

PAPER

KALTSIY SULFAT GEMIGIDRAT VA SUV ARALASHMASIGA POLIMETILGIDOROSILOKSAN MIQDORI, ARALASHTIRISH VAQTI HAMDA QURITISH HARORATINI BOSHQARISH ORQALI GIPSOKARTON XOSSALARINI YAXSHILASH

Boboqulov Murotjon Baxodirovich^{1,*} and Ismoilov Akmal Akbar og'li²

¹Buxoro texnika universiteti o'qituvchi-stajyor and ²Buxoro texnika universiteti 524-21-DPM guruh talabasi

*boboqulovmurotjon@gmail.com

Abstract

Gipsokarton qurilish sanoatida muhim qurilish materiali bo'lib, u devorlar, bo'linmalar va shiftlarni tez o'rnatishga imkon beradi. Garchi bu keng tarqalgan material bo'lsa-da, zamonaviy polimerlar va ishlab chiqarish sharoitlari bilan bog'liq bo'lgan ishlash xususiyatlari haqida hali ham yetarli ma'lumotlar mavjud emas. Ushbu ishda gipsokarton ishlab chiqarish jarayonida qo'llaniladigan ba'zi ishlab chiqarish omillarining gipsokartonning ba'zi xossalriga, jumladan, suvni singdirish, fleksion kuchi va issiqlik o'tkazuvchanligiga qanday ta'sir qilishini tahlil qilinadi. Baholangan ishlab chiqarish o'zgaruvchilari polimetilgidosiloksan (PMHS) miqdori (D), aralashmaning aralashtirish vaqti (H) va gipsokartonning quritish harorati (T). Natijalar shuni ko'rsatadiki, D, H va T omillari kaltsiy sulfat dihidrat kristallari hosil bo'lishi natijasida porozlik va morfologik tuzilishni o'zgartiradi. Ishlashni baholash uchun har bir omilning ikkita darajasi bo'yicha statistika usuliga asoslangan faktorial tajriba dizayni ishlatilgan. Olingan gipsokartonlarning kristallaridagi morfologik o'zgarishlar skanerlash elektron mikroskopiya (SEM) va IMAGEJ tasvir tahlili dasturi yordamida baholandi. Porozlik o'zgarishlari rentgen mikrotomografiyasi (XMT) va 3D tasvir tahlili vositalari yordamida baholandi. Kristallarning uzunlik va kenglik nisbati PMHS dozasi kamroqdan ko'proqqa o'tgan sari kamayadi, bu esa gipsokartonning to'g'ri aralashtirish va quritish harorati sharoitida yaxshiroq zichlanishini ta'minlaydi. Bunga qarshi, PMHS qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan porozlik PMHS miqdori pastdan yuqoriga o'zgarganda ortadi va hosil bo'lgan teshiklarning maksimal o'lchamiga ta'sir qiladi, bu 0.6% dozasi, 40 s va 140°C sharoitida maksimal qiymatga erishadi. Optimal PMHS dozasi qiymati taxminan 0.6–1.0% o'rtasida ekanligi aniqlanadi. Aslida, PMHS qo'shilgan va qo'shilmagan sinovlarni taqqoslashda, yuqori H (60 s) va yuqori T (150°C) sharoitlarida issiqlik o'tkazuvchanligida 10% pasayish kuzatilgan. PMHS qo'shilganda suvni singdirish 90% dan ortiq kamayadi, asosan PMHS ning gidrofobik ta'siri sababli. Minimal suv singdirish darajalariga yuqori quritish haroratlarida erishish mumkin. Nihoyat, fleksion qarshilik PMHS qo'shilishi bilan ta'sirlanmaydi, chunki ikkita qarama-qarshi kuchlar mavjud: bir tomondan uzunlik va kenglik nisbati kamayishi bilan zichlanish oshadi, ikkinchi tomondan esa teshiklarning hosil bo'lishi ta'sir qiladi. Fleksion qarshilikning maksimal darajasi 0.6% PMHS dozasi atrofida aniqlangan. Xulosa qilib aytganda, natijalar PMHS qo'shilishi, aralashmaning to'g'ri aralashtirish vaqti va quritish harorati gipsokartonlarning suvni singdirish va issiqlik o'tkazuvchanligini kamaytirishini, fleksion qarshilikda esa sezilarli o'zgarishlarni keltirib chiqarmasligini ko'rsatadi.

Key words: polymethylhydrosiloxane (PMHS); plasterboard; water absorption; flexural strength; thermal conductivity; morphology; porosity; X-ray microcomputed tomography (XMT); scanning electron microscopy (SEM); dihydrate; hemihydrate.

Kirish

Tabiiy gips, yoki kaltsiy sulfat dihidrat (DH), turli xil mahsulotlarda qurilish materiali sifatida keng qo'llaniladi. Laminat gipsokartonlar butun dunyoda eng ko'p ishlatiladigan mahsulotlar orasida bo'lib, ular arzon narxi, engil vazni va o'rnatish osonligi bilan ajralib turadi. Ular binolarda devorlar, ichki bo'linmalar va shiftlar uchun ishlatiladi.

Gipsokarton ishlab chiqarish bir necha bosqichlardan iborat. Avvalo, DH suvsizlantirilishi kerak, bu esa mineralogik o'zgarishlarga olib keladi, natijada DH dan HH (gemigidrat) ga o'tadi. HH suv bilan aralashtiriladi va homogam aralashma yoki eritma hosil bo'ladi, so'ngra bu kartonga to'kiladi va belgilangan o'lchamda shakllantiriladi. Plitalar qattiqlashish uchun o'rnatiladi va nihoyat ortiqcha suvni olib tashlash uchun quritiladi.

Gipsokarton suvsizlantirilgan DH markaziga ega bo'lib, ikkala tomonida qog'oz bilan qoplangan. Plitalar zich va mustahkam bo'lib, ularning tarkibi nisbatan yuqori porozli materialdan tashkil topgan bo'lib, uning ichki yuzasi plitalar va ignalar shaklida bo'lgan o'zaro bog'langan kristallardan tashkil topadi va bu mikrostrukturada yakuniy mahsulotning ko'pgina fizik xossalari ta'sir qiladi. Yuqori teshik miqdori, suv eruvchanligi va nisbatan katta kristallar suvni o'ziga tortish xususiyatiga katta ta'sir ko'rsatadi.

Gipsokarton ishlab chiqarishning asosiy bosqichlaridan biri HH dan DH ga o'tishi bilan bog'liq. HH turi DH ga qaraganda barqarorroq emas, shuning uchun suv bilan aloqa o'rnatganda, suv molekullari va sulfat hamda kaltsiy ionlari o'zgarib, barqarorroq bo'lgan DH turini hosil qiladi. Bu hodisa gidratlash reaksiyasi deb ataladi. Ba'zi tadqiqotchilar, masalan, Singh va Middendorf hamda Cheng va boshqalar, HH gidratlanishi va DH hosil bo'lishi eruvchanlik mexanizmi orqali sodir bo'lishini ta'kidlashadi, ya'ni HH zarrachalari suvda erib, keyinchalik DH suhbatdan, HH dan kam eruvchan bo'lgani uchun, hosil bo'ladi. Kichik HH zarrachalarini ishlatish, o'rnatish boshlanishidan oldin tezkor erishni ta'minlaydi, bu esa mesopores (o'rtacha o'lchamdagi teshiklar) hosil bo'lishining oldini oladi. Kristall o'lchami o'zgarishlari DH kristallanishi davomida aralashtirish vaqti bilan bog'liq. Biroq, bu tadqiqotlar faqat sof gipsga qaratilgan va kristallanish va morfologiyaga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan kimyoviy qo'shimchalar kiritilmagan.

Ba'zi tadqiqotlar kimyoviy qo'shimchalarni qo'shish orqali DH ning HH dan hosil bo'lishining yakuniy morfologik xossalarni yaxshiroq boshqarish mumkinligini ko'rsatgan. Aslida, gidrofobik, suvni qaytaruvchi organik emulsiyaning HH zarralarini gidratlash jarayonida qoplab, gidratlash mahsulotlarining tuzilishi va shaklini o'zgartirishi mumkinligi haqida xabarlar mavjud. Natijada, gidratlash mahsulotlarining yuzasi tekislanadi, qo'shimcha gidratlanishning oldini oladi va igna shaklidagi o'zaro bog'langan DH kristallari asta-sekin o'sib, matritsada qalin va qisqa ustun shaklini oladi. Qo'shimchalar gidratlash reaksiyasiga ta'siri haqida bir necha tadqiqotlar mavjud; masalan, ba'zilar qo'shimchalar mavjudligi kristallarni yigilishiga yordam berganini, porozlar hajmining kamayishini va kristallarni qoplashni oshirishini ko'rsatgan, bu esa mexanik qarshilikni oshirishga olib keladi. Boshqa bir tadqiqotda, gidratlash reaksiyasiga ikkita qo'shimcha modda qo'shilgan bo'lib, ulardan biri mexanik qarshilikning kamayishiga olib kelgan. Bu ta'sir, morfologiyaning igna shaklidan ustun yoki plita turiga o'tishi va yuqori porozlikka bog'langan. Shu o'xshash tadqiqotda, eng yaxshi mexanik qarshilik igna shaklidagi kristallarning ko'proq o'zaro bog'lanishi natijasida hosil bo'lgan. Qo'shimchalar va ularning gipsochamning yakuniy morfologiyasiga va xossalarga ta'siri bo'yicha qo'shimcha tadqiqotlar mavjud.

Pan va Li fluorli silikon qo'shimchasi bilan aralashma ishlatishni taklif qilishdi, bu namlikka chidamlilikni yaxshilashga

yordam beradi. No'xat kabi agentdan hosil bo'lgan film mikroskopik teshiklarni qoplab, makroporalarning ichki yuzasining energetik holatini gidrofobik holatga o'zgartirib, suvni itarib chiqaradi va shu bilan suvning kirib kelishiga yoki suvning tarmoq ichiga chuqurlashishiga yo'l qo'ymay, yaxshiroq suvga chidamlilikni ta'minlaydi. Wang, Cui va Xue metil natriy silanolning o'rtacha 500 mikrondan 100 mikrongacha bo'lgan teshik o'lchamini kamaytirishini, birlashtirilgan teshiklar sonini oshirib, namunadagi suvni yutishni oshirishi aniqlangan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, ba'zi qo'shimchalar gidratlashni tezlashtiradi va zich va yaxshi zichlangan morfologik tuzilmani hosil qiladi, bu esa gips matritsasining yaxshiroq namlikka chidamliligini ta'minlaydi. Oldingi tadqiqotlar shuningdek, qo'shimcha turi va miqdori gidratlash jarayoniga ta'sir qilishini va yakuniy DH tuzilmasi sezilarli darajada yuqori porozlikni keltirib chiqarishi mumkinligini ko'rsatdi, shuning uchun qo'shimchalar yaxshi mexanik kuch va namlikka chidamlilikka aloqador nozik strukturalarni hosil qilish uchun ishlatiladi.

Boshqa tomondan, polymetilgidrosiloksan (PMHS) polimeri kamaytiruvchi agent sifatida ishlatiladi va uning gidrofobik potentsiali tufayli qiziqish uyg'otgan. PMHS takrorlanuvchi birligi Si, O va H atomlaridan hamda kovalent bog'langan metil guruhlaridan tashkil topgan. Metil guruhlari unga yuqori gidrofobik xususiyatni beradi, bu esa Krüss tomchi shaklini tahlil qilish tizimi yordamida tekshirilishi mumkin, bu esa gipsdagi kontakt burchagini o'lchashga imkon beradi va $100 \pm 2.0^\circ$ darajaga yetadi. Keller PMHS ni gidrofobik agent sifatida ta'sirini 0.4% dan 1.0% gacha bo'lgan dozalarda baholagan. Avvalo, PMHS suvda disperslanadi va gidroliz reaksiyasi sodir bo'ladi, bu esa silanol (SiOH) hosil qiladi, bu kristall yuzalariga adsorbatsiyalanadi, so'ngra kondensatsiya reaksiyasi sodir bo'ladi, ikki silanol molekulasini reaksiyaga kirishib, suv molekulasini chiqarib, kristall yuzalarida Si-O-Si bog'ini hosil qiladi, metil guruhlari esa kristall yuzalaridan uzoglashadi, va ular gidrofobik bo'lgani uchun suvni itarib chiqaradi. PMHS ning gipsdagi ta'siri flue gaz desulfurizatsiyasi gipsi (FDG) uchib ketgan kul, natriy sulfat va PMHS bilan aralashtirilgan suv o'tkazmas bloklarda o'rganilgan. 0.4% PMHS qo'shilishi 3.25% suvni yutish darajasini ta'minlagan, bu esa PMHS ning DH kristallarining morfologiyasiga va shu bilan birga suvni yutish xossasiga qanday ta'sir qilishi haqida tushuncha beradi. Bundan tashqari, silikon qo'shimchalar aralashmalari yordamida suvga chidamli xususiyatlarga ega bo'lgan gips asosidagi mahsulotlarni, masalan, gipsokartonlarni qanday qilish haqida patentlar mavjud.

Oldingi tadqiqotlar PMHS dan foydalanishni va ishlab chiqarish operatsion o'zgaruvchilarining birgalikdagi ta'sirini gipsokartonning yakuniy xossalari bilan bog'lashni hisobga olmagan. Yaxshi tushuncha, gipsokartonning past narxi tufayli uning ishlashini yaxshilash va bir qancha yangi qo'llanmalarga kengaytirishga yordam berishi mumkin. Shuning uchun, ushbu tadqiqot PMHS dozalashtirish, aralashtirish vaqtining va quritish haroratining kristallar morfologiyasi va gips plitalarining porozligini qanday ta'sir qilishini va bu ta'sirlarning qanday qilib suvni yutish, flexural kuch va issiqlik o'tkazuvchanligi kabi xossalarga o'zgarishlarga olib kelishini o'rganishga qaratilgan.

Materiallar va usullar

Materiallar va uskunalar

Ushbu tadqiqotda qurilishda foydalaniladigan va Chining NCh 143 standartiga mos keluvchi tijorat mahsuloti hisoblangan beta-kalsiy sulfat gemihidratdan foydalanildi. Shuningdek, Elkem Silicones France kompaniyasining Bluesil WR 68 rusumli PMHS qo'shimchasi qo'llanildi.

Kalsiy sulfat gemihidratning kimyoviy tarkibini aniqlash uchun to'lqin uzunligi bo'yicha dispersiyalanuvchi WDX S4

ketma-ket X-nurlari fluoresans (XRF) spektrometri ishlatildi. Namunalar 1050 °C haroratda ikki yarim soat davomida kalsinatsiya qilinib, barcha birikmalar oksidlanish holatiga keltirildi. Shuningdek, M4 Claisse eritma qurilmasi yordamida eritma usulida bir jinsli shisha disk tayyorlandi.

Kalsiy sulfat gemihidratning minerologik tarkibi Bruker D8 Advance difraktometri yordamida aniqlandi. Kukun holatidagi namunalar maxsus ushlagichlarga joylashtirilib, ehtiyotkorlik bilan siqib qo'yildi.

Kalsiy sulfat gemihidrat va dihidrat kristallarining morfologiyasi FESEM-EDS FEI QUANTA FEG 250 rusumli skanerlovchi elektron mikroskop yordamida o'rganildi. Olingan tasvirlar asosida kalsiy sulfat dihidrat kristallarining uzunlik-kenglik nisbati IMAGEJ dasturining v1.53k versiyasi orqali aniqlandi.

Gemihidrat (HH) va dihidrat (DH) zarrachalarining o'lcham taqsimoti Mastersizer 2000 lazer difraksiyasi analizatori yordamida o'rganildi. Ushbu qurilma zarracha o'lchamini suyuq suspenziyadagi zarrachalarga lazer nurlarining sochilishi orqali aniqlaydi. Tahlil davomida 0.0119 hajm foizi miqdorida izopropil spiriti qo'llanildi. Bu sharoitda zarrachalar uchun sinish ko'rsatkichi (Refractive Index – RI) 1.52 va shaffoflik darajasi 17.15

PMHS qo'shimchasi va PMHS qo'shilgan DH namunalaridagi asosiy funksional guruhlar Shimadzu IRTracer 100 modeli infrak'o'k (FTIR) spektrometri yordamida aniqlab olindi.

Capasso va hammualliflar tomonidan ko'rsatib o'tilganidek, g'ovaklikning taqsimoti X-nurlari yordamida amalga oshiriladigan mikrokattalikdagi kompyuter tomografiyasi (mikro-KT) orqali baholandi. Ushbu usul qattiq moddalarning ichki tuzilishini uch o'lchamli raqamli tasvirlar orqali tekshirish imkonini beradi.

Tadqiqotda yuqori aniqlikdagi SkyScan Bruker 1272 qurilmasi qo'llanildi. Qurilma quyidagi sozlamalarda ishlatildi: kuchlanish — 80 kV, tok kuchi — 125 mA, aylanish burchagi — 0.4°, 0.25 mm qalinlikdagi alyuminiy filtri bilan va 12 mkm o'lchamdagi voxel aniqligida. Uch o'lchamli skanerlash natijasida olingan tasvirlar NRecom dasturi yordamida rekonstruksiya qilindi. Namunalarning joylashuvini standartlashtirish uchun tasvirlar DataViewer dasturining 1.5.1.9 versiyasi orqali fazoda qayta yo'naltirildi.

Har bir namuna uchun taxminan 2 sm³ hajmga ega bo'lgan ko'ndalang kesimdagi "qiziqish sohasi" (VOI) tanlab olinib, undan foydalanib miqdoriy tahlillar amalga oshirildi. Yakuniy tasvirlar va videolar maxsus vizualizatsiya dasturi orqali yaratildi. Tasvirlarda piksel o'lchami 24 mkm bo'ldi. Ucho'lchamli tasvirlarda kulrang qiymatlar diapazonida 25 dan 255 gacha bo'lgan voxel'lar qattiq modda sifatida, 24 dan 0 gacha bo'lgan qiymatlar esa bo'shliq (g'ovak) sifatida qabul qilindi.

Tajriba Metodologiyasi

Ushbu tadqiqotda material tayyorlash uchun PMHS, HH va suvdan foydalanildi. Tadqiqotning faktorial eksperimental dizayniga muvofiq, mustaqil o'zgaruvchilar yoki faktorlar belgilangan darajalarda o'zgartirildi. Ushbu tadqiqotda tanlangan faktorlar quyidagilar edi: PMHS dozasi (D), aralashtirish vaqti (H) va quritish harorati (T). Har bir faktor uchun belgilangan darajalar quyidagicha:

D: minimal 0,2%, maksimal 1,0%, o'rtacha 0,6%;

H: minimal 20 soniya, maksimal 60 soniya, o'rtacha 40soniya;

T: minimal 130 °C, maksimal 150 °C, o'rtacha 140 °C.

Biz optimal qiymatni olish maqsadida kub markazida joylashgan faktorial dizaynni hisobga oldik. Kub markazidagi faktorial tajriba dizayni bo'yicha, turli aralashmalarni tayyorlash soni, darajalar sonining faktorlar soni va markaziy nuqtaga nisbati orqali aniqlanadi. Shunday qilib, uchta faktor bo'lsa, bu 23

ga teng bo'ladi, ya'ni 8 aralashma va markaziy nuqta, jami 9 xil aralashma hosil bo'ladi. Qo'shimcha ravishda, PMHSsiz nazorat sinovlari ham baholandi. Ikki faktor, H va T ham baholandi; shuning uchun bu holatda sinovlar soni 22 plus markaziy nuqtadan iborat bo'lib, bu 5 xil aralashma beradi. Umuman olganda, 14 xil aralashma baholandi, har biri 8 marta takrorlandi. Shunday qilib, jami 112 ta tayyorlash amalga oshirildi.

Tadqiqotda har bir faktor uchun tanlangan darajalar sababini yaxshiroq tushunish uchun sanoat ishlab chiqarish haqidagi ma'lumotlarni inobatga olishimiz kerak. Gipskarton ishlab chiqarish jarayoni 350 rpm dan 380 rpm gacha bo'lgan aralashtirish tezliklarini o'z ichiga oladi, mikserda aralashtirish vaqti 2–8 soniya orasida bo'lib, havoning harorati 315 °C dan 178 °C ga pasayib boruvchi konvektiv quritish bosqichini o'z ichiga oladi [49]. Sanoat mikserini takrorlash uchun, pichoqning chiziqli tezligi tenglashtirildi. Burchak tezligi radius bo'yicha chiziqli tezlikka teng bo'lishi kerak edi, shunda o'xshash modelga erishish mumkin bo'ladi. Buning uchun OSTER XPERT BLST3A-CPG052 mikseridan foydalanildi, rotor radiusi 2 sm dan 3 sm gacha bo'lib, bu 10,000 rpm burchak tezligini talab qiladi. Aralashtirish tezligi haqiqiy sanoat sharoitlarini aks ettirish uchun 10–30 baravarga oshirildi. Sanoat quritilishi fanli quritgich yordamida takrorlandi, bu esa ortiqcha namlikni ta'sir qilmasdan chiqarish va kaltsiy sulfat dihidratiga zarar yetkazmaslikni ta'minlaydi.

Xalqaro standartlar gipskarton tayyorlash sharoitlarining qiziqarli xususiyatlarga, ya'ni suvni so'rib olish (A, foizda), egilish kuchi (Rf, N da), va issiqlik o'tkazuvchanligini (Ct, W/(m · K)) o'lchash uchun ishlatilgan. Suvni so'rib olish va egilish kuchi foizlari UNE-EN 520 standartiga muvofiq o'lchangan.

Issiqlik o'tkazuvchanligi Hot Disk TPS 1500 yordamida o'lchandi, bu esa UNE-EN ISO 22007-2 standartiga mos keladi.

Gipskartonlarning egilish kuchi ularning yakuniy egilish yuklari bilan xarakterlanishi kerak. Gipskarton biror yukka duchor qilinib, bu yukni boshqariladigan tarzda oshirish kerak, natijada material muvaffaqiyatsiz bo'lgan vaqtda sinish yuzaga keladi. Ishlatilgan uskunalar yukni (250 ± 125) N/min tezlikda tatbiq qilish imkoniyatiga ega bo'lgan yuklash qurilmasidir va uning aniqligi 2% ni tashkil etadi. Gipskartonlar 6 mm dan 30 mm gacha bo'lgan diametrli ikkita parallel silindrik tayanchga joylashtirilib, parallel o'qlar orasidagi masofa 350 mm bo'lgan. NCh 146/1 Of. ga binoan, 8 mm qalinlikdagi gipskarton uchun qo'llaniladigan minimal qiymat 110 N bo'lishi kerak. 1-rasmda (Fig.1) gipskartonning egilish kuchini o'lchashda ishlatilgan uskunaning rasmi ko'rsatilgan.

Suvni so'rish testi quyidagicha amalga oshirildi: taxtani gorizontal ravishda suv vannasiga botirib, test namunasi yuqori yuzasidan 25 mm ± 1 mm suv balandligini saqlash. Idishning pastki qismidagi tishli qismlar, silindrning pastki yuzasi suv bilan bog'lanishini ta'minlash uchun joylashtiriladi. Namuna ikki soat davomida suvda saqlanadi, ortiqcha yuzaki suv sochiq bilan olib tashlanadi va darhol og'irligi o'lchanadi, bu esa 2-rasmda (Fig.2) ko'rsatilgan. Namunaning massa o'sishi so'rilgan suvni bildiradi va boshlang'ich massaning foizida hisoblanadi.

Hot Disk TPS 1500 — bu qurilish materiallari, izolyatsion materiallar yoki boshqa turdagi katta hajmdagi namunalarni sinovdan o'tkazish uchun mo'ljallangan issiqlik o'tkazuvchanligi o'lchagichi. TPS 1500 issiqlik o'tkazuvchanligi diapazoni 0.01 dan 400 W/(m · K) gacha, va asbob -100 °C dan 750 °C gacha bo'lgan haroratlarni o'lchay oladi. Namunalar bir necha millimetr qalinlikda bo'lishi mumkin. TPS 1500 ISO 22007-2 standartiga mos keladi va CE belgisiga ega. Ishlab chiqarilgan issiqlik disk sensorini o'z ichiga olgan namunaga belgilangan haroratda muvozanatni olishga ruxsat beriladi. Sensor orqali elektr toki o'tkazilib, qadam funksiyasida issiqlik spayki hosil qilinadi va bu dinamik issiqlik maydonini namunada yaratadi. Sensor haroratining oshishi vaqt bo'yicha o'lchanadi. Keyin, javob, maxsus sensor uchun ishlab chiqilgan modelga asosan va atrof-

Figure 1. Gipskartonning egilish kuchini o'lchashda ishlatilgan uskuna



Figure 2. Suv so'rish testi uchun suvga botirilgan taxta



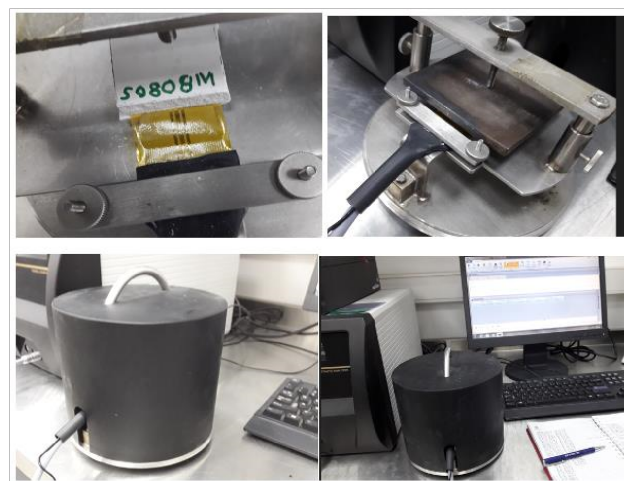
muhit sharoitlari hisobga olinib tahlil qilinadi. Foydalanilgan sensor C5465, 3.2 mm radiusga ega. Sensor metall folga bilan o'ralgan, ikki ipli spiral shaklida (10 ± 2) μm qalinlikda va ikkala tomonida yupqa izolyatsion plyonka bilan qoplangan (7 μm dan 100 μm gacha). Bizning namunalimizning o'lchamlari 40 mm $\times$ 40 mm va qalinligi 8 mm edi. 3-rasmda (Fig.3) issiqlik o'tkazuvchanligini o'lchash uchun Hot Disk TPS 1500 uskunasi sensor va namunalarni joylashtirish jarayoni ko'rsatilgan.

Namunalarni tayyorlash uchun barcha sinovlar 0.80 doimiy suv/gips nisbatini belgilash tavsiya etilganidek, Lootens va boshqalar tomonidan amalga oshirildi. Suv va PMHS, ilgari qo'lda aralashtirilgan, mikser idishiga qo'shildi, keyin esa kalsiy sulfat hemidrat qo'shib, dizayn matriksida ko'rsatilgan vaqtda aralashtirildi. Shundan so'ng, aralashma silikon qoliplarga quyildi (30 mm $\times$ 26 mm $\times$ 8 mm), 30 daqiqadan keyin qolipdan chiqarilib, dizayn matriksida ko'rsatilgan haroratlarda 15 daqiqa davomida fanli pechda joylashtirildi. Keyin, xuddi shu pech 40 °C da 19 soatga qoldirildi va test qilish vaqtigacha xona sharoitida (21 ± 2 °C va $51 \pm 7\%$ namlik) saqlanadi.

Eksperimental Dizayn

Jadval 1-da (Tab. 1) har bir tajriba uchun eksperimental dizayn matriksining sinov tafsilotlari ko'rsatilgan. Statistikaning maqsadi, agar biz PMHS-siz va PMHS bilan taqqoslagan

Figure 3. Hot Disk TPS 1500 issiqlik o'tkazuvchanligini o'lchash uchun jihoz



namunalardan olingan xususiyatlar qiymatlari sezilarli darajada farq qiladimi yoki yo'qligini aniqlashdir. Nol gipotezasi o'rnatiladi, ya'ni aslida o'zgarishlar yo'q deb aytadi, va alternativ gipoteza, ya'ni o'zgarishlar borligini ko'rsatadi. p-qiymati nol gipotezaning to'g'ri yoki noto'g'ri ekanligini aniqlovchi ehtimoldir. Umuman olganda, hisoblangan p-qiymatining 0.05 dan kichik bo'lishi nol gipotezasini rad etish va alternativ gipotezani qabul qilishni anglatadi, bu esa statistik jihatdan ahamiyatli farqni bildiradi.

Table 1

Sinov	D (%)	H (s)	T (°C)	Suv/HH	Takrorlashlar soni
PMHSSIZ sinovlar					
SN1	0.0	20	130	0.8	8
SN2	0.0	60	130	0.8	8
SN3	0.0	20	150	0.8	8
SN4	0.0	60	150	0.8	8
SN5	0.0	40	140	0.8	8
PMHS bilan sinovlar					
N1	0.2	20	130	0.8	8
N2	1.0	20	130	0.8	8
N3	0.2	60	130	0.8	8
N4	1.0	60	130	0.8	8
N5	0.2	20	150	0.8	8
N6	1.0	20	150	0.8	8
N7	0.2	60	150	0.8	8
N8	1.0	60	150	0.8	8
N9	0.6	40	140	0.8	8

Statistik dastur Minitab® v19.1.1.0 (Minitab, LLC, State College, PA, AQSh) dizayn tahlili va ma'lumotlarni qayta ishlash uchun ishlatilgan.

Natijalar va muhokama

Komponentlarni xarakterlash HH ning rentgen nurlari tarqalishi (XRF) xarakteristikasi 2-jadvalda (Tab. 2) ko'rsatilgan bo'lib, unda kimyoviy tarkib 45% SO₃ va 39,38% CaO ni tashkil qiladi. Boshqa tomondan, 3-jadvalda (Tab. 3) rentgen difraktsiyasi (XRD) orqali o'lchangan minerallik tarkib ko'rsatilgan bo'lib, namunada 83,3% massa miqdori kaltsiy sulfat hemi-gidrat shaklida mavjudligi aniqlangan.

Bundan tashqari, elementar va mineralogik xarakteristikalar bilan birga, zarracha tuzilishi va o'lchamini SEM va LDA yordamida qo'shimcha tahlillar o'tkazildi. 4-rasmda (Fig.4)

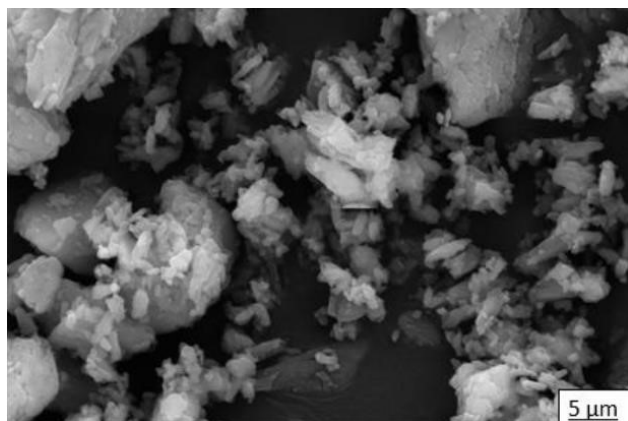
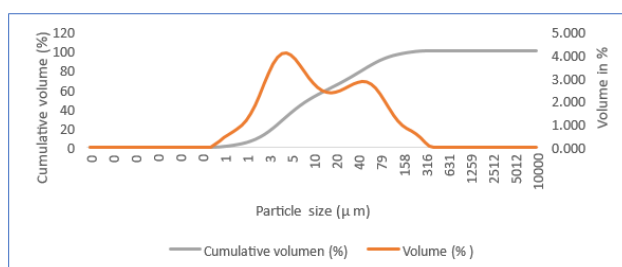
Table 2. Ushbu tajribada ishlatilgan kaltsiy sulfat hemi-gidratining kimyoviy tarkibi (wt%).

SO ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SrO	K	LOI
45.00	39.83	1.10	0.50	0.18	0.17	0.05	13.18

Table 3. Kaltsiy sulfat hemi-gidratining mineral tarkibi.

Nomi	Formula	Tarkibi (wt%)
Bassanite	CaSO ₄ · 0.5H ₂ O	83.2
Calcite	CaCO ₃	10.8
Anhydrite	CaSO ₄	6.0

tijorat kalsiy sulfat hemihidratining (HH) SEM yordamida mikrotuzilmasi ko'rsatilgan bo'lib, unda bassanitga xos qisqa kristallar va kalkitning katta kristallari ko'rinadi. 5-rasmda (Fig.5) HH ning zarracha o'lchamlari taqsimoti ko'rsatilgan. Lazerli skanerlash difraktsiya tahliliga ko'ra, zarracha o'lchamlari taqsimoti quyidagicha: hajm bo'yicha 100% zarrachalar 316 mikrondan kichik, 90% zarrachalar 78.6 mikrondan kichik, 50% zarrachalar 9 mikrondan kichik va 10% zarrachalar 2 mikrondan kichik.

Figure 4. Mikroskopda kaltsiy sulfat gemigidratining (HH) mikrotuzilishi**Figure 5.** Mikroskopda kaltsiy sulfat gemigidratining (HH) mikrotuzilishi

Polimerning tabiatiga ko'ra, PMHSni xarakterlash uchun namunani FTIR tahlilidan foydalanish qulay. Spekrda Happ-Genzel apodizatsiyasi mavjud (Happ-Genzel funksiyasi odatda rippling hajmi va rezolyutsiya o'rtasida yaxshi balansni ta'minlash uchun ishlatiladi). 6-rasmda PMHS funksional guruhlar ko'rsatilgan. Kutilganidek, 2.966 sm⁻¹ spektrida CH₃ guruhining C-H bog'lanishining cho'zilishi bilan bog'liq asimmetrik signal, 2.171 sm⁻¹ signal esa Si-H cho'zilishiga, 1.408 sm⁻¹ signal Si-CH₃ bog'lanishining asimmetrik bukilishi, 1.261 sm⁻¹ signal Si-CH₃ simmetrik bukilishining vibratsiyasi, 1.126 sm⁻¹ signal Si-O-Si cho'zilishining asimmetrik vibratsiyasi, 833

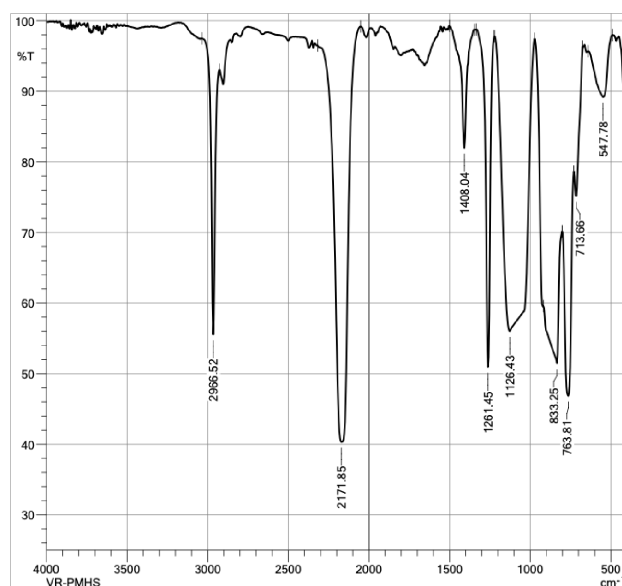
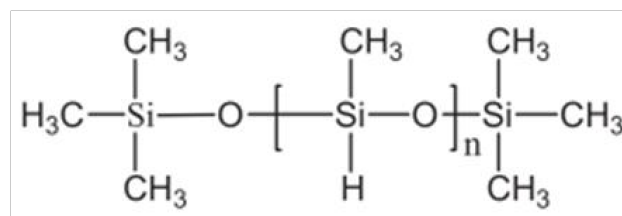
sm⁻¹ signal Si-H bog'lanishining pichoq shaklidagi bukilishi va 763 sm⁻¹ signal Si-C cho'zilishining vibratsiyasiga tegishli. 7-rasmda esa PMHS tuzilmasida kutilgan guruhlar ko'rsatilgan.

XRD o'lchovlari biror PMHSsiz DH namunasi va 0.2% PMHSli boshqa DH namunasida amalga oshirildi. Natijalarni taqqoslaganda, hidratlash reaksiyasi deyarli to'liq amalga oshganligini ko'rish mumkin, chunki XRDda HHning mavjudligi ko'rinmaydi va faqat DH hamda kalkit o'zgarmagan. Anhidrit XRD natijalarida ko'rinmaydi, chunki u amorfdir, lekin FTIR natijalari namunalardagi anhidritni aniqlay oladi, bu keyinchalik ko'rsatilgan.

Natijalar Tahlili

Tajriba Natijalari

Barcha o'tkazilgan tajribalarning natijalari jadval 4 va 5 da keltirilgan. Jadval 4 (Tab. 4) da suvni singdirish (A), egilish kuchi (Rf) va issiqlik o'tkazuvchanligi (Ct) o'lchovlari uchun sakkiz marta takrorlangan o'rtacha qiymatlar va standart og'ish ko'rsatilgan. Jadval 5 da tanlangan namunalar uchun porozlik va uzunlikdan kenglikka nisbati ko'rsatilgan.

Figure 6. Polimethylgidrosiloksanning infraqizil spektri**Figure 7.** Polimetilhidrosiloksan

Jadval 4 ga ko'ra, PMHSsiz sinovlarning o'rtacha suvni singdirish miqdori 48% ni tashkil etdi, PMHS bilan esa bu 3.5% ga tushdi, bu esa 93% ga sezilarli kamayishdir. Boshqa tomondan, PMHSsiz sinovlarning o'rtacha egilish kuchi 115 N, PMHS bilan esa 114 N bo'lib, faqat 0.9% ga kamaygan. Nihoyat, PMHSsiz sinovlarning o'rtacha issiqlik o'tkazuvchanligi 0.338 W/(m · K), PMHS bilan esa 0.320 W/(m · K), bu esa

Table 4. Eksperimental dizayn matritsasiga muvofiq amalga oshirilgan a, Rf va Kt sinovlari natijalari

Trial	D (%)	H (s)	T (°C)	A (%) Avg.	Dev.	Rf (N) Avg.	Dev.	Ct W/(m · K) Avg.	Dev.
Matrix without PMHS									
SN1	0.0	20	130	48.0	0.6	102	26	0.328	0.018
SN2	0.0	60	130	47.7	0.6	122	28	0.340	0.012
SN3	0.0	20	150	48.5	0.7	116	24	0.332	0.020
SN4	0.0	60	150	47.9	0.6	120	40	0.348	0.008
SN5	0.0	40	140	48.0	0.5	118	21	0.339	0.013
Trial	D (%)	H (s)	T (°C)	A (%) Avg.	Dev.	Rf (N) Avg.	Dev.	Ct W/(m · K) Avg.	Dev.
Matrix with PMHS									
N1	0.2	20	130	5.7	1.6	110	15	0.316	0.015
N2	1.0	20	130	4.4	3.5	100	18	0.315	0.010
N3	0.2	60	130	3.6	2.2	108	16	0.329	0.005
N4	1.0	60	130	3.2	1.1	118	27	0.322	0.011
N5	0.2	20	150	2.7	1.1	114	24	0.316	0.016
N6	1.0	20	150	3.7	2.2	105	6	0.332	0.037
N7	0.2	60	150	2.6	1.2	123	26	0.319	0.018
N8	1.0	60	150	2.8	1.7	126	18	0.314	0.028
N9	0.6	40	140	2.9	1.9	126	26	0.320	0.012

Jadval 5. Experimental design matrix bo'yicha amalga oshirilgan uzunlik/kenglik nisbati (L/W) va porozlik (Po) testlarining natijalari.

Trial	D (%)	H (s)	T (°C)	L/W		Po (Percent)	Avg.
				Dev.			
SN1	0.0	20	130	3.38	1.93	0.513	
SN5	0.0	40	140	3.04	2.10	0.274	
SN4	0.0	60	150	2.81	1.48	0.282	
N1	0.2	20	130	2.93	1.30	1.494	
N9	0.6	40	140	2.16	1.30	1.158	
N8	1.0	60	150	1.94	1.01	1.918	

5% ga kamaygan. Ma'lumotlar polimerning suvni singdirishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini, egilish kuchiga ta'sir ko'rsatmasligini va issiqlik o'tkazuvchanligiga faqat ozgina ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi.

Jadval 4 dan taqqoslash orqali faqat PMHS bilan ishlangan namunalar suvni singdirishning quritish harorati oshgan sari kamayishini ko'rsatadi. Aslida, suvni singdirish (A) ko'plab hollarda, doza va aralashtirish vaqti doimiy bo'lsa, harorat oshgani sayin kamayishini sezish mumkin. Biroq, yetarlicha yuqori quritish harorati darajasida, suvni singdirish deyarli o'zgarmaydi, bu esa ta'sir uchun chegarani ko'rsatadi. Umuman olganda, PMHS bilan ishlangan namuna uchun suvni singdirishning eng past qiymatlari eng yuqori aralashtirish vaqti va quritish harorati bilan erishiladi, lekin bu nuqtadan keyin suvni singdirishning yana kamayishi mumkin emas.

Jadval 4 da ko'rsatilgan natijalarga asosanib, porozlik va kristall morfologiyasini tahlil qilish uchun sinovlarning kichik guruhini tanlashdi. PMHS qo'shilmagan sinovlar uchun tanlangan kichik guruh, aralashtirish va haroratning minimal, o'rta va maksimal darajalari SN1, SN5 va SN4 sinovlariga mos keladi. Xuddi shunday, PMHS qo'shilgan namunalardan iborat kichik guruh - N1, N9 va N8 - shu maqsadda tanlandi. X-ray mikro-tomografiya (XMT) va SEM orqali o'lchangan porozlik va morfologiya natijalari Jadval 5 da ko'rsatilgan. PMHS qo'shilgan namunalarda qo'shilmagan namunalarga qaraganda sezilarli darajada yuqori porozlik ko'rsatildi, va PMHS qo'shilganida hosil bo'lgan kristallar yanada zichroq bo'ldi.

Jadval 5 dan ko'rinib turibdiki, past dozaj, past aralashtirish va past quritish haroratidan (SN1) yuqori dozaj, yuqori aralashtirish va yuqori haroratga o'tish (N8) bilan kristallarning uzunlik-kenglik nisbati (L/W) kamayadi va porozlik ortadi. Bundan

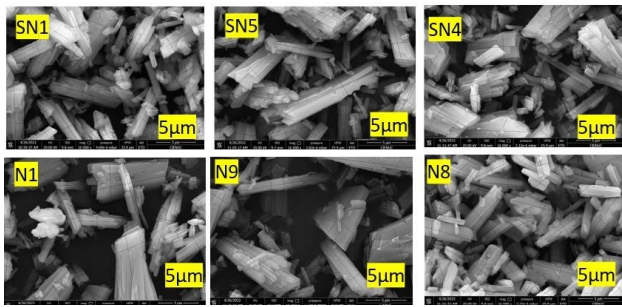
tashqari, harorat oshgani yoki aralashtirish vaqti oshgani sayin L/W nisbati zaif pasayishini kuzatish mumkin. Shuningdek, PMHS dozalari oshgan sari porozlikning izchil ortishi ko'rinadi, bu qo'shilgan havoning ko'proq haps qilinishiga sabab bo'lishi mumkin. Porozlik va L/W orasida hech qanday bevosita bog'liqlikni aralashtirish vaqti yoki quritish harorati bilan bog'lash mumkin emas, chunki boshqa o'zgaruvchi parametrlar doimiy saqlanib turgan holda qo'shimcha tajribalar o'tkazilishi kerak. Umuman olganda, PMHS ning qo'shilishi gipso kartonning morfologiyasi va porozligida sezilarli o'zgarishlarga olib keladi va ishlab chiqarish sharoitlaridagi o'zgarishlar L/W nisbatidagi o'zgarishlar orqali qo'shimcha yaxshilanishlarga hissa qo'shishi mumkin. Aslida, PMHS qo'shilmagan barcha namunalar va PMHS qo'shilgan namunalar o'rtasida aralashtirish va quritish harorati doimiy saqlanib turganda morfologiya o'zgarishlari kuzatiladi. SN1 va N1 taqqosida, L/W nisbatining 3.38 dan 2.93 ga kamayganini, ya'ni -13.31% pasayishni ko'rish mumkin. SN5 va N9 taqqosida L/W nisbatining 28.95% ga kamayganini ko'rish mumkin. SN4 va N8 taqqosida L/W nisbatining 30.96% ga kamayganini ko'rish mumkin. L/W kamaygan sari porozlik ham ortadi. SN1 va N1 taqqosida, porozlik 0.513% dan 1.494% gacha oshganini, ya'ni 191.23% ga ortganini ko'rish mumkin. SN5 va N9 hamda SN4 va N8 taqqosida porozlikning 322.63% va 580.14% ga ortganini kuzatish mumkin.

Kristall Morfologiyasi

Tajriba ishlari 1-jadvaldagi eksperimental matritsa asosida amalga oshirildi. PMHS qo'shilmagan namunalar (SN1, SN5, SN4) va PMHS qo'shilgan namunalar (N1, N9, N8) uchun morfologiya natijalari 8-rasmda (Fig.8) ko'rsatilgan. Rasmlar IMAGEJ dasturi yordamida tahlil qilindi va o'rtacha kristall uzunligi va kengligi belgilandi. 50 ta kristallning o'rtacha qiymatlari 5-jadvalda ko'rsatilgan.

Minitab ma'lumotlar tahlili PMHS qo'shilishi, aralashtirish va quritish harorati orasida morfologiyaga ta'sir ko'rsatuvchi kuchli bog'liqlikni aniqladi, bu L/W nisbatiga aloqador. Gipotenzlarning juft t-test natijalari, p-qiymati 0.05 dan past bo'lib, N9 va N8 ga mos keladi, bu o'rta va maksimal darajalar uchun PMHS qo'shilgan namunalar va PMHS qo'shilmagan ekvivalent sinovlari (SN5 va SN4) bilan solishtirilgan. Ushbu holatlarda, qo'shilgan PMHS morfologiyada sezilarli farq yaratdi va zarracha L/W nisbatini kamaytirdi. Biroq, minimal darajada, ya'ni past

Figure 8. (SN1) PMHSsiz namunalar, minimal darajada; (SN5) PMHSsiz namunalar, o'rta darajada; (SN4) PMHSsiz namunalar, maksimal darajada; (N1) PMHSli namunalar, minimal darajada; (N9) PMHSli namunalar, o'rta darajada; (N8) PMHSli namunalar, maksimal darajada.



harorat va past aralashtirish vaqtida, test PMHS qo'shilgandan keyin morfologiyaga ta'sirni aniqlay olmadi. Natijalar, kristall morfologiyasini o'zgartirish uchun minimum harorat va aralashtirishni ta'minlash zarurligini ko'rsatadi.

Quyidagi tahlil DH shakllanishining morfologiyasiga D, H va T har bir omilining ta'sirini aniqlash maqsadida o'tkazildi:

1. Faqat aralashtirish vaqti (H) omilining ta'siri baholandi — buning uchun 20 soniya, 40 soniya va 60 soniya davomida aralashtirildi. Reaksiyalar izopropil spirti qo'shish, yuvish va quritish orqali to'xtatildi. Olingan DH kukuni SEM orqali tahlil qilindi va 50 ta kristallning uzunlik-kenglik nisbati o'lchandi. Aralashtirish vaqti ortishi bilan ushbu nisbatning o'rtacha qiymati kamayishi kuzatilgan bo'lsa-da, statistik jihatdan bu o'zgarish sezilarli farqni ko'rsatmaydi.

2. Aralashtirish vaqti va quritish harorati omillarining uzunlik-kenglik nisbatiga bo'lgan sinergetik ta'siri ham baholandi. Morfologiyada o'rta va yuqori darajalarda nazorat namunasi bilan solishtirganda sezilarli farq kuzatildi.

3. Uzunlik-kenglik nisbatiga ta'sir oxirida barcha uchta omil (D, H, T) bir vaqtning o'zida o'zgartirilganda baholandi. Bu holatda, morfologiyaga sezilarli ta'sir aralashtirish vaqti hamda quritish haroratining o'rta va yuqori darajalarida PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan namunalar o'rtasida kuzatildi.

Xulosa qilib aytganda, PMHS qo'shilishi aralashtirish vaqti hamda quritish haroratining o'rta va yuqori darajalarida PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan tajribalar o'rtasida morfologiyada statistik jihatdan sezilarli farq keltirib chiqaradi. Bundan tashqari, PMHS miqdori va harorat oshgan sari kristallarning uzunlik-kenglik nisbati kamayadi.

G'ovaklilik

G'ovaklilik rentgen mikrotomografiyasi yordamida olingan 3D tasvirlar tahlili orqali o'lchandi. 9-rasmda (Fig.9) namunalar ko'rsatilgan bo'lib, unda oq rangda tarqalgan kaltsit donachalari va qora rangda havo g'ovakchalari aks etgan. 10-rasmda (Fig.10) esa shu namunalar tasvir tahlili orqali aniqlangan havo g'ovakchalari qizil rangda ko'rsatilgan. Tasvirlarni segmentatsiya qilish orqali g'ovaklilik darajasini miqdoriy baholash mumkin bo'ladi.

5-jadvalda ko'rsatilgan va 6 hamda 7-rasmlarda kuzatilganidek, rentgen mikrotomografiyasi usuli orqali aniqlangan umumiy g'ovaklilik (Po, hajm foizida) PMHS qo'shilishi natijasida sezilarli darajada havo pufakchalari hosil bo'lishini ko'rsatadi. Ushbu havo pufakchalari maksimal qiymatlarga PMHS miqdori, aralashtirish darajasi va quritish harorati oshganida yetgan.

11-rasmda (Fig.11) tasvirlarda aniqlangan g'ovakchalar o'lchamining taqsimoti ko'rsatilgan. Yuqori qismda PMHS qo'shilmagan namunalar, pastki qismda esa PMHS qo'shilgan namunalarning g'ovakchalar taqsimoti berilgan. PMHS qo'shilishi natijasida o'rtacha g'ovakcha o'lchamining o'ngga

Figure 9. Ikki o'lchamli g'ovaklilik (porosity) PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan holatlarda, omillarning minimal, o'rta va maksimal darajalarida quyidagicha baholandi.

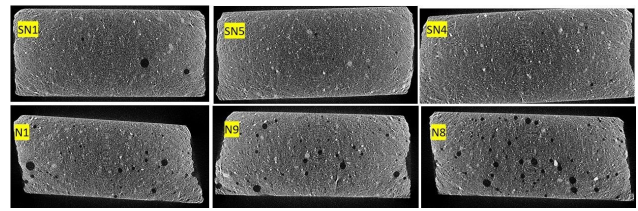
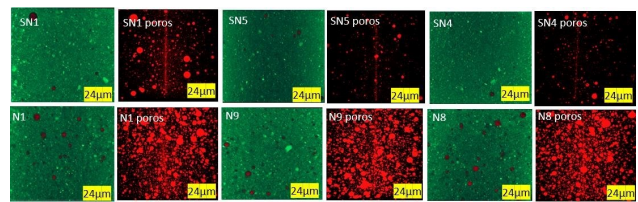


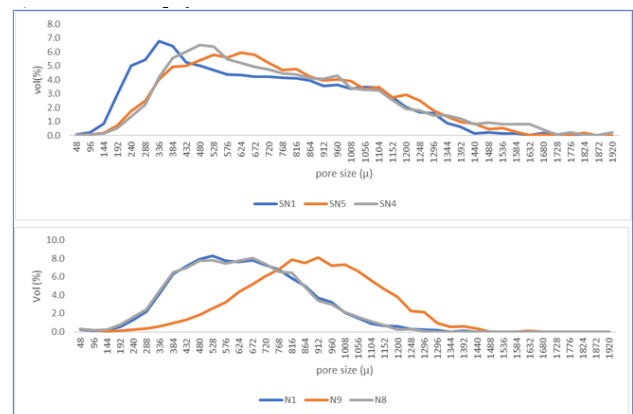
Figure 10. Uch o'lchamli (3D) g'ovaklilik PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan holatlarda, omillarning minimal, o'rta va maksimal darajalarida baholandi. Havo g'ovakchalari qizil rangda aniqlangan.



siljishi aniq ko'rinib turibdi, bu esa PMHS ta'sirida DH tarkibida havo g'ovakchalari kattalashganini ko'rsatadi.

Shuningdek, PMHS ning optimal dozasi mavjuddek ko'rinadi, u DH matritsasida g'ovakchalar sonini maksimal darajaga yetkazgan. Buni N9 sharoitlarida (0.6% PMHS, 40 soniya aralashtirish, 140 °C quritish harorati) kuzatilgan g'ovakcha taqsimotining yanada qo'pol (yirik) bo'lishi tasdiqlaydi.

Figure 11. G'ovakchalar o'lchami taqsimoti — yuqorida: PMHS qo'shilmagan; pastda: PMHS qo'shilgan holat



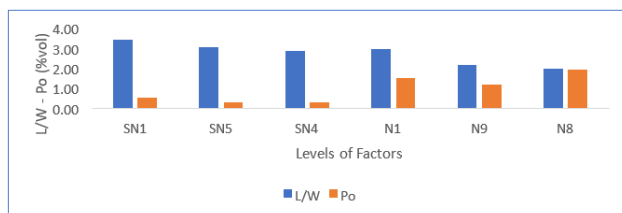
Minitab tahlili orqali tajribalar o'rtasida havo g'ovakchalari sonida sezilarli farq mavjudligini aniqlash uchun o'tkazildi. Statistik tahlil natijalari (Paired t-test — Minitab) p qiymati 0.05 dan past bo'lganligi sababli, PMHS qo'shilishi natijasida g'ovakchalar sonida sezilarli farq borligi ko'rsatildi.

12-rasmda (Fig.12) natijalar umumlashtirilgan. Ko'rsatilganidek, g'ovaklilik aralashtirish vaqti, quritish harorati va PMHS dozalari oshgani sayin ortadi, shu bilan birga uzunlik-kenglik nisbati kamayadi.

Suvni singdirish (%)

Jadval 4 ga ko'ra, PMHS qo'shilishi suvni singdirish tezligini sezilarli darajada kamaytirgan, bu Issa va Luyt tomonidan oldinroq kuzatilgan bo'lib, ular PMHS gidrofil guruhlar gidrofil guruhlar bilan bog'lanishini va kristallar orasidagi

Figure 12. Jadval 5 ga ko'ra, PMHS dozasining, aralashtirish vaqi va quritish haroratining oshishi natijasida uzunlik-kenglik nisbati va g'ovaklikka ta'sir quyidagicha bo'ladi

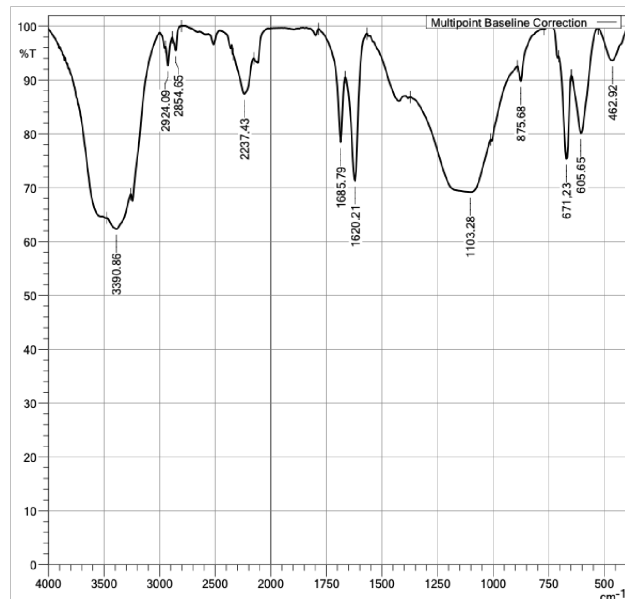


g'ovaklarni to'ldirishini ta'kidlaganlar. Bundan tashqari, bizning natijalarimiz PMHS qo'shilishi havo g'ovakchalari va g'ovaklik miqdorini oshirganini, shu bilan birga kristallarning uzunlik-kenglik nisbati kamayganini ko'rsatdi. Suvni singdirishning kamayishi PMHS ning gidrofobligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin, chunki u mikro-g'ovaklarni yopib, suvni rad etadi va makro-g'ovaklar ichidagi suvning matritsaga singishiga to'sqinlik qiladi. Bu hodisa boshqa bir qo'llanilishida ham kuzatilgan.

Bundan tashqari, namunalar yuzasidagi PMHS funksional guruhlari mavjudligi tasdiqlandi. FTIR texnikasi yordamida PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan gipsokartonga tegishli funksional guruhlarni o'lchandi, bu 13 va 14-rasmlarda ko'rsatilgan. 13-rasmda (Fig.13) PMHS qo'shilmagan namunadagi spektr bilan 14-rasmdagi (Fig.14) PMHS qo'shilgan namunadagi spektr o'rtasidagi farq aniq ko'rinadi. 13-rasmda 1.103 cm⁻¹ da signal asimmetrik cho'zilish tebranishi, 462 cm⁻¹ da simmetrik egilish tebranishlari va 605 cm⁻¹ va 671 cm⁻¹ da asimmetrik tebranishlar kuzatildi, bu sulfat guruhining (SO₄⁻) mavjudligini va dihidratni ko'rsatadi. Anhidrit sifatidagi sulfatni gips sifatidagi sulfatdan ajratish 2.237 cm⁻¹ da yutilish lentasi bilan amalga oshiriladi. Kutilganidek, suvning tebranishlari 3.390 cm⁻¹ da, suvning ikki egilish tebranishlari esa 1.620 cm⁻¹ va 1.685 cm⁻¹ da kuzatildi. Karbonatning mavjudligi 875 cm⁻¹ da tasdiqlandi. Aksincha, 14-rasmda SiCH₃ ning Si-C asimmetrik egilish tebranishidan kelib chiqqan 1.427 cm⁻¹ da signal ko'rsatilgan. 2900 cm⁻¹ va 2980 cm⁻¹ orasida C-H cho'zilishining CH₃ bilan bog'liq bo'lgan signal ham kuzatildi. Karbonat 875 cm⁻¹, 2.515 cm⁻¹ va 1.797 cm⁻¹ da kuzatildi [60]. FTIR texnikasi dihidratdagi anhidrit sulfatni 2.237 cm⁻¹ va 678 cm⁻¹ da, suvning tebranishlarini 3.240 cm⁻¹ da, suvning egilish tebranishlarini esa 1.685 cm⁻¹ va 1.631 cm⁻¹ da aniqlash imkonini berdi. Shuningdek, 1.427 cm⁻¹ da SiCH₃ ning Si-C tebranishi bilan bog'liq signal kuzatildi. Nihoyat, 1.250 cm⁻¹ dan 1.050 cm⁻¹ gacha Si-O-Si ning tebranishi aniqlangan. PMHS funksional guruhlarning yuzada mavjudligi gidrofobik kuchlarni yaratib, suvni rad etishga yordam beradi va shu sababli suvni singdirishning kamayishiga olib kelishi mumkin.

Suvni singdirish natijalarining statistik tahlili (Gipoteza testi — 2-namuna t-test — Minitab) p qiymati 0.05 dan past bo'lgani sababli sezilarli farqni ko'rsatdi. 15-rasmda (Fig.15) suyuqlik singdirish (A) natijalari ko'rsatilgan bo'lib, unda PMHS dozasining (D) o'zgarishi bilan aralashtirish vaqi (H) hamda quritish harorati (T) bir xil bo'lgan namunalar guruhi ko'rsatilgan. PMHS qo'shilganda suvni singdirish sezilarli darajada kamayganini ko'rish mumkin, bu o'rtacha 48% dan PMHS qo'shilgan holatda 3.5% ga tushadi, bu esa 93% o'zgarishdir. Aksincha, PMHS dozasining 0.2% dan 1.0% gacha oshishi suvni singdirishning sezilarli o'zgarishiga olib kelmaydi, har qanday H va T darajasi uchun. Biroq, 16-rasmda (Fig.16) ko'rsatilganidek, eng past singdirish qiymati PMHS dozasining 0.2% dan 0.6% gacha bo'lgan va quritish harorati 140 °C dan 150 °C gacha bo'lgan sharoitlarda, aralashtirish vaqi har qanday qiymatga ega bo'lganida olinadi. Chen va boshqar turli polimerlar bilan o'xshash xulq-atvorni kuzatib, yuqori polimer konsentratsiyasi kristallar o'sishini inhibe qilishini va kristallanishni kamaytirishini, shuningdek, uzunlik-kenglik

Figure 13. Infraqizil spektroskopiya: PMHS qo'shilmagan DH.



nisbati kamaygan bo'lsa-da, kristallar orasida ko'proq bo'sh tuzilmalar mavjudligini ta'kidlaganlar.

Figure 14. Infraqizil spektroskopiya: PMHS qo'shilgan

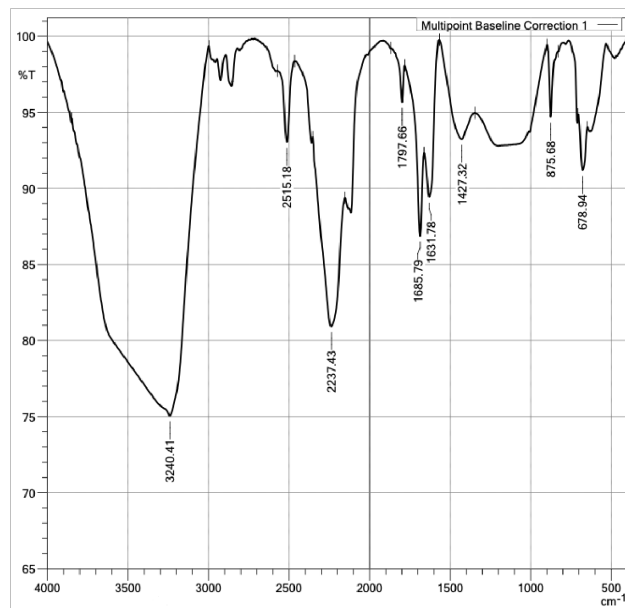


Figure 15. PMHS dozasini (0.0% dan 1.0% gacha), aralashtirish vaqi va quritish haroratini oshirishning suvni singdirish (A) ga ta'siri

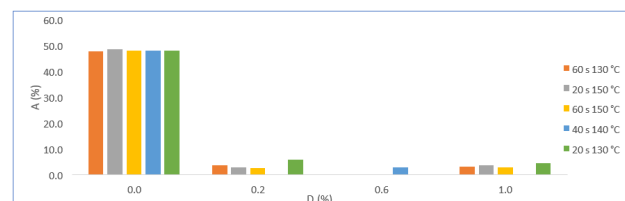
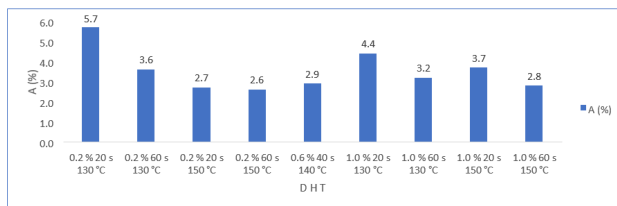


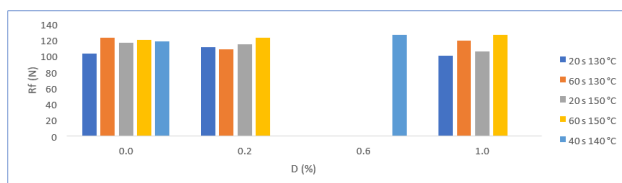
Figure 16. PMHS dozasi (0.2% dan 1.0% gacha), aralashtirish vaqti va quritish haroratini oshirishning suvni singdirish (A) ga ta'siri



Buklama kuchlanish (N)

Kutilgan edi-ki, yanada zichroq kristallarning hosil bo'lishi bükülme kuchlanishini yaxshilaydi, lekin havo g'ovaklarining o'lchamining oshishi bu ta'sirni bekor qiladi. Aslida, statistik baholash shuni ko'rsatadiki, PMHS qo'shilgan va qo'shilmagan sinovlardan olingan natijalar o'rtasida sezilarli farq yo'q; 17-rasmga (Fig.17) qarang.

Figure 17. PMHS dozasi (0.0% dan 1.0% gacha), aralashtirish vaqti va quritish haroratini oshirishning Rf ga ta'siri.



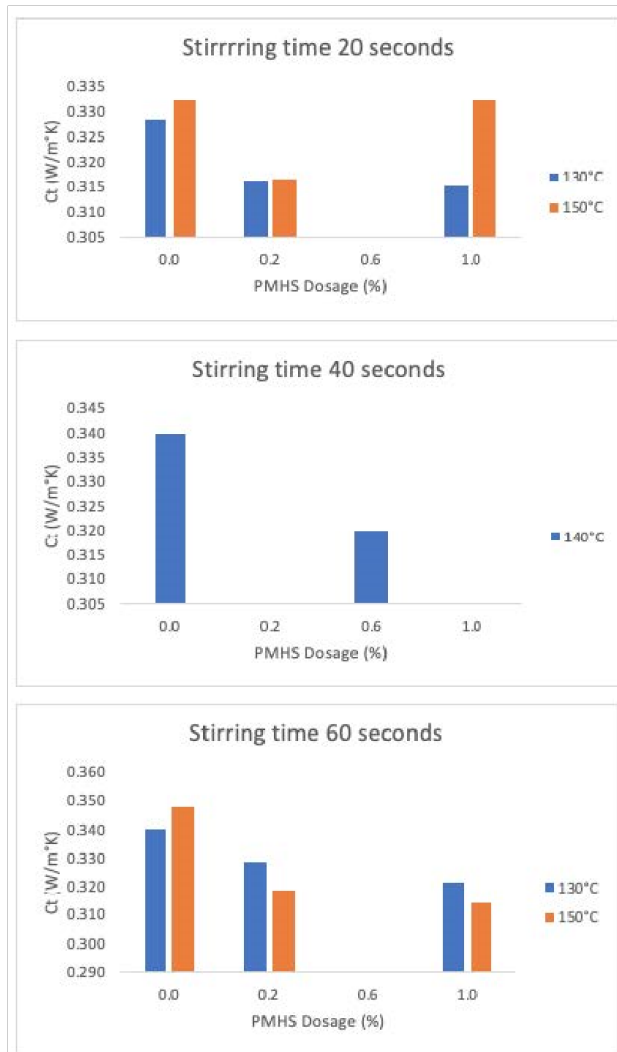
Issqlik O'tkazuvchanligi $W/(m \cdot K)$

Rasm 18 (Fig.18) PMHS dozasi asoslangan holda doimiy aralashtirish vaqti (H) va quritish harorati (T) qiymatlari uchun sinovlar natijalarini ko'rsatadi. PMHS qo'shilmagan va qo'shilgan sinovlar o'rtasidagi issiqlik o'tkazuvchanligining eng katta farqi, yuqori H va yuqori T sharoitlarida 10% kamayish bo'lib, bu SN4 sinovi (N8 ga nisbatan) va past H va past T sharoitlarida esa 4% kamayish (SN1 sinovi N1 ga nisbatan) kuzatiladi. Statistik indikator p, PMHS qo'shilgan va qo'shilmagan namunalar o'rtasida o'rtacha issiqlik o'tkazuvchanligini taqqoslash uchun 0.05 dan past bo'lib, ular o'rtasida sezilarli farq mavjudligini ko'rsatadi. Porozlik oshgani sari issiqlik o'tkazuvchanligi kamayadi, chunki DH tuzilmasidagi havo issiqlik oqimini o'tkazishda kamroq samarali.

3.2.3 bo'limida ko'rsatilganidek, PMHS qo'shilishi DHda havo g'ovaklarining kattalashishiga olib keldi. DH matritsasidagi g'ovak o'lchamini maksimal darajada oshiradigan optimal doza mavjuddek ko'rinadi. PMHS dozasi 0.6% va 40 soniya va 140°C (N9 sinovi) sharoitida namunani tayyorlashda g'ovak o'lchami modasi 528 μm dan 912 μm gacha, ya'ni 73% ga oshgan, PMHS qo'shilmagan (SN5 sinovi) namunaga nisbatan. Past darajadagi sharoitlarda (SN1 ni N1 ga nisbatan taqqoslashda) g'ovak o'lchami modasining oshishi 57% ni tashkil etdi, 336 mikrometrdan 528 mikrometrgacha. Yuqori darajadagi sharoitlarda (SN4 ni N8 ga nisbatan taqqoslashda) g'ovak o'lchami modasining oshishi 40% ni tashkil etdi, 480 mikrometrdan 672 mikrometrgacha. Barcha holatlarda PMHS qo'shilishi porozlik va g'ovak o'lchamini oshirdi.

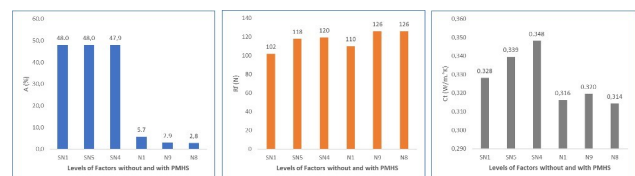
Nihoyat, Rasm 19 (Fig.19) D, H, va T funksiyasi bo'yicha suvni yutish (A), bükülme kuchlanishi (Rf), va issiqlik o'tkazuvchanligi (Ct) bo'yicha umumiy natijalarni ko'rsatadi. PMHS qo'shilishi, aralashtirish vaqti va quritish haroratining oshishi bilan suvni yutish sezilarli darajada kamaydi. Bükülme kuchlanishiga esa ta'sir qilmagan. Issiqlik o'tkazuvchanligi PMHS dozasi oshishi, aralashtirish vaqti va quritish haroratining oshishi bilan

Figure 18. PMHS dozasi (0.0% dan 1.0% gacha), aralashtirish vaqti va quritish haroratining issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'siri



kamaygan.

Figure 19. PMHS dozasi, aralashtirish vaqti va quritish haroratining suvni yutish, bükülme kuchlanishi va issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'siri



Xulosa

Ushbu maqola gipso-karton taxtalari (gipsli plitalar) ning gidrotermal va mexanik xususiyatlarini tahlil qildi. Tadqiqotda PMHS (polimetilgidrosiloksan) dozasi, aralashtirish yoki homogenizatsiya vaqtining va quritish haroratining gipso-kartonning suvni yutish, bükülme kuchlanishi va issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'sirini qanday o'zgartirishini o'rganildi. Morfologiya va porozlikka ta'siri va bu xususiyatlarning gipso-kartonning suvni yutishi, bükülme kuchlanishi va issiqlik

o'tkazuvchanligiga qanday ta'sir qilishini baholandi.

Ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, PMHS ning kalsiy sulfat gemigidratining gidratsiya reaksiyasiga qo'shilishi suvni yutish uchun sezilarli ta'sir ko'rsatadi, shuningdek, issiqlik o'tkazuvchanligiga nisbatan biroz ta'sir qiladi. PMHS dozasining, aralashtirish vaqtining va gipso-kartonning quritish haroratining o'zgarishi yakuniy zarralar morfologiyasini sezilarli darajada o'zgartirishi mumkin. Bu o'zgaruvchilar oshgani sayin, kristallar uzunlik-kenglik nisbati kamaydi va umumiy porozlik oshdi. Natijada, suvni yutish va issiqlik o'tkazuvchanligi ham kamaydi. Eksperimental ma'lumotlar ko'rsatadiki, asosan ta'sir PMHS dozasidan kelib chiqadi. PMHS dozasini qo'llaganidan keyin, ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, aralashtirish vaqti va quritish harorati uchun maksimal doza mavjud bo'lib, bu minimal kuch sarflab yaxshilanishni maksimal darajada oshiradi. Ma'lumotlarni tahlil qilish gipso-kartonning bükülme kuchlanishiga ta'sir ko'rsatilmasligini ko'rsatadi.

Ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, PMHS dozasining optimal qiymati mavjud bo'lib, bu qiymatdan yuqorida suvni yutish va issiqlik o'tkazuvchanligini kamaytirishdagi ijobiy ta'sir yo'qoladi. Optimal qiymat taxminan 0.6% PMHS dozasiga teng bo'lishi mumkin.

Ushbu tadqiqot natijalari PMHS polimerining qo'shilishi, aralashtirish vaqti va quritish harorati o'rtasidagi bog'liqlikni yaxshilaydi, bu esa gipso-kartonning kristall morfologiyasi va porozligini o'zgartiradi, shuningdek, uning suvni yutishi va issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'sir qiladi.

Biroq, gipso-kartonning bükülme kuchlanishini yaxshilash uchun hali yechilishi kerak bo'lgan savollar mavjud bo'lib, bu boshqa ikki xususiyat, ya'ni suvni yutish va issiqlik o'tkazuvchanligi bilan salbiy ta'sir qilmasligi kerak. Biz qo'shimcha tadqiqotlar olib bormoqdamiz, bunda gipso-kartonning moslashtirilgan PMHS dozasida aralashtirish va quritish harorati sharoitida, qo'shimcha elementlar qo'shish orqali yaxshilanishni o'rganmoqdamiz. Plastik mikroskopik chiqindilar, masalan, polietilen tereftalatni mexanik qayta ishlashdan kelib chiqadigan chiqindilar bu funksiyani bajarishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Singh, N.; Middendorf, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* 2007, 53, 57–77. [CrossRef]
2. Tinkova, T.; Grigorova, I.; Nishkov, I. New Approaches on Gypsum Body Composite Materials Addition. *Researchgate* 2016, 2015, 10.
3. Chen, X.; Wu, Q.; Gao, J.; Tang, Y. Hydration characteristics and mechanism analysis of β -calcium sulfate hemihydrate. *Constr. Build. Mater.* 2021, 296, 123714. [CrossRef]
4. Yu, Q.; Brouwers, H. Microstructure and mechanical properties of β -hemihydrate produced gypsum: An insight from its hydration process. *Constr. Build. Mater.* 2011, 25, 3149–3157. [CrossRef]
5. Polat, S.; Sayan, P. Ultrasonic Irradiation during the Calcium Sulfate Hemihydrate to Dihydrate Transformation Process. *Chem. Eng. Technol.* 2019, 42, 1466–1474. [CrossRef]
6. de Korte, A.C.J.; Brouwers, H.J.H. Ultrasonic sound speed analysis of hydrating calcium sulphate hemihydrate. *J. Mater. Sci.* 2011, 46, 7228–7239. [CrossRef]
7. De Korte, A.C.J.; Brouwers, H.J.H. Ultrasonic sound speed measurement as method for the determining the hydration degree of gypsum. In *Proceedings of the 8th*

FIB International PhD Symposium in Civil Engineering, Lyngby, Denmark, 20–23 June 2010.

8. Adrien, J.; Meille, S.; Tadier, S.; Maire, E.; Sasaki, L. In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. *Cem. Concr. Res.* 2016, 82, 107–116. [CrossRef]
9. Kamalipour, M.; Dehghani, S.A.M.; Naseri, A.; Abbasi, S. Role of agitation and temperature on calcium sulfate crystallization in water injection process. *J. Pet. Sci. Eng.* 2017, 151, 362–372. [CrossRef]
10. Li, J.Q.; Gong, M.Z.; Li, G.Z. Relationship between Exothermic Effect and Crystal Growth in the Hydration Process of Waterproof Gypsum. *Appl. Mech. Mater.* 2012, 253, 308–311. [CrossRef]