

ZAMONAVIY QURILISH KONSTRUKSIYALARIDA ENERGIYA TEJAMKOR NANO-SEMENT MODIFIKATSIYASINING AFZALLIKLARI

Akromov Xusnitdin Axrarovich

Arxitektura quqrilish universiteti “Qurilish materiallari va konstruksiyalari
texnologiyasi” kafedrasi t.f.d., professor

Saburov Xursand Mambetsaliyevich,

Toshkent xalqaro moliyaviy boshqaruv va texnologiyalar universiteti “Arxitektura
va Raqamli texnologiyalar” kafedrasi t.f.f.d (PhD) dotsenti

Ristavletov Raimberdi Amanovich

M. Avezov nomidagi Janubiy Qozog‘iston tadqiqot universiteti “Qurilish
materiallari va qurilishda ekspertiza” kafedrasi professori.

Anotatsiya: Maqolada zamonaviy qurilish konstruksiyalarida klinker, gips, mikroremniy va qum asosidagi nano sement kompozitsiyalarining fazaviy tarkibi va mustahkamligi o‘rganildi. Natijalar klinker miqdori kamaytirilsa ham yuqori mustahkamlikka erishilishini ko‘rsatdi. Bu qum va mikroremniy ta’sirida qo‘shimcha C–S–H bog’ hosil bo‘lishi bilan izohlanadi. Modifikatsiya sementning erta gidratatsiyasini tezlashtiradi va tosh tuzilishini zichlashtiradi. Olingan ma’lumotlar energiya tejamkor nano sement ishlab chiqarishga ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: Nano sement, qum, Mikroremniy, Gidratatsiya, C–S–H bog’, konstruksiya, Energiya tejamkor materiallar.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ НАНО-ЦЕМЕНТНОЙ МОДИФИКАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Акромов Хуснитдин Ахрарович

доктор технических наук, профессор, кафедра «Технология строительных
материалов и конструкций», Университет архитектуры и строительства

Сабуров Хурсанд Мамбетсалиевич

кандидат технических наук (PhD), доцент, кафедра «Архитектура и цифровые
технологии», Международный университет финансового управления и
технологий, Ташкент

Риставлетов Раймберди Аманович

профессор, кафедра «Строительные материалы и экспертиза в
строительстве», Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М.
Ауэзова

Аннотация

В статье изучены фазовый состав и прочность наноцементных композиций на основе клинкера, гипса, микрокремния и песка в современных строительных конструкциях. Результаты показали, что даже при снижении количества клинкера можно достичь высокой прочности. Это объясняется образованием дополнительных C–S–H связей под влиянием песка и микрокремния. Модификация ускоряет раннюю гидратацию цемента и уплотняет структуру камня. Полученные данные создают научную основу для производства энергосберегающего наноцемента.

Ключевые слова: наноцемент, песок, микрокремний, гидратация, C–S–H связь, конструкция, энергосберегающие материалы.

ADVANTAGES OF ENERGY-SAVING NANO-CEMENT MODIFICATION IN MODERN BUILDING STRUCTURES

Akromov Khusnitdin Akhrarovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Materials and Structures Technology, University of Architecture and Construction
Tel.: +99890 316 80 18, E-mail: xursandsaburov43@gmail.com

Saburov Khursand Mambetsalievich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Architecture and Digital Technologies, International University of Financial Management and Technologies, Tashkent

Ristavletov Raimberdi Amanovich

Professor, Department of Building Materials and Construction Expertise, M. Auezov South Kazakhstan Research University

Abstract

The article studies the phase composition and strength of nano-cement composites based on clinker, gypsum, microsilica, and sand used in modern building structures. The results show that even with a reduced amount of clinker, high strength can be achieved. This is explained by the formation of additional C–S–H bonds under the influence of sand and microsilica. The modification accelerates early cement hydration and densifies the stone structure. The obtained data provide a scientific basis for the production of energy-saving nano-cement.

Keywords: nano-cement, sand, microsilica, hydration, C–S–H bond, structure, energy-saving materials.

Kirish. Qurilish sohasi jadal rivojlanib borayotgan sharoitda zamonaviy qurilish konstruksiya materiallar ishlab chiqarish hajmining ortishi katta energiya sarfini talab qilmoqda. Ayniqsa, zamonaviy konstruksiyalar uchun yuqori mustahkamlikdagi sement ishlab chiqarish jarayonida xom ashyoni kuydirish, maydalash va quritish bosqichlari yuqori issiqlik va elektr energiyasi iste'moli bilan ajralib turadi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, dunyo bo'yicha sement sanoati umumiy energiya iste'molining 10–12 % ini tashkil etadi va atmosferaga chiqariladigan karbonat angidrid gazining asosiy manbalaridan biri hisoblanadi. [1, 2].

Energiya tejamkorlik masalasi nafaqat ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, balki ekologik muammolarni hal qilish uchun ham dolzarbdir. Shu bois, ilmiy tadqiqotlarda sement tarkibiga mineral va kimyoviy qo'shimchalar kiritish orqali klinker sarfini kamaytirish, shu bilan birga, sementning mustahkamligi va chidamliligini saqlab qolish masalasi alohida e'tiborda turibdi [2].

Modifikatorlardan foydalanish sementning gidratatsiya jarayonini jadallashtiradi, interfaza zonasini mustahkamlaydi va betonning ishlash xossalari yaxshilaydi. Natijada, qurilish materiallarida energiya tejamkorlik muammosiga samarali yechim topish imkoniyati yuzaga keladi. [1]

Sement ishlab chiqarishda yuqori energiya sarfi va ekologik yuklama Sement sanoati qurilish materiallari ichida eng ko'p energiya talab qiladigan sohalardan biridir. Ayniqsa, klinker ishlab chiqarish jarayonida xom ashyoni 1400–1500 °C haroratda kuydirish katta miqdorda issiqlik energiyasi sarflanishiga olib keladi. Bir tonna portlandsement ishlab chiqarishda o'rtacha 4–5 kJ issiqlik energiyasi va 100–120 kVt·soat elektr energiyasi sarflanadi. [2]

Bundan tashqari, sement sanoati global ekologik yuklamaning asosiy manbalaridan biri hisoblanadi. Har bir tonna klinker kuydirish jarayonida taxminan 0,8–0,9 tonna CO₂ atmosferaga chiqariladi. Shu sababli sement ishlab chiqarish dunyo bo'yicha umumiy karbonat angidrid emissiyasining 7–8 % ini tashkil etadi. Bu ko'rsatkich sement sanoatini iqlim o'zgarishi va global isish muammolarida asosiy omillardan biriga aylantiradi. [3]

Shunday ekan, energiya sarfini kamaytirish, atrof-muhitga chiqariladigan zararli gazlarni kamaytirish hamda ishlab chiqarishda tejamkor texnologiyalarni joriy etish zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning asosiy vazifasiga aylanmoqda. [3]

Tadqiqot mavzusining dolzarbligi Bugungi kunda qurilish materiallari sanoati oldida turgan asosiy muammolardan biri — energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va ekologik yuklamani kamaytirishdir. Sement ishlab chiqarishning yuqori

energiya sarfi va CO₂ chiqindilari global miqyosda iqlim o'zgarishiga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Shu sababli sement tarkibini modifikatsiyalash orqali kamroq klinker sarflab, sementning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va ekologik barqarorlikni ta'minlash dolzarb dolzabligicha qolmoqda. [4]

Maqsad. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — O'zbekistonda ishlab chiqarilayotgan portlandsement klinkerlari, mahalliy kimyoviy modifikatorlar, mineral qo'shimchalar hamda sanoat chiqindilaridan kompleks foydalanish asosida nano-sement ishlab chiqarishning ilmiy asoslangan texnologik parametrlarini ishlab chiqishdan iborat.

Shunday qilib, tadqiqot nafaqat sementning sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash, balki energiya sarfini kamaytirish, sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish va atrof-muhit yuklamasini pasaytirishga qaratilgan. [2]

Materiallar va usullar. Tadqiqotda Nano-sement olishda Toshkent viloyati Ohangaron tumanida ACCERMAN sement zavodi ishlab chiqariladigan portlandsement klinkeri ishlatildi. [4;5] Klinkerning kimyoviy va mineralogik tarkibi (1-jadval)

Portlanndtsement klinkerining mineralogik tarkibi 1-jadval

Mineralogik tarkibi, %			
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
58,8	19,1	7,8	14,3

1-jadvalda Klinker tarkibida asosiy fazani C₃S tashkil etadi, bu esa sementning erta davrdagi mustahkamligini ta'minlaydi. C₂S uzoq muddatli chidamlilikni oshiradi. C₃A qotish jarayoniga faol ta'sir ko'rsatadi, C₄AF esa ikkilamchi rol o'ynab, sementning rangini belgilaydi. Bunday mineralogik tarkib sementning tez va barqaror qotishini hamda yaxshi fizik-mexanik xossalarini ta'minlaydi. [4;5]

Nano-sement olishda Qoraqalpog'iston Respublikasi Amudaryo tumanidagi cho'l zonalaridan olingan barxan qumi qo'llanildi. U shamol ta'sirida shakllangan cho'kindi jins bo'lib, mineralogik va granulometrik tarkibi, zarracha shakli va yuzasi bilan boshqa qum turlaridan farq qiladi. [7]

Barxan qumining mineralogik tarkibi 2-jadval

№	Mineral nomi	Belgilanashi	Miqdori, %
1	Kvarts	SiO ₂	70
2	Dalachspat (feldshpat)	(Na,K)AlSi ₃ O ₈	22
3	Temir oksidlari	Fe ₂ O ₃	2
4	Biotit	K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	3
5	Smektit (gil minerali)	(Ca,Na) _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·nH ₂ O	3

Modifikator va uning komponentlari Nano-sement olish uchun modifikator ikki asosiy komponentdan iborat: mikrokremniyzyom va polikarboksilat asosidagi superplastifikator. [6]

Modifikator tayyorlash jarayoni: Mikrokremniyzyom va polikarboksilat belgilangan nisbatda aralashtirilib, 15–20 daqiqa davomida bir jinsli massa hosil qilindi. Hosil bo'lgan aralashma quritish barabanida 40–45 daqiqa davomida 80 °C dan oshmagan haroratda quritildi. Natijada zarrachalari bir tekis taqsimlangan, yuqori faol kompozitsiya olindi. [6]

Mikrokremniyzyom: Toshkent viloyatidagi Ohangaron zavodidan olingan sanoat chiqindisi hisoblanadi. Tarkibi: SiO_2 – 87 %, Fe_2O_3 – 2 %, Al_2O_3 – 1 %, CaO – 1 %. Zarracha o'lchami 0,1–1,0 mkm, sirt yuzasi ~21 000 m²/kg. U sement tarkibida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bilan reaksiyaga kirishib qo'shimcha C–S–H gel hosil qiladi va sementning mustahkamligi hamda korroziyaga chidamliligini oshiradi.

Polikarboksilat superplastifikatori (KDJ-3): Poliakrilonitril asosida sintez qilinib, suvda eruvchan oq kukun ko'rinishida olingan. Sintez jarayonida poliakrilonitril NaOH eritmasida qizdirilib, neytrallash va cho'ktirish orqali natriy poliakrilat hamda erkin poliakril kislota hosil qilindi. [5]

Usullar Tajriba jarayonida barcha xom ashyolar belgilangan massaviy nisbatlarda aniq o'lchab olindi. Klinker, barxan qumi va modifikator komponentlari sharli tegirmonda 4500–5000 sm²/g (Blaine bo'yicha) o'rtacha sirt yuzasigacha maydalanib, nanozarrachalargacha tuyildi. (3-jadval) Olingan nano-sement tarkiblari laboratoriya sharoitida GOST 310.4–81 va GOST 310.1–76 standartlari asosida qorishmaga tayyorlandi. [8]

3-jadval

Nano sement uchun qo'llanilgan materiallar sarfi

№	Barcha xom asho umumiy massaga nisbatan olindi %				Maydalash vaqti minut	Maydalik darajasi g/sm ²
	Klinker	Gips toshi	Modifikator	Qum		
1	95	5	-	-	80	4645
2	60	5	10	20	80	4605
3	40	5	10	40	80	4550
4	25	5	10	60	80	4500

3-jadvalda turli tarkiblarda klinker, gips, modifikator va qumning massaviy ulushi berilgan hamda maydalash natijasida olingan maydalik darajalari keltirilgan.

Tahlildan ko'rinib turibdiki, barcha tarkiblar 80 minut maydalash jarayonida 4500–4650 g/sm² oralig'ida maydalik darajasiga erishgan. Klinker ulushi kamayib,

qo'shimcha materiallar (modifikator va qum) miqdori ortgani sari maydalik darajasi asta-sekin pasaygan. [9]

Umuman olganda, barcha tarkiblarda nano-sement olish uchun zarur bo'lgan 4500 g/sm² dan yuqori sirt yuzasi ta'minlandi.

Olingan barcha tarkibdagi namuna uchun qorishmalar qo'lda 3 daqiqa bir xil konsistensiyaga kelgunicha aralashtirildi va standart 4x4x16 mm li qoliplarga joylashtirildi. Qoliplardagi namunalar 20±2 °C haroratda 12 soat davomida saqlangach, qoliplardan chiqarilib, suv muhitida belgilangan muddat (3, 7, va 28) kunlik mustahkamliklari gdravlik pers yordamida GOST 31108–2020 ga muvofiq sinalib olingan natijalar 4-jadvalga yozib borildi.

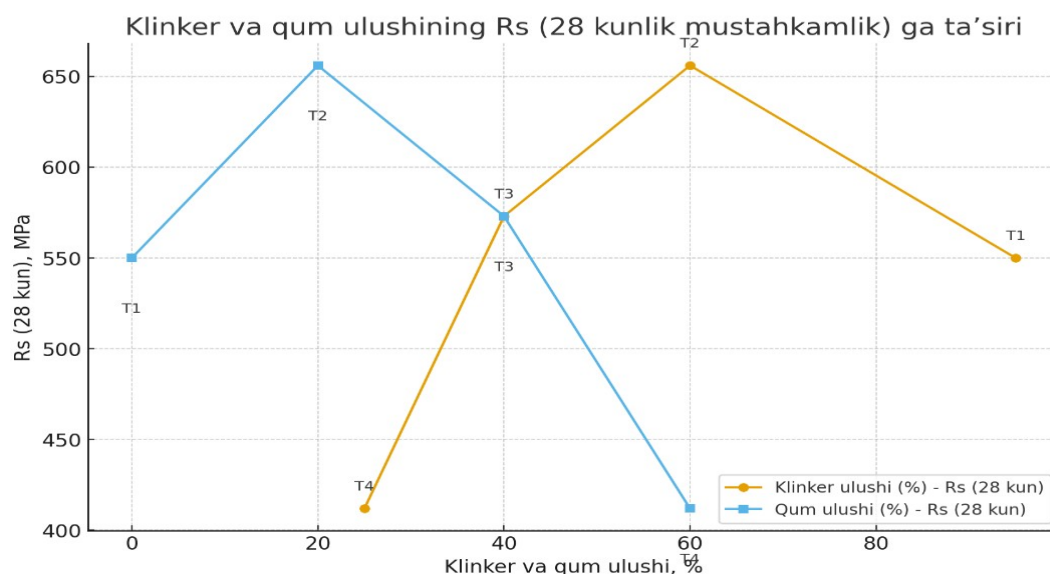
4-jadval

Nano sementning fizik mexanik mustahkamligi

№	S/S	Yoyilishi n mm	Mustahkamlik, MPa					
			Reg			Rs		
			3 kun	7 kun	28 kun	3 kun	7 kun	28 kun
1	0.38	110	7.0	9.7	17.6		358	550
2	0.27	111	7.4	10.4	14.9	382	518	656
3	0.265	109	7.2	11.2	14.4	346	452	573
4	0.26	107	4.9	8.7	10.1	228	329	412

4-jadvalda 1-tarkib: Klinker yuqori bo'lgani uchun mustahkamlik ham yuqori (Rs = 550 MPa), 2-tarkibda qum va modifikator qo'shilganda eng yaxshi natija olindi (Rs = 656 MPa). Mikroremniy qo'shimcha C–S–H gel hosil qildi, barxan qumi nanozarrachalari nano-kapsulyatsiya jarayonini kuchaytirdi, polikarboksilat esa g'ovaklikni kamaytirdi, 3-tarkibda mustahkamlik barqaror, lekin 2-tarkibdan past (Rs = 573 MPa). Klinker kamayishi sababli Ca(OH)₂ yetarli bo'lmadi.

4-tarkibda esa klinker juda kam bo'lishiga qaramay mustahkamlik 412 kg/sm² ni taminladi bundan ko'rinadiki sement tarkibiga qo'shilgan barxan qumi nano zarrachalargacha tuyilgani tufayli u sement matritsasida bir tekis taqsimlandi. Bunda modifikator va klinker zarrachalari qumning nanozarrachalari bilan o'zaro ta'sirlashib, nano-kapsulyatsiya jarayonini yuzaga keltirdi. Natijada sement toshida yuqori zichlikka ega interfaza hosil bo'lib, zarrachalararo bog'lanish mustahkamlandi. Shu sababli sementning umumiy mexanik xossalari, xususan, bosimga mustahkamlik ko'rsatkichlari yuqori darajada oshdi. (1-grafik)



1-grafikdan ko‘rinib turibdiki, sement tarkibidagi klinker va qum nisbatlari mustahkamlikka bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Rasmda ko‘rib turgan “T1, T2, T3, T4” yozuvlari — bu tarkib raqamlarini bildiradi.

Ya’ni:

T1 – 1-tarkib (95 % klinker, qum yo‘q, Rs = 550 MPa)

T2 – 2-tarkib (60 % klinker, 20 % qum, Rs = 656 MPa)

T3 – 3-tarkib (40 % klinker, 40 % qum, Rs = 573 MPa)

T4 – 4-tarkib (25 % klinker, 60 % qum, Rs = 412 MPa)

1-tarkib (95 % klinker, qum yo‘q): 28 kunlik Rs 550 MPa bo‘lib, nazorat tarkibi sifatida yuqori natija qayd etilgan.

2-tarkib (60 % klinker, 20 % qum): Mustahkamlik eng yuqori darajaga ko‘tarilib, Rs = 656 MPa ni tashkil etdi. Bu modifikator va nanozarrachagacha tuyilgan barxan qumining sement matritsasida to‘ldirgich va puzolanik ta’sir ko‘rsatganidan dalolat beradi. 3-tarkib (40 % klinker, 40 % qum): Rs 573 MPa gacha kamaygan. Bunda klinker ulushi qisqarganligi sababli gidratatsiya uchun zarur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miqdori yetishmaydi va qo‘shimcha reaksiyalar to‘liq kechmaydi.

4-tarkib (25 % klinker, 60 % qum): Mustahkamlik eng past qiymatga tushib, Rs = 412 MPa bo‘ldi. Bu holat klinker mineral fazalari juda kam bo‘lib, qo‘shimchalar ularning o‘rnini to‘liq bosolmaganini ko‘rsatadi.

Natijalar. Olingan natijalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, sement tizimiga nano-o‘lchamli qo‘shimchalar, xususan mikrokremniy va yuqori darajada tuyilgan qum zarrachalarini kiritish sement toshining erta davrdagi (3–7 kunlik) mustahkamligini sezilarli darajada oshiradi. Ushbu hodisa, bir tomondan, zarrachalararo interfaza zichligining ortishi va yuzalararo bog‘lanishlarning faollashuvi bilan izohlanadi. Bunda nano-qum zarrachalari klassik inert plomba sifatida emas, balki aktiv yadro-hosil

qiluvchi markaz sifatida namoyon bo‘lib, sement klinkerining gidratatsiya jarayonini tezlashtiruvchi qo‘shimcha bog‘lar yaratadi.

Shuningdek, mikrokremniyning yuqori dispersligi natijasida puzzolanik reaksiyalar erta bosqichdanoq faollashib, portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)ning bir qismi ikkilamchi C–S–H fazasiga aylanishi kuzatildi. Bu jarayon sement toshining kapillyar g‘ovaklarni kamaytiradi, natijada suv o‘tkazuvchanlik pasayib, silikat matritsasi yanada ixcham va mustahkam tuzilishga ega bo‘ladi.

Qiziqarli jihatlardan biri shundaki, klinker miqdori kamaytirilgan tarkiblarda ham mustahkamlik yuqori bo‘lib chiqdi. Bu holat, bir tomondan, modifikatorlar va nano-zarrachalarning sinergik ta’siri bilan, ikkinchi tomondan, gidratatsiya mahsulotlarining nano-kapsulyatsiya effekti orqali tushuntiriladi. Shunday qilib, “klinker kam, ammo Rs yuqori” natijasi energiya tejamkor sement kompozitsiyalari yaratish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Umuman olganda, o‘tkazilgan tadqiqotlar sement toshining strukturaviy mustahkamligini oshirishda nano-miqyosdagi modifikatsiya va puzzolanik reaksiyalarning uyg‘unlashuvi asosiy omil ekanini ko‘rsatdi. Bu yondashuv nafaqat yuqori mustahkamlik, balki energiyani tejash va CO_2 chiqindilarini kamaytirish nuqtai nazaridan ham amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, barqaror qurilish materiallarini ishlab chiqishda istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Xulosa. Tadqiqotlar natijasida klinker, gips, mikrokremniy va qum asosida tayyorlangan Nano-sement kompozitsiyalarining strukturaviy va mexanik xossalari tahlil qilindi. Olingan ma’lumotlar shuni ko‘rsatdiki, klinker ulushi kamaytirilgan tarkiblarda ham yuqori mustahkamlikka erishish mumkin. Bunga qumning zarracha tuzilishi tufayli sement matritsasi qo‘shimcha zichlik hosil qilishi va mikrokremniyning portlandit bilan reaksiyaga kirishib qo‘shimcha C–S–H bog‘ shakllantirishi sabab bo‘ldi. Natijada sement toshi ixchamroq tuzilishga ega bo‘lib, erta davrdagi mustahkamlik sezilarli darajada oshdi. Ushbu yondashuv sement ishlab chiqarishda klinker sarfini kamaytirish, energiya samaradorligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta’minlash uchun muhim ilmiy-amaliy asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. A. U. Auesbaev, Kh. M. Saburov, S. R. Mazhidov, et al., “Physical and mechanical properties of concrete based on modified superplasticizer,” Nov. Ogneupory, No. 9, 63–69 (2024).
2. H. Li, Z. Wang, and Y. Zhang, “Sustainable cementitious materials with nano-silica and fly ash: Hydration and durability,” Construction and Building Materials, Vol. 362, 129708 (2023).

3. M. K. Singh and P. Kumar, "Effect of nano-modifiers on hydration and microstructure of Portland cement," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 62, 2025, pp. 1120–1128.
4. Sh. I. Iskandarov, B. O. Karimov, "Mineral qo'shimchalar asosida energiya tejamkor sement turlari," *O'zbekiston Qurilish Materiallari Jurnal*i, No. 2, 2021.
5. N. M. Raxmatov, A. J. Jo'rayev, "Sement klinkerining mineralogik tarkibini optimallashtirish," *Fan va Texnika Taraqqiyoti*, No. 4, 2022.
6. Kh. M. Saburov, S. R. Mazhidov, "Nano-sement asosida betonning mustahkamlik xossalari," *Qurilish va Arxitektura*, No. 1, 2023.
7. A. R. Tursunov, Z. M. Abdurahmonova, "Barxan qumini qo'llashning samaradorligi," *O'zbekiston Qurilish Materiallari Jurnal*i, No. 3, 2020.
8. B. Kh. Mamatov, U. S. Ergashev, "Polikarboksilat asosidagi modifikatorlar ta'siri," *Ilmiy Texnik Jurnal*, No. 5, 2021.
9. D. N. Karimova, Sh. Y. Abdug'aniyev, "Mikrokremniy asosidagi qo'shimchalar bilan bog'lovchi materiallar," *Innovatsion Qurilish Materiallari*, No. 2, 2024.