

# ნაგავსაყრელად ჩამდინარე წყლების, ტყვიისა და კადმიუმის მინარეჟებისაგან სორბციული მეთოდით განმუხტვის ოპტიმიზაცია

ლერი გვასალია,  
სტუ-ს პროფესორი

თამთა ჩლარგიძე,  
სტუ-ს დოქტორანტი

## რეზიუმე

სტატიაში წარმოადგენილია, თბილისის ნაგავსაყრელებიდან ჩამდინარე წყლების, ტყვიისა და კადმიუმის მინარეჟებისაგან სორბციული მეთოდით განმუხტვის ოპტიმიზაცია. შესწავლილი იქნა წყლის განმუხტვა მძიმე მეტალებისაგან, კერძოდ: ტყვიისა და კადმიუმისაგან. სორბენტად გამოყენებული იყო ბუნებრივი ცეოლითი (კლინოფტილოლიტი), რომელიც საქართველოში მოიპოვება და შედარებით იაფია.

**საკვანძო სიტყვები:** სორბენტი, ცეოლითი (კლინოფტილოლიტი), ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრი.

## THE ARTICLE PRESENTS, OPTIMIZATION OF SORPTION CLEANING METHOD IN LANDFILL WASTE WATER LEAD AND CADMIUM IMPURITIES

Leri Gvasalia

Professor of GTU – Georgian Technical University

Tamta Chlargidze

PhD student of GTU – Georgian

Technical University

## ABSTRACT

The article presents, optimization of sorption cleaning method in landfill waste water lead and cadmium impurities. The method of water treatment was studied from heavy metals, namely: lead and cadmium. Natural zeolite(Klinoptilolit) was used as adsorbent, which are relatively inexpensive and available in Georgia.

**Key Words:** Sorbent, Zeolite(Clinoptilolite), Atomic Absorption Spectrophotometer.

## შესავალი

დღეისათვის გარემოს სისუფთავე ერთ-ერთი გადაუჭრელი პრობლემაა, რადგან გაზრდილია მისი დაბინძურების საფრთხე. ამ მხრივ, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჩამდინარე წყლების განმუხტვა, რადგან დაბინძურების ერთ-ერთი საშიში წყარო, სწორედ ჩამდინარე წყლებია. თვით ტერმინი „ჩამდინარე წყალი“ მიუთითებს, რომ ის ნარჩენი პროდუქტია და გარემოს ეკოლოგიური პირობების დაცვის მიხედვით უნდა იქნეს გაუფრთხილები [1].

ნარჩენები გარემოს დაბინძურების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენენ. საყოფაცხოვრებო ნარჩენების ნაგავსაყრელზე, ძირითად დამაბინძურებელ

წყაროს წარმოადგენს წყალი, რომელიც პოლიგონის შიგნით ატმოსფერული ნალექების შედეგად წარმოიქმნება და წარმოადგენს რთულ მაღალ მინერალიზირებულ წყალხსნარებს სხვადასხვა დამაბინძურებლებით, რომელთა შორის განსაკუთრებით გამოსაყოფია მძიმე მეტალები. ისინი სხვადასხვა გზით ხვდებიან ნიადაგში, ზედაპირულ და მინისქვეშა წყლებში და მნიშვნელოვან მავნე გავლენას ახდენენ გარემოზე [2,3].

მძიმე მეტალებით გარემოს დაბინძურების საშიშროება განპირობებულია იმით რომ ისინი ორგანული დამაბინძურებლებისგან განსხვავებით არ იშლებიან, არამედ გადადიან ერთი ფორმიდან მეორეში, კერძოდ შედიან მარილების, ოქსიდების, მეტალორგანული ნაერთების, ხელატების და სხვათა შემადგენლობაში.

ტყვია ერთ-ერთი ყველაზე ტოქსიკური მძიმე მეტალია, რომელიც იოლად აღწევს და გროვდება ორგანიზმში. გროვდება თავის ტვინში, ძვლებში, ღვიძლში და თირკმელში.

კადმიუმი ორგანიზმში მოხვედრისას აზიანებს ფილტვებს, თირკმელებს, ცენტრალურ ნერვულ სისტემას, გულ-სისხლძარღვთა და ძვლოვან სისტემებს. ხელს უწყობს კიბოსა და სხვა მძიმე დაავადებების განვითარებას.

ჩვენ მიერ შესწავლილი იყო ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლების განმუხტვა მძიმე მეტალებისაგან, კერძოდ ტყვიისა და კადმიუმისაგან, სორბციული მეთოდით. გამოყენებული იყო ბუნებრივი სორბენტი ძეგვის ცეოლითი (კლინოფტილოლიტი).

## ქირითადი ნაწილი

ექსპერიმენტები ტარდებოდა ლაბორატორიულ პირობებში. მინის მილში (დიამეტრით 5სმ), თავსდება სხვადასხვა ფრაქციის სორბენტი, გარკვეული მოცულობით (5 სმ სიმაღლეზე), გასანმუხტავი წყალი მიეწოდებოდა ზემოდან. გატარებული წყლის რაოდენობის მიხედვით ისაზღვრებოდა, წყლის მოცულობითი სიჩქარე (საათ -1) და კონტაქტის დრო (წმ). წყალში მძიმე მეტალების შემცველობის რაოდენობრივი განსაზღვრა, ხორციელდებოდა ატომურ-აბსორბციულ სპექტრომეტრზე. კვლევის ობიექტი იყო, როგორც უშუალოდ ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე, ასევე მოდელური ხსნარები.

განმუხტვის პროცესის მათემატიკური მოდელის მონახვისა და პროცესის ოპტიმიზაციის მიზნით, გამოვიყენეთ ექსპერიმენტების დაგეგმვის მათემატიკური მეთოდი. [4,5]

საოპტიმიზაციო პარამეტრად შერჩეული იქნა, წყლის მიძიმე მეტალისგან გაწმენდის ხარისხი % (y). ხოლო გაწმენდის პროცესზე მოქმედ ფაქტორებად ცეოლითის გამოწვის ტემპერატურა t 0C (X1), აღსორბენტის მარცვლის ზომა b მმ (X2) და წყლისა და აღსორბენტის კონტაქტირების დრო τ წმ (X3).

ცნობილია, რომ სამ ფაქტორიანი სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის საფუძველზე შესაძლებელია დადგენილი იქნას პროცესის მათემატიკური მოდელი შემდეგი განტოლების სახით:

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2 + b_3X_3+ b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 +b_{123}X_1X_2 X_3.....(1)$$

სადაც, b0,b1, ..... საძიებელი კოეფიციენტებია, რომლებიც განსაზღვრავენ მოცემული ფაქტორების (X1, X2,.....) გავლენის ხარისხს საოპტიმიზაციო პარამეტრზე (y).

ექსპერიმენტების დაგეგმვის საწყის ეტაპზე, ჩატარებული იქნა რამოდენიმე სასინჯი ცდა და შერჩეული იქნა მათგან საუკეთესო შედეგის მქონე, რომელიც მიხნეულია ძირითად დონედ. განსაზღვრული იქნა ვარირების ინტერვალი, ზედა და ქვედა დონე.

### გეგმის ძირითადი მახასიათებლები ცხრილი 1

ფაქტორები	X1, 0C	X2, მმ	X3, წმ
ძირითადი დონე	500	0,75	1082,5
ვარირების ინტერვალი	50	0,25	602,5
ზედა დონე	550	1	1685
ქვედა დონე	450	0,5	480

განტოლებაში (1) ფაქტორები შეგვაქვს არა ნატურალური, არამედ კოდირებული სახით ზედა დონე +1, ქვედა დონე -1.

განისაზღვრა ჩასატარებელი ცდების რაოდენობა N=2n=8, სადაც n ფაქტორების რიცხვია (n=3). იმის გათვალისწინებით, რომ რვავე პირობებში ტარდება m=2 პარალელური ცდა, შედგენილი იქნა ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი 2- ის სახით (ტყვიისთვის).

### ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა ცხრილი 2

X0	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1*X2*X3	Y1	Y2	Ȳ	Si <sup>2</sup>
+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	52.86	52.02	52.44	0.3528
+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	59.59	57.91	58.75	1.4112
+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	51.35	49.66	50.505	1.42805
+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	55.49	55.32	55.405	0.01445
+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	48.82	49	48.91	0.0162

+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	50	48.82	49.41	0.6962
+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	57.07	58.05	57.56	0.4802
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	48.82	48.65	48.735	0.01445

აქ  $Y_1$  და  $Y_2$  პარალელური ცდების შედეგებია, ხოლო  $\bar{Y}$  საშუალო მნიშვნელობა რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_{iu}}{m}$$

სადაც  $i$  ცდის ნომერია,  $u$  პარალელური ცდის ნომერი.

შემდეგ ეტაპზე ისაზღვრება დისპერსიის შეფასება მატრიცის ყველა სტრიქონისთვის შემდეგი ფორმულით:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum (Y_{iu} - \bar{Y}_i)^2$$

პირველი ცდისთვის

$$S_i^2 = \frac{1}{2-1} (52,86-52,65)^2 + (52,44-52,65)^2 = 0,3528$$

ანალოგიურად გამოითვლება დისპერსიის შეფასება ყველა დანარჩენი ცდებისთვის. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი 2-ის მე-13-ე სვეტში.

იმის შესამოწმებლად, არის თუ არა ცდომილება ყველა ცდებში დასაშვებ ზღვრებში ვიყენებთ კოხრენის კრიტერიუმს, რომლის საანგარიშო მნიშვნელობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$G_s = \frac{\max S_i^2}{\sum S_i^2} = \frac{1,42805}{4,41355} = 0,3235$$

მიღებულ რიცხვს ვადარებთ კოხრენის კრიტერიუმის თეორიულ მნიშვნელობას, რომელსაც ვეძებთ

ცხრილებში ცდების რაოდენობის ( $N=8$ ) და თავისუფლების ხარისხის ( $f=m-1=1$ ) მიხედვით. იგი ტოლია  $GT=0,6798$  (5) რადგან დაცულია პირობა  $G_s < GT$ , ცდომილება დასაშვებ ზღვრებშია.

ამის შემდეგ გამოთვლილი იქნა (1) განტოლების კოეფიციენტები შემდეგი ფორმულით:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum \bar{Y}_i \quad \text{და} \quad b_i = \frac{1}{N} \sum X_{ji} \bar{Y}_i$$

სადაც  $X_{ji}$  შესაბამისი ფაქტორის კოდური მნიშვნელობებია.

შედეგები მოცემულია ცხრილში 3

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_1*b_2$	$b_1*b_3$	$b_2*b_3$	$b_1*b_2*b_3$
55.485625	2.454375	0.141875	2.184375	-1.80688	1.203125	0.068125	-2.48063

ამრიგად პროცესისათვის მათემატიკურ მოდელს ექნება ასეთი სახე:

$$Y = 55.4556 + 2.4544X_1 - 0.1419 X_2 + 2.1844 X_3 - 1.8069X_1X_2 + 1.2031 X_1X_3 - 2.4806 X_1X_2X_3$$

იმის დასადგენად თუ რომელი კოეფიციენტია მნიშვნელოვანი, ვანგარიშობთ სტუდენტის კრიტერიუმებს ყველა კოეფიციენტისთვის. მათი შედარებით სტუდენტის კრიტერიუმის თეორიულ მნიშვნელობებთან თეორიული  $t = 3.36$  (5) გამოვრიცხავთ არამნიშვნელოვან კოეფიციენტებს და საბოლოოდ პროცესის მათემატიკური მოდელი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$Y = 55.4556 + 2.4544X_1 + 2.1844 X_3 \dots$$

ბოლო ეტაპზე მიღებული განტოლება შევამოწმეთ ადექვატურობაზე ფიშერის კრიტერიუმით, რომლის საანგარიშო მნიშვნელობა ( $F_{\alpha} = 0.2$ ) ნაკლები აღმოჩნდა ცხრილურ მნიშვნელობაზე ( $F_{\alpha} = 11.7$ ), რაც მიუთითებს იმაზე რომ, ჩვენ მიერ მიღებული განტოლება ადექვატურად აღწერს პროცესს.

ანალოგიურად იქნა შესწავლილი წყლის კადმიუმისგან გაწმენდის პროცესი და მიღებული იქნა შემდეგი განტოლება:

$$Y = 16.99 + 6.12X_1 + 0.678 X_3$$

მიღებული განტოლებების ანალიზით ირკვევა, რომ ორივე მეტალის გაწმენდის ხარისხზე გავლენას ახდენს პირველი და მესამე ( ტემპერატურა, კონტაქტირების დრო ) ფაქტორი. ხოლო მეორე ფაქტორი ადსორბენტის მარცვლების ზომა, მოცემულ ინტერვალში (0,5-1 მმ ) გაწმენდის პროცესზე გავლენას არ ახდენს და იგი შეიძლება ოპტიმალურ ზომად ჩავთვალოთ.

პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის მიზნით, შემდგომი ცდები დაიგეგმა და ჩატარდა ტემპერატურისა და კონტაქტირების დროის გაზრდით, ვინაიდან ორივე განტოლებაში ამ ცვლადების ალგებრული ნიშნებია + .

ცდების გეგმა და შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 4 და 5.

Pb- ისგან გაწმენდის ოპტიმიზაცია

ცხრილი 4

ვარირების ინტერვალი და ფაქტორების დონე	X <sub>1</sub> °C	X <sub>3</sub> წმ	Y
ძირითადი დონე	500	1082	
ვარირების ინტერვალი	50	602	
რეგრესიის კოეფიციენტი, b <sub>i</sub>	2,48	2,21	
ნამრაველი $\varphi_i = b_i \Delta X_i$	124	1330	
ბიჯი $\Delta X_i^* = 0.1 \varphi_i$	41 ≈ 40	443 ≈ 400	
ცდები 9	500	1082	25,8
10	540	1482	61,79
11	580	1882	91,13
12	620	2282	92,64
13	660	2682	32,16

Cd- ისგან გაწმენდის ოპტიმიზაცია

ცხრილი 5

ვარირების ინტერვალი და ფაქტორების დონე	X <sub>1</sub> °C	X <sub>3</sub> წმ	Y
ძირითადი დონე	500	1082	
ვარირების ინტერვალი	50	602	
რეგრესიის კოეფიციენტი, b <sub>i</sub>	2,48	2,21	
ნამრაველი $\varphi_i = b_i \Delta X_i$	124	1330	
ბიჯი $\Delta X_i^* = 0.1 \varphi_i$	41 ≈ 40	443 ≈ 400	
ცდები 9	500	1082	4.75
10	540	1482	17.18
11	580	1882	24.09
12	620	2282	44.73
13	660	2682	35.15

### დასკვნა

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ორივე შემთხვევაში ტყვიისათვის მაქსიმალური განმენდის ხარისხი (92,64 %), ხოლო კადმიუმისათვის მაქსიმალური განმენდის ხარისხი (44,73) მიიღწევა მე-12 ცდაზე. მიღებული პარამეტრების მნიშვნელობები ოპტიმალურია.

ამრიგად ჩამდინარე წყლებიდან ცეოლითით განმენდის ( $Y= \%$ ) ოპტიმალური პირობები როგორც ტყვიისთვის ასევე კადმიუმისთვის არის ადსორბენტის გამონვის ტემპერატურა 620 °C, სორბენტის მარცვლის ზომა 0,5-1 მმ, კონტაქტირების დრო 2282 წმ.

### ლიტერატურა:

1. Angelakis A. N. and Tchobanoglous G., 1995, Municipal Wastewaters: Natural Treatment Systems, Reclamation

and Reuse and Disposal of Effluents, Crete University Press, pp. vii (in Greek).

2. Качурин Н.М., Ефимов В.И., Воробьев С.А. Методика прогнозирования экологических последствий подземной добычи угля в России. Горный журнал. 2014. №9. С. 138-142.

3. Качурин Н.М., Воробьев С.А., Факторович В.В. Теоретические положения и модели воздействия на окружающую среду подземной добычи полезных ископаемых. Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2013. Вып. 3. С. 126 — 134.

4. СЮРЮ Саутиню Планирование эксперимента в химии и химической технологии.” Химия ”, Ленинград, 1975

5. ი.ზედგინიძე. ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია. „მეცნიერება”, თბილისი. 1969