

YUQORI MARKALI SEMENT OLIISH UCHUN POLIKARBOKSILAT-MIKROKREMNEZEM VA METAKAOLIN ASOSIDAGI ORGANO-MINERAL QO'SHIMCHALAR TARKIBI VA QO'LLASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH"

Yuldoshov Jovohir Abdijalil o'g'li

Qarshi Conch sement zavodi katta laboranti

javohiryuldoshov045@gmail.com

Tel: +998 97 636 63 45

t.f.d., k.i.x., **Ismailov Feruz Sabirovich,**

Qarshi State Technical University,

E-mail: ismoilovferuz54@gmail.com

ORCID-0009-0002-4166-7541

Tel: +998 91 210 25 55

Annotatsiya.

Yuqori markali sement olishda faol mineral komponentlarning reaksiya imkoniyatini polikarboksilat superplastifikatorlarning disperslovchi ta'siri bilan uyg'unlashtirish tarkib va texnologiyani birgalikda optimallashtirishni talab qiladi. Mazkur maqola loyihasining maqsadi polikarboksilat efiri (PCE), mikrokremnezem (MKr) va metakaolin (MK) asosidagi organo-mineral qo'shimchalarning tarkibini tanlash hamda ularni sementga kiritish texnologiyasini ilmiy asoslashdan iborat. PCE-SF, PCE-MK va PCE-SF-MK tizimlarini qo'shimchasiz, faqat PCE hamda faqat mineral komponentlar saqlovchi tarkiblar bilan qiyoslash taklif etiladi. Tadqiqot dasturi xomashyoni rentgen-fluorescent va rentgen-diffraksiya tahlil qilish, zarrachalar dispersligini aniqlash, polimer sarflanishini umumiy organik uglerod usulida baholash, reologik o'lchovlar, izotermik kalorimetriya, termogravimetriya va mustahkamlik sinovlarini birlashtiradi. Bir xil suv/bog'lovchi nisbatidagi tajribalar hamda teng yoyilishdagi sinovlar alohida tashkil etiladi. Sement mustahkamlik sinfi standart sinovlar orqali baholanadi. Taklif etilgan yondashuv mineral komponentlar nisbati, PCE miqdori va aralashtirish ketma-ketligining o'zaro ta'sirini aniqlashga qaratilgan. Maqbul tarkib eng katta yoyilish bilangina emas, balki mustahkamlik, qotish, barqarorlik va sarf

ko'rsatkichlari majmuasi orqali tanlanadi. Tajribalar bajarilmaguncha muayyan mustahkamlik sinfi, optimal doza va iqtisodiy samaradorlik tasdiqlangan natija sifatida ko'rsatilmaydi.

Kalit so'zlar: portland sement; organo-mineral qo'shimcha; polikarboksilat; mikrokremnezem; metakaolin; adsorbsiya; gidratatsiya; reologiya; mustahkamlik.

1 Kirish.

Sementning mustahkamligini oshirish uchun uning mineral tarkibi, dispersligi, gidratatsiya jarayoni va qotgan toshning g'ovak tuzilishini o'zaro bog'liq holda boshqarish zarur. Faol mineral komponentlarni qo'llashda ularning suv talabchanligi va kimyoviy qo'shimchalar bilan mosligi muhim ahamiyat kasb etadi. Mineral komponent miqdorini ko'paytirish o'z-o'zidan yuqori mustahkamlikni ta'minlamaydi: bunda klinker ulushining kamayishi, qorishmaning joylashuvchanligi va keyingi reaksiyalarning rivojlanishi birgalikda baholanishi kerak. Polikarboksilat efirlari asosiy zanjirdagi funksional guruhlar va yon poliefir zanjirlar orqali mineral yuzalar bilan ta'sirlashadi. Ularning disperslovchi samarasi polimerning molekulyar tuzilishi hamda adsorbent yuzasining xususiyatlariga bog'liq. Plank va hammualliflar (2009) ayrim PCE tuzilmalari sementni, boshqalari esa mikrokremnezemni samaraliroq disperslashini ko'rsatgan. Bu natija mineral aralashma uchun superplastifikatorni faqat savdo nomi yoki tavsiya etilgan dozasi asosida tanlash yetarli emasligini anglatadi. Mikrokremnezem bilan ishlashda uning yuqori dispersligi va aglomeratsiyalanishini hisobga olish lozim. Meng va hammualliflar (2016) SF mavjudligida gidratatsiyaning jadallashishi PCE ishtirokida cheklanishi mumkinligini aniqlagan. Polimerning yuzaga adsorbsiyalanishi gidratlar hosil bo'ladigan markazlarning mavjudligiga va ularning o'sishiga ta'sir qiladi. Shuning uchun dastlabki yoyilishning yaxshilanishi bilan erta mustahkamlik rivojlanishi o'rtasidagi munosabat tajribada tekshirilishi zarur. Metakaolin saqllovchi tizimlarda eritmaning ion tarkibi ham hisobga olinadi. Real va hammualliflar (2025) Ca^{2+} va sulfat ionlarining birgalikdagi ishtiroki metakaolin zarrachalarining o'zaro ta'sirini o'zgartirishini, PCE esa zarrachalar aglomeratsiyasini kamaytirishi mumkinligini ko'rsatgan. Mazkur kuzatuvlar sof metakaolin suspenziyalariga taalluqli bo'lib, ularni sementning reaksiyaga kirishayotgan ko'p fazali tizimiga bevosita ko'chirish uchun alohida tekshiruv talab etiladi. Schroefl va hammualliflar (2012) sement va mikrokremnezem yuzalarida PCEning tanlab adsorbsiyalanishini tadqiq qilgan. Ushbu ilmiy asosdan kelib chiqib, SF

va MK birgalikda qatnashgan bog'lovchida polimerning umumiy sarflanishi bilan uning samarali disperslovchi ta'sirini ajratish dolzarb hisoblanadi. Adsorbsiya miqdorining ortishi barcha hollarda yoyilish yoki mustahkamlik ortishini bildirmaydi. Tadqiqotning maqsadi PCE-SF va PCE-MK tarkiblarini qiyoslash, ularning kombinatsiyasi uchun mineral nisbat va polimer dozasini tanlash hamda quruq kompleks qo'shimchani tayyorlash va sementga kiritish usulini ishlab chiqishdir. Tekshiriladigan gipotezaga ko'ra, bir xil mineral almashtirish ulushida SF/MK nisbati va PCE dozasini muvofiqlashtirish qorishmaning disperslanishi bilan qotishdan keyingi mustahkamligi o'rtasida maqbul muvozanat hosil qilishi mumkin. Ishning potensial ilmiy hissasi mavjud komponentlarning o'zini yangilik sifatida ko'rsatishda emas, balki mahalliy xomashyo va muayyan PCE uchun tarkib-adsorbsiya-gidratatsiya-mustahkamlik bog'liqligini nazorat tajribalari bilan miqdoriy aniqlashdadir. Ilmiy yangilik haqidagi yakuniy da'vo o'lovlar va tegishli adabiyotlar bilan qiyoslashdan keyin shakllantiriladi.

2 Materiallar va usullar.

Ushbu bo'lim bajarilishi taklif etilgan tajriba protokolini bayon etadi. Tajribalar tugagach, haqiqiy asbob modellari, xomashyo partiyalari, rejimlar va chetlanishlar bilan yangilanadi. Asosiy obyekt- tayyor portlandsementning bir qismini faol mineral komponentlar bilan almashtirish orqali olinadigan kompozitsion bog'lovchi. Klinker va gipsni birgalikda maydalash jarayoniga doir xulosalar mazkur tajriba chegarasiga kirmaydi.

2.1 Xomashyo va uning tavsifi.

Bir xil partiyadagi portlandsement, mikrokremnezem, metakaolin va suvda qayta eruvchan kukunsimon PCE tanlanadi. PCEning faol polimer ulushi ishlab chiqaruvchi hujjati yoki tekshirilgan tahlil bilan aniqlanadi. Kukun tarkibida tashuvchi, ko'pik so'ndiruvchi yoki boshqa yordamchi modda mavjud bo'lsa, ularning ulushi va ta'siri alohida qayd etiladi. Olingan kukun eritmasining quruq qoldig'ini faol polimer miqdori bilan avtomatik ravishda tenglashtirish mumkin emas. Sement va mineral komponentlar uchun oksid tarkibi XRF, usuli orqali tavsiflanadi. Namlik, kuydirishdagi massa yo'qotilishi va zichlik aniqlanadi. Metakaolinning kelib chiqishi hamda kalsinatsiya tarixi ko'rsatiladi. Xomashyo tarkibi noma'lum bo'lsa, unga oldindan aniq SiO_2 yoki Al_2O_3 miqdori biriktirilmaydi.

1-jadval

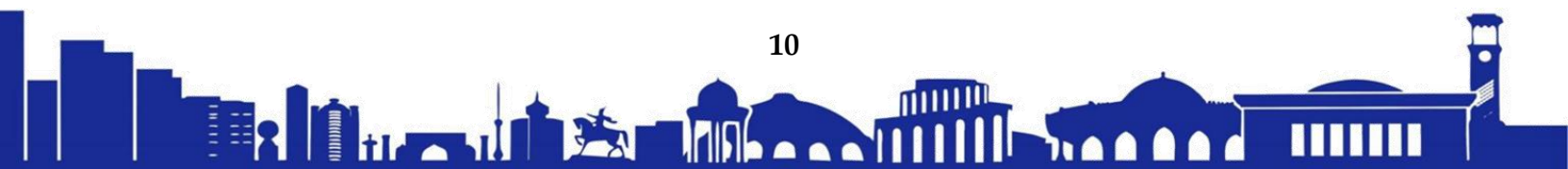


PCE darajasi	Superplastifikator, sement massasiga nisbatan %	Superplastifikator massasi, g	Faol ulushi shartli ravishda 90% bo'lgan PCE mahsuloti, g	Mahsulotning faol bo'lmagan qismi, g
P0 nazorat	0	0	0	0
P10	0,10	1,00	1,11	0,11
P20 dastlabki miqdori	0,20	2,00	2,22	0,22
P30	0,30	3,00	3,33	0,33

Tajriba tarkiblari va taqqoslash shartlari.

Bog'lovchining hisobiy massasi portlandsement, SF va MK quruq massalari yig'indisi sifatida olinadi; PCE bu yig'indiga kiritilmaydi. Dastlabki qiyoslashda mineral almashtirish ulushi 10% qilib olinadi. Bu qiymat tanlangan boshlang'ich tadqiqot nuqtasi bo'lib, optimal miqdor deb talqin etilmaydi. PCE dozalari faol quruq polimerning bog'lovchi massasiga nisbati orqali ifodalanadi.

PCE miqdori 0,20% faol polimerga mos keladi. Masalan, faol ulushi 90% bo'lgan kukun ishlatilsa, 2 g faol polimer uchun 2,22 g mahsulot talab etiladi. SMP namunasi uchun 900 g sement, 50 g SF, 50 g MK va 2,22 g PCE mahsuloti olinadi. Mahsulot bilan kiradigan tashuvchi ham massa balansida qayd etiladi. Bu hisob retsepturani tushuntirish uchun berilgan; mahsulotning 90% faolligi haqiqiy xomashyo tavsifi sifatida qabul qilinmaydi. Keyingi optimallashtirishda mineral almashtirish ulushi 5, 10 va 15%; mineral qismdagi SF ulushi 0, 50 va 100%; PCE dozasi esa 0,10, 0,20 va 0,30% darajalarda o'rganilishi taklif etiladi. To'liq kombinatsiya 27 tajriba nuqtasini beradi. Har bir mineral tarkib uchun PCEsiz nazorat, shuningdek tegishli PCE dozasiidagi sof sement nazorati qo'shiladi. Bu oraliq yetarli disperslanishni ta'minlamasa, yangi doza oraliq'i dastlabki



skrining asosida belgilanadi va protokolda qayd etiladi. Tajribalar uchta alohida yo‘nalishda olib boriladi. Birinchi yo‘nalishda tarkiblar bir xil suv/bog‘lovchi nisbatida taqqoslanadi. Ikkinchisida yoyilish tenglashtirilib, talab etilgan suv miqdori aniqlanadi. Uchinchisida tayyor mahsulotning mustahkamligi tegishli standart sharoitida sinaladi. Birinchi va ikkinchi yo‘nalish natijalari texnologik ta’sirni tushuntiradi; ular o‘z-o‘zidan sementga yangi mustahkamlik sinfi berish uchun asos bo‘lmaydi.

2-jadval.

Tarkib kodi	Mineral almashtirish ulushi, %	Mineral qismdagi SF ulushi, %	Portlandsement, g	SF, g	MK, g	Jami bog‘lovchi, g
M5-S0	5	0	950	0	50	1000
M5-S50	5	50	950	25	25	1000
M5-S100	5	100	950	50	0	1000
M10-S0	10	0	900	0	100	1000
M10-S50 (SMP mineral tarkibi)	10	50	900	50	50	1000
M10-S100	10	100	900	100	0	1000
M15-S0	15	0	850	0	150	1000
M15-S50	15	50	850	75	75	1000
M15-S100	15	100	850	150	0	1000

Kompleks qo‘shimchani tayyorlash texnologiyasi



Quruq kompleks qo'shimcha tayyorlash uchun mineral komponentlar namlik bo'yicha nazorat qilinadi va mavjud aglomeratlar ehtiyotkorlik bilan parchalanadi. PCEdan oldin bajarilgan mineral quritish zarur bo'lsa, uning harorati hamda davomiyligi xomashyo xususiyatiga mos tanlanadi. PCE qo'shilgandan keyin yuqori haroratli ishlov berish rejalashtirilmaydi. SF va MKni dastlab bir jinsli aralashtirish, so'ng PCE kukunini geometrik suyultirish orqali oz-ozdan kiritish taklif etiladi. Laboratoriya quruq aralashtirish uchun 3, 6 va 9 daqiqa boshlang'ich tadqiqot darajalari sifatida tekshiriladi. Aralashtirgich turi, idishning to'lish koeffitsiyenti, aylanish tezligi va yuklama massasi bayonnomada ko'rsatiladi. Tayyor aralashmaning kamida besh nuqtasidan namuna olinib, PCEning taqsimlanishi tekshiriladi. Mineral fon hisobga olingan uglerod tahlili yoki validatsiyalangan ajratib olish usuli bir jinslilik ko'rsatkichi sifatida qo'llanadi. Kompleks qo'shimcha nazorat qilingan sementga aralashtirish bosqichida kiritiladi. Bir xil yakuniy tarkibda uch variant qiyoslanadi: oldindan tayyorlangan quruq kompleks; mineral va PCEni alohida quruq dozalash; ayni PCE kukunini suvda eritib, mineral komponentlarni quruq kiritish. Eritish suvi umumiy qorishma suviga kiritiladi. Har uch variantda faol PCE miqdori va umumiy suv bir xil ushlab turiladi. Shunday yondashuv tayyorlash usulining ta'sirini kimyoviy tarkib ta'siridan ajratadi. Texnologik ketma-ketlik xomashyoni tavsiflash, namlikni tekshirish, mineral fraksiyani tayyorlash, PCEni dozalash, bir jinsli aralashtirish, sementga kiritish va mahsulotni nazorat qilish bosqichlaridan iborat. Saqlash barqarorligi uchun yangi tayyorlangan hamda 7 va 28 kun saqlangan qo'shimchalarning eruvchanligi, bir jinsliliigi va disperslovchi samarasi qiyoslanadi. Ushbu tekshiruvlar ishlab chiqarish uchun saqlash muddatini belgilashga dastlabki asos beradi.

Qorishma tayyorlash va reologik xossalari

Standartdan tashqari skrining pastalari uchun boshlang'ich suv/bog'lovchi nisbati 0,35 qilib olinishi taklif etiladi. Suv va materiallar harorati 20 ± 2 °C atrofida barqarorlashtiriladi. Barcha tarkiblar uchun bir xil aralashtirish jadvali qo'llanadi: 60 soniya past tezlik, 30 soniya devorlarni tozalash va 120 soniya yuqori tezlik. Asbobning haqiqiy tezliklari va geometriyasi ko'rsatiladi; mazkur jadval standart mustahkamlik sinovi protokoli o'rnini bosmaydi. Yoyilish bir xil mini-konusda suv bilan dastlabki kontaktdan keyingi 5, 30 va 60 daqiqalarda aniqlanadi. Konus o'lchamlari, ko'tarish usuli, taglik holati va qayta aralashtirish tartibi qayd etiladi. Diametr ikki o'zaro perpendikulyar yo'nalishda o'lchanadi. Saqlash vaqtida idish yopiladi. Teng yoyilish seriyasida 5-



daqiqadagi nazorat yoyilishi maqsad qilib olinadi va suv miqdori yangi qorishmalarda bosqichma-bosqich tanlanadi. Reometr mavjud bo'lsa, oldindan siljitish, dam olish hamda tezlikni oshirish va kamaytirish bosqichlari barcha tarkiblar uchun bir xil qilinadi. Oqish chegarasi va qovushqoqlik modelning mosligi tekshirilgandan keyin hisoblanadi. Faqat yoyilish diametri asosida plastik qovushqoqlikning aniq qiymati chiqarilmaydi. Zichlik, havo miqdori va ajralish belgilari ham qayd etilib, keyingi mustahkamlik talqinida hisobga olinadi.

Polimer sarflanishi va adsorbsiya

Polikarboksilatning suyuq fazada qolgan ulushi umumiy organik uglerod (TOC) usuli bilan aniqlanadi. Kalibrlash aynan ishlatilayotgan PCE bilan bajarilib, uglerod konsentratsiyasi faol polimer konsentratsiyasiga o'tkaziladi. Sement, SF, MK, suv va filtr uchun fon namunalari olinadi. Filtrning polimerni ushlab qolishi ma'lum konsentratsiyali eritmalarida tekshiriladi. 5, 30 va 60 daqiqalik namunalar mustaqil aralashmalardan olinadi.

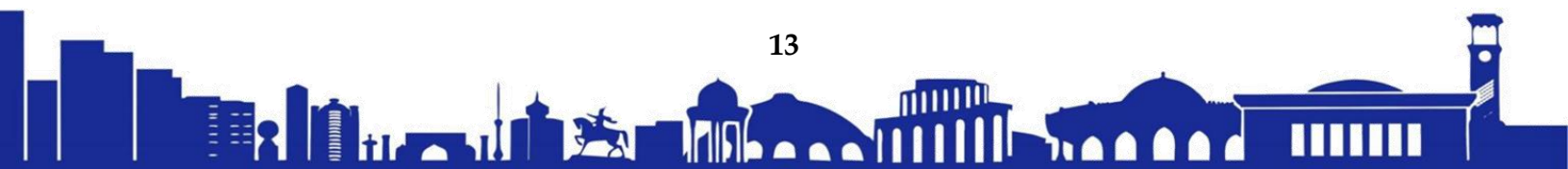
Ma'lum suyuqlik hajmida bajarilgan suspenziya sinovi uchun polimerning ko'rinma sarflanishi quyidagicha hisoblanadi:

$$q = \frac{(C_0 - C_t) V}{m_s}$$

Bu yerda q - mg/g birlikdagi ko'rinma sarflanish; C_0 va C_t - fon va suyultirishga tuzatilgan boshlang'ich hamda t vaqtdagi polikarboksila konsentratsiyasi, mg/L; V - suyuq fazaning hisobiy hajmi, L; m_s - qattiq faza massasi, g. Gidratatsiyalanuvchi quyuq pastada ajratib olingan filtrat hajmini umumiy suyuq faza hajmiga tenglashtirish mumkin emas. Ishonchli massa balansi bo'lmasa, qoldiq konsentratsiya beriladi va mutlaq adsorbsiya miqdori hisoblanmaydi. Suyuqlikdagi polikarboksila kamayishi adsorbsiya bilan bir qatorda gidratlar ichida ushlanish yoki cho'kishni ham aks ettirishi mumkin. Shu sabab ushbu ko'rsatkich dastlab ko'rinma sarflanish deb yuritiladi. SF va MKning alohida model suspenziyalaridagi natijalar aralash bog'lovchi bilan qiyoslanadi. Aralash pastaning TOC natijasidan polikarboksilaning aynan qaysi mineralga qancha adsorbsiyalangani bevosita chiqarilmaydi.

Gidratatsiya va qotgan struktura

Izotermik kalorimetriya 20 °C da 72 soat davomida o'tkazilishi taklif etiladi. Issiqlik oqimi va yig'indi issiqlik bog'lovchi massasiga hamda boshlang'ich



portlandsement massasiga nisbatan alohida normallashtiriladi. Ikki xil normallashtirish mineral almashtirish tufayli yuzaga keladigan suyultirish ta'sirini aniqlashga yordam beradi. Induksiya davri, asosiy maksimum va unga erishish vaqti taqqoslanadi. 2, 7 va 28 sutkalik pastalarda XRD, TGA/DTG va SEM-EDS tahlillari bajarilishi rejalashtiriladi. Gidratatsiyani to'xtatish, quritish va karbonatlanishdan himoyalash barcha namunalarda bir xil olib boriladi. TGA bo'yicha portlandit miqdorini baholashda boshlang'ich sement ulushi, karbonatlar va parchalanish sohalarining ustma-ust tushishi hisobga olinadi. SEM tasvirlari morfologiyani ko'rsatadi; gidrat fazalarini tasdiqlashda XRD va boshqa tahlillar bilan birgalikda ishlatiladi.

Mustahkamlik va sifat ko'rsatkichlari

Sement mustahkamligini baholash uchun BS EN 196-1:2016 asosidagi standart qorishma sinovi tanlanadi; qorishma tayyorlash, qoliplash, parvarishlash, yuklash va yaroqli natijalarni tanlash shu standartning to'liq laboratoriya nusxasiga muvofiq bajariladi. Qotish muddatlari va hajmiy barqarorlik BS EN 196-3:2016 doirasida tekshiriladi. Ushbu metodlar adabiyotlar ro'yxatida ko'rsatilgan; asbobsozlik tafsilotlari laboratoriya bayonnomasida beriladi. O'zgartirilgan suv/bog'lovchi nisbatidagi mexanik sinovlar alohida tadqiqot seriyasi sifatida belgilanadi. Ularning natijasini standart mustahkamlik sinfi bilan aralashtirishga yo'l qo'yilmaydi. Mahsulotga BS EN 197-1:2011 bo'yicha tasnif berish rejalashtirilsa, faqat 28 sutkalik mustahkamlik emas, tarkib va tegishli muvofiqlik mezonlari ham tekshiriladi. Milliy standart qo'llanganda aynan o'sha hujjatning amaldagi talablari asos qilib olinadi.

2.8 Statistik ishlov va maqbullashtirish

Asosiy qiyosiy tarkiblar kamida uchta mustaqil qorishma partiyasida takrorlanadi. Bir partiyadan olingan bir nechta sinov bo'lagi mustaqil partiya o'rnini bosmaydi. Namunalar tayyorlash tartibi tasodifiylashtiriladi, kun va xomashyo partiyasi zarur bo'lsa blok omili sifatida hisobga olinadi. Natijalar o'rtacha qiymat, standart og'ish va 95% ishonch oralig'i bilan beriladi. Mineral tarkib va PCE dozasi ta'siri, jumladan ularning o'zaro ta'siri dispersiya tahlili yoki mos regressiya modeli bilan baholanadi. Model qoldiqlari tekshiriladi; shartlar bajarilmasa, mos transformatsiya yoki muqobil model tanlanadi. Faqat qiymatiga tayanmasdan effekt kattaligi ham ko'rsatiladi. Maqbul variant oqish xususiyati, qotish, standart mustahkamlik va sarf cheklovlarini qanoatlantiruvchi tarkiblar orasidan tanlanadi hamda qo'shimcha mustaqil tajribada tekshiriladi.



Natijalar

Ushbu bo'lim tajriba yakunlari kiritiladigan shaklda tuzilgan. Quyidagi jadvaldagi «kiritiladi» yozuvi o'lchov hali berilmaganini bildiradi. Nazariy kutilma yoki adabiyot natijasi ushbu tadqiqotning o'lchangan natijasi sifatida yozilmaydi.

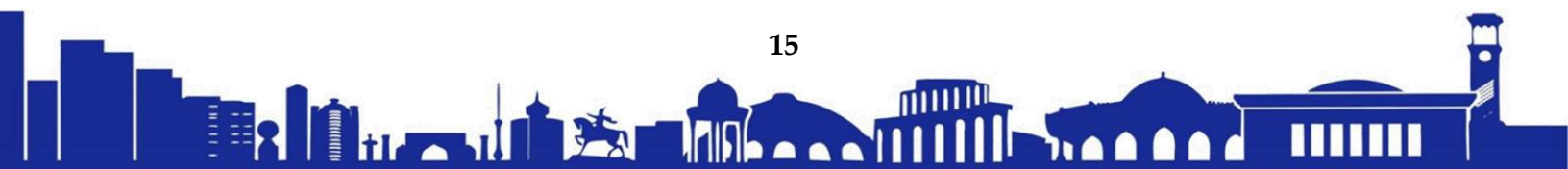
Tarkib va texnologik xossalar

Xomashyo tahlilidan keyin SF va MKning mineralogik xususiyatlari, dispersligi va PCE bilan mosligi birgalikda bayon etiladi. Quruq aralashmaning bir jinsliliigi hamda saqlashdan keyingi o'zgarishlari oldindan komplekslashning amaliy foydasini baholash uchun keltiriladi. Natija matni quyidagi shaklda to'ldiriladi: «[kod] tarkibining 5-daqiqadagi yoyilishi [o'rtacha $\pm$ standart og'ish] mm bo'lib, [nazorat kodi] bilan farqi [qiymat] mm ni tashkil etdi».

3-jadval.

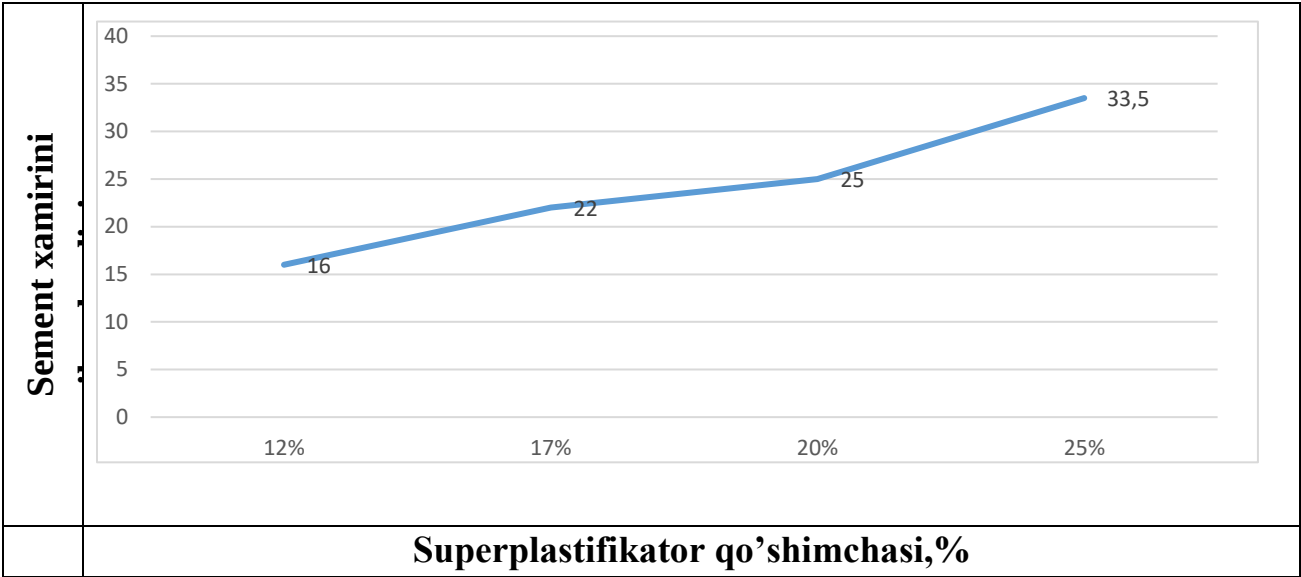
No	Sement miqdori	Sement massasiga nibatan qo'shimcha %	Suv /Sement miqdori	Mustaxkamlik, MPa
1	100	-	0.24	17
2	100	0.2	0.23	23.5
3	100	0.5	0.23	28
4	100	1	0.21	33
5	100	1.5	0.20	29

Qo'shimcha qo'llanilmagan namunada suv/sement nisbati 0.24 ni tashkil etib, sement toshining siqilishdagi mustahkamligi 17 MPaga teng bo'ldi. Ushbu namunani ko'rsatgichni boshlang'ich sifatida qabul qilib, keyingi natijalarni baholash uchun asos vazifasini bajaradi. Superplastifikatorni 0.2 % miqdorda qo'llanilganda suv/ sement nisbati 0.23 kamaytirish orqali 23.5 MPa mustahkamlikga yetdi. Bu holat qo'shimchaning dastlabki miqdoridayoq sement zarrachalarining yaxshi disperslanishini ta'minlaganini va sement pastasining ichki tuzilmasi nisbatan zichlashganini ko'rishimiz mumkin. Qo'shimcha miqdori 0.5% ga oshirilganda mustahkamlik 28 MPa ni tashkil qildi. Bunda



suv/semant nisbati 0.23 saqlanib qolgan holda, mustaxkamlikning ortishi plastifikatorning semant donachalari yuzasidan adsorbsiyalanib, ularning o'zaro yopishib qolishini kamaytirishi suv sarfini kamayishi va gidratatsiya mahsulotlarining bir tekis shakllanishi bilan izohlanadi. Bu holat semant toshini mikrostrukturasi takomillashib borayotganini bildiradi. Superplastifikatorni 1% miqdorda qo'llanilganda eng yaxshi natija erishildi. Suv/semant nisbati 0.21 gacha kamaytirish orqali semant toshining 28 kunlik mustahkamligi 33 MPa ni tashkil etdi. Bu natija nazorat namunasiga nisbatan yuqori darajada bo'lib, 1% miqdorda qo'llanishi allilglitsidil efiri asosida superplastifikator uchun optimal miqdor ekanligini ko'rsatdi. Aynan shu miqdorda qo'shimcha semant tizimining reologik xossalari yaxshilab, qorishmaning zichroq joylashishini, g'ovaklikning kamayishini va natijada qotgan semant toshining mutaxkamligi oshganini bildiradi. Biroq superplastifikator miqdori 1.5% qo'shilganda suv/semant nisbati 0.20 gacha kamaytirilganda mustahkamlik 29 MPa ga tushgan. Olingan natija, ya'ni plastifikator miqdorining ortishi har doim ham mustahkamlikning mutanosib ravishda ortishini ta'minlamaydi. Aksincha, qo'shimchaning ortiqcha miqdori semant zarrachalari yuzasidan haddan tashqari adsorbsiya sodir bo'lishiga, gidratatsiya jaryonining ma'lum darajada sekinlashishiga, sturtura shakllanishi muvozanatining buzilishiga hamda semant toshi ichki tuzilmasida noqulay holatlarning yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. Bundan kelib chiqib, sintez qilingan allilglitsidil efiri asosidagi superplastifikator semant kompozitsiyasida samarali plastifikatsilovchi ta'sir ko'rsatadi. Plastifikator qo'shimchasi semant xamirining suv talab chanligini kamaytiradi, zarrachalarning dispers holatini yaxshilaydi va semant toshining zichroq hamda mustahkamroq mikrostrukturaga ega bo'lishiga xizmat qiladi. Shu bilan birga, plastifikator qo'shimchasining optimal miqdorini tanlash muhim ahamiyat kasb etadi, chunki belgilangan miqdordan ortiqcha plastifikator qo'shish semant qorishmasining xossalari va mustahkamligiga sal'biy ta'sir ko'rsatadi. Allilglitsidil efiri asosidagi superplastifikator qo'shilgan semant toshini mustahkamligi ko'rsatgichlari GOST 310.4-81 bo'yicha amalga oshirildi. Qo'shimchaning samadorligini GOST 30459-2008 bo'yicha baholadik.

Sintez qilingan polikarboksilat superplastifikatori qo'llanganda semant xamirining reologik xossalari va semant toshining fizik-mexanik ko'rsatkichlaridagi asosiy o'zgarishlarni kompleks tashkil etish va tahlil qilish ishlarni amalga oshirildi.



1-rasm. Polikarboksilat superplastifikatori qo'shilgan sement xamirini yoyilishi.

Yuqorida keltirilgan 1-rasmdagi diagrammadan ko'rinib turibtki, polikarboksilat superplastifikatorini konsentratsiya miqdori sement hamirining oquvchanligiga sezilarni ta'sir qilmoqda. Superplastifikator massasiga 15% dan 30% gacha miqdorda foydalanildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, superplastifikator 25 %li eritma holida foydalanilganda plastifikasiyalash xossasi yaxshi natijani ko'rsatib, sement xamirining yoyiluvchanligi 33,5 sm ni tashkil qildi. Superplastifikator qo'shimchasi 17%li qo'llanilganda oquvchanlik 22 smni, 20%li superplastifikatori qo'shimchasi sement xamirini oquvchanligi 25 sm gacha yetdi. 12%li superplastifikator sement xamiriga qo'llanilganda eng past plastifikatsiyalash xossasini namoyon qilib, oquvchanlik 16 smni tashkil qildi. Bundan ko'rinadiki, biz sintez qilgan superplastifikator 25 %li eritmasi qo'shilganda sement xamirini reologik xossasiga yaxshi ta'sir qilishi o'rganildi.

O‘zaro ta’sir va texnologik variantning samarasi

Belgilangan mineral ulush va PCE dozasida qo'shimchalarning o'zaro ta'siri quyidagi kontrast orqali dastlabki baholanishi mumkin:

$$I = Y_{p+m} - Y_p - Y_m + Y_0$$

Y_{p+m} - PCE va mineral komponent birgalikdagi; Y_p - faqat PCE; Y_m - faqat mineral komponent; Y_0 - qo'shimchasiz nazorat ko'rsatkichi. Kontrast bir xil suv/bog'lovchi nisbati va bir xil sinov yoshida hisoblanadi. Mustahkamlik uchun musbat I qo'shiluvchan

ta'sirdan yuqori natijani ko'rsatishi mumkin, ammo uning ishonch oralig'i ham baholanadi. Teng yoyilish uchun suv miqdori o'zgartirilgan seriyada bu kontrast sof kimyoviy sinergiyani isbotlamaydi. Oldindan tayyorlangan kompleks qo'shimcha alohida dozalangan, bir xil yakuniy tarkibli aralashmadan ishonchli farq qilsa, texnologik usulning hissasi muhokama qilinadi. Farq aniqlanmasa, oldindan komplekslashni mustahkamlikni oshiruvchi alohida mexanizm sifatida ko'rsatish uchun asos bo'lmaydi; uning dozalash va bir jinslilikdagi afzalligi alohida baholanadi.

Muhokama

Natijalar talqinida polimerning suyuq fazadan sarflanishi, qorishma yoyilishi va kalorimetrik javob birgalikda ko'riladi. Agar PCE sarflanishi ortib, yoyilish pasaysa, bu holat samarali sterik barqarorlashtirish yetarli emasligi yoki yangi yuzalarning hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Bunday tushuntirish zarracha o'lchamlari, qoldiq polimer miqdori va vaqtga bog'liq reologik ma'lumotlar bilan tekshiriladi. Adsorbsiya natijasining o'zi mexanizmni to'liq isbotlamaydi. Agar yoyilish yaxshilanishi bilan asosiy issiqlik maksimumi kechiksa, polimerning disperslovchi ta'siri gidratatsiyaning sekinlashishi bilan bir vaqtda namoyon bo'lishi mumkin. Meng va hammualliflar (2016) ko'rsatgan SF-PCE munosabatlari bunday talqin uchun ilmiy asos beradi, biroq mahalliy materiallar uchun ta'sir miqdori tajribadan olinadi. Erta va keyingi yoshdagi mustahkamlikning farqli rivojlanishi shu vaqt omili bilan bog'lab baholanadi.

Mikrokremnezem va metakaolini qiyoslash

SF va MKning nisbiy samaradorligi bir xil mineral almashtirish ulushi, bir xil PCE dozasi va bir xil sinov sharoitida taqqoslanadi. Ularning kimyoviy va fizik farqlari alohida tahlil qilinadi. Eritma tarkibining MK zarrachalariga ta'siri haqidagi Real va hammualliflar (2025) natijalari sementdagi sulfat muvozanati va kaltsiy konsentratsiyasini nazorat qilish zarurligini ko'rsatadi. Shunga qaramay, model suspenziya natijasidan tayyor sementning mustahkamligi to'g'risida bevosita xulosa chiqarilmaydi. Portland sement miqdorining kamayishi putssolan reaksiyasiga mos kelishi mumkin, lekin sement ulushining kamayishi ham ayni yo'nalishda ta'sir qiladi. Shu sabab bu ikki omil normallashtirish va qo'shimcha tahlillar orqali ajratiladi. SEMda zichroq ko'rinadigan tuzilma mustahkamlik o'sishini izohlashga yordam beradi, ammo

miqdoriy g'ovaklik o'lchovi o'rnini bosa olmaydi. Suv sarfi, havo miqdori va zichlashtirish sifati mexanik natijalarga muqobil izoh sifatida tekshiriladi.

Yuqori markali sement olishning mezonlari

Yuqori markali sement haqidagi xulosa standart mustahkamlik natijalari hamda mahsulot tarkibining tanlangan tasnifga muvofiqligi bilan asoslanadi. Past suv/bog'lovchi nisbatida yuqori mustahkamlik olish qo'shimchani amaliy qiymatini ko'rsatishi mumkin, lekin standart sinovdagi sement sinfining ko'tarilganini mustaqil tasdiqlamaydi. Qo'lyozmada shu ikki natija alohida nomlanadi va ularning sinov sharoitlari ochiq bayon etiladi. Maqbul tarkibni tanlashda bir xil yoyilishdagi suv sarfi, standart mustahkamlik, qotish va mahsulot barqarorligi cheklov sifatida olinadi. Eng yuqori PCE dozasini avtomatik ravishda maqbul deb qabul qilish mumkin emas. Tajriba aniqligi doirasida bir xil natija bergan variantlar orasida kamroq sarf va sodda texnologiya afzal bo'lishi mumkin. Yakuniy tanlovning ishonchliligi mustaqil partiyalarda qayta tekshiriladi.

Texnik-iqtisodiy hisob bir xil talab etilgan sifatga ega bir tonna mahsulot uchun bajariladi. Sement, SF, MK, PCE, tayyorlash, aralashtirish, tashish va sifat nazorati xarajatlari haqiqiy narxlarda kiritiladi. Tayyor sementni mineral bilan almashtirish ulushi klinker ulushining aynan shuncha foiz kamayishini anglatmaydi; buning uchun dastlabki sementning klinker koeffitsiyenti ma'lum bo'lishi kerak. Uglerod izi hisobida ham materiallarning tegishli emissiya koeffitsiyentlari talab qilinadi. Tadqiqotning cheklovlari tanlangan sement va PCE partiyasi, mineral xomashyoning o'zgaruvchanligi hamda laboratoriya aralashtirish sharoitlari bilan bog'liq. Bir partiyadagi maqbul retsepturani barcha sementlarga tatbiq etish mumkin emas. Laboratoriya natijalarini sanoatga o'tkazishda dozalash aniqligi, aralashmaning ajralib ketishi va saqlash sharoitlari qayta tekshiriladi. Uzoq muddatli chidamlilik haqida xulosa chiqarish uchun mustaqil sinovlar zarur.

Xulosa.

PCE-mikrokremnezem, PCE-metakaolin va ularning kombinatsiyasi uchun tarkib va qo'llash usulini birgalikda baholovchi tadqiqot dasturi taklif etildi. Dastur tarkibiy nazoratlarni, quruq komplekslash usulini va komponentlarni alohida kiritish variantlarini qamrab oladi. Maqbul tarkibni aniqlashda polimerning ko'rinma sarflanishini reologiya, kalorimetriya va mustahkamlik bilan bog'lash ko'zda tutiladi. Ushbu yondashuv PCEning disperslovchi ta'siri hamda gidratatsiya kinetikasiga ta'sirini alohida baholash imkonini

beradi. Bir xil suv/bog'lovchi nisbatidagi tajribalar, teng yoyilishdagi texnologik sinovlar va standart mustahkamlik sinovlari alohida olib borilishi belgilandi. Yuqori markali sement olish haqidagi yakuniy xulosa tegishli standartlar bo'yicha olingan natijalarga tayanishi kerak. Mineral almashtirish ulushi, SF/MK nisbati, PCE dozasi va aralashtirish usulining optimal qiymatlari hozircha aniqlanmagan. Yakuniy eksperimental maqolada ushbu bandlar o'lgan ko'rsatkichlar, statistik ishonchlilik va texnologik cheklovlar bilan almashtiriladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Plank, J., Schroebl, C., Gruber, M., Lesti, M., & Sieber, R. (2009). Effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete: The importance of PCE compatibility with silica fume. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 7(1), 5-12. <https://doi.org/10.3151/jact.7.5>
2. Schroebl, C., Gruber, M., & Plank, J. (2012). Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research*, 42(11), 1401-1408. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.08.013>
3. Meng, W., Lunkad, P., Kumar, A., & Khayat, K. (2016). Influence of silica fume and polycarboxylate ether dispersant on hydration mechanisms of cement. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120(47), 26814-26823. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b08121>
4. Real, S., Bowen, P., Moreno, R., González-Panicello, L., Puertas, F., Hanafi, M., & Palacios, M. (2025). Impact of pore solution composition and superplasticizers on the interparticle forces and rheology of metakaolin suspensions. *Cement and Concrete Research*, 195, 107901. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.107901>
5. British Standards Institution. (2016a). *Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength (BS EN 196-1:2016)*. <https://knowledge.bsigroup.com/products/methods-of-testing-cement-determination-of-strength>
6. British Standards Institution. (2016b). *Methods of testing cement-Part 3: Determination of setting times and soundness (BS EN 196-3:2016)*. <https://knowledge.bsigroup.com/products/methods-of-testing-cement-determination-of-setting-times-and-soundness>

7. British Standards Institution. (2011). Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements (BS EN 197-1:2011). <https://knowledge.bsigroup.com/products/cement-composition-specifications-and-conformity-criteria-for-common-cements>