SEMENT, MIKROKREMNEZEM, SUVDA ERUVCHAN POLIMERLAR VA QAYTA DISPERSIYALANUVCHI POLIMER KUKUNLARI ASOSIDAGI MAYDA DISPERSLI ORGANO-MINERAL QO'SHIMCHALARNI MODIFIKATSIYALASH IMKONIYATLARINI O'RGANISH

Mullajanov Tulkin Toxtabayevich
Namangan davlat texnika universiteti tadqiqotchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada sement, mikrokremnezem, suvda eruvchan polimerlar va suvda qayta dispersiyalanuvchi polimer kukunlari asosida mayda dispersli organo-mineral kompozitsiyalarni modifikatsiyalash imkoniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqotning maqsadi komponentlarning o'zaro ta'sir mexanizmlarini tizimlashtirish, qorishmalarning reologik xususiyatlarini boshqaruvchi omillarni aniqlash va tajriba tekshiruvi uchun asoslangan dastlabki tarkiblarni taklif etishdan iborat. Ishda ilmiy adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish, modifikatorlarning funksional roli va ehtimoliy sinergiyasini baholash hamda nazorat namunasi bilan solishtirishga asoslangan eksperimental rejalashtirish yondashuvi qo'llandi. Mikrokremnezemning mayda zarrachalari strukturaning zichlashishiga va pussolan reaksiyalariga hissa qo'shishi, polimer qo'shimchalar esa suvni ushlab turish, yopishqoqlik, yopishish va deformatsiyalanish xususiyatlarini o'zgartirishi mumkinligi ko'rsatildi. Shu bilan birga, modifikatorlarning ortiqcha miqdori suvga talabni oshirishi, qotishni kechiktirishi yoki mustahkamlikni pasaytirishi ehtimoli asoslandi. Maqolada taklif etilgan tarkiblar nazariy-rejalashtirish xarakteriga ega bo'lib, laboratoriya tajribalarida tekshirilishi lozim.

Kalit so'zlar: sement, mikrokremnezem, organo-mineral qo'shimcha, suvda eruvchan polimer, qayta dispersiyalanuvchi polimer kukuni, reologiya, pussolan faollik, sement qorishmasi.

KIRISH. Zamonaviy qurilish materialshunosligida sement asosidagi qorishmalardan nafaqat yuqori mustahkamlik, balki qulay ishlov berilish, barqaror konsistensiya, asosga yaxshi yopishish va uzoq xizmat qilish xususiyatlari ham talab qilinadi. Ushbu ko'rsatkichlar tarkibdagi mineral va organik komponentlarning zarracha o'lchami, sirt faolligi, suv bilan ta'sirlashuvi hamda gidratatsiya jarayoniga bog'liq. Shu sababli mayda dispersli organo-mineral qo'shimchalardan foydalanish sement kompozitsiyalarini maqsadli boshqarishning istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi.

Mikrokremnezem ko'pincha kremniy yoki ferrosilitsiy ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan, asosan amorf kremniy dioksiddan iborat, katta solishtirma sirt yuzasiga ega mayda dispersli materialdir. Uning mikroto'ldiruvchi va pussolan ta'siri sement toshidagi g'ovaklar tizimini o'zgartirishi mumkin. Biroq nozik fraksiya ulushining oshishi suvga talabni kuchaytirib, qorishmaning harakatchanligini pasaytirishi ham mumkin [1, 2].

Organik modifikatorlar sifatida suvda eruvchan polimerlar, xususan gidroksipropilmetilsellyuloza (HPMC), gidroksietilsellyuloza (HEC), polivinil spirt (PVA), shuningdek, suv qo'shilganda qayta dispersiyalanuvchi polimer kukunlari (masalan, vinilatsetat–etilen, VAE asosidagi kukunlar) muhim o'rin tutadi. Bu ikki toifa bir xil emas: eruvchan polimerlar suvli fazada molekulyar yoki kolloid tizim hosil qiladi; qayta dispersiyalanuvchi kukunlar esa suvda polimer zarrachalari dispersiyasini hosil qilib, qotish jarayonida polimer plyonkasi shakllanishiga yordam beradi [3–6].

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

Ilmiy muammo shundan iboratki, mineral mikroto'ldiruvchi va polimerlar alohida ijobiy xususiyatlarga ega bo'lishiga qaramay, ularni birgalikda qo'llash natijasi doimo oddiy qo'shilish qonuniga bo'ysunmaydi. Adsorbsiya, flokulyatsiya, havoning aralashib qolishi, suvning qayta taqsimlanishi va gidratatsiyaning sekinlashishi o'zaro raqobatlashuvchi jarayonlar hisoblanadi. Shu bois muayyan tarkib uchun maqbul nisbatni tajriba asosida aniqlash zarur.

Tadqiqotning maqsadi — sement, mikrokremnezem va polimer modifikatorlarning funksional mosligini ilmiy manbalar asosida baholash hamda reologik va fizik-mexanik xossalarni boshqarish uchun tekshirilishi mumkin bo'lgan tarkibiy yechimlarni shakllantirish.

Maqsaddan kelib chiqib quyidagi vazifalar belgilandi: komponentlarning ta'sir mexanizmlarini tizimlashtirish; mayda dispers mineral va organik fazalarning o'zaro ta'sirini baholash; dastlabki tarkiblar matritsasini tuzish; aniqlanishi lozim bo'lgan sinov ko'rsatkichlari va cheklovlarni asoslash.

MATERIALLAR VA TADQIQOT USULLARI

Mazkur ish tajriba hisobotidan ko'ra ilmiy-analitik maqola sifatida tayyorlandi. Ma'lumotlar ilmiy jurnallarda chop etilgan ishlar, materiallar xossalariga bag'ishlangan sharhlar va tegishli sinov standartlarini taqqoslash orqali umumlashtirildi. Tahlilning asosiy mezonlari: (a) qo'shimchaning fizik-kimyoviy vazifasi, (b) yangi qorishmadagi reologik xulq, (c) qotish va struktura hosil bo'lish jarayonlari, (d) qotgan materialning mexanik hamda ekspluatatsion ko'rsatkichlaridir [1–7].

Nazariy jihatdan dastlabki sinovlar uchun CEM I turidagi portlandsement yoki laboratoriyada tarkibi aniqlangan boshqa bir turdagi sement, sertifikatlangan mikrokremnezem, VAE asosidagi qayta dispersiyalanuvchi polimer kukuni va HPMC turidagi suvda eruvchan polimer tanlanishi mumkin. Sementning mineralogik tarkibi, mikrokremnezemning SiO_2 ulushi hamda zarracha tarqalishi, polimerlarning molekulyar xususiyatlari, changning namligi va erituvchanligi qo'shimchalar bilan o'zaro moslikka sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ular tajribadan oldin hujjatlashtirilishi kerak.

Tajriba loyihasida bog'lovchining jami massasi $B = m_t + m_m$ deb qabul qilinadi; bu yerda m_t — sement massasi, m_m — mikrokremnezem massasi. Mikrokremnezem sementning bir qismini almashtiradi, polimerlar esa B massasiga nisbatan qo'shimcha miqdorda kiritiladi. Shunday qilish qo'shimchalarning o'zaro ta'sirini nazorat aralashmasi bilan solishtirish imkonini beradi.

Tarkiblarni tanlashda bir xil suv/bog'lovchi (S/B) nisbati saqlanadigan asosiy seriya va oqim ko'rsatkichi tenglashtiriladigan qo'shimcha seriyani farqlash maqsadga muvofiq. Birinchi seriya modifikatorlarning reologik xossalarga bevosita ta'sirini ko'rsatadi; ikkinchi seriya esa bir xil ishlov beriluvchanlikka erishish uchun suv yoki disperslovchi modda sarfining o'zgarishini aniqlaydi. Seriyalar natijalarini bir-biri bilan chalkashtirmaslik kerak.

1-jadval. Komponentlarning kutiladigan funksional vazifalari

Komponent	Asosiy mexanizm	Kutiladigan ijobiy ta'sir	Tekshiriladigan xavf / cheklov
Portlandsement	Suv bilan gidratatsiya	Bog'lovchilik, mustahkamlik	Tarkib va qotish tezligi o'zgaruvchanligi
Mikrokremnezem	Mikroto'ldirish va pussolan reaksiya	Zich tuzilma, transport g'ovaklarining kamayishi	Suvga talab va aglomeratsiya ortishi

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

Komponent	Asosiy mexanizm	Kutiladigan ijobiy ta'sir	Tekshiriladigan xavf / cheklov
Qayta dispersiyalanuvchi kukun (VAE)	Dispersiya va polimer plyonkasi	Yopishish, deformatsiyalanish qobiliyati	Havo miqdori, siqilish mustahkamligi pasayishi mumkin
Suvda eruvchan polimer (HPMC)	Suvli fazaning qovushqoqligini boshqarish	Suvni ushlab turish, kohesiya, barqarorlik	Qotish kechikishi, ortiqcha qovushqoqlik

2-jadval. Laboratoriya sinovlari uchun taklif etiladigan dastlabki tarkiblar

Namuna	Sement, % B	Mikrokremnezem, % B	VAE kukuni, % B	HPMC, % B
K0 (nazorat)	100	0	0	0
K1	95	5	0	0
K2	90	10	0	0
K3	100	0	2,0	0
K4	100	0	0	0,15
K5	95	5	2,0	0
K6	95	5	0	0,15
K7	95	5	2,0	0,15
K8	90	10	2,0	0,15

Izoh: 2-jadvaldagi qiymatlar tajribada o'lchangan natijalar emas, balki dastlabki sinov uchun taklif etilgan massa ulushlaridir. Mikrokremnezem sementni almashtiradi; VAE va HPMC bog'lovchi massasiga nisbatan qo'shimcha sifatida qo'shiladi. Boshlang'ich reologik sinov uchun S/B = 0,45 tanlanishi mumkin; zarur bo'lsa uning ta'siri alohida omil sifatida o'rganiladi.

Reologik tahlil uchun oqim diametri yoki yoyilish darajasi, plastik qovushqoqlik, siljishning chegaraviy kuchlanishi, vaqt bo'yicha harakatchanlikning saqlanishi va qatlamlanishga moyillikni aniqlash taklif qilinadi. Qorishma oqishini dastlabki yaqinlashuvda Bingam modeli bilan ifodalash mumkin: $\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma}$. Bu yerda τ — siljish kuchlanishi (Pa), τ_0 — oqishning boshlang'ich chegaraviy kuchlanishi (Pa), μ_p — plastik qovushqoqlik (Pa·s), $\dot{\gamma}$ — siljish tezligi (s^{-1}). Nochiziqli tizimlarda mazkur model o'rniga Herschel–Bulkley modeli kabi mosroq ifoda tanlanishi kerak.

Qorishma uchun oqim stoli sinovi ASTM C1437 yoki tegishli material toifasida EN 1015-3 bo'yicha tashkil etilishi mumkin [11, 12]. Qotgan namunalar uchun siqilish va egilishdagi mustahkamlik, suv shimishi, hajmiy deformatsiyalar hamda asosga yopishishni o'rganish lozim. Agar ASTM C109/C109M qo'llansa, unda standartga mos kub namunalari, sinash yoshi va parvarishlash sharoiti bir xil bo'lishi talab etiladi [13].

Mexanik mustahkamlikning umumiy ifodasi $f = F/A$ bo'lib, bunda F — sinashda qayd etilgan kuch (N), A — yuk tushirilgan yuzaning maydoni (mm^2), f — N/mm^2 yoki MPa. Mazkur formula tajriba natijasini hisoblash uchun keltirilgan; maqolada sinov natijasi sifatida aniq MPa qiymatlari berilmaydi.

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

Tekshiruvlar kamida uchta takroriy namuna bilan olib borilishi, o‘rtacha qiymat va tarqoqlik (standart og‘ish yoki ishonch oralig‘i) alohida taqdim etilishi kerak. Qotish jarayonining bosqichlarini solishtirish uchun 1, 7 va 28 sutkalik vaqt nuqtalari, uzoq muddatli ta’sirlarni kuzatishda esa 56 yoki 90 sutka ko‘rib chiqilishi mumkin. Tajribalar mavjud laboratoriya imkoniyatlari va qo‘llanadigan standart talablariga moslashtiriladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA MUHOKAMA

Mikrokremnezemning modifikatsiyalovchi roli. Mikrokremnezem tarkibidagi faol kremniy dioksid sement gidratatsiyasidan ajralgan kalsiy gidroksid bilan reaksiyaga kirishib, qo‘shimcha kalsiy-silikat-gidrat (C–S–H) birikmalarining hosil bo‘lishiga sharoit yaratadi. Shu bilan birga, juda mayda zarrachalar kattaroq sement donalari orasidagi bo‘shliqlarni to‘ldiradi. Bu ikki mexanizm — kimyoviy faollik va fizik mikroto‘ldirish — birgalikda ishlashi mumkin [1, 2].

Biroq mikrokremnezemning samarasi faqat uning foiz ulushiga bog‘liq emas. Disperslanish darajasi, boshlang‘ich namlik, zarrachalarning to‘planib qolishi, sementning mineral tarkibi va S/B nisbati ham muhim. Mikrokremnezem ortiqcha kiritilganda suvning katta qismi zarracha sirtlarini namlash uchun sarflanadi; natijada qolipga quyish, nasos bilan uzatish yoki yupqa qatlam surtish qiyinlashishi mumkin. Shu sababli muayyan qorishma uchun «qancha ko‘p bo‘lsa, shuncha yaxshi» tamoyili noto‘g‘ri [2].

Suvda eruvchan polimerlarning vazifasi. HPMC va shunga o‘xshash sellyuloza efirlari suvli muhitda qovushqoqlikni oshirishi, suvning tez ajralishini cheklashi va tarkibning bir xilliligini saqlashga ko‘maklashishi mumkin. Chen va hammualliflar HPMC ning suvni ushlab turish mexanizmi zarrachalararo bog‘lanish va suv migratsiyasi bilan uzviy bog‘liqligini ko‘rsatgan [5]. Patural va hammualliflar tadqiqotida sellyuloza efirlarining molekulyar massasi qorishmaning konsistensiyasi va suvni ushlab qolishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi ta’kidlangan [3].

Eruvchan polimerlar hamma holatda bir xil ta’sir ko‘rsatmaydi: ayrim turlari quyuqlashtiruvchi, boshqalari sirtga adsorbsiyalanuvchi yoki plyonka hosil qiluvchi sifatida namoyon bo‘ladi. Molekulyar massa, almashtirish darajasi, ion xususiyati, eritma ishqoriyligi va konsentratsiya o‘zgarganda gidratatsiya hamda reologik xulq ham o‘zgaradi. Polimer dozasi haddan ortsa, boshlang‘ich qotish vaqti cho‘zilishi yoki havoning aralashishi kuchayishi mumkin [4, 6, 7].

Qayta dispersiyalanuvchi polimer kukunlarining vazifasi. Bunday kukunlar quruq aralashmaga qulay kiritiladi, suv qo‘shilganda polimer dispersiyasini hosil qiladi va qurish hamda qotish jarayonida organik fazaning uzluksizligi ortishi mumkin. Olingan plyonka mineral skeletni to‘liq almashtirmaydi, balki uning ayrim yuzalari va kontakt zonalarini modifikatsiyalaydi. Natijada egiluvchanlik, asosga yopishish hamda ayrim namlik xususiyatlari yaxshilanishi mumkin. Shu bilan birga, kukun turiga va miqdoriga ko‘ra havoning kirishi hamda siqilish mustahkamligining pasayishi kuzatilishi ehtimoli bor [7–9].

Mineral va organik komponentlarning sinergiyasi. Mikrokremnezem qotgan strukturaning mineral qismini zichlashtirish imkonini bersa, polimer elastikroq faza hamda yuzalararo bog‘lanish hosil qilish orqali ayrim mo‘rtlik kamchiliklarini yumshatishi mumkin. 2026-yilda chop etilgan bir tadqiqotda qayta dispersiyalanuvchi polimer kukuni bilan cho‘ktirilgan kremniy dioksid birgalikda qo‘llanganda yaxshilangan ko‘rsatkichlar qayd etilgan; biroq ushbu ishdagi cho‘ktirilgan SiO_2 mikrokremnezemga aynan teng material emas va undagi optimal foizlarni boshqa tarkiblarga bevosita ko‘chirish ilmiy asosga ega bo‘lmaydi [8].

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

Uch komponentli tizimda mikrokremnezem va HPMC birgalikda harakatchanlikni pasaytirishi mumkin, chunki biri zarracha sirti orqali, ikkinchisi esa suyuq faza qovushqoqligi orqali ta'sir ko'rsatadi. VAE kukuni qo'shilganda esa mavjud surfaktantlar, gidratatsiyalanuvchi sement ionlari va polimer fazaning birga ishlashi yanada murakkab jarayonlarni keltirib chiqaradi. Shu bois mikrokremnezem + HPMC, mikrokremnezem + VAE va uchala modifikator kombinatsiyalari alohida tekshirilishi kerak.

Tarkibiy farqlarni hisobga olish. «Suvda eruvchan polimer kukuni» iborasi bilan «suvda qayta dispersiyalanuvchi polimer kukuni» aynan bir xil material anglatilmaydi. Masalan, PVA ning ayrim navlari suvda eriydi, VAE asosidagi RDP esa asosan qayta dispersiyalanadi. Tabiati turlicha bo'lgan bu moddalarni bitta umumiy kategoriyaga kiritib, bir xil doza bilan taqqoslash noto'g'ri natijalarga olib kelishi mumkin. Ushbu maqoladagi 2-jadval VAE + HPMC model juftligiga asoslangan; PVA tanlansa, alohida sinov seriyasi tuzilishi shart [6, 7, 10].

3-jadval. Asosiy ilmiy omillar va ular bo'yicha tekshiriladigan ko'rsatkichlar

Omil	Sinovda o'zgarishi mumkin bo'lgan holat	Baholash ko'rsatkichi
Mikrokremnezem ulushi	Mikroto'ldirish va suvga talab balansi	Oqim diametri, g'ovaklik, mustahkamlik
VAE kukuni dozasi	Plyonka hosil bo'lishi va havo miqdori	Yopishish, egilish va siqilish mustahkamligi
HPMC dozasi	Suv saqlanishi va qovushqoqlik	τ_0, μ_p, suvni ushlab turish
S/B nisbati	Ishlov beriluvchanlik va kapillyar g'ovaklar	Yoyilish, siqilish mustahkamligi, suv shimishi
Qotish/parvarish vaqti	Gidratatsiya va polimer faza shakllanishi	1, 7, 28, 56/90 sutkalik ko'rsatkichlar

TAKLIF ETILGAN TADQIQOT YO'NALISHINING ILMIY AHAMIYATI

Adabiyotlar tahlilidan kelib chiqib, ushbu yo'nalishdagi asosiy ilmiy masala organik va mineral qo'shimchalar miqdorining oddiy mustaqil ta'sirini emas, balki ularning o'zaro ta'sirini miqdoriy tavsiflashdan iborat, deb qarash mumkin. Buning uchun dastlab 2-jadvaldagi nazorat va kombinatsion tarkiblar bir xil metodika asosida solishtiriladi. Eng istiqbolli hudud aniqlangach, mikrokremnezem, polimer va suv sarfi bo'yicha kengaytirilgan omilli reja tuziladi.

Tanlangan natija ko'rsatkichlaridan bir vaqtning o'zida foydalanish maqsadga muvofiq: texnologik talab sifatida ma'lum yoyilish yoki ishlov berish vaqtini saqlash, fizik-mexanik talab sifatida 28 sutkalik mustahkamlikning nazorat qiymatiga nisbatan kamayib ketmasligi, ekspluatatsion talab sifatida suv shimishi va yopishish ko'rsatkichlarining talab darajasida bo'lishi. Bu yondashuv bitta xossani yaxshilash evaziga qolganlarini yomonlashtiradigan tarkiblarni tanlab olish xavfini kamaytiradi.

Struktura–xossa bog'liqligini tekshirish uchun imkoniyat mavjud bo'lsa rentgen-faza tahlili (XRD), skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), termogravimetrik tahlil (TGA) va g'ovaklikni baholash usullari qo'llanishi mumkin. Mikrokremnezemning pussolan ta'sirini faqat mustahkamlik ko'rsatkichi bilan isbotlab bo'lmaydi; gidratatsiya mahsulotlari va kalsiy gidroksid miqdoridagi o'zgarishlar ham ko'rib chiqilishi zarur.

Iqtisodiy va ekologik baholashda mahalliy manbalardan olingan sifat ko'rsatkichlari tasdiqlangan materiallarni qo'llash, mineral qo'shimcha hisobiga sement sarfi qisqarish ehtimoli va polimer kukunining qo'shimcha qiymati birgalikda tahlil qilinadi. Mikrokremnezemning mavjudligi avtomatik

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

ravishda ekologik samaradorlikni anglatmaydi: tashish masofasi, quritish va disperslash energiyasi hamda mahsulotning xizmat muddati hisobga olinishi kerak.

XULOSA

1. Mikrokremnezem, suvda eruvchan polimerlar va qayta dispersiyalanuvchi polimer kukunlari sement asosidagi mayda dispers kompozitsiyalarda turli, ammo o'zaro bog'liq vazifalarni bajaradi. Mikrokremnezem mineral skeletning zichlashishiga yordam berishi mumkin; polimerlar esa qorishmaning suv saqlashi, qovushqoqligi va deformatsiyalanish xususiyatlarini o'zgartiradi.

2. Modifikatorlarning birgalikdagi qo'llanishi ma'lum tarkiblarda foydali natija berishi ehtimoli mavjud, biroq bunday natija barcha sementlar, polimerlar va parvarishlash sharoitlari uchun universal emas. Modifikatorlarning haddan ziyod dozasi suvga talabni oshirishi, qotishni kechiktirishi yoki ayrim mexanik xossalarni pasaytirishi mumkin.

3. Dastlabki tekshirish uchun mikrokremnezemni bog'lovchi massasiga nisbatan 0–10% doirasida sement o'rniga qo'llash, VAE kukuni va HPMC ni alohida hamda kombinatsiyada taqqoslashga asoslangan tajriba matritsasi taklif etildi. Bu intervallar tayyor optimal tarkib emas, balki eksperimental rejalashtirish uchun boshlang'ich taxminlardir.

4. Keyingi tadqiqotlarda reologik ko'rsatkichlar, qotish kinetikasi, mustahkamlik, yopishish, g'ovaklik va suv shimishi yagona dastur asosida baholanishi lozim. Ilmiy asoslangan modifikatsiya yechimi faqat nazorat namunalari bilan taqqoslanadigan, takrorlanuvchi laboratoriya natijalaridan so'ng tavsiya qilinishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. ASTM International. ASTM C1240-20. Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures. West Conshohocken, PA, 2020. DOI: 10.1520/C1240-20.
2. Lou Y., Khan K., Amin M. N., Ahmad W., Deifalla A. F., Ahmad A. Performance characteristics of cementitious composites modified with silica fume: A systematic review. Case Studies in Construction Materials. 2023;18:e01753. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01753.
3. Patural L., Marchal P., Govin A., Grosseau P., Ruot B., Devès O. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars. Cement and Concrete Research. 2011;41(1):46–55. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.004.
4. Feng K., Ma K., Yang H., Long G., Xie Y., Zeng X., Tang Z., Usman I. U. Influence of cellulose ethers on rheological properties of cementitious materials: A review. Journal of Building Engineering. 2024;110347. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110347.
5. Chen N., Wang P., Zhao L., Zhang G. Water Retention Mechanism of HPMC in Cement Mortar. Materials. 2020;13(13):2918. DOI: 10.3390/ma13132918.
6. Barbhuiya S., Das B. B. Water-soluble polymers in cementitious materials: A comprehensive review of roles, mechanisms and applications. Case Studies in Construction Materials. 2023;19:e02312. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02312.
7. Tripathi B. Effects of Polymers on Cement Hydration and Properties of Concrete: A Review. ACS Omega. 2024;9(2):2014–2021. DOI: 10.1021/acsomega.3c05914.
8. Zhang S., Weng Y., Chen B. Synergistic mechanism of redispersible polymer powder and precipitated silica in cement mortar: A microstructural and performance study. Journal of Building Engineering. 2026;125:116023. DOI: 10.1016/j.jobe.2026.116023.

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

9. Wang R., Wang P. Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. Construction and Building Materials. 2011;25(11):4210–4214. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.04.060.
10. Nitin, Chaudhary V., Yeshpal. Review of advanced cementitious composites using water soluble polymer based admixture. Journal of Applied Polymer Science. 2024;141(22):e55430. DOI: 10.1002/app.55430.
11. ASTM International. ASTM C1437. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. West Conshohocken, PA.
12. European Committee for Standardization. EN 1015-3:1999 (+ amendments). Methods of test for mortar for masonry — Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).
13. ASTM International. ASTM C109/C109M. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). West Conshohocken, PA.

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