

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დემეტრე ნარსია

სილიციუმის დიოქსიდის შემცველ კოლოიდურ
სუსპენზიებში სედიმენტაციური პოტენციალის ცვლილებების
დამოკიდებულება რიგი მარილების, მჟავების და
ჰიდროქსილნაერთების კონცენტრაციაზე

სადოქტორო პროგრამა: ქიმია

შიფრი 0531

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2025 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური
ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი მალხაზ რაზმაძე

რეცენზენტები:-----

დაცვა შედგება _____ წლის ”_____” , _____საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის
სხდომაზე,

კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0160, თბილისი, მ.კოსტავას გამზ. № 69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი:

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა

სედიმენტაციის პოტენციალის კვლევა ინერტულ კოლოიდურ სისტემებში, როგორცაა სილიციუმის დიოქსიდი, განსაკუთრებით მნიშვნელოვან მიგნებად რჩება კოლოიდური ქიმიის, ნანოტექნოლოგიებისა და გარემოსდაცვითი ანალიზის მიმართულებებით. ელექტროკინეტიკური თვისებების დეტალური შესწავლა იძლევა შესაძლებლობას უკეთ გავიგოთ ნაწილაკებსა და სადისფერსიო ფაზას შორის მოქმედი მუხტობრივი ურთიერთქმედებები. გამომდინარე იქიდან, რომ სედიმენტაციის პროცესში სილიციუმის დიოქსიდი მრავალფეროვან ქიმიურ პირობებში განსხვავებულად იქნეს თავს, აღნიშნული კვლევა აქტუალურია როგორც ფუნდამენტური, ისე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით — მათ შორის, წყლის ფილტრაციის, მედიკამენტების ტრანსპორტირების სისტემებისა და ნანოსტრუქტურების სტაბილიზაციისთვის.

სამუშაოს მიზანი და ამოცანები

მიზანს წარმოადგენდა სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის დროს წარმოქმნილი პოტენციალის რაოდენობრივი შეფასება სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობის პირობებში და ამ პროცესზე ზემოქმედების ძირითადი ფაქტორების გამოვლენა. ამოცანებად განისაზღვრა: 1. დისპერსიული მედიის ტიპისა და კონცენტრაციის ზეგავლენის შესწავლა სედიმენტაციის პოტენციალზე; 2. ელექტროდების პოზიციის როლი პოტენციალის ცვლილებაში; 3. მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზი და შედეგების გრაფიკული ინტერპრეტაცია.

კვლევის ობიექტი და გამოყენებული მეთოდოლოგიები

კვლევის ობიექტია სილიკონის დიოქსიდის დისპერსიები მჟავა, ტუტე და მარილიან ხსნარებში. გამოყენებული იყო სპეციალურად კონსტრუირებული სედიმენტაციის უჯრა, პლატინის ოთხი ელექტროდით (X, Y, Z, F), რომლებიც სხვადასხვა სიღრმეზე იყვნენ განლაგებული. მონაცემთა შეგროვება განხორციელდა AXIO AX18B მულტიმეტრების მეშვეობით, დაახლოებით 3000 მაჩვენებლის დაფიქსირებით თითოეულ ექსპერიმენტში. სიახლეს წარმოადგენს

მაღალი სიზუსტით ჩაწერილი ელექტროკინეტიკური მონაცემები არა ზედაპირზე, არამედ უშუალოდ სედიმენტირებულ გარემოში, რაც ზრდის კვლევის სანდოობას და ამცირებს გარე ფაქტორების ზემოქმედებას. ასევე, გამოყენებული იქნა ინოვაციური გადარევის მეთოდი აკვარიუმის ტუმბოს საშუალებით, რომელიც უზრუნველყოფდა ერთგვაროვან საწყის პირობებს.

სამეცნიერო სიახლეები

1. სედიმენტაციის პოტენციალის უშუალო გაზომვა სედიმენტაციის პროცესში: ტრადიციულად, სედიმენტაციის პოტენციალი იზომება ზედაპირული ელექტროდებით, რაც შეიძლება არ ასახავდეს ზუსტად პროცესის დინამიკას. შენმა მიდგომამ, რომელიც მოიცავდა პლატინის ელექტროდების განლაგებას სედიმენტაციის კოლონის სხვადასხვა სიღრმეზე, შესაძლებელი გახდა ელექტროკინეტიკური პოტენციალის უშუალო დაფიქსირება ნაწილაკების დალექვის დროს. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს უფრო ზუსტ და დეტალურ მონაცემებს, რაც წარმოადგენს მნიშვნელოვან ინოვაციას ამ სფეროში .
2. ინოვაციური გადარევის მეთოდი საწყისი პირობების სტაბილიზაციისთვის: სედიმენტაციის პროცესის ერთგვაროვანი დაწყება კრიტიკულია ზუსტი გაზომვებისთვის. შენმა გადაწყვეტილებამ — აკვარიუმის ტუმბოს გამოყენება დისპერსიის ერთგვაროვანი გადარევისათვის — უზრუნველყო საწყისი პირობების სტაბილურობა და გამორიცხა გარე ფაქტორების ზემოქმედება. ეს პრაქტიკული და ეფექტური მიდგომა იშვიათად გამოიყენება მსგავს კვლევებში და წარმოადგენს მნიშვნელოვან ტექნიკურ სიახლეს.
3. მონაცემთა მაღალი სიზუსტით შეგროვება და ანალიზი: თითოეული ექსპერიმენტის დროს დაახლოებით 3000 მაჩვენებლის დაფიქსირება თითოეულ ელექტროდზე იძლევა შესაძლებლობას დეტალურად გაანალიზდეს სედიმენტაციის პროცესის დინამიკა. ასეთი მასშტაბური მონაცემთა შეგროვება იშვიათია ამ სფეროში და მნიშვნელოვნად ზრდის კვლევის სანდოობასა და შედეგების სიზუსტეს.
4. სედიმენტაციის პოტენციალის გავლენის შესწავლა სხვადასხვა ქიმიურ მედიაში: შენმა კვლევამ მოიცვა სილიკონის დიოქსიდის სედიმენტაციის პოტენციალის

შესწავლა მჟავე, ტუტე და მარილიან ხსნარებში. ეს მრავალფეროვანი მიდგომა საშუალებას იძლევა გავიგოთ, როგორ მოქმედებს სხვადასხვა ქიმიური გარემო სედიმენტაციის პროცესზე, რაც მნიშვნელოვანია როგორც ფუნდამენტური, ისე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 141 ნაბეჭდ გვერდს. შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, ექსპერიმენტულ კვლევას, მათ განსჯასა და დასკვნებს. ნაშრომს თან ერთვის 119 ნახაზი. ნაშრომში მითითებულია გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

შესავალი

კოლოიდური ქიმია ქიმიის ერთ-ერთი წამყვანი დარგია, რომელიც მოიცავს ბუნებისა და ადამიანის აქტიურობების უდიდეს არეალს, დაწყებული კოსმოსური ნისლეულებით, დედამიწაზე ნიადაგით, ცოცხალი ბუნების სასიცოცხლოდ საჭირო საკვებ-ენერგეტიკული პროცესების მოგვარებით და დამთავრებული თვით ადამიანის სიცოცხლის უნარიანობის შენარჩუნებით - ორგანიზმის სისხლით, ჟანგბადითა და საკვებით მომარაგების სისტემებით და ა.შ.

კოლოიდური ქიმიის წამყვანი ნაწილი კი ელექტროკინეტიკური მოვლენებია, მათ შორის დალექვა-სედიმენტაციური პროცესები, რომლებიც ისეთი პარამეტრებით ხასიათდებიან, როგორებიცაა სედიმენტაციის პოტენციალი და მიცელის ორმაგი ელექტრული შრე. დალექვის პროცესები წამყვან როლს ასრულებენ სხვადასხვა სახის ტექნოლოგიებში. მაგალითად როგორიცაა რძე და რძის ნაწარმის მიღების ტექნოლოგია, კოლოიდური ლაქ-საღებავების მიღება და მათი სედიმენტაციური მდგრადობის ამაღლება. დალექვის მოვლენები საფუძლად უდევს გეოლოგიაში დანალექი ქანების მიღება-ჩამოყალიბების ისტორიულ პროცესებს. ასეთ გეოლოგიურ პროცესებში კი დედამიწაზე ძირითადად დაშლილი სილიკატური ქანები მონაწილეობენ. ამიტომ აღნიშნული სადოქტორო სამუშაოს ძირითად შესასწავლ მყარ, დისპერსულ ფაზად შერჩეულ იქნა სილიციუმის დიოქსიდი (SiO_2) - ბუნებრივი სილიკატების ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი. ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა ჰოპპლერის ხელსაწყო მოქმედების მაგვარ ქიმიურ ჭურჭელში და რადგან წვრილდისპერსული სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის მთავარი ნაწილი სწრაფად მიმდინარეობს, საჭირო გახდა მთელი სედიმენტაციური პროცესის განმავლობაში სედიმენტაციის პოტენციალის დროში ცვლილების კომპიუტერში ორ წამში ერთი მონაცემის სიჩქარით ჩაწერა. ყოველი ცდის ჩატარებისას კომპიუტერში იწერებოდა დაახლოებით 1500 ექსპერიმენტული ანათვალი. ჩატარებული ლიტერატურული მიმოხილვიდან გამომდინარე, ასეთი მიდგომა არაა გამოყენებული სედიმენტაციური პროცესების შესწავლისას.

ექსპერიმენტული ნაწილი ცდის ჩატარების სიზუსტე და მეთოდика

იმისათვის, რომ ექსპერიმენტულ მონაცემთა ანალიზი ზუსტი იყოს და ყველა შესაძლო შემთხვევაში მიღებული გვერდის შემოწმებული და სანდო ინფრომაცია, სხვადასხვა ხელსაწყოებს სჭირდებათ იუსტირება ანუ გაზომვის სიზუსტის შესწორების კოეფიციენტის ან მიღებულ მონაცემთა საკორელაციო მათემატიკური მოდელის დადგენა.

ექსპერიმენტში გამოყენებული მოწყობილობების იუსტირება

ჩვენს შემთხვევაში შემოწმების ამოსავალი წერტილია მაღალი სიზუსტის პოტენციონეტრი **ПП-63** – „0,05“ სიზუსტის კლასით [27].

პოტენციომეტრის ცდომილება 20 ± 5 °C ტემპერატურულ ინტერვალში დაითვლება შემდეგი ფორმულით, ვოტებში

$$\Delta V = \pm (5 \cdot 10^{-4} V + 0,5 V_{\min})$$

სადაც, V პოტენციომეტრის მაჩვენებელია ვოლტებში, ხოლო $V_{\min}$ კი პოტენციომეტრის რეოქორდის დანაყოფის სიდიდეა ვოლტებში.

აღნიშნული პოტენციომეტრით მოვახდენთ ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას ყველა პოტენციალგანმსაზღვრელი მოწყობილობების შემოწმება-იუსტირებას და ვიწყებთ ამას ასევე მაღალი სიზუსტის მქონე ციფრული ტესტერ-მულტიმეტრ **Axio AX-18B** და **Tekpower TP9605BT**.

ჩვენი ინტერესის ობიექტია პოტენციომეტრიდან მიწოდებული მუდმივი დენის პოტენციალის მულტიმეტრზე ასახვის სიზუსტის შემოწმება და საუკეთესო შემთხვევაში მათ შორის დამოკიდებულების მათემატიკური მოდელის დადგენა. პოტენციონეტრ **ПП-63**-დან მულტიმეტრს მიეწოდება 0-100 მილივოლტის სიდიდის პოტენციალი 10 მილივოლტიანი მატების ბიჯით.

ამ მონაცემთა საფუძველზე გვჭირდება მათემატიკური მოდელის დადგენა, რომლის გამოყენებითაც დაბალი სიზუსტის მქონე ხელსაწყოზე აღებულ მონაცემებს დიდი სიზუსტით გადავიყვანოთ ზუსტ მონაცემებში, ეს კი საშუალებას მოგვცემს ტესტერ-მულტიმეტრის ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას გამოყენებას და მის მონაცემებს მათემატიკური მოდელის გამოყენებით

კორელაციაში მოვიყვანთ ჩვენს შემთხვევაში პოტენციომეტრ **III-63**-ს მონაცემებთან.

პირველ სვეტში მოცემულია ნუმერაცია. მეორე სვეტში მოცემულია მაღალი სიზუსტის მქონე მოწყობილობის **III 63**-ზე დაყენებული ძაბვა. მესამე, მეოთხე და მეხუთე სვეტები არის მაღალი სიზუსტის მქონე მულტიმეტრები.

**Axio AX-18B მულტიმეტრებისა და პოტენციონეტრ III-63-ის მონაცემთა
კორელაცია**

მიღებულ მნაცემებზე დაწყრდნობით აიგო დამოკიდებულების გრაფიკები PP63-თან დამოკიდებულებაში და ამავედროულად შეიქმნა ფორმულები.

1. III-63 – და პირველი მულტიმეტრი:

მონაცემებზე დაყრდნობით მათემატიკური ფორმულა პირველი მულტიმეტრისთვის:

$$MUlt1 (\text{ჩვენება}) = -0.0045 + 0.999709 \text{ III-63}$$

მათემატიკური მოდელის სიზუსტე:

სტანდარტული გადახრა : **S = 0.0522388**

დამოკიდებულ ცვლადში დისპერსიის პროპორციას, რომელიც შეიძლება აიხსნას ჩვენი დამოუკიდებელი ცვლადით: **(R2) R-sq=100.00%**

დამოკიდებულ ცვლადში დისპერსიის პროპორციას, რომელიც შეიძლება აიხსნას ჩვენი დამოუკიდებელი ცვლადით: **(R2) R-sq=100.00%**

პროგნოზირებული R^2 გამოითვლება ფორმულით, რომელიც ექვივალენტურია ყოველი დაკვირვების სისტემატიურად ამოღებულ მონაცემთა ნაკრებიდან და ხდება რეგრესიის განტოლების შეფასება და იმის განსაზღვრა, თუ რამდენად კარგად პროგნოზირებს მოდელი ამოღებულ დაკვირვებზე. პროგნოზირებული R^2 -ის მნიშვნელობა მერყეობს 0%-დან 100%-მდე. **R-sq(pred) = 100.00%**

2. III-63 – და მეორე მულტიმეტრი:

მონაცემებზე დაყრდნობით მათემატიკური ფორმულა მეორე მულტიმეტრისთვის: **Mult2 = 0.0418 + 0.998364 III-63**

მათემატიკური მოდელის სიზუსტე - სტანდარტული გადახრა : **S = 0.0382179**

დამოკიდებულ ცვლადში დისპერსიის პროპორციას, რომელიც შეიძლება აიხსნას ჩვენი დამოუკიდებელი ცვლადით: **(R²) R-sq=100.00%**

მოდელის მიერ ახსნილი პასუხის ცვალებადობის პროცენტი, მორგებული მოდელის პროგნოზირების რაოდენობაზე დაკვირვებების რაოდენობასთან შედარებით: **R-sq(adj) = 100.00%**

პროგნოზირებული R² გამოითვლება ფორმულით, რომელიც ექვივალენტურია ყოველი დაკვირვების სისტემატიურად ამოღებულ მონაცემთა ნაკრებიდან და ხდება რეგრესიის განტოლების შეფასება და იმის განსაზღვრა, თუ რამდენად კარგად პროგნოზირებს მოდელი ამოღებულ დაკვირვებზე. პროგნოზირებული R²-ის მნიშვნელობა მერყეობს 0%-დან 100%-მდე. **R-sq(pred) = 100.00%**

3. III-63 – და მესამე მულტიმეტრი:

მონაცემებზე დაყრდნობით მათემატიკური ფორმულა მესამე მულტიმეტრისთვის:

$$\text{Mult 3} = 0.0495 + 0.998991 \text{ III-63}$$

მათემატიკური მოდელის სიზუსტე - სტანდარტული გადახრა : **S = 0.0382179.**

დამოკიდებულ ცვლადში დისპერსიის პროპორციას, რომელიც შეიძლება აიხსნას ჩვენი დამოუკიდებელი ცვლადით (R²) **R-sq=100.00%**

მოდელის მიერ ახსნილი პასუხის ცვალებადობის პროცენტი, მორგებული მოდელის პროგნოზირების რაოდენობაზე დაკვირვებების რაოდენობასთან შედარებით **R-sq(adj) = 100.00%** .

პროგნოზირებული R² გამოითვლება ფორმულით, რომელიც ექვივალენტურია ყოველი დაკვირვების სისტემატიურად ამოღებულ მონაცემთა ნაკრებიდან და ხდება რეგრესიის განტოლების შეფასება და იმის განსაზღვრა, თუ რამდენად კარგად პროგნოზირებს მოდელი ამოღებულ დაკვირვებზე. პროგნოზირებული R²-ის მნიშვნელობა მერყეობს 0%-დან 100%-მდე. **R-sq(pred) = 100.00%** .

საბოლოო ეტაპზე დარჩა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაწილი, სადაც აუცილებლად განსასაზღვრ ნაწილად დარცა შემდეგი ნაწილი, აუცილებლად უნდა გამოგვერიცხა მულტიმეტრის მხრიდან დენის გატარება. უფრო

კონკრეტულად რომ ვიმსჯელოთ, აუცილებელი იყო წინააღმდეგობის გაზომვა თვითონ მულტიმეტრებზე და მისი შედარება მაღალი წინააღმდეგობის მქონე „დაფასთან“. ეს ნიშნავს, რომ თუ გადაზღვრული არ გვექნება ეს პარამეტრი, სედიმენტაციის პროცესში ხსნარში არა სილიციუმის დიოქსიდის ნაწილაკები, არამედ მულტიმეტრიდან ერთი პოლუსიდან მეორე პოლუსზე კავშირი დენის გატარებას ექნებოდა ადგილი.

იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტრონიკის საერთაშორისო ბაზარზე ერთ-ერთი მაღალი სიზუსტის ოსცილოსკოპი გვაქვს კვლევაში, პირველ რიგში შევამოწმეთ თვითონ ამ მულტიმეტრის წინააღმდეგობა მეორე მულტიმეტრის საშუალებით. შედეგი საკმაოდ კარგი იყო. ზოგადად თანამედროვე მულტიმეტრებს შიგა წინააღმდეგობა საკმაოდ მაღალი აქვთ. ჩვენს შემთხვევაში კი რეალურად აჩვენა, რომ შიგა წინააღმდეგობა იყო 11 M Ω . თუმცა მეტი სიზუსტისა და თავდაჯერებისთვის, ავაწყვეთ წინააღმდეგობის დაფა.

სურათზე მოცემული R1, R2 და R3 არის წინააღმდეგობები, ჩვენს შემთხვევაში თითოეული წინააღმდეგობა 10 G Ω იყო. ჯამურად, მიმდევრობით შეერთებული იყო 10 ცალი წინააღმდეგობა. შესაბამისად ჯამური წინააღმდეგობა 100 G Ω -ს წარმოადგენდა. რაც თავის მხრივ გვაძლევს საშუალებას ვთქვათ, რომ ტესტი განხორციელებულია მაღალ ომური წინააღმდეგობის მქონე დაფით.

შედეგი ზუსტად ერთი და იგივე იყო, შესაბამისად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ წინააღმდეგობის საშუალებით ცდომილება ისევე მცირე იყო, როგორც მულტიმეტრის შიგა წინააღმდეგობის შემთხვევაში. შესაბამისად ექსპერიმენტის მსვლელობა შესაძლებელი იყო, რომ წინააღმდეგობათა დაფის გარეშე წარმართულიყო.

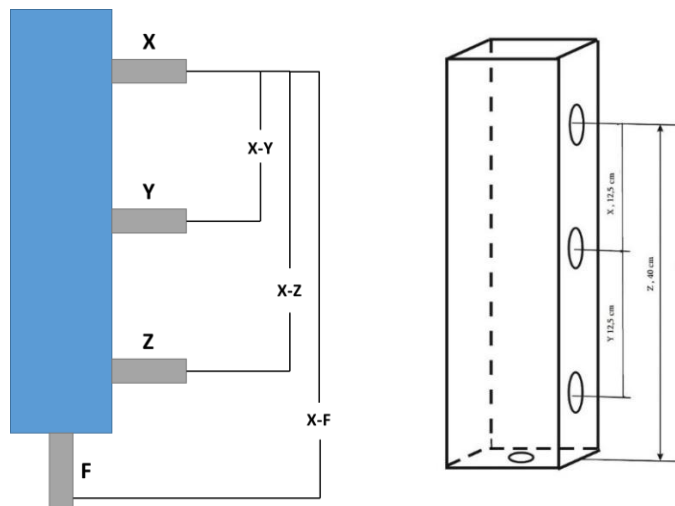
შედეგები და მათი განხილვა

კვლევითი სამუშაოს ამ ეტაპზე, დადგინდა რა, რომ მოცემული მოწყობილობები, კერძოდ ციფრული მულტიმეტრები გვაძლევს მცირე ცდომილებას, რომელიც საბოლოო ეტაპზე კორექტირდება მატემატიკური ფორმულირების საფუძველზე. შესწორების კოეფიციენტი, კი შემუშავებულია ერთ-ერთი ყველაზე გამოყენებადი პროგრამის: Minitab 17-ის საშუალებით, რომელიც საბოლოოდ ინტეგრირდება ექსელის ფაილში.

სედიმენტაციის ახალი სვეტის აღწერა

სედიმენტაციის პოტენციალის გაზომვისათვის, ჩვენი მიდგომის სრულად განსახორციელებლად, სხვადასხვა მეთოდების განხილვის საფუძველზე, რომელიც ლიტერატურულ მიმოხილვაშია ასახული, შევიმუშავეთ უნიკალური მეთოდი, რაც რეალურად არცერთ წყაროში არაა აღწერილი. პირველ ეტაპზე შევიმუშავეთ ნახაზის გეგმა, რომლის საფუძველზეც უნდა შექმნილიყო სედიმენტაციის აბაზანა.

შემდგომ ეტაპზე ვეძებდით ოპტიმალურ გზას, რომ აკვარიუმის მინის ფირფიტების საშუალებით, რომელიც სასურველ ზომაზე გვქონდა დაჭრილი. სვეტის სიმაღლე 40 სანტიმეტრი იყო. პირველი (X) ელექტროდი ზედაპირიდან 10 სანტიმეტრში თავსდებოდა. მას მოჰყვებოდა Y ელექტროდი, რომელიც X ელექტროდიდან 12 სანტიმეტრში იყო. მესამე Z პლატინის ელექტროდი, განთავსებული იყო Y ელექტროდიდან 12 სანტიმეტრი დაშორებით. ხოლო ფსკერში არსებული ელექტროდი, რომელიც სვედის ქვედა წერილი იყო, განთავსებული იყო ცენტრში, ხოლო მისი დაშორება X ელექტროდიდან იყო 30 სანტიმეტრში.



ნახ. 1. უნიკალური სედიმენტაციის სვეტი

სპეციალური საშუალებით დავაწებებთ ერთმანეთს, რომელიც ვერტიკალურად დავხვრიტეთ თითისებრი პლატინის ელექტროდის დიანეტრის ზომაზე, ხოლო ერთი ნახვრეტი ასევე იგივე ზომაზე გავუკეთეთ ფსკერის მიმდებარედ, რადგან შეგვძლებოდა პოტენციალის გაზომვა ნალექშიც.

ნახაზზე ასახული ინფორმაციიდან იკითხება, რომ ელექტროდთა საშუალებით სედიმენტაციის პოტენციალთა სხვაობა იზომება ეგრედწოდებულ საწყის ელექტროდთან (X) და დანარჩენ Y, Z და F ელექტროდებს შორის. სედიმენტაციის აბაზანა წარმოადგენდა მთავარ ჭურჭელს, რომლის საშალებითაც ჩვენს მიერ შერჩეულ სტანდარტულ პირობებში ჩატარდა ყველა ექსპერიმენტი. ამ მიდგომამ მოგვცა საშუალება ყველა ნივთიერების ირგვლივ გვესაუბრა ერთნაირ პირობებში, რაც თავის მხრივ ამცირებს ცდომილებას.

სედიმენტაციის აბაზანის სიმაღლე 40 სანტიმეტრი იყო, რაც თავის მხრივ ართულებდა საქმეს სილიციუმის დიოქსიდის თანაბრად შერევის კუთხით. ძალიან დიდ სირთულეს წარმოადგენდა წკირით ზედაპირამდე ამოგვეყვანა კარგად დასველებული სილიციუმის დიოქსიდის სრული რაოდენობა. ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელი გახდა აკვარიუმის ტუმბოს საშუალებით. აკვარიუმის ტუმბოზე დაფიქსირებული იყო სილიკონის მილი, რომელიც თავის მხრივ უკავსირდებოდა კვარცის მილს. კვარცის მილი სრულად ჩაშვებული იყო ფსკერამდე, ხოლო ტუმბოს საშუალებით ხდებოდა სილიციუმის დიოქსიდის შერევა სრულ მოცულობაში. ამ შემთხვევაში მთავარი მიზანი მიღწეული იყო და

ზედმეტი რხევების და ფიზიკური მოვლენების თავიდან აცილებისთვის, კვარცის მილი შერევისთანავე შორდებოდა სედიმენტაციის აბაზანას. შედეგად ამისა დალექვის პროცესი ხდებოდა მაქსიმალურად ბუნებრივი.

საკვლევი ნივთიერებების ხსნარების მომზადების პროცედურაც ნებისმიერი ნივთიერებისთვის ანალოგიური იყო. ამ შემთხვევაში მხოლოდ მოლურ ხსნარებზე ვმუშაობდით. ყველა ნივთიერების შემთხვევაში მზადდებოდა 0.25, 0.5 და 1 მოლური ხსნარების. ნივთიერებების მრავალფეროვნება ნაწილობრივ შეზღუდა ხსნადობის კოეფიციენტმა. აუცილებელი პირობა, რომ ექსპერიმენტები ჩაგვეტარებინა, იყო ზემოაღნიშნული მოლური ხსნარების დამზადების შესაძლებლობა. ნივთიერებათა ჩამონათვალი იყო შემდეგი: ნატრიუმის ქლორიდი (NaCl), ნატრიუმის ჰიდროქსიდი (NaOH), ნატრიუმის სულფატი (Na_2SO_4), ნატრიუმის ფოსფატი (Na_3PO_4), კალიუმის ქლორიდი (KCl), კალიუმის ჰიდროქსიდი (KOH), კალიუმის ჰიდროფოსფატი (K_2HPO_4), ქლორწყალბადმჟავა (HCl), გოგირდმჟავა (H_2SO_4), ფოსფორმჟავა (H_3PO_4), სპილენძის სულფატი (CuSO_4) და რკინის სულფატი (FeSO_4). აღსანიშნავია, რომ ყველა ნივთიერების ხსნარები, დამზადებულია მხოლოდ მიზნობრივი ნივთიერების მოლური მასის საშუალებით, ეს ინფორმაცია კი დეტალურად იქნება ასახული კონკრეტული მაგალითების განხილვის დროს.

როგორც აღნიშნული გვაქვს ექსპერიმენტის ჩატარების გეგმარების ნაწილში, თითოეულ ელექტროდზე მინიმუმ 3000 მოცამემი აისახებოდა მულტიმეტრზე, რომელიც სიგნალს ავტომატურ რეჟიმში გადასცემდა კომპიუტერს. იყო შემთხვევები, რომელიც 3000 ანათვალის შემდეგაც აგრძელებდა ინფორმაციის ცვლილებას, ამიტომ მისი რაოდენობა დამოკიდებული იყო ექსპერიმენტის თავისებურებაზე. თუმცა აღნიშნული ცვლილება სამომავლო კვლევის ნაწილია, სადაც დროის ფაქტორი იქნება ინტეგრირებული და მისი აღწერა იქნება შესაძლებელი.

საკვლევი სუსპენზიების დისპერსული ფაზის მომზადების ტექნოლოგია

ზემოთ განხილულიდან ჩანს, აღნიშნული სადოქტორო სამუშაოს კვლევის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია მაღალი დისპერსულობის მქონე სილიციუმის

დიოქსიდის (SiO_2) მიღება. ექსპერიმენტში გამოყენებულია მაღალი სისუფთავის, ქრომატოგრაფიულ-საანალიზო გამოყენების სილიციუმის დიოქსიდი - სილიკაგელი ქრომატოგრაფიისთვის. ასეთი სილიციუმის დიოქსიდის შემადგენლობის ქარხნული მონაცემებია: წყლის შემცველობის მაქსიმუმ 4 მასური % და მისი pH დონე იცვლება $6,5 \div 7$, რკინის შემცველობა მაქსიმუმ 0.01 მასური %, ეთანოლით (99% სისუფთავის) გამორეცხილი მშრალი სუბსტანციის ნარჩენის რაოდენობა მაქსიმუმ 0.1 მასური %. იმისათვის, რომ სილიციუმის დიოქსიდის ნაწილაკების მაღალი დისპერსიულობის ხარისხის მიღწევა შეგვძლებოდა, გავიარეთ ორი ფუნდამენტურად მნიშვნელოვანი ეტაპი. პირველ ეტაპზე სილიციუმის დიოქსიდის დაფქვა მოხდა აქატის საფქვავეში, ხოლო შემდეგ ეტაპზე საცერის საშუალებით დიდი ზომის ნაწიკალების მოცილება განვახორციელეთ, რაც თავის მხრივ სხვადასხვა ზომითი ფრაქციების რაოდენობას ამცირებდა, ხოლო ბოლო ეტაპზე თავიდან ხდებოდა დიდი ზომის სილიციუმის დიოქსიდის ნაწილაკთა გაფხვიერება.

მოცემული სპექტრი ჩაიწერა ექსპერიმენტისთვის გამზადებული სილიციუმის დიოქსიდის (SiO_2) ფხვნილზე, რომელიც ჩატარდა MALVERN Zetasizer Nano-ს მოწყობილობის საშუალებით.

დაკვირვებებმა და კვლევის სამზადისმა აჩვენა, დამოკიდებულება სადისპერსიო ფაზის ნაწილაკების და სადისპერსიო არის რაოდენობრივ თანაფარდობას შორის. ის მნიშვნელოვან გავლენას ახდენდა სედიმენტაციური პოტენციალის განსხვავებულ სიდიდეებზე. ქვემოთ მოყვანილი ექსპერიმენტალური მრუდები მკაფიოდ ასახავენ თვითოეულ შედეგს სხვადასხვა შედგენილობის ნიმუშის სედიმენტაციის პროცესში.

ექსპერიმენტში მოცემულ ნებისმიერ ნახაზში Y ღერძზე გადაზომილია მილივოლტები(mV), X ღერძზე კი მუდმივად იქნება სედიმენტაციის დრო. პირველ ეტაპზე ექსპერიმენტი განისაზღვრა ერთვალენტიანი კათიონების შემცველ მოლეკულებში. ამიტომ პირველი წარმომადგენელი იყო ნატრიუმის ქლორიდი. მისი ერთმოლური ხსნარის დამზადების პროდედურა მოიცავდა ნატრიუმის ქლორიდის 58,44 გრამი ქიმიურად სუფთა ნატრიუმის ქლორიდის

მზომ კოლბაში 1 ლიტრამდე გამოხდილი წყლით შევსებას, იმისათვის რომ მიგვეღო 1 მოლური ხსნარი.

1 მოლურ ხსნარში ერთ-ერთი ვეველაზე მაღალი ძაბვა გამოავლინა X-Y ელექტროდებს შორის 7 გრამიანმა ნიმუშმა (6 mV).

სწორედ იგივე მიდგომით ტარდებოდა შემდეგი ექსპერიმენტი ნატრიუმის ქლორიდის 0.5 და 0.25 მოლურ ხსნარებზე. 0.5 მოლური ხსნარის დამზადებისთვის მზომ კოლბაში 29.22 გრამის ქიმიურად სუფთა ნატრიუმის ქლორიდი შეივსო 1 ლიტრამდე გამოხდილი წყლით, ხოლო 0.25 მოლური ხსნარის შემთხვევაში 16.61 გრამის ნატრიუმის ქლორიდი. სედიმენტაციის პოტენციალის ანალიზი შემდეგნაირად გამოიყურება. საშუალოდ 0.5 მოლურ ხსნარში 3400 ანათვალი გვექონდა ყველა ეტექტროდზე ცალ-ცალკე. აღსანიშნავია, რომ ყველაზე მაღალი ძაბვა (4 mV) გვექონდა 7 გრამის სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციისას X-Z ელექტროდებს შორის. საერთო სურათი მსგავსია მოცემული ნიმუშის შემთხვევაში.

ამ ექსპერიმენტების გათვალისწინებით შეგვიძლია, დავაკვირდეთ ნატრიუმის ქლორიდის განსხვავებული კონცენტრაციის ხსნარებში სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის ფართო სურათს, რომელიც მრავალმხრივ აღწერის საშუალებას იძლევა.

თუ ერთვალენტიანი კათიონების შემცველ ნივთიერებებს განვიხილავთ, ამ შემთხვევაში უპრიანი იქნება კალიუმის ქლორიდის განხილვაც სწორედ ნატრიუმის ქლორიდის შემდეგ მოხდეს. მისი დამზადების პროცედურა იგივე იყო, 1 მოლური ხსნარისთვის 75.55 გრამ ქიმიურად სუფთა კალიუმის ქლორიდს გამოხდილი წყლით ვავსებთ 1 ლიტრამდე მოცულობით.

ამის შემდეგ ძალიან საინტერესოდ წარიმართა პროცესი. განსაკუთრებული ყურადღება კვლევისას მიიქცია X-F ელექტროდზე 1 მოლურ კალიუმის ქლორიდის ხსნარში წარმართულმა სედიმენტაციის პროცესმა, სადაც ძაბვა 40 მილივოლტამდე იყო. სწორედ საკმაოდ მაღალი ძაბვის გამო ანათვალთა რაოდენობა 5700-ამდე იყო დაკვირვების მიზნით. სხვა მონაცემები სტანდარტულ ჭრილში განხილვას იმსახურებს, თუმცა ერთ-ერთ გამოწვევას სწორედ ამ ტიპის განმეორებადი პათოლოგიები წარმოადგენს.

0.5 მოლური კალიუმის ქლორიდის ხსნარის დასამზადებლად მზომ კოლბაში 37,2 გრამი KCl და გამოხდილი წყალი მოთავსდა.

სხვა მონაცემებისაგან განსხვავებით, ექსპერიმენტებში ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი პოტენციალი, სწორედ კალიუმის ქლორიდის კვლევაში გამოავლინა.

რაც შეეხება კალიუმის ქლორიდის დაკვირვებას, აღსანიშნავია, რომ მისი ერთ-ერთი გამოხატული თვისება, კერძოდ მაღალი ძაბვის მაჩვენებელი ასევე გამოვლინდა 0.25 მოლური ხსნარის შემთხვევაშიც, საწყისი ძაბვა ამ შემთხვევაშიც დაახლოებით 40 მილივოლტი იყო.

დასკნით ნაწილში, აუცილებლად უნდა ითქვას მოცემულ მარილზე (KCl), რომ საკმაოდ საინტერესო და ლიტერატურული მონაცემების კუთხით ანომალური შედეგია, რომელიც დეტალურად განხილული იქნება სადოქტორო სამუშაოს შემაჯამებელ მიმოხილვაში.

ერთვალენტიანი კათიონების და ანიონების მიმოხილვა, ერთის მხრივ დასრულდა. თუმცა ნატრიუმის (Na^+) და კალიუმის (K^+) კათიონებზე ინფორმაციის სრულყოფილებისთვის მხოლოდ ორი ნიმუშის განხილვა არ კმარა. შემდგომი საკვლევი ნივთიერებების შერჩევისას, ორ მნიშვნელოვანი პირობა არსებობდა.

პირველი არის ხსნადობა, რადგან კვლევაში განსაზღვრულია 1, 0.5 და 0.25 მოლური ხსნარების დამზადება და მეორე, ბაზარზე ხელმისაწვდომობა. ამის გათვალისწინებით სამუშაო გაგრძელდა შემდეგ ნივთიერებებზე: ნატრიუმის სულფატი (Na_2SO_4), ნატრიუმის ფოსფატი (Na_3PO_4), კალიუმის ჰიდროფოსფატი (K_2HPO_4). ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით მათი ხსნადობის კოეფიციენტი ემთხვეოდა ჩვენს მიერ ექსპერიმენტში გათვალისწინებულ სტანდარტს. Na_2SO_4 ხსნადობის კოეფიციენტი 28.1 გ/100 მლ, Na_3PO_4 14.5 გ/100 მლ, ხოლო K_2HPO_4 149.25 გ/100 მლ. თითოეული მათგანის ხსნადობის კოეფიციენტი 25 გრადუს ცელსიუსზეა მოცემული.

პირველ რიგში განვიხილოთ ნატრიუმის სულფატის შესაძლებლობები სედიმენტაციის პოტენციალის მიმართულებით. მისი 1 მოლური ხსნარის

დამზადებისთვის დაგვჭირდება 142.04 გრამი ნატრიუმის სულფატი, რომელიც შეივსო 1 ლიტრამდე წყლით.

დაკვირვებით ჩანს, რომ მაქსიმალური ძაბვა, რომელიც X-Y ელექტროდებს შორის 1 მოლური ნატრიუმის სულფატის (Na_2SO_4) სედიმენტაციის პროცესის დასაწყისში გვექონდა იყო 1.5 mV.

მნიშვნელოვანია კიდევ აღინიშნოს, რომ სედიმენტაციის სიჩქარე X-Y ელექტროდებს შორის ყველაზე მცირეა. მასზე ბევრად დიდი სიჩქარე აქვს ნაწილას გადაადგილებისას X-Z ელექტროდებს შორის. ამ ეტაპზე შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ შესაძლებელია სწორედ სილიციუმის დიოქსიდის ნაწილაკების სიჩქარის ზრდამ ნატრიუმის სულფატის ელექტროლიტის არეში განაპირობა ძაბვის მცირე, მაგრამ შესამჩნევი ზრდა. მოცემულ სიტუაციაში (ნახ.33.) 7 გრამი სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის პოტენციალი შეიცვალა და გაიზარდა 7 mV-მდე.

რაც შეეხება X-F ელექტროდს, მნიშვნელოვანია, რომ ნაწილაკთა სიჩქარე მაქსიმუმს აღწევს და საბოლოო ჯამში განთავსდება ფსკერზე. ამ შემთხვევაში ისევ 7 გრამიანი სილიციუმის დიოქსიდის ნიმუში იქცევს ყურადღებას.

საინტერესო მოვლენასთან გვაქვს საქმე, რომელიც რეალურად ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან კითხვად რჩება კვლევის მანძილზე, მის მსგავსს შედეგებს კიდევ ვნახავთ სხვა ექსპერიმენტებშიც. ამ შემთხვევაში ნიშანი შეიცვალა, მაგრამ ისევ რიცხობრივად ზრდას აქვს ადგილი. კვლევის დასკვნით ნაწილში აუცილებლად იმსახურებს ეს მოვლენა ყურადღების დათმობას და ამავედროულად ნაცნობ ლიტერატურასთან დაკავშირებას, რომელიც ცალსახად პოტენციალთა სახესხვაობებს შეეხება.

მცირედ განსხვავებული მოცემულობა დაგვხვდა 0.5 მოლური ხსნარის გამოყენების შემთხვევაში, ნატრიუმის სულფატის 0.5 მოლურ ხსნარში წარმართულ სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის პროცესში.

საბოლოო ეტაპზე, ისე როგორც ჩვენი კვლევის სტრანდარტულ მიდგომებს შეესაბამება დავიწყეთ 0.25 მოლური ხსნარის გამოყენება, რომლის

დამზადებაში 35,51 გრამი ნატრიუმის სულფატი შეივსო 1 ლიტრამდე წყლით. ამ შემთხვევაშიც არ გვაქვს გამონაკლისი.

როგორც აღვნიშნე შემდეგ ნიმუშს, რომელიც კავშირშია იონთა ვალენტობასთან, აწრმოადგენს ნატრიუმის ფოსფატი (Na_3PO_4). მისი 1 მოლური ხსნარის დამზადებისთვის შედარებით მეტი, 163.94 გრამი ნივთიერებაა საჭირო. ხსნადობიდან გამომდინარე მისი გახსნა პრობლემას არ წარმოადგენდა მზომ კოლბაში. როგორც დაკვირვებებმა აჩვენა, პოტენციალი ისევ გაზრდილია, თუმცა უარყოფითი ნიშნით. მრუდზე ასახულია 1 მოლური ხსნარის პირველ ელექტროდთა წვილის მაჩვენებლები და რათქმაუნდა სრულ სადისერტაციო ნაშრომში სამივე კონცენტრაციაზე შეგიძლიათ ინფორმაციის მოძიება.

ყველაზე მეტად საინტერესოდ გამოიყურება ბოლო ნიმუში, რომელშიც ნატრიუმის ფოსფატის ხსნარში 7 გრამი სილიციუმის დიოქსიდი X და F ელექტროდებს შორის, სედიმენტაციის პოტენციალი 90 მილივოლტამდე იყო. ერთის მხრივ ექსპერიმენტის უზუსტობას ვუწოდებდით სწრაფად რომ დაცემულიყო მაჩვენებელი, მაგრამ -90 mV- დან -20 mV-მდე მაჩვენებელი 1000 ექსპერიმენტული ანათვალის მანძილზე მცირდებოდა. რაც შეეხება 28 და 56 გრამიანი ნიმუშების სედიმენტაციის პოტენციალს 1 მოლურ ხსნარში, ასევე შედარებით მცირედ მაღალი სედიმენტაციის პოტენციალი გვაჩვენა სხვა ნიმუშებისგან განსხვავებით.

იქიდან გამომდინარე, რომ როგორც 1 მოლურ, ასევე 0.5 და 0.25 მოლურ ხსნარებში საკმაოდ მსგავსი მონაცემები გვაქვს აღნიშნულ მარილში, შეგვიძლია შეჯამების ნაწილში ვთქვათ და გამოვყოთ, რომ პოტენციალის ნიშნის ცვლილება ასე მკაფიოდ, პირველად გამოვლინდა.

ისევე როგორც ექსპერიმენტული შედეგების განხილვის დასაწყისში, ნატრიუმის იონის შემცველ ნივთიერებას მოჰყვა კალიუმი, ამ შემთხვევაშიც დაკვირვების ნაწილი შეჯამდეს კალიუმის ჰიდროფოსფატით (K_2HPO_4) საინტერესო იქნება.

1 მოლური K_2HPO_4 -ის დამზადებისთვის 174.2 გრამი ნივთიერება შეივსო 1 ლიტრამდე წყლით. საკმაოდ დიდი ხნის ექსპერიმენტის დაკვირვებით, X-Y ელექტროდზე, ფაქტიურად 1, 0 და -1 მილივოლტს შორის მერყეობდა.

მაგრამ საინტერესო შედეგი ჰქონდა X-Z ელექტროდთა წყვილს 28 გრამი სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციისას. პირველ ეტაპზე ექსპერიმენტის დასაწყისში, მცირე დროით 23 mV-დან დაიწყო ძალიან სწრაფი ვარდა, რომელიც დასტაბილურდა დაახლოებით 100 ანათვალის შემდეგ. თითქმის მსგავსი იყო 7 გრამიანი ნიმუშიც. საბოლოო ელექტროდთა წყვილშიც მსგავსი, ფაქტიურად იდენტური მაჩვენებელი შეგვხვდა, რომელიც მრუდზეც იდენტურად აისახა X-F ელექტროდებს შორის.

ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით, ერთადერთი ინფორმაცია, რომელიც სედიმენტაციის პოტენციალის პროცესის ირგვლივ იკვეთებოდა, იყო შემდეგი, რომ ტუტე გარემოში ყველაზე მაღალი უნდა ყოფილიყო პოტენციალის მაჩვენებელი. ამ შემთხვევაში ეს ინფორმაცია ჩამოყალიბებულია შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებით:

1. მაღალი იონური სიმდიერე, რაც ნიშნავს, რომ ის სრულად იშლება წყალში იონებად (Na^+ და OH^-), რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს დამუხტულ ნაწილაკებზე. ელექტრული ველი, რომელიც დამოკიდებულია სედიმენტირებად ნაწილაკებზე, თავისთავად ცვლის იონთა გადანაწილებას მთელ მოცულობაში.
2. ნაწილაკთა ზედაპირული მუხტი: ტუტე გარემოში ნაწილაკები იძენენ ძლიერ უარყოფით მუხტს, ეს კი გამოწვეულია ადსორბციისაგან. რატომღუნდა ეს მოვლენა აძლიერებს ელექტროკინეტიკურ ეფექტებს, მათ შორის სედიმენტაციის პოტენციალს, ვინაიდან მოძრავი დამუხტული ნაწილაკები წარმოქმნიან მნიშვნელოვან ელექტრულ ველს მათი მოძრაობის შესაბამისად.
3. ძეტა პოტენციალი: ძეტა პოტენციალი ჩვეულებრივ უფრო მაღალია ტუტე გარემოში, სწორედ უარყოფითი მუხტის გაზრდიდან გამომდინარე. მარალი ძეტაპოტენციალი კავშირშია ძლიერ ელექტროკინეტიკურ ეფექტთან, რაც ხელს უწყობს მაღალ პოტენციალს.

4. იონთა დაწყილების პროცესის შემცირება: OH^- იონები ძალიან აქტიურია და ეფექტურად ანეიტრალებს ზედაპირულ მუხტს სტაბილური იონური წყვილების წარმოქმნის გარეშე.
5. დაბალი სიბლანტე: ნატრიუმის ტუტის ხსნარს აქვს დაბალი სიბლანტე მსგავსი კონცენტრაციის სხვა ელექტროლიტების ხსნარებთან შედარებით. დაბალი სიბლანტე საშუალებას აძლევს ნაწილაკებს უფრო დიდი სიჩქარით დაილექონ, რაც ასევე ხელს უწყობს სედიმენტაციის პოტენციალის ზრდას.

ამ მცირე მიმოხილვისა და განმარტების ფონზე, შეგვიძლია გადავიდეთ ტუტეთაგან პირველ წარმომადგენელზე, რომელიც ჩვენს კვლევაში წარმოადგენილი. ნატრიუმის ტუტის 1 მოლური ხსნარის დამზადებისთვის მზომ კოლბაში 40 გრამი ნატრიუმის ტუტე 1 ლიტრამდე წყლით შევაკეთ.

ნატრიუმის ტუტის სპეციფიკიდან გამომდინარე, უფრო მეტი, დაახლოებით 5000-5500 ანათვალი ავიღეთ.

დაკვირვებით განხილვისას სხვა მონაცენებისგან და სხვა ნაერთთა კლასების წარმომადგენლებისგან განსხვავებით, ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 1 მოლურ ხსნარში გამოსავალი ძაბვა ბევრად სტაბილურია. უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, კალიუმის ჰიდროფოსფატის სედიმენტაციისას ძაბვა 25 მილივოლტი იყო საწყის რამდენიმე ანათვალზე, თუმცა ის მყისიერად ვარდება. მაგრამ 1 მოლური ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარის შემცველობაში სედიმენტაციის პოტენციალი მაჩვენებლები სტაბილურია და კლების ტენდენცია არ შეინიშნება.

მსჯელობა, იმის შესახებ, რომ ღირდა შედარებით დიდი დროის მანძილზე პროცესზე დაკვირვება და ამავდროულად სხვა კლასებისგან განსხვავებით ბევრად სტაბილური იყო პოტენციალის სიგნალი, აჩვენა 0.5 მოლური ხსნარის შეტანამაც ექსპერიმენტში.

0.5 მოლური ტუტის არეში უკვე საკმაოდ მაღალი სიგნალი მოგვცა, განსაკუთრებით X-Z -ელექტროდებს შორის, დაახლოებით -35 mV. ასევე X-Y ელექტროდებს შორისაც, სადაც 20 მილივოლტანზე მერყეობდა ძაბვა.

მინდა ავღნიშნო ერთი მოვლენა, რომელიც საკმაოდ მსგავსია ყველა ჯერზე. კერძოდ ყველაზე მაღალი ძაბვის მაჩვენებელი შეინიშნება სხვადასხვა

ელექტროდებზე, მაგრამ მნიშვნელოვანია, რომ ძირითადად 7 გრამი სილიციუმის დიოქსიდის (SiO_2) სედიმენტაციისას. ამის გამო დასკვნით ნაწილში ვფიქრობ უფრო დიდი აქცენტი უნდა გაკეთდეს სედიმენტაციის პოტენციალის განმეორებად მახასიათებელზე. საბოლოოდ კი ძალიან მსგავსი ქცევა აჩვენა სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციამ 0.25 მოლურ ხსნარში.

როგორც უკვე კვლევის ანალიზის ნაწილში ჩანს, აუცილებლობას წარმოადგენდა სხვა, სტაბილური ტუტის გამოყენება, იმისათვის რომ დაკვირვება და შედარება შეგვძლებოდა რეალური სურათის სედიმენტაციის პოტენციალთან კავშირში. შემდეგი საინტერესო სადისპერსიო არე, რომელიც ექსპერიმენტულად განვიხილეთ არის კალიუმის ჰიდროქსიდი. 1 მოლური ხსნარის დამზადებისთვის მზომ კოლბაში 56.1 გრამი კალიუმის ჰიდროქსიდი შეივსო 1 ლიტრამდე წყლით.

აღსანიშნავია, რომ ამ შემთხვევაში, ისევე როგორც ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კვლევისას, მეტწილად სტაბილურობა შეიმჩნეოდა. თუმცა ერთ-ერთი რადიკალური სხვაობა, რომელიც ყველა სხვა ნიმუშთან შედარებით გამოიკვეთა, არის 56 გრამიანი ნიმუშის მაღალი პოტენციალი ყველა ელექტროდს შორის. ამ შემთხვევაში სადისპერსიო ფაზის ნაწილაკთა სიმრავლემ (SiO_2) განსხვავებული დამოკიდებულება აჩვენა. რაც შეეხება X-Z ელექტროდზე 7 გრამიანი ნიმუშის ქცევას, ის სწორედ რომ ასახავს სედიმენტაციის პროცესის პოტენციალის ცვლილებას, რომელიც დაფუძნებულია შემდეგ ფაქტორებზე, პირველ ეტაპზე, როდესაც სედიმენტირებადი ნაწილაკები ჩქარდებიან, ძაბვა კლებულობს, ხოლო როდესაც ეტაპობრივად ხდება ნაწილაკთა დალექვა, მისი მაჩვენებელი ჯერ მატულობს, შემდგომ კი მუდმივდება. ეს მიდგომა განიხილება კლასიკურ ლიტერატურაში ძირითადად. სტაბილური პოტენციალის მიღება დამოკიდებულია იმაზე თუ რა ტიპის არე გვაქვს და ამავედროულად ნაწილაკები დროის განმავლობაში როგორ ადსორბირდებიან.

ასევე დაკვირვების ობიექტი არის 0.5 მოლური კალიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში მიმდინარე სედიმენტაციის პროცესი.

თუ ვიტყვით იმას, რომ სედიმენტაციის პოტენციალის მაქსიმალური ძაბვა ლიტერატურის მიხედვით უნდა იყოს უფრო მაღალი, ვიდრე სხვა კლასის

წარმომადგენლების ხსნარებში, ეს დებულება ექსპერიმენტის მიხედვით მკაფიოდ გასხვავებულია. მაგალითად ამ ეტაპზე ერთ-ერთი წარმომადგენელი, კერძოდ ნატრიუმის ფოსფატის (Na_3PO_4) შედეგები გვიჩვენებს, რომ სედიმენტაციის პოტენციალი გაცილებით მაღალია, მაქსიმალური მაჩვენებელი 90 mV-დან იწყებს კლებას, სხვა ნიმუშებშიც ასევე ბევრად მაღალი გამოსავალი ძაბვაა, ვიდრე ტუტეთა ხსნარებში. და რაც აღსანიშნავია ნატრიუმის ფოსფატის შემთხვევაში ეს მონაცემები სტაბილურად კლებულობს.

ბაზარზე არსებული და ხელმისაწვდომი რესურსებიდან გამომდინარე, ტუტეთა კვლევა ამ ეტაპზე მხოლოდ ამ ორ წარმომადგენელს მოიცავდა, ხოლო შემდგომ ეტაპზე ლოგიკური იქნება ვიმსჯელოთ მჟავის თვისებებზე და სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილებაზე. მჟავის ერთ-ერთი მთავარი უნარი დისოციაციის ხარისხია. უფრო ზუსტად კი ძლიერი მჟავები და ტუტეები სრულად დისოცირდებიან ხსნარში იონების სახით. ამის საპირწონედ, კი სუსტი მჟავები და ფუძეები ნაწილობრივ ახერხებენ დისოცირებას და იონიზაციის რეაქცია შექცევადია. ამრიგად სუსტი მჟავები და ფუძეები ხსნარებში შეიცავს მრავალ დამუხტულ და მუხტის არმქონე სინამიურ ნაწილსაც წონასწორულ მდგომარეობაში. ამ მსჯელობის განხილვა აუცილებელია საერთო შეჯამების ნაწილში, სადაც დეტალურად უნდა მოხდეს მონაცემების დაკავშირება დისოციაციის ფენომენისა და სედიმენტაციის პოტენციალის დაკავშირება.

ერთ-ერთი ყველაზე მარტივად მოპოვებადი და ქიმიურად სუფთა ნივთიერება მარილმჟავა (HCl). თუმცა მარილმჟავას მაქსიმალური პროცენტული კონცენტრაცია საშუალოდ 38%-ია. ჩვენს შემთხვევაში 35 %-იანი მარილმჟავას ხსნარიდა, პირველ რიგში 1 მოლური ხსნარის დამზადება იყო საჭირო.

ამისათვის პირველ რიგში ცხომილების თავიდან ასაცილებლად განვსაზღვრეთ მარილმჟავას სიმკვრივე $\rho=1,2$ გ/სმ³. HCl -ის მოლური მასა 36,5 გ/მოლი. შესაბამისად დავადგინე, რომ 35%-იანი მარილმჟავას მოლური კონცენტრაცია:

$$\text{მოლური კონცენტრაცია} = \frac{35 \cdot 1,2 \cdot 1000}{36,5} = 11,5M$$

ხსნართა განზავების ფორმულიდან გამომდინარე: $C_1V_1 = C_2V_2$

$$\text{საიდანაც } V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{1.0 \cdot 1000}{11.5} = 87\text{ml}$$

შესაბამისად 87მლ 35%-იანი მარილმჟავა, მოვათავსე მზომ კოლბაში და ის შევავსე 1 ლიტრამდე წყლით.

პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერიმენტურლი სამუშაო ჩატარებულია ისევე როგორც ყველა საკვლევ ნივთიერებაზე სამ სხვადასხვა კონცენტრაციის გარემოში (1, 0.5 და 0.25 მოლური), სამი სხვადასხვა სადისპერსიო ფაზის ნაწილაკთა რაოდენობის სედიმენტაციისას (7გ, 28გ, 56გ). და რაღატქმანდა როგორც ჩვენს მიერ შექმნილ მოწყობილობაში ჩანს, სამი ელექტროდული წყვილის საშუალებით ხდებოდა მათი ჩაწერა (X-Y, X-Z, X-F). არასტანდარტული მონაცემები, რომელიც ასახულია მრუდებზე, არის რხევები, რომელიც გამოწვეული გარემო ფაქტორებისგან. მაგრამ მტავარია, რომ იკითხება ძალიან კაფიოდ რამდენიმე ფაქტორი: საშუალო პიტენციალი ყველაზე მარალი X-F ელექტროდზე მივიღეთ 28 და 56 გრამი სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციისას. სხვა შემთხვევაში შედარებით დაბალი მაჩვენებლები გამოიკვეთა.

7 გრამიანი სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის პოტენციალის მაჩვენებელი, სადაც 45-50 mV-მაჩვენებელია, უბრალოდ გარემო პირობების და აპარატურის მყისიერი ხარვეზიდან არის გამოწვეული. მაგრამ ამავე ნახაზზე, საკმაოდ სტაბილურად გამოიყურება სილიციუმის დიოქსიდის 56 გრამიანი ნიმუში, რომელიც 10 მილივოლტამდე ძაბვას ავლენს X-F ელექტროდებს, ანუ ნალექსა და ყველაზე შორს მდებარე წერტილს შორის.

აღსანიშნავია ექსპერიმენტის ნაწილი, რომელიც მარილმჟავაზე გამოიკვეთა, არცერთ სხვა ცდას არ უცვენებია. კერძოდ თუ შევადარებთ აგებულ მრუდებს ერთმანეთს, ვნახავთ, რომ ყველაზე მეტად არასტაბილური და რხევითი მონაცემები მარილმჟავას არეში წარმართულმა პროცესმა გამოავლინა. თუმცა ჩვენი მიზანი ფუნდამენტური მეცნიერების კვლევის მიზანში მთავარი სურათის დანახვაა, რომელიც საკმაოდ დიდ სამომავლო გეგმებს აყალიბებს ფუნდამენტური კვლევის ამ მიმართულებაში.

მარილმჟავას განხილვამ თავდაპირველად საკმაოდ დიდი ინტერესი გამოიწვია კვლევის პროცესში, აქედან გამომდინარე კვლევის გაგრძელების ლოგიკურ ჯაჭვად მივიჩნიეთ გოგირდმჟავის (H_2SO_4), ორვალენტიანი მჟავის გამოყენება. ამ შემთხვევაში გოგირდმჟავა გამოყენებულ იქნა ქიმიურად სუფთა მდგომარეობაში. მისი მოლური კონცენტრაციიდან გამომდინარე 98 გრამ გოგირდმჟავა შეივსო მზომ კოლბაში 1 ლიტრამდე წყლით. ექსპერიმენტი რათქმაუნდა უცვლელად, ეტაპობრივად ჩატარდა როგორც 1, ასევე 0.5 და 0.25 მოლურ ხსნარებზე.

ამ შემთხვევაში აღსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტის დასაწყისში ყველა ეტაპზე, გვექონდა ძაბვის ძლიერი ვარდნა. ეს შესაძლებელია მრავალმა ფაქტორმა გამოიწვიოს, თუმცა მნიშვნელოვანია ის, რომ 50 mV ძაბვიდან დაახლოებით 0-ამდე ეცემა და შემდგომ უკვე სტაბილურ სახეს იღებს. ამ ეტაპზე ჩვენი ყურადღება მიიქცია 1 მოლურ ხსნარში ყველა ელექტროდ-წყვილებს შორის ერთი და იგივე სურათმა.

რადიკალურად სხვა სურათი გამოიკვეთა 0.5 მოლურ გოგირდმჟავას არეში მიმდინარე სედიმენტაციის პროცესში. რთულია გოგირდმჟავას მონაცემების ანალიზი თუ არ გვექნება სრულად აღქმული ის სურათი, რომელიც განპირობებულია კვლევაში განსაზღვრული კონცენტრაციები სრულად.

აღსანიშნავია, რომ რეალური მოცემულობა გოგირდმჟავას 0.25 მოლურ ხსნარში ძალიან მსგავსია სხვა კონცენტრაციებისა. ასე რომ მისი განხილვის და შედარების საშუალება რეალურად სხვა ნითიერებებისგან შექმნილ ხსნარებთან უფრო რეალური და ლოგიკური იქნება აღნიშნული მდგომარეობის გამო.

ახალი მჟავა, რომელიც ჩვენთვის საინტერესო და ამავედროულად ლოგიკური ფიქრის შედეგას შეირჩა არის ორთო ფოსფორმჟავა (H_3PO_4). მისი მოლეკულური მასა დაახლოებით 98-ია. შესაბამისად 1 მოლური ხსნარის დასამზადებლად პირველ ეტაპზე მისი სინკვრივე მოვიძიეთ. $\rho=1.685$ გ/სმ³ (20° C-ზე). ვინაიდან ბაზარზე გავრცელებული მჟავა 85%-იანია ნიშნავს, რომ 85 გრამი მჟავა არის 100 გრამ ხსნარში. ამის შემდეგ გამოვთვალე ფოსფორმჟავას მასა 1 მლ ხსნარში.

$$m(H_3PO_4) = \text{სიმკვრივე} \cdot \text{ხსნარში მასურ წილზე} = 1,685 \text{ გ/მოლი} \cdot 0.85 = 1.432 \text{ გ/მლ}$$

მიღებული მასა უნდა გადავიყვანოთ მოლებში:

$$n(H_3PO_4) = \frac{\frac{1.432 \text{ გ}}{\text{მლ}}}{\frac{98 \text{ გ}}{\text{მოლი}}} = 0.01462 \text{ მოლი/მლ}$$

ამის შემდეგ გამოვიანგარიშოთ არსებული ხსნარის მოლური კონცენტრაცია:

$$\text{მოლარობა} = 0.01462 \text{ მოლი/მლ} \cdot 1000 = 14.62 \text{ M}$$

საბოლოო ეტაპზე კი გვაქვს მონაცემები:

$$C1 = 14.62 \text{ M}$$

$$C2 = 1.00 \text{ M (საბოლოო კონცენტრაცია)}$$

$$V2 = 1000 \text{ მლ (საბოლოო მოცულობა)}$$

$$\text{ფორმულის მიხედვით: } V_1 = \frac{C2V2}{C1} = 1 \times \frac{1000}{14.62} = 68.4 \text{ მლ}$$

შესაბამისად არსებული ხსნარის 68.4 მლ ფოსფორმჟავა დაგავიტანე მზომ კოლბაში, რომელიც შევავსე 1 ლიტრამდე წყლით. მისი ექსპერიმენტული მაჩვენებლები საკმაოდ საინტერესო აღმოჩნდა. პირველ რიგში განვიხილოთ სწორედ 1 მოლური სადისპერსიო არის შემცველობა და მისი სედიმენტაციის პოტენციალი.

ფოსფორმჟავაში სედიმენტაციის პოტენციალის მაჩვენებლები, აღსანიშნავია, რომ ძალიან სტაბილურია. თითოეულ ელექტოდს შორის წარმართული პროცესის განვლილი გზა აჩვენებს, რომ პოტენციალი სტაბილურად, ნახტომების გარეშე იცვლება. მაგალითად X-F ელექტროდებს შორის 7 გრამი სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციისას, 3000 ანათვალის მანძილზე პოტენციალი -15 mV-დან 0-ამდე იცვლებოდა.

იმ შემთხვევაში თუ ეს მონაცემები შეიცვლებოდა შედარებით ბევრად მცირე დროში, ეს უკვე გულისხმობს, რომ უნდა გამოირიცხოს: 1. გარე ფაქტორების ზემოქმედება; 2. არსებულ სედიმენტაციის სვეტში გადამოწმდეს მიმდინარე პროცესისას ყველა პარამეტრი. რეალურად ამ მიდგომების

გათვალისწინებით ტარდებოდა სხვა ყველა ექსპერიმენტული სამუშაო აღნიშნულ კვლევაში.

რაც შეეხება 0.5 მოლური ხსნარის შემთხვევაში, მონაცემები საინტერესოდ შეიცვალა. 1 მოლურ ხსნარში შედარებით ძაბვა მაღალი იყო, მაგრამ ეს სურათი მისი კონცენტრაციის ცვლილებამ რადიკალურად შეცვალა. კერძოდ, 0.5 მოლურ ხსნარში სედიმენტაციის პოტენციალი დაეცა 2-იდან საშუალოდ -2 mV-მდე. არსებული ხსნარი მსგავსს პროცესს გამოხატავს ყველა ელექტროდთა წყვილს შორის.

ამ ეტაპზე აღსანიშნავია, რომ დავიწყეთ 1 ვალენტიანი მჟავით (HCl), შემდგომ დავამუშავეთ 2 ვალენტიანი, კერძოდ გოგირდმჟავა (H_2SO_4), ხოლო როგორც ავღნიშნე სამვალენტიან მჟავათა წარმომადგენლებში განხილული გვაქვს ფოსფორმჟავა (H_3PO_4).

არსებული სურათის გათვალისწინებით ვფიქრობ პირველ ეტაპზე, სედიმენტაციის პროცესის დასაწყისში საკმაოდ მაღალი პოტენციალი გამოავლინა, თუმცა მყისიერად იწყება მისი ვარდნა რამდენიმე ათეულ ანათვალზე. შესაბამისად კვლევითი კონპონენტის განხილვა-განსჯის დროს რეალურ სურათს მიაქცევთ ყურადღებას.

რადგან ჩვენი კვლევითი მიზნები, საკმაოდ დიდი მონაცემების ანალიზსა და შედარების პროცესს მოიაზრებს, კვლევის შემაჯამებელ ნაწილში ჩავატარეთ კვლევები იმ მარილებზე, რომელიც მჟავური ნაშთის კუთხით უკვე დამუშავებული გვექონდა. ამ ტიპის მარილებში, მხოლოდ სულფატებზე გავაკეთეთ აქცენტი, რადგან ფოსფატების ძალიან მცირე რაოდენობის მარილი იხსნება წყალში. შესაბამისად მისი საბაზრო არეალზე მოძიება საკმაოდ დიდ პრობლემას წარმოადგენდა ფინანსური თვალსაზრისით.

შესაბამისად კვლევის შემაჯამებელ ეტაპზე მხოლოდ ორი ნივთიერება, ქიმიურად სუფთა სპილენძის და რკინის სულფატები დარჩნენ.

კათიონების სახით ორივე მარილში 2 ვალენტიანი მეტალი გვაქვს (Cu^{2+} ; Fe^{2+}). ასევე ორვალენტიანი მჟავური ნაშთი ორივე მარილში. შესაბამისად არანაირი მნიშვნელობა არ აქვს, თუ რომელი იქნება განხილული პირველად.

სპილენძის სულფატის შემთხვევაში, პირველ ეტაპზე დავიწყეთ მისი 1 მოლური ხსნარის დამზადება. ქიმიურად სუთა ნივთიერება გავრცელებულია 5 წყლიანი მოლეკულის სახით. შესაბამისად ამ წყლის გათვალისწინება სუფთა 1 მოლური ხსნარის დასამზადებლად აუცილებელ პირობას წარმოადგენდა. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ -ს მოლეკულური მასა $M_r=249$. შესაბამისად 246 გრამ წყლიან სპილენძის სულფატი გავხსენი ტ პირველ ეტაპზე 500 მლ ხსნარში, რადგან შედარებით დიდი რაოდენობის მარილის გახსნა მზომ კოლბაში ტექნიკურად საკმაოდ რთული იქნებოდა, ხოლო სრულად გახსნის შემდეგ შეივსო არსებული ხსნარი 1 ლიტრამდე წლით.

არსებულმა სადისპერსიო არემ და მასში სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის პროცესმა შემდეგი საინტერესო სურათი გამოავლინა. ყველაზე დიდი და სტაბილური პოტენციალი, X-F-ელექტროდებს შორის მივიღეთ, რაც სხვათაშორის შესადარებელი იქნება პირველ რიგში გოგირდმჟავას მონაცემებთან. ვინაიდან არსებულის შედარება მოკლედ აქაც შეგვიძლია გავაკეთოთ, გოგირდმჟავა ძალიან მსგავსად იქცევა კონკრეტული კონცენტრაციის ხსნარში.

ძაბვის ვარდნა მაღალი კონცენტრაციის (1M) ხსნარებში მეტად გამოხატულია, განსაკუთრებით X-F წყვილში, რაც სედიმენტაციის პროცესში მეტალურ იონთა მნიშვნელოვან გავლენაზე მიუთითებს. 0.5 M ხსნარში დამახასიათებელია რხევითი ეფექტები X-Z ელექტროდზე, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს იონების ნაკლებად სტაბილური გადანაწილებით. 0.25 M ხსნარში მნიშვნელოვნად შემცირებულია ძაბვის ვარდნის ტენდენცია, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ მცირე კონცენტრაციის იონური გარემო ნაკლებად მოქმედებს ელექტროდთა შორის პოტენციალზე. 56 გრამიან ნიმუშებში საწყისი ძაბვის ცვლილებები ხშირად ნელი და ხანგრძლივია, რაც უფრო მასიური სედიმენტაციის პროცესზე მიუთითებს, ხოლო მცირე ნიმუშებზე ცვლილებები უფრო სწრაფად ხდება. X-F წყვილში 0.25 M კონცენტრაციაზე 56 გრამიანი ნიმუშის საწყისი ზრდა (~ 2 mV-მდე) განსაკუთრებული შემთხვევაა, რაც შესაძლოა იყოს დროებითი მუხტის გადანაწილების შედეგი.

საბოლოო ეტაპზე კი რკინის სულფატის ჯერიც დადგა. ამ ეტაპზე კვლევის შემაჯამებელი ექსპერიმენტი სწორედ ესაა. თუმცა აღსანიშნავია, რომ ეს ინფორმაცია, ჯერჯერობით არ არსებობს არცერთ ლიტერატურულ წყაროში. შესაბამისად შეიძლება მონაცემების ბანკის შექმნა, სადაც ცვლადების დამატებით და გამრავალფეროვნებით ფუნდამენტურ მეცნიერებაში საკმაოდ კარგი მიმართულება ჩამოყალიბდეს, არა როგორც მხოლოდ ჰიპოთეზის, არამედ პრაქტიკული თვალსაზრისით.

რკინის სულფატის (FeSO_4) მოლეკულური მასაა: $M_r(\text{FeSO}_4) = 151.9$. შესაბამისად მისი მომზადებითვის 151.9 გრამის ნივთიერება შეივსო 1 ლიტრამდე წყლით.

საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლების აჩვენა 1 მოლურმა რკინის სულფატის ხსნარმაც. რეალურად X-Y და X-Z ელექტროდთა შორის, საკმაოდ დაბალი გამოსავალი სიგნალი იყო, თუმცა გამორჩეულად სტაბილური და მაღალი ძაბვის მაჩვენებელი გვაქვს X-F ელექტროდულ წყვილს შორის.

მცირე დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ ამ ეტაპზე რკინის სულფატის 1 და 0.5 მოლურ ხსნარებში, ფაქტიურად 0-თან მიახლოებული მონაცემები გვაქვს X-Y და X-Z ელექტროდებს შორის. მაგრამ კვლევაში ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი ძაბვა (mV) გამოავლინა X-F ელექტროდებმა. რეალურად სედიმენტაციის პროცესში ზედაპირსა და ფსკერს შორის ეს სხვაობა სხვადასხვა ფაქტორებს შეეძლო გამოეწვიათ, რაც აუცილებლად განხილული იქნება შეჯამებულ ნაწილში.

როგორც ავღნიშნე, რეალურად სამივე კონცენტრაციის ხსნარში ერთი და იგივე სურათი გვაქვს, რომელიც გამორჩეულად ისახება ყველა ექსპერიმენტს შორის. შესაბამისად არნიშნული მსჯელობა საკმაოდ დეტალური უნდა იყოს მაქსიმალურად ზუსტი დასკვნების გასაკეთებლად.

სილიციუმის დიოქსიდის (SiO_2) სედიმენტაციის პოტენციალის შესწავლამ სხვადასხვა ტიპის წყალხსნარებში (მჟავა, მარილიანი, ტუტე) გამოავლინა მნიშვნელოვანი განსხვავებები იონთა და დისპერსიული ფაზის გამყოფ ზედაპირზე ელექტროქიმიურ ქცევაში. ექსპერიმენტების მიზანი იყო ძაბვის

ცვლილებების რეგისტრაცია სხვადასხვა კონცენტრაციის (0,25 მ, 0,5 მ, 1 მ) და სხვადასხვა ელექტროდთა წყვილების მიხედვით (X-Y, X-Z, X-F), რათა განსაზღვრულიყო ხსნარის ქიმიური ბუნების გავლენა სილიციუმის დიოქსიდის სუსპენზიის სედიმენტაციის პროცესზე.

სედიმენტაციის პროცესის განხილვა მჟავე, მარილიან და ტუტე ხსნარებში

მჟავა ხსნარები (HCl, H₂SO₄, H₃PO₄): - მჟავა გარემოში, განსაკუთრებით HCl და H₂SO₄-ის გამოყენებისას, სედიმენტაციის პოტენციალმა აჩვენა მნიშვნელოვანი შემცირება დროთა განმავლობაში, რაც დაკავშირებული უნდა იყოს წყალბად იონების მაღალ კონცენტრაციასთან და სილიციუმის დიოქსიდის ზედაპირთან მათი ადსორბციის პროცესთან.

X-Y და X-Z ელექტროდები: სედიმენტაციის პოტენციალის მცირე რხევები და სტაბილური ძაბვის ვარდნა.

X-F ელექტროდები: სედიმენტაციის საწყის ეტაპზე საკმაოდ მაღალი პოტენციალი ფიქსირდება, მაგრამ დროთა განმავლობაში სტაბილურად მცირდება. ეს შეიძლება აიხსნას სილიციუმი დიოქსიდის დისპერსული ნაწილაკების გამყოფ ზედაპირზე წყალბად იონების დიფუზიითა და ელექტროდების ზედაპირზე მათი სტაბილიზაციით.

მარილის შემცველი წყალხსნარები (NaCl, KCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄, K₂HPO₄): - მარილიან ხსნარებში სედიმენტაციის პროცესში გვხვდება სედიმენტაციის პოტენციალის ნაკლებად დინამიკური ცვლილებები. NaCl და KCl-ის შემთხვევაში, სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილებები მცირე დიაპაზონში მოქმედებს, რაც მიუთითებს SiO₂-ის ზედაპირთან ურთიერთქმედებისას აღნიშნულ იონთა დაბალ აქტივობაზე.

X-Y და X-Z ელექტროდები: თითქმის არ იცვლება, რაც მიუთითებს სილიციუმის დიოქსიდის გამყოფ ზედაპირთან მიმართებაში სადისპერსიო გარემოს ხსნარების ინერტულობაზე.

X-F ელექტროდები: მცირე რხევები და სედიმენტაციის პოტენციალის სტაბილური შემცირება.

ტუტე ხსნარები (NaOH, KOH): - ტუტე გარემოში ძაბვის მნიშვნელობები ყველაზე მეტად იცვლება. NaOH-ისა და KOH-ის შემთხვევაში, სედიმენტაციის საწყის ეტაპზე ძაბვის მნიშვნელობები იყო შედარებით მაღალი, მაგრამ დროთა განმავლობაში მკვეთრად შემცირდა. ეს დაკავშირებულია ტუტე იონების სილიციუმის დიოქსიდის გამყოფ ზედაპირთან აქტიურ ურთიერთქმედებასთან, რაც იწვევს დისპერსული ფაზის ნაწილაკების ზედაპირული მუხტის ცვლილებებს.

X-Y და X-Z ელექტროდები: მცირე, მაგრამ სტაბილურად მზარდი ძაბვის ვარდნა.

X-F ელექტროდები: სედიმენტაციის პოტენციალის თავდაპირველი ზრდა, შემდეგ კი სტაბილური შემცირება.

რკინა (II)-ის სულფატის (FeSO_4) სპეციფიკა: - რკინის (II) სულფატის შემთხვევაში სედიმენტაციის პოტენციალი რადიკალურად განსხვავებული იყო სხვა მარილებისგან. Fe^{2+} იონების არსებობამ სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციურ პოტენციალზე მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინა, განსაკუთრებით X-F ელექტროდებზე, სადაც ძაბვის მკვეთრი კლება დაფიქსირდა.

რკინის სულფატის 1 მოლურ ხსნარში: ძლიერი ელექტროქიმიური აქტივობა დაფიქსირდა, რაც ალბათ მიუთითებს $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ჟანგვა-აღდგენით გარდაქმნის პროცესზე.

0,5 და 0,25 მოლურ ხსნარებში: აქ შეინიშნება სედიმენტაციური პოტენციალის ნაკლები აქტივობა, თუმცა X-F ელექტროდებზე მაინც აღინიშნებოდა სედიმენტაციური პოტენციალის მნიშვნელოვანი ცვლილებები.

საბოლოოდ ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე ძირითადი დასკვნები ასე შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

- მჟავა გარემო ხელს უწყობს სედიმენტაციის პოტენციალის სწრაფ და სტაბილურ შემცირებას.
- მარილთა ხსნარებში სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილების აქტივობა მინიმალურია.

- ტუტე ხსნარებში სედიმენტაციური პოტენციალის ცვლილებები უფრო დინამიურია, რაც მიუთითებს სილიციუმის დიოქსიდის დისპერსული ფაზის ნაწილაკების გამყოფ ზედაპირთან მათ აქტიურ ურთიერთქმედებაზე.

ფიქსირდება FeSO_4 -ის ხსნარში სედიმენტაციის პოტენციალის ყველაზე მკვეთრი ცვლილებები, რაც მეტყველებს რკინის ორვალენტიანი იონების მნიშვნელოვნად განსხვავებულ ქიმიურ და ელექტროქიმიურ ქცევაზე.

სამუშაოს დასკვნის სახით შესაძლებელია ითქვას, რომ მოწყობილობები, რომელიც სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილების აღქმისათვისაა საჭირო, 100%-იანი სიზუსტით არის დაკალიბრებული და შემდეგომი სამუშაოს ნაწილში, ყველაზე მნიშვნელოვან ფუნქციას შეასრულებს. ამავდროულად მიღებული შედეგების საფუძველზე შევძლებთ ზემოაღნიშნული პროგრამებით დავამუშავოთ მიღებული ანათვლები და გამოვიყენოთ მიღებული ინფორმაცია საკვლევი მიზნის შესრულებისთვის. სილიციუმის დიოქსიდის სედიმენტაციის პროცესში სედიმენტაციური პოტენციალის ცვლილებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სადისპერსიო გარემოს ქიმიურ შემადგენლობაზე.

დასკვნა

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ:

1. მჟავათა წყალხსნარიან სუსპენზიებში (HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4) სედიმენტაციის პოტენციური სტაბილურად მცირდება, რაც დაკავშირებულია სილიციუმის დიოქსიდის ზედაპირზე წყალბადის იონების ინტენსიურ ადსორბციასთან.
2. მარილის წყალხსნარებიან სუსპენზიებში (NaCl , KCl , Na_2SO_4 , Na_3PO_4 , K_2HPO_4) სედიმენტაციის პოტენციალის მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ ფიქსირდება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ეს იონები ნაკლებად მოქმედებენ სედიმენტაციის პროცესების მახასიათებელ პარამეტრებზე.
3. ტუტე წყალხსნარებიან სუსპენზიებში (NaOH , KOH) სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილება უფრო დინამიურია, რაც გამოწვეულია ჰიდროქსილის ურთიერთქმედებით სილიციუმის დიოქსიდის გამყოფ ზედაპირზე.
4. FeSO_4 -ის წყალხსნარში სილიციუმის დიოქსიდის დისპერსული ფაზის ნაწილაკების სედიმენტაციის პროცესში აღინიშნება პოტენციალის მკვეთრი ვარდნა, რაც შესაძლოა გამოწვეული იყოს $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ჟანგვა-აღდგენითი გარდაქმნით და ამ პროცესის გავლენით ელექტროდთა სისტემაზე.
5. ყველაზე დიდი სედიმენტაციის პოტენციალის ცვლილებების აქტივობა FeSO_4 -ის და ტუტე ხსნარებში დაფიქსირდა, მაშინ როდესაც მარილიანი ხსნარების გავლენა უმნიშვნელო აღმოჩნდა. ეს მონაცემები მნიშვნელოვან საფუძველს ქმნის სედიმენტაციური პროცესების შემდგომი კვლევებისთვის, რაც შეიძლება გამოყენებული იყოს კოლოიდური სისტემების სტაბილიზაციისა და გარემოს მონიტორინგის სფეროში.

გამოქვეყნებული შრომების ნუსხა

1. დ.ნარსია, მ.რაზმაძე. სედიმენტაციის პოტენციალის თეორიულ-ექსპერიმენტური საფუძვლები „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“ აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 90 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო - სამეცნიერო კონფერენციის შრომების კრებული. სტუ, გვ. 48-56
2. M.Razmadze, D.Narsia. Determining the accuracy of the experiment and discussing reasearch methods. 2nd International Scientific Conference and Seasonal School. “Science, Education, Innovations and Chemical Technologies from Idea to Implementation.2023”. უნივერსიტეტის გამომცემლობა. გვ. 138. A-A-06
3. D.Narsia, M.Razmadze. Experimental description of sedimentary events and their potential development. International Journal of Progressive Sciences and Technologies; Vol. 43, No 1. 2024, pp. 84-91, ([International Journal of Progressive Sciences and Technologies](#))
4. D.Narsia. Development Of A New Sedimentation Potential Measuring Device For Silica Suspensions In Various Dispersion Media, International Journal of Progressive Sciences and Technologies, Vol 50, No 1. 2025, pp. 679-684. ([International Journal of Progressive Sciences and Technologies](#))

Abstract

Colloidal chemistry represents one of the most significant and fundamental branches of modern chemical science. It encompasses a vast spectrum of natural and technological processes—from cosmic nebula formation and soil biogeochemical cycles to vital physiological systems such as blood circulation and oxygen-nutrient transport in the human body.

A key area within colloid chemistry is the study of electrokinetic phenomena, among which sedimentation potential and the structure of the electrical double layer play a pivotal role. These interacting factors govern many of the physicochemical behaviors observed in dispersed systems.

Sedimentation processes are critically important in both scientific research and various industrial applications, including dairy product manufacturing, aerosol production, and other everyday consumables. Moreover, they serve as the foundation for geological processes related to the formation of sedimentary rocks—processes that have been ongoing since the origin of the Earth. In such geological transformations, disintegrated silicate rocks, predominantly composed of silicon dioxide, are most commonly involved. Consequently, silicon dioxide (SiO_2) was selected as the primary solid dispersed phase for this research.

The experimental component was conducted using a custom-built apparatus inspired by the classical Hoppler sedimentation column, although significantly modified in design. Due to the high sedimentation rate of fine-dispersed silicon dioxide particles, a three-electrode system was engineered to divide the process into three distinct phases. Data from each electrode were simultaneously transmitted to three computers. Each electrode was connected to a high-precision digital multimeter, and each experimental run generated approximately 2,500 to 5,000 individual readings recorded via specialized software.

The principal advantage of the newly developed instrument lies in its ability to monitor the sedimentation process in a three-phase manner:

- The first stage involves the rapid sedimentation of large particles.
- The second stage, considered the most informative, captures the behavior of colloid-sized particles. The most relevant data for determining sedimentation potential were obtained from the middle electrode, positioned halfway along the column height.
- The third stage reflects the measurement of potential in the region of deposited particles, recorded by the bottom electrode.

This unique device offers broad adaptability for various experimental applications and can significantly enhance the capabilities of researchers in colloid and interface science.

Particle size distribution of the silicon dioxide sample was assessed using a Zetasizer Nano ZEN 3690 instrument, which revealed a four-fraction composition with particle sizes in nanometers as follows:

- $3 \div 4.3$; $25 \div 77$; $90 \div 300$; $460 \div 710$;

To ensure high measurement accuracy, all three digital multimeters were validated using a potentiometer with a precision class of 0.05. The analysis confirmed that the measurement accuracy of the instrumentation exceeded 99.9%, which ensured high experimental reliability. Additionally, correction formulas were derived for each measurement device to normalize the data with respect to ideal accuracy, thereby improving the precision of all experimental results.

The aim of this study was to create a highly versatile experimental framework, as such fundamental research can be applicable across multiple disciplines. Two key parameters were used to standardize the dispersion medium:

1. Variation in the valence state of cations
2. Degree of polyanionic character of the acid residues

Based on this framework, all substances were used in three molar concentrations: 0.25 M, 0.5 M, and 1 M. The mass of silicon dioxide was varied within 7 g, 28 g, and 56 g across all suspensions.

Experimental data revealed that the overall pattern of sedimentation potential remained statistically consistent in most cases. However, due to the diversity of dispersion media and phases, several outcomes deviated from both expected trends and previously reported literature data. These anomalous results—arising from the interplay between the dispersion medium and the dispersed phase—are discussed in detail in the analytical section of this study.

In total, 117 experimental trials were conducted, resulting in the generation of over 350 graphical dependencies and more than one million individual data points, ensuring the study's depth, precision, and scientific significance.