

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თამარ ნასუაშვილი

აზამბურის მირაბილიტის საბადოს გამოკვლევა და  
მისგან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების  
ტექნოლოგიის შემუშავება

სადოქტორო პროგრამა- ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი- 0711

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2023

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი ქიმიური და  
ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ემერიტუსი ლერი გვასალია

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და  
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის  
სხდომაზე,  
კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი -----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა.** სამთო საქმეს და ბუნებრივი რესურსების მოპოვებას მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებაში. ბუნებრივი რესურსების მოპოვების სექტორისთვის მნიშვნელოვან გამოწვევას წარმოადგენს სამთო სამუშაოების პროცესში და დასრულების შემდგომ, ეკოლოგიური ზემოქმედების შერბილება, ტერიტორიის რეკულტივაცია და ამასთან, დადებითი ეკონომიკური სარგებლის შენარჩუნება.

სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვება მიზანშეწონილია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ თანაზომიერად იქნება გათვალისწინებული ეკონომიკური, ეკოლოგიური და სოციალური ინტერესები, რაც მიიღწევა მოპოვებული ბუნებრივი რესურსის დამუშავების ტექნოლოგიების გაუმჯობესებით.

ცნობილია, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე წარმოდგენილია სხვადასხვა ბუნებრივი რესურსი, რომლებიც გაერთიანებულია მადნეულ და არამადნეულ სასარგებლო წიაღისეულში. არამადნეული წიაღისეულიდან აღსანიშნავია საგარეჯოს მუნიციპალიტეტში არსებული აზამბურის ჯგუფის ტბები, რომლებიც მირაბილიტის საბადოზეა განთავსებული.

მირაბილიტი გამოიყენება უწყლო ნატრიუმის სულფატის წარმოებაში, ხოლო უწყლო ნატრიუმის სულფატი ქიმიურ ინდუსტრიაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პროდუქტია და მასზე სამრეწველო მოთხოვნილება თანდათანობით იზრდება, თუმცა წარმოების ტემპები მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მოთხოვნილებას.

აქედან გამომდინარე, აზამბურის ტბების მირაბილიტის საბადოებიდან ნედლეულის ამოღება და გადამუშავება ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით საკმაოდ აქტუალური პრობლემაა.

**სამუშაოს მიზანი.** სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს:

- მირაბილიტის შემცველი სახარე ტბის წყლის (მარილ-პეჟო) შედგენილობის კვლევა და სეზონურად მისი ცვლილების ხასიათის

დადგენა სინჯების ყოველთვიურად აღებით და მათი ქიმიური შედგენილობის კვლევის გზით;

- მარილხსნარიდან მირაბილიტის ბუნებრივი გამოკრისტალების კლიმატური პირობების შესწავლა-დადგენა;
- მირაბილიტის საბადოდან აღებული მარილის ნიმუშების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა;
- მირაბილიტის საბადოს თავზე არსებული მარილ-პეჟოს და საბადოს ფსკერზე დალექილი მარილების სამრეწველო მიზნებისთვის გამოყენებადობის დადგენა-დაზუსტება;
- სხვადასხვა პირობებში მირაბილიტის გადაკრისტალების და ლღობის პროცესის გამოკვლევა;
- აზამბურის საბადოს მირაბილიტიდან, მარილების შედგენილობის ხასიათის გათვალისწინებით, უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა და ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება

**კვლევის მეცნიერული სიახლე.** აზამბურის ჯგუფის საბადოზე ჩატარებული კვლევებიდან ცნობილია 1955 წელს ჩატარებული გეოლოგიური კვლევა, რომლის მიზანი იყო საბადოზე არსებული მარილების მარაგების დადგენა.

ასევე ცნობილია, რომ ამავე პერიოდში, აკადემიკოს ნიკოლოზ ლანდიას მიერ ჩატარდა აზამბურის საბადოზე არსებული მირაბილიტის კვლევა, რაც ითვალისწინებდა, საბადოდან მიღებული ნატრიუმის სულფატის სოდის წარმოებაში გამოყენების შესაძლებლობის დადგენას.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მეცნიერული სიახლეა:

- სახარე ტბის წყლის ქიმიური შედგენილობის ერთწლიანი კვლევა და სეზონურად მისი ცვლილების ხასიათის დადგენა სინჯების ყოველთვიურად აღების გზით;
- სახარე ტბის ზედაპირზე და ფსკერზე დალექილი მარილების ქიმიური შედგენილობის კვლევა და სხვადასხვა პირობებში, მირაბილიტის

გადაკრისტალების, ასევე, ლღობის პირობების დადგენა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით;

- არსებობს მირაბილიტიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების რამდენიმე ტექნოლოგია. ნატრიუმის სულფატის მწარმოებელი საწარმოები ძირითადად მიმართავენ აუზურ და ქარხნულ მეთოდებს, რომელიც ეფუძნება მირაბილიტის შემცველი წყალხნარის აორთქლებას მაღალ ტემპერატურაზე. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს მირაბილიტის 32-35°C ინტერვალში ლღობით, უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღებას. ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდი, საშუალებას იძლევა მირაბილიტიდან მივიღოთ უწყლო ნატრიუმის სულფატი, ხსნარების აორთქლების გარეშე და დავზოგოთ ენერგეტიკული რესურსები, რაც მეტად მნიშვნელოვანია ჩვენს პლანეტაზე მიმდინარე სათბურის ეფექტის შემცირების თვალსაზრისით.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** დისერტაციის ფარგლებში ჩატარებული კვლევის ობიექტია სახარე ტბა, კერძოდ: სახარე ტბის წყალი, სახარე ტბის ზედაპირზე სეზონურად გამოკრისტალბული და ტბის ფსკერზე დალექილი მარილი.

ტბის წყალში და მარილებიდან დამზადებულ წყალხსნარებში ჩატარდა: კალციუმის, მაგნიუმის, ნატრიუმის, კალიუმის, ჰიდროკარბონატის, კარბონატის, სულფატის და ქლორიდის იონების შემცველობის კვლევა, ასევე ჩატარდა pH-ის, ელექტრგამტარობის და მინერალიზაციის გაზომვა.

სინჯის აღების და ქიმიური კვლევის პროგრამის შედგენისას გათვალისწინებული იქნა კვლევის ძირითადი ამოცანები, ანალიზის ჩატარების მეთოდები, განსასაზღვრი მაჩვენებლების ჩამონათვალი, სიზუსტის სასურველი დონე. ასევე გათვალისწინებული იქნა სინჯის აღების ადგილი, ხერხი, პერიოდულობა, სინჯის დამუშავების და ანალიზის ჩასატარებლად საჭირო ხელმისაწვდომი მოწყობილობები.

გამოსაკვლევი სინჯების ქიმიური კვლევა ჩატარდა სამეცნიერო-კვლევითი ფირმა „გამა“-ს ლაბორატორიაში არსებული სტანდარტების შესაბამისად.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სახარე ტბის წყლისა და მის ფსკერზე დალექილი მარილების ქიმიური შედგენილობის დადგენის მიზნით, ჩვენს მიერ, სეზონების მიხედვით ჩატარებული კვლევის შედეგები, ასევე, მირაბილიტიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მისაღებად ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგიური მეთოდები, შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს საბადოს ათვისების პროცესში.

**პუბლიკაციები.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომში:

1. თ. ნასუაშვილი, მ. მჭედლიშვილი. „აზამბურის მირაბილიტის საბადოსა და ტბის წყლის გამოკვლევა უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. №2 (520), 2021 წ. გვ. 95-105.
2. თამარ ნასუაშვილი. ლერი გვასალია. „სახარე ტბის ფსკერზე დალექილი მარილებიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების შესწავლა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, №1 (523), 2022, გვ.47-54;
3. თ. ნასუაშვილი. „სახარე ტბის ფსკერზე დალექილ და ტბის ზედაპირზე ბუნებრივად გამოლექილ მარილებში ნატრიუმის სულფატის შემცველობის შესწავლა“. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები", ტ.24. 1(47). 2022. 48-54.

**სამუშაოს აპრობაცია.** დისერტაციის მასალები მოხსენიებული იყო ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე:

მ. მჭედლიშვილი, თ. ნასუაშვილი. აზამბურის მირაბილიტის საბადოს და ტბის წყლის გამოკვლევა მისგან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით. მე-6 საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია გეოლოგიის თანამედროვე პრობლემებზე, საქართველოს მინერალოგიური საზოგადოება. გ.წულუკიძის სამთო

ინსტიტუტი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, რეფერატების წიგნი 2020 წ. გვ.61-62.

**სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა (15 ქვეთავი), კვლევის მეთოდებს (8 ქვეთავი), შედეგების განსჯა (8 ქვეთავი) და წარმოდგენილია 108 ფურცელზე. შეიცავს რეზიუმეს, 9 ცხრილს, 14 ნახაზს, 5 სურათს, დასკვნას, 76 ციტირებულ ლიტერატურას.

## 1. კვლევის შედეგები და განსჯა

### 1.1. სახარე ტბის წყლის ქიმიური კვლევა

ჩვენს მიერ, სახარე ტბის წყლის კვლევა დაიწყო 2019 წლის ნოემბრის თვიდან და გაგრძელდა 2021 წლის იანვრის თვემდე. კვლევა ითვალისწინებდა როგორც ტბის წყლის (მარილ-პეჟო) და ტბაზე გამოკრიტალეზული მარილების სინჯების აღებას და ლაბორატორიულ კვლევას (იხ. ცხრილი 1), ასევე, ტბის ზედაპირზე არსებული წყლის სარკული ზედაპირის ცვლილებაზე დაკვირვებას, თვეების მიხედვით.

2019 წლის ნოემბერში, ტბის ზედაპირის მნიშვნელოვანი ნაწილი დაფარულია მარილით, რომელიც გამოკრისტალდა წყლიდან. ტბაში გაწყლიანებული ფართობები ( $\approx 20 - 25\%$ ) მხოლოდ ტბის დიაგონალის გასწვრივ არის, სადაც წყლის სიღრმე შედარებით მაღალია.

დაკვერვების მიმდინარეობისას, გაიზომა ჰაერის ტემპერატურა, რამაც შეადგინა  $+10^{\circ}\text{C}$ , შესაბამისად, კლიმატური პირობები, მირაბილიტის გამოსაკრისტალეზლად ოპტიმალური პირობაა.

ტბაში ცენტრში, წყლით დაფარული ფართობი, იმის მანიშნებელია, რომ  $+10^{\circ}\text{C}$ -ზე მლაშე წყალი გადაჯერებული არ არის  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ -თი და ამიტომ, სრული გამოკრისტალეზა ვერ მოხდა.

სურათი შეცვლილია 2019 წლის დეკემბერში, ამ დროს, ტბის პერიმეტრზე წყლიანი ფართობები უფრო ნაკლებად არის წარმოდგენილი, ვიდრე იყო ნოემბერში.

მომდევნო თვეში (იანვარში), ტბაზე გუბურებიც აღარ არის და ზედაპირი დაფარულია შლამით. თებერვალის თვეში, ტბის ზედაპირი მშრალია და დაფარულია თეთრი ფხვილით, რომელიც არეულია თიხოვან ნალექებში.

ტბა სრულად შეივსო წყლით 2020 წლის მაისში და გარემოს ტემპერატურის მატებასთან ერთად, დაიწყო წლის აორთქლება, რამაც მომდევნო თვეებში შეამცირა წყლის სარკის ზედაპირი.

ივლისის და აგვისტოს თვეებში, უხვი ნალექების გამო, ტბაში წყლის სარკული ზედაპირი გაზრდილია და ტბის კონტური ფაქტიურად სრულად არის დაფარული წყლით.

სექტემბრის თვეში, ტბაში წყალი მნიშვნელოვნად არის შემცირებული და ტბის ნაპირებზე გაწყლიანებული შლამია წარმოდგენილი. ოქტომბერში და ნოემბერში, ტბის ზედაპირზე წყალი ფაქტიურად არის, ხოლო 2020 წლის დეკემბერში და 2021 წლის იანვარში, ტბაში ისევ დაიკვირვება წყალი, ამასთან, დეკემბრის თვეში, ტბის ნაპირებზე ასევე დაფიქსირდა მარილის კრისტალები.

პირველ ცხრილში მოცემული შედეგებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საკვლევი ტბის წყლის შედგენილობა სეზონების მიხედვით ცვალებადია. გარემოს ტემპერატურის მატებასთან ერთად, ტბის წყალში მატულობს ყველა გამოკვლეული იონის კონცენტრაცია, ხოლო ტემპერატურის კლებასთან ერთად - კლებულობს.

სახარე ტბის წყალში, მკაფიოდ არის გამოხატული სულფატური და ქლორიდული ბუნება, ამასთან, სულფატის იონების კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად აღემატება ქლორის იონების კონცენტრაციას.

აღებულ სინჯებში გამოკვლეული კათიონებიდან აღსანიშნავია  $\text{Na}^+$  და  $\text{Mg}^{+2}$ . ყველა სინჯში, ნატრიუმის კონცენტრაცია აჭარბებს მაგნიუმის კონცენტრაციას, მაგალითად, 2020 წლის ივლისის სინჯებში, როდესაც ყველა იონისთვის დაფიქსირდა მაღალი კონცენტრაცია, ნატრიუმის იონის კონცენტრაციამ შეადგინა 30610 მგ/ლ, ხოლო მაგნიუმის იონის კონცენტრაციამ - 2616 მგ/ლ.



ცხრილი 1. საკვლევი ტბის ქიმიური შედგენილობა

აბსოლუტური რაოდენობა	$SO_4^{2-}$ მგ/ლ	$Cl^-$ მგ/ლ	$HCO_3^-$ მგ/ლ	$CO_3^{2-}$ მგ/ლ	$Na^+$ მგ/ლ	$K^+$ მგ/ლ	$Ca^{2+}$ მგ/ლ	$Mg^{2+}$ მგ/ლ
ნოვ. 2019	41036.0	4963.0	-	-	19360.0	-	520.0	2568.0
დეკ. 2019	28800.0	3105.4	1122.0	<0.5	13090.0	42.4	520.0	1632.0
იან. 2020	9280.0	497.0	246.4	<0.5	5060.0	32,8	92.0	148.0
თებ. 2020	7983.2	421.6	198.7	<0.5	4987.9	31.4	86.5	126.7
მარ. 2020	-	-	-	-	-	-	-	-
აპრ. 2020	-	-	-	-	-	-	-	-
მაი. 2020	34310.0	1474.0	605.2	<0.5	26690.0	45.60	520.0	1316.0
ივნ. 2020	41847.0	2460.0	529.2	<0.5	21600.0	57.8	830.2	2981.5
ივლ. 2020	54310,0	3474,0	805,2	<0.5	30610,0	60,1	720,0	2616,0
აგვ. 2020	9854.0	1939.0	821.0	<0.5	11245.0	43.5	689.2	2954.1
სექ. 2020	8632.0	4885.0	623.0	<0.5	8325.0	42.1	128.7	365.1
ოქტ. 2020	7325.0	5907.0	245.0	<0.5	8111.0	36.4	95.3	253.7
ნოვ. 2020	6598.0	4891.0	189.0	<0.5	7632.0	32.1	86.1	111.2
დეკ. 2020	26548.0	1233.0	532.0	<0.5	15364.0	33.3	354.6	724.3
იან. 2021	23156.0	2365.0	423.	<0.5	13256.0	32.8	432.1	896.4

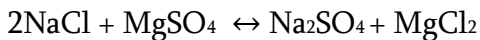
აქვე გასათვალისწინებელია, რომ გარემოს ტემპერატურის მატებასთან ერთად, ტბის წყალში,  $SO_4^{+2}$  იონებთან ერთად მატულობს  $Cl^-$  იონების კონცენტრაციაც. ქლორის არსებობის ფაქტორს გავლენა ექნება როგორც მირაბი-ლიტის ლღობისა და გამოკრისტალელების პირობებზე, ისე უწყლო ნატრიუმის სულფატის გამოკრისტალელების

პირობებზე. კერძოდ, ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, უწყლო ნატრიუმის სულფატის გამოკრისტალების ტემპერატურა  $+32,38^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურიდან, ქლორის კონცენტრაციის მიხედვით შესაძლებელია შემცირდეს დაახლოებით  $+17^{\circ}\text{C}$ -მდე.

აღნიშნლის გათვალისწინებით, ტექნოლოგიურ პროცესებში გათვალისწინებული უნდა იქნას NaCl-ის და  $\text{MgCl}_2$ -ის გამოკრისტალების ფაქტორი [71].

## 1.2. სახარე ტბის ფსკერზე დალექილ და ტბის ზედაპირზე ბუნებრივად გამოკრისტალებულ მარილებში ნატრიუმის სულფატის შემცველობის კვლევა

ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, ბუნებრივი მარილხსნარების და მარილების საბადოების კვლევამ აჩვენა, რომ მათგან მიღებული მშრალი ნალექის დაახლოებით 93%-ს ოთხი ძირითადი მარილი შეადგენს, რომელთა ურთიერთგარდაქმნა გამოიხატება შემდეგნაირად [6]:



ნატრიუმის სულფატი ბუნებაში გავრცელებულია სხვადასხვა მინერალის სახით, ესენია: ტენადრიტი, მირაბილიტი, ასტრახანიტი, გლაუბერიტი, გლაზერიტი, ბერკეიტი და სხვა. გავრცელების მიხედვით, ცნობილია ტენარდიტულ-მირაბილიტური სასარგებლო წიაღისეული და ტბის ტიპის საბადოები. მარილიანი ტბების წყლებს და მათ ფსკერულ დანალექებს, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ნატრიუმის სულფატის მოპოვების თავსაზრისით.

უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით, 2019 წლის ნოემბრიდან 2021 წლის იანვრამდე, წარმოებდა ტბის ფსკერზე დალექილი მარილების, შლამის და ზამთრის პერიოდში, ბუნებრივად გამოკრისტალებული მარილების კვლევა.

ტბის ფსკერზე არსებულ დანალექებში, ასევე ტბის ზედაპირზე ზამთრის პერიოდში ბუნებრივად გამოკრისტალებულ მარილში, ნატრიუმის სულფატის და მინარევების სახით სხვა მარილების რაოდენობის დადგენის მიზნით, ჩვენს მიერ ჩატარდა ლაბორატორიული კვლევა.

საკვლევ მასალას წარმოადგენდა ტბის ფსკერიდან, სხვადასხვა წერტილებში აღებული დანალექების 3 სინჯი, შლამის 1 ნიმუში და 2019 წლის დეკემბერში, 2020 წლის დეკემბერში და 2021 წლის იანვარში, ტბის ზედაპირზე ბუნებრივად გამოკრისტალებული მარილები თითო სინჯი.

საკვლევ მარილების ნიმუშებიდან დამზადებულ ხსნარებში, განისაზღვრა pH, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> და K<sup>+</sup> იონები. ნიმუშების ქიმიური კვლევის შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში, თითოეული სინჯიდან გამოყოფილი უხსნადი ნაშთის რაოდენობა (გრ) მოცემულია მე-3 ცხრილში.

**ცხრილი 2. სახარე ტბის ზედაპირიდან და ფსკერიდან აღებული მარილების ქიმიური კვლევის შედეგები**

განსაზღვრული პარამეტრები, ერთეული	განსაზღვრის მეთოდი	ნიმუში N1*	ნიმუში N2*	ნიმუში N3*	ნიმუში N4* (შლამი)	ნიმუში N5**	ნიმუში N6**	ნიმუში N7**
pH	ისო 10523-2008	7,65	7,55	7,45	7,65	7,55	7,55	7,45
კალციუმი, მგ/ლ	გოსტ 23268.5-1978	-	-	-	-	-	-	-
კალიუმი, მგ/ლ	ისო 9964-3-1993	-	-	-	-	-	-	-
მაგნიუმი, მგ/ლ	გოსტ 23268.5-1978	2,8	3,22	2,304	3,29	2,8	2,18	2,78
ნატრიუმი, მგ/ლ	ისო 9964-3-1993	29,75	26,624	27,743	23,624	18,06	16,38	17,79
ჰიდროკარბონატი, მგ/ლ	გოსტ 23268.3-78	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
კარბონატი, მგ/ლ	გოსტ 23268.3-78	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
სულფატი, მგ/ლ	ისო 9280-1990	54,8	52,479	44,966	45,305	34,48	31,2	34,28
ქლორიდები, მგ/ლ	გოსტ 23268,17-78	1,8	2,31	1,531	1,71	1,72	0,96	1,44

\*ნიმუში N1-N4 - ტბის ფსკერის დანალექი, \*\*ნიმუში N5-N7 - ტბის ზედაპირიდან აღებული ნიმუშები

**ცხრილი 3. სახარე ტბის ზედაპირიდან და ფსკერიდან აღებული მარილებში არსებული უხსნადი ნაშთი**

N	ნიმუში N1*	ნიმუში N2*	ნიმუში N3*	ნიმუში N4* (შლამი)	ნიმუში N5**	ნიმუში N6**	ნიმუში N7**
უხსნადი ნაშთი, %	9,83	12,36	15,63	25,46	42,59	51,24	43,27

\*ნიმუში N1-N4 - ტბის ფსკერის დანალექი, ნიმუში N5-N7 - ტბის ზედაპირიდან აღებული ნიმუშები.

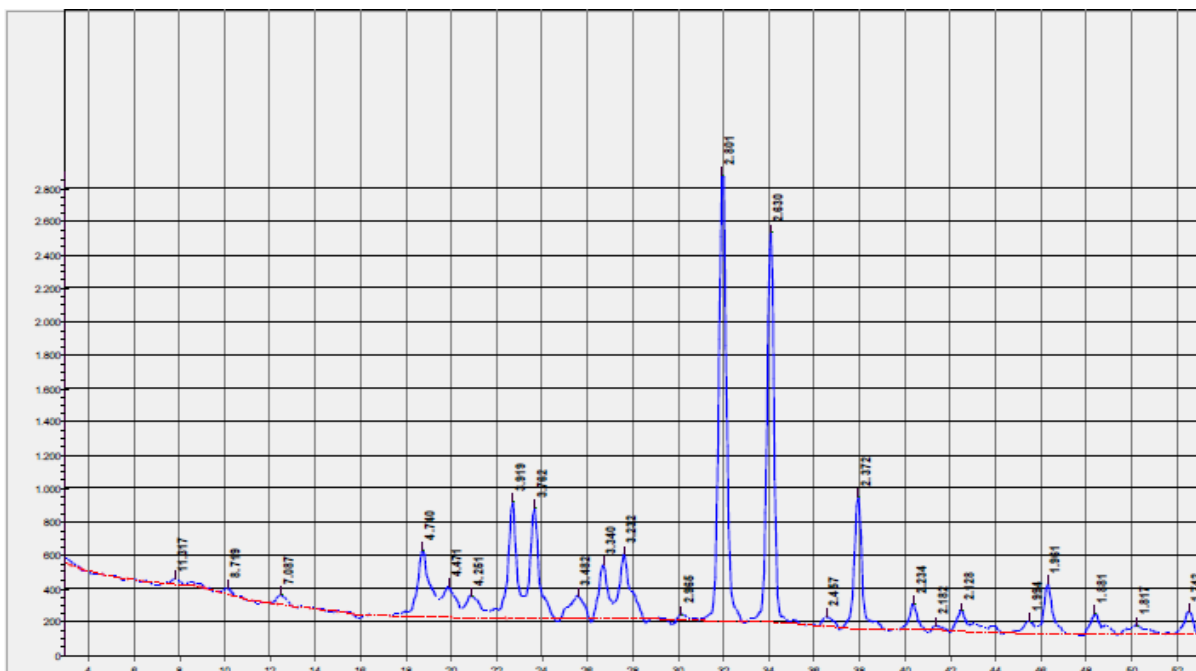
როგორც ანალიზის შედეგებიდან ჩანს, ყველა სინჯი შეიცავს წყალში უხსნად მინარევებს და აღნიშნული მინარევების რაოდენობა, სხვადასხვა სინჯში სხვადასხვაა. უხსნადი მინარევების დიდი რაოდენობა შეინიშნება ტბის ფსკერიდან აღებულ შლამში და ტბის ზედაპირზე ბუნებრივად გამოკრისტალბულ მარილებში.

ტბის ზედაპირიდან აღებულ ნიმუშებში, უხსნადი მინარევების რაოდენობა აიხსნება იმით, რომ სინჯების აღების დროს, ტბის ზედაპირი იყო გაწყლიანებული და კრისტალები შერეული იყო ტბის ზედაპირზე არსებულ ბუნებრივ გრუნტში (შლამი) და მათი განცალკევება ფაქტიურად შეუძლებელი იყო.

რაც შეეხება ტბის ფსკერიდან აღებულ ნალექებს, მათში წყალში უხსნადი მინარევების შემცველობა გაცილებით დაბალია და დაახლოებით 9-15 %-ის ფარგლებში იცვლება.

ანალიზების შედეგების მიხედვით, ტბის ნალექებში და ასევე, ზედაპირზე არსებულ მარილებში, ნატრიუმის და სულფატის იონების რაოდენობა, მნიშვნელოვნად აღემატება ჩვენს მიერ გამოკვლეული სხვა იონების რაოდენობას და დაახლოებით 85-90% -ის ფარგლებშია. მარილებში ვერ იქნა აღმოჩენილი კალციუმის და კალიუმის იონები მათი სიმცირის გამო, ხოლო კარბონატის და ჰიდროკარბონატის კონცენტრაცია, ყველა სინჯში 0,5 მგ/ლ-ზე დაბალია. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მირაბილიტის მოპოვების თვალსაზრისით, მისგან უწყლო ნატრიუმის მიღების მიზნით, მნიშვნელოვანი რესურსია არა მხოლოდ სახარე ტბის წყალი, არამედ, მის ფსკერზე არსებული დანალექებიც.

ტბის ზედაპირიდან აღებულ მარილების კრისტალებზე ასევე ჩატარდა რენდგენოლოგიური კვლევა (იხ. სურათი 1). რენდგენოგრამის მონაცემების მიხედვით, საკვლევი კრისტალები შეიცავს როგორც ძირითად მარილს (ნატრიუმის სულფატს) ასევე, მცირე რაოდენობით ქლორიდებს და მინდვრის შპატს. საკვლევი მარილის კონცენტრაცია დაახლოებით 70%-ის ფარგლებშია.



კვარცი - 11,317; 8,719; 7,087; მინდვრის შპატი - 4.740; 4.471; 4.251; 3.919; 3.762; 3.482; 3.340; 3.232. ნატრიუმის სულფატი - 2.965; .2.801; 2.630; 2.457; 2.372; 2.234; ქლორიდები - 2.182; 1.994; 1.961; 1.881; 1.817; 1.742.

სურათი 1. კრისტალების რენდგენოგრამა

### 1.3. სახარე ტბის ფსკერზე დალექილი მარილებიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების შესწავლა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით

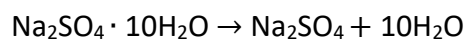
უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით, სახარე ტბაზე ჩატარებულმა სეზონურმა დაკვირვებამ, ასევე ტბის წყლისა და ტბის ფსკერზე დალექილი მარილის

ქიმიურმა კვლევამ, საშუალება მოგვცა, დაგვეგეგმა ექსპერიმენტული კვლევები, რათა ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის გზით დაგვედგინა გამოლექვის ოპტიმალური პირობები და მაქსიმალური გამოსავალი.

ჩატარებულ დაკვირვებებსა და ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კლიმატური და ჰიდროლოგიური ფაქტორები განსაზღვრავენ მარილიანი ტბების წყლის ჰიდროქიმიურ რეჟიმს. ტემპერატურის ცვლილება გავლენას ახდენს ტბაში წყლის დონეზე, წყალში გახსნილი მარილების კონცენტრაციაზე, მარილების გამოკრისტალების, ან პირიქით მათი გახსნის პროცესებზე.

ტბის ფსკერზე დალექილი მარილის ქიმიური კვლევის მიხედვით, ყველა სინჯი შეიცავს წყალში უხსნად მინარევებს და მათი შემცველობა დაახლოებით 10 - 15 %-ის ფარგლებში იცვლება. ამავე სინჯებში, ნატრიუმის და სულფატის იონების რაოდენობა მნიშვნელოვნად აღემატება ჩვენს მიერ გამოკვლეული სხვა იონების რაოდენობას და დაახლოებით 78-83 % -ის ფარგლებშია, ხოლო დაახლოებით 3-5 % მოდის სხვა ხსნად მარილებზე, რომელთაგან ჭარბობს მაგნიუმის ქლორიდი.

როგორც ლიტერატურული წყაროებიდან არის ცნობილი, ნატრიუმის სულფატის წყალში ხსნადობა, 20 °C ტემპერატურაზე შეადგენს 16,3 %-ს, ხოლო 100 °C-ზე - 29,7 %-ს. 32.4 °C-ზე ნატრიუმის სულფატის შემცველი ხსნარიდან გამოკრისტალდება უწყლო ნატრიუმის სულფატი. აქვე გასათვალისწინებელია ისიც, რომ 32.4 °C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე ხსნარიდან ადგილი აქვს მირაბილიტის გამოლექვას, რომელიც სწორედ 32.4 °C-ზე იწყებს ღებობას და იშლება ნატრიუმის სულფატად და წყლად:



#### 1.4. პროცესის ოპტიმალური პირობების დადგენა ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის გზით

ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის მიზნით, თავდაპირველად შერჩეული იქნა საოპტიმიზაციო პარამეტრი ( $Y$  %-ნატრიუმის სულფატის გამოლექვის ხარისხი) და მასზე მოქმედი ფაქტორები ( $X_1$ -ტემპერატურა  $^{\circ}C$ ;  $X_2$ -მირაბილიტის კონცენტრაცია ( $C_1$ -გრ/ლ);  $X_3$ -მაგნიუმის ქლორიდის კონცენტრაცია ( $C_2$ -გრ/ლ)).

საოპტიმიზაციო პარამეტრი დამოკიდებულია ფაქტორებზე და ეს დამოკიდებულება გამოსახება ტეილორის პოლინომით, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{1,2}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n + b_{1,2}X_2^2 + \dots + b_{n,m}X_n^2 \quad (1)$$

რაც უფრო მეტია წევრთა რაოდენობა პოლინომში, მით უფრო ზუსტად აღწერს იგი პროცესს, მაგრამ, ამ შემთხვევაში რთულდება განტოლების ამოხსნა, ამიტომ კმაყოფილებიან განტოლების წრფივი ნაწილით, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{1,2}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n \quad (2)$$

ეს განტოლება წარმოადგენს არასრულ კვადრატულ (რეგრესიის) განტოლებას. სიმბოლოები  $b_0, b_1, \dots, b_n$ , ცალკეული ფაქტორების კოეფიციენტებია, ხოლო  $b_{1,2}, \dots, b_{(n-1)n}$  – ფაქტორების ერთდროული ზემოქმედების. მათი გამოთვლით და (2) განტოლებაში ჩასმით ვღებულობთ პროცესის მათემატიკური მოდელს.

პროცესის მათემატიკური მოდელი, საშუალებას იძლევა, განისაზღვროს ფაქტორების გავლენა საოპტიმიზაციო პარამეტრებზე და მოიძებნოს პროცესის ოპტიმიზაციის გზა.

ჩვენს შემთხვევაში, პროცესის მიმდინარეობაზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობა  $k=3$ . ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვისთვის ჩასატარებელი ცდების რაოდენობა, გამოითვლება ფორმულით:

$$N=2^k=2^3=8$$

ჩატარებული ცდების გეგმის ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია მე-4 ცხრილში, ხოლო ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა მე-5 ცხრილში.

**ცხრილი 4. ჩატარებული ცდების გეგმის ძირითადი მახასიათებლები**

ფაქტორები	$X_1 - t \text{ } ^\circ\text{C}$	$X_2 - C_1 \text{ გრ/ლ}$	$X_3 - C_2 \text{ გრ/ლ}$
ძირითადი დონე	30	200	5
ვარიაციების ინტერვალი	5	20	0.5
ზედა დონე	35	220	5,5
ქვედა დონე	25	180	4.5

ცხრილში წარმოდგენილი ძირითადი დონის პარამეტრები აღებულია წინასწარი სასინჯი ცდებით.

**ცხრილი 5. ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა**

ცდის №	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$\bar{Y}$	$S_i^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	40.35	40.05	40,2	0,045
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	46.15	46.5	46,325	0,06125
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	45.95	46.15	46,05	0,02
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	50.95	50.10	50,525	0,36125
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	40.7	42.6	41,65	1,805
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	45.35	46.3	45,975	0,78125
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	43.25	44.3	43,775	0,55125
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	42.4	42.6	42,5	0,02

რადგანაც ბუნებრივი მარილების შემცველ ხსნარებში, არ გვქონდა შესაძლებლობა, წინასწარ განსაზღვრული გეგმის მიხედვით შეგვეცვალა ნატრიუმის სულფატისა და მაგნიუმის ქლორიდის კონცენტრაციების თანაფარდობა, ცდების ჩასატარებლად, გამოყენებული იქნა ქიმიურად სუფთა ნატრიუმის სულფატის და მაგნიუმის ქლორიდის ბაზაზე დამზადებული მოდელოური მარილხსნარები.

მე-5 ცხრილში, პირველ სვეტში წარმოდგენილია ცდების ნომრები, ხოლო 2-9 სვეტებში - საოპტიმიზაციო პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორები და მათი ნამრავლები, ამ სვეტებში პროცესზე მოქმედი ფაქტორები შეტანილია კოდირებული ცვლადების სახით +1 აღნიშნავს ზედა დონეს, ხოლო -1, ქვედა დონეს; მე-10 და მე-11 სვეტებში -



ძირითადი და პარალელური ცდების შედეგებია (%); მე-12 სვეტში - პარალელური ცდების საშუალო მნიშვნელობები (%), ხოლო მე-13 სვეტში კვადრატული სდომილებები.

პირველ რიგში განისაზღვრა პარალელური ცდებისა და ყველა ცდის ცდომილებები და კოხრენის კრიტერიუმით დადგინდა, რომ ცდომილებები დასაშვებ ზღვრებშია.

პროცესის მათემატიკური მოდელის (2) გამოსაყვანად გამოვითვალეთ განტოლების კოეფიციენტები  $b_0, b_1, b_2, \dots$   $b_0$  გამოითვლება ფორმულით:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum \bar{Y}_i$$

ხოლო დანარჩენი კოეფიციენტები

$$b_i = \frac{1}{N} \sum X_{ji} \bar{Y}_i$$

ზემოთ მოცემულ ფორმულებში, შესაბამისი მონაცემების შეტანით მივიღებთ, რომ:  $b_0 = 44,625$ ;  $b_1 = 1,70625$ ;  $b_2 = 1,0875$ ;  $b_3 = -1,15$ ;  $b_4 = -0,90625$ ;  $b_5 = -0,94375$ ;  $b_6 = -1,425$ ;  $b_7 = -0,49375$

ამ მნიშვნელობების რეგრესიის განტოლებაში შეტანით მივიღებთ:

$$Y = 44,625 + 1,70625X_1 + 1,0875X_2 - 1,15X_3 - 0,90625X_1X_2 - 0,94375X_1X_3 - 1,425X_2X_3 - 0,49375X_1X_2X_3$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები შეფასდა სტიუდენტის კრიტერიუმით. აღმოჩნდა, რომ ყველა კოეფიციენტი  $b_7$ -ის გარდა, მნიშვნელოვანია. მისი გამორიცხვი შემდეგ პროცესის მათემატიკურ მოდელს ექნება შემდეგი სახე:

$$Y = 44,625 + 1,70625X_1 + 1,0875X_2 - 1,15X_3 - 0,90625X_1X_2 - 0,94375X_1X_3 - 1,425X_2X_3$$

აღნიშნული მოდელი შემოწმდა ადექვატურობაზე ფიშერის კრიტერიუმით. გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, რომ ფიშერის კრიტერიუმის გამათვლილი მნიშვნელობა ნაკლებია ცხრილურ მნიშვნელობაზე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ მიღებული განტოლება ადექვატურად აღწერს პროცესს.

მიღებული მოდელის ანალიზი გვჩვენებს, რომ სამივე ფაქტორი გავლენას ახდენს გამოლექვის პროცესზე. აქედან პირველი ორის (ტემპერატურა და კონცენტრაცია) გაზრდა ზრდის გამოლექვის ხარისხს (მათი ნიშანი დადაბითია), ხოლო მესამე

(მაგნიუმის კონცენტრაცია) პირიქით - ამცირებს (ნიშანი უარყოფითია). ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს ტემპერატურა, რადგან მისი კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა ყველაზე მეტია

ზემოთ თქმულის მხედველობაში მიღებით პროცესის ოპტიმიზაცია განვახორციელეთ სწრაფი აღმასვლის მეთოდით, ამ მიზნით გამოთვლილი იქნა ფაქტორების ახალი ბიჯები ( $\Delta t=1$ ,  $\Delta C_1=2$ ;  $\Delta C_2=-0.05$ ) და დაიგეგმა შემდეგი ცდები, რომელიც წარმოდგენილია მე-8 ცხრილიში. ცხრილის, პირველ სვეტში მოცემულია ვარირების ინტერვალი, ფაქტორების დონეები და ცდების ნომრები; მე-2-4 სვეტებში - საოპტიმიზაციო პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორები, მე-9 ცდისთვის აღებული იქნა ცდებისთვის შერჩეული ძირითადი დონეები, რომელიც მოცემულია ცხრილიში 4. ცდების რეალიზაციის შედეგები წარმოდგენილია მე-6 ცხრილის მე-5 სვეტში.

**ცხრილი 6. საოპტიმიზაციო ცდების პარამეტრები და მიღებული შედეგები**

ვარირების ინტერვალი და ფაქტორების დონე	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y (%)
1	2	3	4	5
ძირითადი დონე	30	200	5	
ვარირების ინტერვალი	5	20	0.5	
რეგრესიის კოეფიციენტი, b <sub>i</sub>				
ნამრავლი $\phi_i=b_i\Delta X_i$	1,70625	1,0875	-1.15	
ფარდობა $\beta=\frac{\Delta X_3^*}{b_3}=0.1$	8,53125	21,75	-0,575	
ბიჯი $\Delta X_i^*=0.1\phi_i$	1	2	-0,05	
ცდები 9	30	200	5	47,0
10	31	202	4,95	48,6
11	32	204	4,9	54,2
12	33	206	4,85	52,09
13	34	208	4,8	47,58

როგორც ვხედავთ, მაქსიმალური გამოსავალი მიღებულია მე-11 ცდაზე, რომელის შესაბამისი პარამეტრებია:  $t=32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $C_1=204\text{ გრ/ლ}$  და  $C_2=4,9\text{ გრ/ლ}$  და სწორედ ეს პარამეტრებია პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები.

ამრიგად, ტემპერატურის 32 გრადუსამდე გაზრდით, მცირდება ხსნარიდან მირაბილიტის გამოკრისტალება და იზრდება უწყლო ნატრიუმის სულფატის გამოლექვა, ხოლო ტემპერატურის 32 გრადუსზე ზევით გაზრდის შემთხვევაში, გამოლექილი ნატრიუმის სულფატი იწყებს გახსნას და მცირდება პროცესის გამოსავალი. ამასთან, ყველა შემთხვევაში, ხსნარში მირაბილიტის კონცენტრაციის გაზრდით და მანგანუმის ქლორიდის კონცენტრაციის შემცირებით, იზრდება პროცესის გამოსავალი.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, დამუშავდა აზამბურის ჯგუფის საბადოზე მოპოვებული მირაბილიტიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების შეკრული ტექნოლოგიური ციკლით მომუშავე სქემა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, მირაბილიტიდან მივიღოთ უწყლო ნატრიუმის სულფატი, ხსნარების აორთქლების გარეშე. შემოთავაზებული ტექნოლოგია გვაძლევს ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვის საშუალებას, რაც მეტად მნიშვნელოვანია ჩვენს პლანეტაზე მიმდინარე სათბურის ეფექტის შემცირების თვალსაზრისით.

### **1.5. აზამბურის საბადოს ტბების მირაბილიტიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების ტექნოლოგიური მეთოდები**

სახარე ტბის წყლისა და ტბის ფსკერზე დალექილი მარილების ქიმიური შედგენილობის კვლევამ ცხადყო, რომ როგორც ტბის წყალი, ისე ტბის ფსკერზე დალექილი მარილი,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -ის პროცენტული შემცველობის თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანი ნედლეულია.

აქვე აღსანიშნავია, რომ სხვადასხვა ქვეყანაში, უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღება წარმოებს მლაშე ტბების წყლის გამოყენებით, ამ ქვეყნებში არსებულ ტბებში,

მლაშე წყლის სიუხვის გამო, ჯერ არ დამდგარა ტბის ფსკერზე დალექილი მარილების ათვისების საჭიროება.

სხვა სურათი გვაქვს სახარე ტბის შემთხვევაში, რადგან ტბის მოცულობა და ასევე ტბაში წყლის სიღრმე, წყალუხვობის პერიოდშიც კი ძალიან მცირეა და სამრეწველო თვალსაზრისით არ არის მიმზიდველი. სახარე ტბის და ზოგადად, აზამბურის მირაბილიტის საბადოს შემთხვევაში, სამრეწველო მნიშვნელობა ტბის ფსკერზე არსებულ მარილებს ენიჭება.

არსებობს მირაბილიტიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების რამდენიმე ტექნოლოგია. ნატრიუმის სულფატის მწარმოებელი საწარმოები ძირითადად მიმართავენ აუზურ და ქარხნულ მეთოდებს, რომელიც ითვალისწინებს მირაბილიტის შემცველი წყალხნარის აორთქლებას.

აზამბურის მირაბილიტის საბადოს შემთხვევაში, აუზური მეთოდი არ იქნება გამართლებული, რადგან აუზების მოსაწყობად საჭიროა დიდი ფართობის ტერიტორიების ათვისება. საბადოს მიმდებარედ კი ძირითადად წარმოდგენილია სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის ნაკვეთები და საძოვრები, რომელთა სამრეწველო მიზნებისთვის გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის.

აზამბურის მირაბილიტის საბადოს შემთხვევაში, მირაბილიტის გადამუშავებისთვის გამართლებული იქნება ქარხნული მეთოდით, მირაბილიტის გახსნა და აორთქლება-კრისტალიზაცია ან დაბალ ტემპერატურაზე, მირაბილიტის ხსნარიდან მირაბილიტის გამოკრისტალება და კრისტალების ღლობა თავისივე საკრისტალიზაციო წყალში (ინკონგრუენტული ღლობა), აორთქლების გარეშე.

აზამბურის საბადოს დამუშავებისთვის, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ორი მეთოდიდან, ეკოლოგიური თვალსაზრისით, უპირატესობა მივანიჭეთ მეორე მეთოდს, კერძოდ მირაბილიტის ღლობით, უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღებას და მეთოდის ეკონომიკური მიზანშეწონილობის დადგენის მიზნით, ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევები, რათა მათემატიკური მოდელირების საშუალებით გამოგვეთვალა გამოლექვის მაქსიმალური გამოსავალი.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. თ. ნასუაშვილი, მ. მჭედლიშვილი. „ზამბურის მირაბილიტის საბადოსა და ტბის წყლის გამოკვლევა უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების მიზნით“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. №2 (520), 2021 წ. გვ. 95-105.
2. თამარ ნასუაშვილი. ლერი გვასალია. „სახარე ტბის ფსკერზე დალექილი მარილებიდან უწყლო ნატრიუმის სულფატის მიღების შესწავლა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით“. სტუ-ის სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, №1 (523), 2022, გვ.47-54;
3. თ. ნასუაშვილი. „სახარე ტბის ფსკერზე დალექილ და ტბის ზედაპირზე ბუნებრივად გამოლექილ მარილებში ნატრიუმის სულფატის შემცველობის შესწავლა“. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები", ტ.24. 1(47). 2022. 48-54.

## Abstract

The mining industry makes a significant contribution to the development of the local economy. An important challenge for the mining industry is the mitigation of environmental impacts, after the completion of mining operations recultivation the territory and at the same time maintain the positive economic benefits. Extraction of minerals is advisable only if economic, ecological and social interests are proportionately taken into account, which is achieved by improving mining technologies.

It is known that Georgia has had natural resources, which include ore and non-ore minerals. From the non-ore minerals are important lakes of Azamburi group, which are placed in Sagarejo Municipality and they are located at the Mirabilite deposit. Lakes of Azamburi Group are presented of 3 lakes, named: Sakhre-Lake, Garejela and Kachaal-Lake. Only the first two are important in terms of Mirabilite stock.

The issue of obtaining anhydrous sodium sulfate from a brackish lake in the form of salt-water at the Mirabilite deposit and its surface has not been resolved yet.

At the mine, the area of the lake's mirror surface changes seasonally. In the autumn-winter period it declines sharply and the deposit is covered by a layer of mirabilite crystals.

According to the seasonal change in the climatic conditions of the region, in order to determine the composition of seasonally crystallized mirabilite at the Mirabilite Mine and from it, we, in 2019, 2020 and 2021, at one-month intervals, examined the crystallized mirabilite complete chemite and salt-water.

In December 2019, the water level of the Sakhare-Tba is significantly reduced. The surface of the lake, free of water, is covered with a layer of mirabilite crystallized from salt-water. In January and February 2020, there is practically no salt-water on the surface of the lake, and its traces are recorded only in the form of small individual puddles. In addition, the mirabilite layer crystallized in December, in January-February, moved to Tenardite. The chemical composition of the salt-water itself has also changed. Sodium and sulfate ions dissolved in salt-water decreased by about 0.6 times in January-February compared to December. Molar appropriateness of compounds in crystallized mirabilite and in salt-water do not differ significantly from each other.

The research material consisted of 3 samples of sediments taken from the bottom of the lake at different points, 1 sample of sludge, and one sample each of naturally crystallized salts on the surface of the lake in December 2019, 2020, and 2021.

As can be seen from the results of the analysis, all samples contain water-insoluble impurities, and the amount of said impurities is different in different samples. A large amount of insoluble impurities is observed in the sludge taken from the bottom of the lake and in the naturally crystallized salts on the surface of the lake.

As for the sediments taken from the bottom of the lake, the content of water-insoluble impurities in them is much lower and varies around 9-15%.

According to the results of the analysis, the amount of sodium and sulfate ions in the lake sediments and also in the salts on the surface is significantly higher than the number of other

ions we have investigated and is around 85-90%. Calcium and potassium ions could not be detected in the salts due to their scarcity, while the concentration of carbonate and hydrocarbon is below 0.5 mg/l in all samples. Based on the above, from the point of view of extracting mirabilite, for the purpose of obtaining unaged sodium from it, not only the water of Lake Sakhara is an important resource, but also the sediments on its bottom.

The study of the Mirabilith deposit of the Azambur Group, namely Lake Sakhare, allowed us to plan the experiment by mathematical planning of the experiment in order to obtain anhydrous sodium sulfate, conduct experimental studies and calculate a theoretical solution of the reaction.

To do this, we selected the optimization parameter and the factors affecting it, according to which experiments were planned and conducted.

The validity of the results obtained in the experiments was tested according to the criteria of Fischer, Kohren and Student. Then was chosen a mathematical model of processes. This model was tested for adequacy for each experiment.

After the relevant calculations confirmed the adequacy of the model, process optimization was carried out and parameters were selected to ensure the maximum solution of the reaction.

In addition, a technological scheme for the production of anhydrous sodium sulfate from mirabilite was developed.