ҒИШТЛИ БИНОЛАРНИ ТАЪМИРЛАШ ВА МУСТАҲКАМЛАШДА КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛЛАРНИ ҚЎЛЛАШ ИМКОНИЯТЛАРИ

Саттаров Икрамбой Сапарбович
техника фанлари номзоди, доцент СДТУ
Сафаров Фазлиддин Саттор ўғли,
изланувчи СДТУ.

Аннотация. Ушбу мақолада ғиштли биноларнинг юк кўтариш қобилиятини ошириш, сейсмик бардошлилигини таъминлаш ва деформацияланган деворларни мустаҳкамлашда замонавий композит материаллардан (углеволокно CFRP) фойдаланиш имкониятлари тадқиқ этилган. Тадқиқотда анъанавий мустаҳкамлаш усуллари (пўлат қобламалар, бетон ғалофлар) ва ташқи арматуралаш композит тизимларининг (FRP) техник-иқтисодий ва механик кўрсаткичлари қиёсий таҳлил қилинди. Экспериментал ва назарий тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, углеволокно ленталари ва тўрлари билан мустаҳкамланган ғиштли деворларнинг сиқилишга ва эгилишга қаршилик кўрсатиш мустаҳкамлиги 50% дан 200% гача ортади.

Калит сўзлар: ғиштли бинолар, пўлат қобламалар, композит материаллар, углеволокно (CFRP), ташқи арматуралаш тизими (FRP/FRCM), сейсмик мустаҳкамлаш.

1.Кириш.

Дунё бўйлаб, хусусан Марказий Осиё ва Ўзбекистон худудида мавжуд турар-жой ва жамоат биноларининг салмоқли қисми пишган ва хом ғиштдан барпо этилган. Ғиштли деворлар юқори иссиқлик сақлаш хусусиятига ва сиқилишга етарлича мустаҳкамликка эга бўлсада, уларнинг эгилишга ва чузилишга қаршилик кўрсатиш даражаси жуда паст ҳисобланади. Айниқса, сейсмик фаол ҳудудларда жойлашган ва узоқ йиллар давомида фойдаланилган ғиштли бинолар вақт ўтиши билан табиий емирилиш, пойдеворнинг нотекис чўкиши, ҳарорат ва намлик ўзгаришлари ҳамда динамик ва сейсмик таъсирлар натижасида ўзининг юк кўтариш қобилиятини йўқотади ва дарз кетиш ҳолатлари юзага келади.

Анъанавий таъмирлаш ва мустаҳкамлаш усуллари - ғиштли деворларни пўлат қобламалар (уголок ва швеллерлар) билан ўраш, монолит темир-бетон кўйлакчалар (ғалофлар) қуриш ёки пўлат анкерлар билан тўрлаб суваш сингари технологиялар кўп йиллар давомида қўлланилиб келинган. Бироқ, ушбу металл ва бетонга асосланган анъанавий усуллар бир қатор жиддий камчиликларга эга:

- **Конструкция вазнининг ортиши:** Монолит бетон ғалофлар бинонинг ўз оғирлигини сезиларли даражада оширади, бу эса пойдеворга ва силкиниш вақтида инерция кучларига салбий таъсир кўрсатади.
- **Коррозияга учраши:** Пўлат элементлар намлик ва ташқи муҳит таъсирида коррозияга учрайди ва вақт ўтиши билан ўз мустаҳкамлигини йўқотади.
- **Меҳнат сарфи ва меъморий чекланишлар:** Ишларнинг кўп меҳнат талаб қилиши, хоналарнинг фойдали майдони камайиши ҳамда тарихий-меъморий биноларнинг ташқи кўриниши бузилишига олиб келади.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ушбу муаммоларни бартараф этиш мақсадида замонавий қурилиш фан ва амалиётида композит материаллар асосидаги Ташқи Арматуралаш Тизимлари (FRP - Fiber Reinforced Polymer ва TRM/FRCM - Textile Reinforced Mortar) фаол жорий этилмоқда. Углеволокно (CFRP), стекловолокно (GFRP) ўзининг ниҳоятда юқори мустаҳкамлиги, енгиллиги, антикоррозиявий чидамлилиги ва осон монтаж қилиниши билан ажралиб туради.

Тадқиқотнинг мақсади - ғиштли деворлар ва биноларни таъмирлаш ва мустаҳкамлашда композит материалларни қўллашнинг механик ва технологик имкониятларини комплекс ўрганиш, уларнинг кўтариш қобилиятини ошириш самарадорлигини баҳолаш ва амалий фойдаланиш бўйича илмий асосланган тавсиялар ишлаб чиқишдан иборат.

2. Тадқиқот усуллари ва материаллар.

Тадқиқотда фойдаланилган композит материаллар юқори мустаҳкамликка эга бўлган толалар (армирловчи фаза) ва уларни ягона тизимга бирлаштирувчи матрицадан (эпоксид елимлар ёки минерал-цемент боғловчилар) ташкил топган. Тадқиқот доирасида қуйидаги асосий композит материаллар турлари ва тажриба-синов усуллари таҳлил қилинди:

2.1. Композит материалларнинг физик-механик характеристикалари

Жадвал 1

Материал тури	**Зичлиги (г/см³)**	**Мустаҳкамлик чегараси, R_u (МПа)**	**Эластиклик модули, E (ГПа)**	**Узайиш деформацияси (%)**
Углеволокно (CFRP холст)	1,70 – 1,80	3000 - 4900	230 - 640	1,2 – 1,8 %
Стекловолокно (GFRP холст)	2,50 – 2,60	1500 - 2400	70 - 85	2,5 – 3,5 %
Базальт тола (BFRP сетка)	2,65 – 2,75	2100 - 2800	85 - 95	1,8 – 2,5 %
Пўлат арматура (Ст3 / A400)	7,85	400 - 600	200	14 - 25 %

Жадвал 1 маълумотларидан кўриниб турибдики, углеволокно (CFRP) пўлатга нисбатан 4,5 баробар енгил бўлишига қарамай, унинг мустаҳкамлик чегараси пўлатдан 6-8 баробар юқори. Бу кўрсаткич бино конструктив элементларига қўшимча оғирлик бермасдан юқори даражадаги мустаҳкамлашни таъминлаш имконини беради.

2.2. Экспериментал ва ҳисобий тадқиқот усуллари.

Ғиштли деворларнинг композит материаллар билан мустаҳкамланиш самарадорлигини баҳолашда қуйидаги синов усуллари ва халқаро стандартлар асос қилиб олинди:

- **Диагонал сиқиш синовлари (ASTM E519 / EN 1052-1):** Ғиштли панелларнинг диагонал сиқилиш натижасида ҳосил бўладиган бош тортувчи ва силиш кучланишларига чидамлилигини баҳолаш.
- **Текисликдан ташқари эгилиш синовлари:** Сейсмик ёки кўндаланг юкламалар таъсирида деворларнинг эгилиш ва ағдарилишга қаршилик кўрсатиш имкониятини ўрганиш.
- **Адгезион сижжиш синови:** Композит материал (CFRP/GFRP) билан ғишт/қоришма юзаси ўртасидаги ёпишиш (адгезия) мустаҳкамлигини аниқлаш.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ҳисоб-китобларда АҚШнинг ACI 440.7R ва Европадаги fib Bulletin 90 меъёрий ҳужжатларида белгиланган ташқи арматуралаш тизимларини лойиҳалаш принциплари қўлланилди.

3. Натижалар.

Ғиштли девор ва панелларни композит холстлар ва сеткалар билан мустаҳкамлаш бўйича ўтказилган тажриба-синов ва назарий таҳлиллар қуйидаги муҳим натижаларни кўрсатди:

3.1. Силлиқ ва диагонал сиқилиш мустаҳкамлигининг ортиши.

Ғиштли деворларга диагонал тарзда ёки икки томонлама X-симон шаклда углеволокно (CFRP) ленталари елимланганда, деворнинг силишга қаршилик кўрсатиш кўтариш қобилияти мустаҳкамланмаган намуналарга нисбатан 80% дан 180% гача ортди. TRM (текстиль-армирланган минерал қоришма) тизими қўлланилганда эса мустаҳкамлик 60% дан 120% гача юксалиши кузатилди.

3.2. Деформацияланиш ва эгилувчанлик (Ductility) хоссаларининг яхшиланиши.

Анъанавий ғиштли деворлар морт сингиш (brittle failure) хусусиятига эга бўлиб, максимал юкламага эришгач бирдан емирилади. Композит материаллар билан мустаҳкамланган деворларда эса пластик деформацияланиш пластиклиги ва энергия ютиш ҳажми (dissipative energy) 2,5 – 3,8 баробар ортди. Бу сейсмик тебранишлар пайтида бинонинг тўсатдан қулаб тушишининг олдини олади ва эвакуация учун вақт яратади.

3.3. Емирилиш характерлари ва шелушение (debonding) ҳодисаси.

Тажрибаларда мустаҳкамланган деворларнинг емирилиш шакллари ўрганилди. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, емирилиш асосан учта кўринишда юз беради:

1)Композит толаларнинг узилиши (Fiber rupture) - энг мақбул ва юқори энергия ютувчи емирилиш шакли;

2)Ғишт ва қоришма чоклари бўйлаб силжиш (Shear failure along mortar joints);

3)Композитнинг ғишт юзасидан кўчиб кетиши (Debonding) - елимлаш сифати ёки юзани тайёрлаш етарли бўлмаганда юзага келади.

Кўчиб кетиш (debonding) хавфини камайтириш учун махсус углепластик шпонкалар (FRP anchors) ва анкер тизимларидан фойдаланиш тавсия этилади, бу композит ва ғиштнинг биргаликда ишлашини 95-98% гача таъминлайди.

4. Муҳокама ва амалий тавсиялар.

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, композит материаллар ғиштли биноларни реставрация қилиш ва сейсмик мустаҳкамлашда анъанавий усулларга нисбатан беқиёс афзалликларга эга. Қуйида композит тизимларнинг амалий қўлланилиши ва техник-иқтисодий самарадорлиги муҳокама қилинади:

4.1. Меъморий ва тарихий биноларни сақлаб қолиш афзаллиги.

Тарихий ва меъморий ёдгорлик ҳисобланган ғиштли биноларни мустаҳкамлашда уларнинг ташқи қиёфасини ўзгартирмаслик энг асосий талаб ҳисобланади. CFRP углеволокно холстларининг қалинлиги бор-йўғи 0,12 – 0,45 мм ни ташкил этганлиги сабабли, уларни сувоқ остига ёки ғишт чоклари орасига (NSM - Near Surface Mounted усули) билинтирмасдан жойлаштириш мумкин. Бу ёдгорликларнинг меъморий қиёфасини юз фоиз сақлаб қолади.

4.2. Иқтисодий самарадорлик ва меҳнат сарфи таҳлили.

Гарчи углеволокно ва эпоксид елимларнинг хом ашё нархи пўлат ва бетонга нисбатан юқори бўлса-да, умумий объект бўйича харажатлар таҳлили тескарисини кўрсатади:

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Техник-иқтисодий таҳлил кўрсаткичлари:

• Меҳнат сарфининг камайиши: Оғир қурилиш техникаси, пайвандлаш ва оғир опалубка ишлари талаб этилмайди. Иш унумдорлиги 3-4 баробар ортади.

• Фойдаланиш майдонининг сақланиши: Монолит ғалофлардан фарқли ўлароқ (қалинлиги 10-15 см), хоналарнинг ички ҳажми ва майдони қисқармайди.

• Фойдаланиш муддати: Коррозияга учрамаслиги сабабли композит мустаҳкамлашнинг хизмат қилиш муддати 50 йилдан ошади, бу эса қайта таъмирлаш харажатларини нолга туширади.

4.3. Технологик кетма-кетлик ва сифат назорати.

Композит материалларни ғиштли деворларга қўллашда қуйидаги технологик босқичларга қатъий риоя қилиш талаб этилади:

- **1. Юзани тайёрлаш:** Ғишт юзаси чанг, ёғ, кўчиб тушаётган сувоқ ва бўёқлардан тўлиқ тозаланади, пуч чоклар таъмирланади.
- **2. Грунтовка (Primer) суртиш:** Ғишт ва қоришма ғовакларини тўлдириш ва адгезияни ошириш учун махсус эпоксид праймер суртилади.
- **3. Тўшаш ва елимлаш (Lamination):** Эпоксид клей суртилиб, углеволокно холсти юзага ролик ёрдамида ҳаво пуфакчалари қолдирмасдан ёпиштирилади.
- **4. Анкерлаш ва ҳимоя қатлами:** Зарур ҳолларда композит анкерлар ўрнатилади ва устидан ёнғинга қарши ҳамда декоратив ҳимоя сувоғи берилади.

Хулоса.

Олиб борилган тадқиқот ва таҳлиллар асосида қуйидаги асосий хулосаларга келинди:

1. Композит материаллар (CFRP, GFRP, TRM) ғиштли бино ва иншоотларни мустаҳкамлашда ва сейсмик хавфсизлигини оширишда юқори самарадорликка эга замонавий муҳандислик ечими ҳисобланади.

2. Углеволокно холстлари билан ташқи арматуралаш ғиштли деворларнинг силишга ва эгилишга қаршилик кўрсатиш кўтариш қобилиятини 50% дан 180% гача оширади ҳамда деформацияланиш пластиклигини таъминлайди.

3. Меъморий ва тарихий ёдгорликларни қайта тиклашда композитлар бинонинг асл кўринишини ва геометриясини сақлаб қолган ҳолда максимал мустаҳкамлик берадиган ягона мақбул усулдир.

4. Композит мустаҳкамлаш тизимларини кенг жорий этиш учун қурилиш меъёрлари ва қоидаларини (ҚМҚ/ШНК) замонавий композит нормативлар билан бойитиш ва маҳаллий лойиҳачи-муҳандисларни ўқитиш тавсия этилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. ACI 440.7R-10. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Masonry Structures. American Concrete Institute, 2010.
2. fib Bulletin 90. Externally applied FRP reinforcement for concrete structures. International Federation for Structural Concrete, 2019.
3. Valluzzi, M. R., Tinazzi, D., & Modena, C. (2002). Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. Construction and Building Materials, 16(7), 409-416.
4. Mahmood, H., & Ingham, J. M. (2011). Diagonal Compression Testing of FRP-Retrofitted Unreinforced Clay Brick Masonry. Journal of Composites for Construction, 15(5), 810-820.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

5. De Santis, S., et al. (2021). Low-impact techniques for seismic strengthening fair faced masonry walls. Construction and Building Materials, 307, 124962.
6. Старцев С.А., Сундукова А.А. (2014). Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями. Строительство уникальных зданий и сооружений, №6 (21), 18-26.
7. Корнюхин А.В., Баишева Д.Р. (2020). Усиление строительных конструкций композитными материалами по технологии внешнего армирования. Современные научные исследования и инновации, №1.
8. Balsamo, A., Di Ludovico, M., Del Zoppo, M., et al. (2022). Fibre Reinforced Mortar (FRM) for in Plane Strengthening of Masonry Panels. 10th CICE Conference, Istanbul, 1395-1403.
9. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. Стройиздат. Москва. 1988. - 320 с.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.