sinlari esa gibrid po‘lat–ShKA armaturalangan temirbeton to‘sinlar bo‘lib, ularda mos ravishda diametri 10 mm va 12 mm bo‘lgan ikkita ShKA armatura to‘sin burchaklariga joylashtirildi (1-rasm).

2-guruh to‘sinlari (B4-4S12, B5-2S12-2G12 va B6-2S10-2G12) cho‘zilish zonasida bir qatorda joylashtirilgan to‘rtta armatura bilan armaturalandi. B4-4S12 to‘sini an’anaviy po‘lat armaturalangan nazorat to‘sini hisoblanadi, B5-2S12-2G12 va B6-2S10-2G12 esa gibrid armaturalangan temirbeton to‘sinlardir. Ushbu ikki to‘sinda diametri 12 mm bo‘lgan ikkita ShKA armatura burchaklarga joylashtirildi, o‘rta qismidagi armaturalar esa mos ravishda diametri 12 mm va 10 mm bo‘lgan po‘lat armaturalardan iborat bo‘ldi (1-rasm).

3-guruh to‘sinlari (B7-5S10, B8-3S10-2G10 va B9-2S10-3G10) cho‘zilish zonasida ikki qatorda joylashtirilgan beshta armatura bilan armaturalandi. Armaturalar bo‘ylama yo‘nalishda ikki qator joylashtirilgan holatda, ular orasidagi vertikal masofa 30 mm qilib qabul qilindi. B8-3S10-2G10 va B9-2S10-3G10 to‘sinlarida po‘lat va ShKA armaturalar birgalikda qo‘llanildi. 3-guruhdagi barcha to‘sinlar bir xil armaturalash foiziga ega. B8-3S10-2G10 namunada diametri 10 mm bo‘lgan ShKA armaturalar burchaklarga joylashtirildi, B9-2S10-3G10 namunada esa cho‘zilish yuzasiga eng yaqin joylashgan uchta armatura kompozit armaturadan tayyorlandi (1-rasm).

To‘sinlarning uzunligi l=150 sm, hisobiy uzunligi esa l_0=140 sm ni tashkil etdi. To‘sinlar to‘g‘ri to‘rtburchak kesimga ega bo‘lib, uning o‘lchamlari b×h=15×20 sm ga teng. To‘plangan yuk tayanchlardan l_0/3 masofada joylashtirildi. To‘sin uchidan tayanchgacha bo‘lgan masofa 5 sm etib qabul qilindi. Barcha to‘sinlar normal kesim bo‘yicha sinaldi. To‘sinlar armatura karkasi bilan armaturalandi. To‘sinlar normal kesimlar bo‘yicha sinalganligi uchun, prolyotning o‘rtasida ko‘ndalang armatura o‘rnatilmadi. Tayanchlar yaqinida esa xomutlar qadami 5 sm qilib belgilandi. Armatura karkasining umumiy uzunligi 145 sm, balandligi esa 18 sm ni tashkil etdi. Barcha to‘sinlarda siqilish zonasida diametri Ø8 mm bo‘lgan A400 sinfli ikkita po‘lat armatura qo‘llanildi. Xomutlar sifatida diametri Ø6 mm bo‘lgan A240 sinfli po‘lat armaturalar ishlatildi [6, 9].



2-rasm. To‘sinni ANSYS dasturida chekli elementlarga ajratilishi

Ushbu tadqiqot doirasida to‘sinlarni raqamli modellashtirish jarayonida beton va armaturaning nochiziqli hususiyatlari e’tiborga olindi. Betonning plastik deformatsiyasi va darzlar hosil bo‘lish xususiyatlari

Drucker–Prager modeli yordamida hisobga olindi, po‘lat va ShKAlar uchun esa oqish chegarasidan keyingi noelastik deformatsiyalar modellashtirildi. Ushbu yondashuv konstruksiyaning real ishlash sharoitini yanada aniqroq aks ettirish hamda ishonchli natijalar olish imkonini berdi.

ANSYS Workbench muhitida to‘sin geometriyasi chekli elementlarga bo‘lindi. hisoblash aniqligini ta’minlash maqsadida chiziqli elementlar tanlanib, chekli elementining o‘lchami 25 mm qilib qabul qilindi (2-rasm).

3. Natija va muhokamalar

Ushbu tadqiqotda ANSYS dasturida to‘sinlarni raqamli modellashtirish orqali olingan natijalarning aniqligi va ishonchliligini ta’minlashga alohida e’tibor qaratildi. Shu maqsadda model laboratoriya sharoitida o‘tkazilgan tajribaviy sinovlar natijalari asosida ishlab chiqildi. Xususan, to‘sinlarning deformatsiyasi, kuchlanganlik–deformatsiyalanishi hamda egiluvchanligiga oid laboratoriyada o‘lchangan ma’lumotlar ANSYS orqali olingan natijalar bilan taqqoslandi. Taqqoslama tahlillar tajribaviy va raqamli natijalar o‘zaro mos keldi va bir-birini tasdiqladi. Model parametrlari va hisoblash sxemalarini to‘g‘ri tanlash, shuningdek beton va armaturaning fizik-mexanik xususiyatlarini aniq inobatga olish orqali raqamli natijalarning ishonchliligi yanada oshirildi. Natijada keyingi tahlillar va konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish uchun asos bo‘la oladigan aniq model yaratildi. Bu esa amaliy muhandislikda oldindan baxolash va loyihalash jarayonlarining samaradorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.

Ikkinchi guruh chegaraviy holatlar bo‘yicha elementlarini tahlil qilishda solqilik eng muhim deformatsiya hisoblanadi. 3-, 4- va 5-rasmlarda to‘sinlarga qo‘llanilgan yukka mos solqilik qiymatlari keltirilgan.

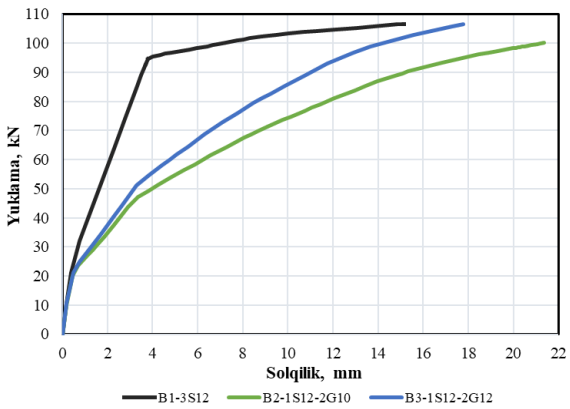
1-seriya to‘sinlar. Yuk–solqilik diagrammasidan (3-rasm) ko‘rinib turibdiki, an’anaviy temirbeton to‘sinlarda (B1-3S12) cho‘zilish zonasida joylashgan po‘lat armatura yaqqol oqish maydonchasiga ega bo‘lib, bu holat po‘lat armaturada oqish jarayoni boshlanishi bilan bog‘liq. Qo‘llanilgan yuk $0,88P_u$ qiymatiga yetganda, po‘lat armatura plastik holatga o‘tdi va ushbu bosqichda oraliq markazidagi solqilik 3,80 mm ni tashkil etdi. Oqish nuqtasidan keyin, to‘sinda katta solqiliklar yuzaga kelib, plastik sharnirlarning shakllanishi va po‘lat armaturaning oqishdan keyin bikrlikning sezilarli darajada kamayishi kuzatildi. Nihoyat, maksimal yuk ko‘tarish qobiliyatiga erishilganda, P_u=106,6 kN yuk ostida solqilik 15,15 mm ni tashkil etdi, bu esa an’anaviy po‘lat armaturalangan temirbeton to‘sinlarga xos bo‘lgan egiluvchanlikni ko‘rsatdi.

Gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlar (B2-1S12-2G10 va B3-1S12-2G12) uchun esa cho‘zilish zonasida po‘lat va ShKA armaturalar birgalikda qo‘llanilgani sababli boshlang‘ich ishi sezilarli darajada farq qildi. Ikkala gibrid to‘sin ham $(0,21…0,23)P_u$ yuk oralig‘ida an’anaviy temirbeton to‘sin kabi elastik holatda ishladi va yuklanishning dastlabki bosqichlarida po‘lat armatura mavjudligi tufayli bikrlikni saqlab qoldi. Yuk ortishi bilan solqilik ham bir vaqtning o‘zida ortib bordi, bu esa ShKAning elastiklik moduli pastroq ekanligini aks ettiradi. B2-1S12-2G10 uchun 3,34 mm va B3-1S12-2G12 uchun 3,27 mm solqilik qiymatlarida, yuk $(0,48–0,53)P_u$ ga yetganda po‘lat armaturada oqish jarayoni kuzatildi. Ushbu natijalar gibrid to‘sinlarda po‘lat armatura oqishi boshlanish paytidagi solqilik qiymatlari po‘lat armaturalangan to‘singa nisbatan biroz kichik ekanligini ko‘rsatadi, bu esa ShKAning qisman bikrlikka qo‘shgan hissasi bilan izohlanadi.

B1-3S12 to‘sini bilan solishtirilganda, gibrid to‘sinlarda maksimal yuk ko‘tarish qobiliyatida ancha katta solqiliklar hosil bo‘ldi. Xususan, B2-1S12-2G10 to‘sinida P_u=100,2 kN yuk ostida solqilik 21,36 mm ni tashkil etgan bo‘lsa, B3-1S12-2G12 to‘sinida P_u=106,5 kN da 17,79 mm solqilik qayd etildi. Bunday katta solqilik asosan ShKAning chiziqli-elastikligi bilan bog‘liq bo‘lib, unda oquvchanlik kuzatilmaydi, uzilishgacha deformatsiyalanishni davom ettiradi.

Shuningdek, B2-1S12-2G10 namuna to‘sinida armaturalash koeffitsienti boshqa namuna to‘sinlarga nisbatan biroz kichik bo‘lgani sababli, uning katta yuklamadagi solqiligi B3-1S12-2G12 to‘siniga nisbatan 3,57 mm ga katta bo‘ldi. Armaturalash koeffitsientining kamayishi, odatda, kesimning solqiligini oshirib, ShKAning cho‘zilishidan samaraliroq foydalanishga imkon yaratadi. Bu holat B2-1S12-2G10 to‘sinida kuzatilgan solqilikning ortishi bilan mos keladi.

Shuni alohida ta’kidlash joizki, umumiy armatura miqdori bir xil bo‘lgan holda gibrid armaturalangan to‘sinlarning maksimal yuk ko‘tarish qobiliyati an’anaviy po‘lat armaturalangan to‘sinnikiga deyarli teng bo‘ldi. Biroq, yuk ko‘tarish qobiliyatidagi ushbu o‘xshashlikka qaramasdan, gibrid po‘lat–ShKA armaturalangan temirbeton to‘sinlar bilan an’anaviy temirbeton to‘sin o‘rtasidagi maksimal solqilik farqi 2,64 mm ni tashkil etdi, bu esa gibrid to‘sinlarda deformatsiyalanish qobiliyatining oshganligini ko‘rsatadi. Ushbu holat 3-rasmda keltirilgan yuk–solqilik diagrammasida yaqqol namoyon bo‘ladi.



3-rasm. 1-seriya to‘sinlar uchun yuk-solqilik diagrammasi

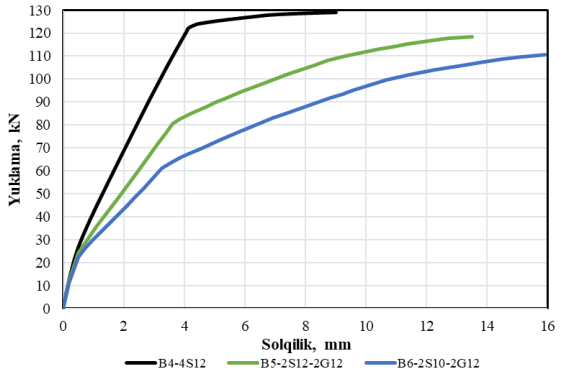
2-seriya to‘sinlar. Yuk–solqilik tahlili shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy po‘lat armaturali temirbeton to‘sinda qo‘llanilgan yuk $0,95P_u$ qiymatiga yetganda ham po‘lat armatura hali elastik holatda qolgan bo‘lib, ushbu vaqtda oraliq o‘rtasidagi solqilik 4,07 mm ni tashkil etdi. Yuk o‘zining eng katta qiymatiga, ya’ni P_u=129,10 kN ga yetganda, to‘sindagi solqilik 9,01 mm bo‘ldi, bu esa to‘sin buzilish paytida nisbatan kichik solqilik kuzatilganini anglatadi.

Bunga nisbatan, gibrid po‘lat–ShKA armaturalangan temirbeton to‘sinlar (B5-2S12-2G12 va B6-2S10-2G12) da po‘lat armatura to‘sindagi dastlabki yuklarni qabul qilgani sababli, $(0,20…0,22)P_u$ gacha bo‘lgan yuk oralig‘ida chiziqli-elastik xarakter namoyon bo‘ldi, bu esa ShKAning elastik xususiyati bilan mos keladi. Po‘lat armaturada oqish jarayoni mos ravishda $0,71P_u$ va $0,56P_u$ yuk qiymatlarida kuzatilib, ularga mos solqilik qiymatlari 3,63 mm va 3,27

mm ni tashkil etdi. Ushbu natijalar po‘lat armaturaning an’anaviy temirbeton to‘singa nisbatan ertaroq oqishga o‘tganini ko‘rsatadi, bu esa asosan ShKA armatura hisobiga bikrlikning kamroq hissasi bilan izohlanadi.

Chegaraviy yuk holatida gibrid to‘sinlar po‘lat armaturalangan temirbeton to‘singa nisbatan kattaroq solqiliklarni namoyon etdi. Xususan, B5-2S12-2G12 namuna to‘sinida P_u=118,57 kN yukda maksimal solqilik 13,52 mm ga yetgan bo‘lsa, B6-2S10-2G12 namunasida P_u=110,70 kN da solqilik 15,90 mm ni tashkil etdi. Gibrid po‘lat–ShKA armaturalangan temirbeton to‘sinlarda solqilikning ortishi asosan ShKA armaturaning nisbatan past elastiklik moduli va armaturalash koeffitsientidagi farqlar bilan bog‘liq.

Umumiy armaturalash koeffitsienti bir xil bo‘lgan to‘sinlarni taqqoslash natijasiga ko‘ra, po‘lat armaturalangan to‘sin gibrid namuna to‘sinlarga nisbatan 10,53 kN ga yuqori maksimal yuk ko‘tarish qobiliyatiga ega bo‘lgan, shu bilan birga uning maksimal solqiliki 4,51 mm ga kamroq bo‘lgan. Olingan natijalarga ko‘ra, 2-seriyadagi po‘lat armaturalangan to‘sin gibrid po‘lat–ShKA armaturalangan to‘sinlarga nisbatan yuqoriroq samaradorlikni namoyon etdi, bu uning kattaroq yuk ko‘tarish qobiliyati va kamroq deformatsiyasi bilan izohlanadi (4-rasm). Ushbu xarakter po‘lat armaturaning mexanik afzalliklari, jumladan katta bikrlik va buzilishdan oldin oquvchanlik hususiyatiga muvofiq keladi.

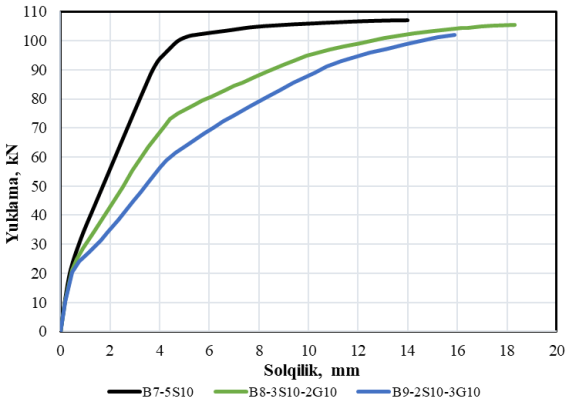


4-rasm. 2-seriya to‘sinlar uchun yuk-solqilik diagrammasi

3-seriya to‘sinlar. Nazorat namunasi B7-5S10 uchun, cho‘zilish zonasida beshta po‘lat armatura bilan armaturalangan, yuk–solqilik diagrammasidan ko‘rinib turibdiki, to‘sin 0,93P_u gacha elastik xarakterni saqlab qoldi. Po‘lat armaturadagi normal kuchlanish oquvchanlik qiymatiga yetganda, to‘sinda solqilik sezilarli darajada oshdi. Oraliq o‘rtasidagi solqilik 4,74 mm dan 13,98 mm ga o‘zgargan, yuk ko‘tarish qobiliyati esa P=100,02 kN dan P=107,05 kN gacha oshdi. Ushbu holat an’anaviy po‘lat armaturalangan temirbeton to‘sinlarining oquvchanlikdan keyingi egiluvchanligini aks ettiradi, ya’ni nisbatan kichik qiymatdagi yuklarda ham solqilik qiymati ortib bordi.

Gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlar (B8-3S10-2G10 va B9-2S10-3G10) uchun ham (0,20…0,22)P_u oralig‘ida taxminan chiziqli elastik holat kuzatildi, bu avvalgi seriyalarga o‘xshash. Ushbu elastik xarakter to‘sinda ShKA mavjudligi bilan bog‘liq. Po‘lat armaturada oqish 0,69P_u va 0,57P_u yuk qiymatlarida yuzaga keldi va mos ravishda solqilik qiymatlari 4,43 mm va 4,26 mm ni tashkil etdi. Po‘lat armatura oquvchanlikdan so‘ng, ikkala gibrid armaturali to‘sinda solqilik sezilarli darajada o‘sib bordi. Chegaraviy buzilish bosqichida, to‘sinlar 105,52 kN va 102,10 kN yuk qiymatida solqiliklari 18,31 mm va 15,89 mm ni tashkil etdi.

3-seriyada to‘liq po‘lat armaturali temirbeton to‘sin bilan gibrid po‘lat–ShKAli to‘sinlar orasidagi yuk ko‘tarish qobiliyati farqi nisbatan kichik bo‘lib, 1,4% dan 4,6% gacha o‘zgardi. Biroq maksimal solqilikdagi farq biroz kattaroq bo‘lib, 12% dan 24% gacha bo‘ldi. Bu natijalar shuni ko‘rsatadiki, gibrid armaturalangan to‘sinlar po‘lat armaturalangan to‘sinlarga o‘xshash yuk ko‘tarish qobiliyatiga erishishi mumkin, lekin ularda ancha katta solqilik kuzatildi. Shuningdek, gibrid armaturalangan to‘sinlarda ShKA koeffitsientining oshishi solqilikning yanada ortishiga olib keldi. Bu ShKAning po‘lat armaturaga nisbatan kichikroq elastiklik moduliga bog‘liq bo‘lib, shu sababli bir xil yuklanishda pasayishi va natijada kattaroq solqiliklar hosil bo‘ldi (5-rasm).



5-rasm. 3-seriya to‘sinlar uchun yuk-solqilik diagrammasi

1-, 2- va 3-seriyalardan olingan raqamli natijalarni hamda ularning har tomonlama tahlili an’anaviy po‘lat armaturalangan va gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlarning egilishini aniq tushunish imkonini beradi. Qiyosiy baholash po‘lat va ShKAlar joylashtirilishi, armatura koeffitsienti hamda ShKAlarning umumiy bikrlik, egiluvchanlik, darzbardoshlik va yuk ko‘tarish qobiliyatiga qo‘shgan hissasini aniq ko‘rsatadi.

Armatura koeffitsienti va armaturalarning joylashtirilishining ta’siri barcha uch seriyada aniq ko‘rindi. Gibrid armaturalangan temirbeton to‘sinlarda armaturalash koeffitsienti kichik bo‘lganda yoki ShKA armatura miqdori ko‘p bo‘lganda, po‘lat armaturada ertaroq oquvchanlik kuzatildi, oraliq o‘rtasidagi solqilik qiymatlari kattaroq bo‘ldi va yuk ko‘tarish qobiliyati biroz kamaydi. Bu shuni ko‘rsatadiki, gibrid armaturalangan to‘sinlarning solqiligini po‘lat armaturaning oquvchanligi hamda ShKAning chiziqli-elastik xarakteri va elastiklik moduli o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir tomonidan nazorat qilinadi. Biroq, gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlar yetarli mustahkamlik va egiluvchanlikka ega bo‘lib, po‘lat va ShKA armaturalarni cho‘zilish zonasida joylashtirish maksimal quvvatda sezilarli kamayishsiz amalga oshirilishi mumkinligini ko’rsatadi.

4. Xulosa

1. Umuman olganda, barcha uch seriya bo‘yicha solishtirma tahlil bir qator muhim xulosalar berdi. Birinchidan, gibrid po‘lat–ShKA to‘sinlarning yuk ko‘tarish qobiliyati an’anaviy po‘lat armaturalangan to‘sinlarga yaqin

bo‘lib, bu yondashuvning qurilishda qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Ikkinchidan, cho‘zilish zonasida po‘lat armatura bilan birgalikda ShKAni qo‘llash to‘sinlarning deformatsiyalanish qobiliyatini sezilarli darajada oshiradi. Uchinchi, gibrid armaturalangan temirbeton to‘sinlarning umumiy ishi po‘lat va ShKAlar o‘rtasidagi nisbatga bog‘liq bo‘lib, yuk ko‘tarish qobiliyati, bikrlik va darzbardoshlik o‘rtasida muvozanatni ta’minlaydi.

2. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, gibrid po‘lat–ShKAli temirbeton to‘sinlar an’anaviy po‘lat armaturalangan to‘sinlarga muqobil sifatida xizmat qilishi mumkin, yuqori mustahkamlik va yetarli egiluvchanlikni taqdim etadi, ayniqsa korroziyaga chidamlilik muhim bo‘lgan muhitlarda.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Nguyen P.D., Dang V.H., Vu N.A. Performance of concrete beams reinforced with various ratios of hybrid ShKA/steel bars // Civil Engineering Journal. Vol. No 9:1652–1669. https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091572

[2] Bingyan Wei, Xiongjun He, Ming Zhou, Huayi Wang, Jia He. Experimental study on flexural behaviors of FRP and steel bars hybrid reinforced concrete beams. Case Studies in Construction Materials 20 (2024) e02759, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02759

[3] Ahmed El Refai, Farid Abed, Abdullah Al-Rahmani. Structural performance and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (ShKA and steel) bars. Construction and Building Materials 96 (2015) 518–529, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.063

[4] Z. Sun, L. Fu, D. Feng, A. R. Vatuloka, Y. Wei and G. Wu, Flexural behavior of concrete beams reinforced with bundled hybrid steel/FRP bars, Eng. Struct. 197, 109443 (2019); https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109443.

[5] Hawileh, R., Finite element modeling of reinforced concrete beams with a hybrid combination of steel and aramid reinforcement, Materials and Design (2014), doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.10.004

[6] Ravshanbek Mavlonov, and Sobirjon Razzakov. Numerical modeling of combined reinforcement concrete beam. E3S Web of Conferences 401, 03007 (2023) CONMECHYDRO – 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103007

[7] Seongeun Kim & Seunghun Kim (2019): Flexural Behavior of Concrete Beams with Steel Bar and FRP Reinforcement, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1596814

[8] Kara I.F., Ashour, A.F., Köroğlu, M.A., Flexural behavior of hybrid FRP/steel reinforced concrete beams // Composite Structures – 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.03.073

[9] Ravshanbek Mavlonov, Sobirjon Razzakov, and Sohiba Numanova. Stress-strain state of combined steel-FRP reinforced concrete beams. E3S Web of Conferences 452, 06022 (2023) IPFA 2023, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345206022

[10] Ruan, X., Lu, C., Xu, K., Xuan, G., Ni, M., Flexural behavior and serviceability of concrete beams hybrid-reinforced with ShKA bars and steel bars, Composite Structures (2019), doi: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111772

[11] M. A. Aiello and L. Ombres, Structural performances of concrete beams with hybrid (FRP-steel) reinforcements, J. Compos. Constr. 6, 133 (2002); https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:2(133)

[12] W. Ge, J. Zhang, D. Cao and Y. Tu, Flexural behaviors of hybrid concrete beams reinforced with BFRP bars and steel bars, Constr. Build. Mater. 87, 28 (2015); https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.113

[13] Gu Xingyu, Dai Yiqing, Jiang Jiwang. Flexural behavior investigation of steel-ShKA hybrid-reinforced concrete beams based on experimental and numerical methods. Engineering Structures 206 (2020) 110117, https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110117

[14] M. A. Safan, Flexural behavior and design of steel-ShKA reinforced concrete beams, ACI Mater. J. 110, 677 (2013); https://doi.org/10.14359/51686335

[15] R. Mavlonov, K. Muminov, S. Numanova, A. Martazaev, O. Fozilov, and A. Akmaljon, “Analytical and experimental investigation of hybrid steel-FRP reinforced concrete beams,” Vibroengineering Procedia, Vol. 60, pp. 563–570, Dec. 2025, https://doi.org/10.21595/vp.2025.25488

[16] A. Akmaljon, B. Maksud ugli, A. Martazaev, R. Mavlonov, and O. Fozilov, “Tensile strength of concrete reinforced with combined steel and basalt fibers,” Vibroengineering Procedia, Vol. 60, pp. 493–499, Dec. 2025, https://doi.org/10.21595/vp.2025.25372

[17] O. Fozilov, A. Martazaev, S. Razzakov, R. Mavlonov, and B. Maksud ugli, “Numerical modeling of reinforced concrete structures made of lightweight concrete using ANSYS,” Vibroengineering Procedia, Vol. 60, pp. 683–689, Dec. 2025, https://doi.org/10.21595/vp.2025.25511

[18] A. Martazaev, S. Razzakov, R. Mavlonov, O. Fozilov, and B. Maksud ugli, “Theoretical assessment of the mechanical properties of fiber concrete using the dispersion analysis method,” Vibroengineering Procedia, Vol. 60, pp. 788–794, Dec. 2025, PU https://doi.org/10.21595/vp.2025.25362.

Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot/ Information about the authors

Xodjiyev Nosir / Nosir Khodjiev	Namangan davlat texnika universiteti, “Bino va inshootlar qurilishi kafedrasi” dotsenti, t.f.n. E-mail: nosir63@mail.ru Tel.:+99893-400-81-00 https://orcid.org/0000-0002-1153-7757
Muminov Kamoliddin / Kamoliddin Muminov	Namangan davlat texnika universiteti, “Bino va inshootlar qurilishi” kafedrasi tayanch doktoranti E-mail: kamoliddin.komiljonovich.86@gmail.com, Tel.: +99893-400-65-54.

CONTENT / MUNDARIJA