მძიმე მეტალები და მათი ტოქსიკური ეფექტები (მიმოხილვა)

ქეთევან გაბუნია[1], ნინო აბულაძე[1], ნატო ალავიძე[1], ნოდარ სულაშვილი[2]
[1]აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი,
[2]საქართველოს ეროვნული სასწავლო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი. *მძიმე მეტალები (რკინა, სპილენძი, თუთია, მოლიბდენი, სელენი) მონაწილეობს ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებში და განსაზღვრული რაოდენობით აუცილებელია ადამიანის, ცხოველისა და მცენარის ცხოველმოქმედებისათვის. სიცოცხლის ყველა ფორმა, იქნება ეს მიკროორგანიზმები, მცენარეები თუ ცხოველები მძიმე მეტალების ტოქსიკური ზემოქმედების ქვეშ იმყოფებიან. მკვლევარების მიერ დადგენილი იქნა, რომ მძიმე მეტალებს შეუძლიათ მიკრობული პოპულაციების შეცვლა. მძიმე ლითონებით მოწამვლა შეიძლება მოხდეს დაბინძურებული სასმელი წყლისგან (ტყვიის მილები), გამოსხივების წყაროებთან ახლოს ატმოსფერულ ჰაერში მათი მაღალი კონცენტრაციის, ან კვებითი ჯაჭვის მეშვეობით.*

საკვანძო სიტყვები*: მძიმე მტალები, ტოქსიკური ეფქტები, მიკროორგანიზმები*

მძიმე მეტალები მაღალი ატომური მასის მქონე ნაერთებია, რომელთა სიბლანტე დაახლოებით ხუთჯერ აღემატება წყლის სიბლანტეს (1). მრავალი მათგანი (რკინა, სპილენძი, თუთია, მოლიბდენი) მონაწილეობს ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებში და განსაზღვრული რაოდენობით აუცილებელია ადამიანის, ცხოველისა და მცენარის ცხოველმოქმედებისათვის. მეორე მხრივ, მძიმე მეტალები და მათი ნაერთები მავნე გავლენას ახდენენ ადამიანის ორგანიზმზე. მძიმე მეტალებს მიეკუთვნება 40-ზე მეტი ქიმიური ელემენტი, მძიმე მეტალებიდან ყველაზე ტოკსიკურნი არიან კადმიუმი (Cd), დარიშხანი (As), ტყვია (Pb), სპილენძი (Cu), თუთია (Zn), ნიკელი (Ni), მოლიბდენი (Mo), მანგანუმი (Mn), თორიუმი (Th), ურანი (U) და სხვა (2). რომელთგან განსაკუთრებული ტოქსიურობით გამოირჩევა დარიშხანი, ტყვია, ვერცხლისწყალი და კადმიუმი. ისინი საშიშროებას წარმოადგენენ წყლის ეკოსისტემისთვის (3).

ლითონები და მათი ნაერთები ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობაში, ქიმიური რეაქტივების წარმოებაში, სოფლის მეურნეობაში პესტიციდების სახით, მედიცინაში. ისინი აუცილებელია ორგანიზმის მეტაბოლიზმის შესანარჩუნებლად, მაგრამ როდესაც ისინი მაღალი კონცენტრაციით არიან წარმოდგენილი, ორგანიზმისთვის ტოკსიკურები არიან. მძიმე მეტალები ორგანიზმში საკვების, ჰაერისა და სასმელი წყლის მეშვეობით ხვდებიან (4). ბიოსფეროს დაბინძურების გამომწვევი ტოქსიკური მეტალები ფართოდ გავრცელებულ ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენენ. ნარჩენების შემთხვევითი, ან არასწორი, მენეჯმენტის შედეგად წარმოებს დაბინძურებისგან თავისუფალ ადგილებში დამაბინძურებლების გადატანა (5).

მიკრო- და მაკროელემენტების ნიადაგში ხელოვნურად მოხვედრის მრავალი გზა არსებობს. ესენია: ღია კარიერები, სასუქების წარმოება და მათი ჭარბი შეტანა ნიადაგში, კირქვული მასალები და მათი გადამამუშავებელი საწარმოები, საკანალიზაციო ნარჩენები, ნაკელი, პესტიციდები და სხვა (6). ნიადაგის ხსნარებში და მიწისქვეშა წყალში ლითონები ძირითადად წარმოქმნიან სუსპენზიებს და კოლოიდებს(7). რამდენიმე მიკროელემენტი ნიადაგში ბუნებრივად არის. მათი დაბალი კონცენტრაციაც კი მნიშვნელოვან როლს ასრუ-

ლებს ბიოლოგიურ პროცესებსა და ცოცხალი ორგანიზმების არსებობაში (8).

სიცოცხლის ყველა ფორმა, იქნება ეს მიკროორგანიზმები, მცენარეები თუ ცხოველები, მძიმე მეტალების ტოქსიკური ზემოქმედების ქვეშ იმყოფებიან. მკვლევარების მიერ დადგენილი იქნა, რომ მძიმე მეტალებს შეუძლიათ მიკრობული პოპულაციების შეცვლა (3).

გასპერი და სხვები სწავლობდნენ მძიმე მეტალების (ქრომი, თუთია და კადმიუმი) ზემოქმედებას ნიადაგის მიკრობების მეტაბოლიზმის პროცესებზე. აღმოჩნდა, რომ ისინი იწვევდნენ ამ პროცესების დარღვევას (9). **ადაჩი** და **ტაინოშო** სწავლობდნენ მძიმე მეტალებით დაბინძურებული ნიადაგის მიკროორგანიზმების გავლენას მცენარეებსა და ცხოველებში მიმდინარე ბიოქიმიურ პროცესებზე. აღმოჩნდა, რომ მიკროორგანიზმებზე მოქმედი ტოქსიკური მძიმე მეტალები განაპირობებენ მცენარეებისა და ცხოველების ბიოქიმიური სისტემების დარღვევას (5).

ხაირი 2009 წ. ჩატარებულ კვლევებზე დაყრდნობით აღნიშნავდა, რომ მძიმე მეტალებით დაბინძურება გარემოს სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს და ისინი საკვების მარაგის ძირითადი დამაბინძურებლები არიან (10).

ჩამდინარე წყლებში ყველაზე ხშირად გვხვდება მძიმე მეტალები, როგორიცაა დარიშხანი, კადმიუმი, ქრომი, სპილენძი, ტყვია, ნიკელი და თუთია, რომლებიც საფრთხეს უქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობას და გარემოს (11).

ქრომის დაგროვება მცენარეებში ზრდის შენელებას იწვევს. ქრომი არღვევს ფოტოსინთეზისა და სუნთქვის პროცესებს, ასევე წყლისა და მინერალების შთანთქმის მექანიზმს. სახამებლისა და აზოტის მეტაბოლიზმთან დაკავშირებული ფერმენტული აქტივობა მცირდება ქრომის ტოქსიკურობის გამო. ის ასევე მემბრანული ლიპიდების დარღვევით იწვევს ჟანგვით დაზიანებას, დნმ-ის დაზიანებამ შეიძლება გამოიწვიოს მცენარეთა სახეობების სიკვდილი. მცენარეები ნიადაგიდან კობალტს აგროვებენ და მისი შთანთქმა სახეობების მიხედვით განსხვავდება. კობალტის ფიტოტოქსიკური ეფექტები ქერში შეინიშნებოდა (5).

კადმიუმი ATSDR-ის (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) რეიტინგის მიხედვით მეშვიდე ყველაზე ტოქსიკური მძიმე ლითონია. ის თუთიის წარმოების თანმდევი პროდუქტია. ადამიანის ორგანიზმში შეწოვის შემდეგ ის მთელი სიცოცხლის განმავლობაში გროვდება სხეულში. დღეისათვის ის გამოიყენება დატენვად აკუმულატორებში, სპეციალური შენადნობების წარმოებისთვის და ასევე გვხვდება თამბაქოს კვამლში. კადმიუმის დაახლოებით სამი მეოთხედი გამოიყენება ტუტე აკუმულატორებში, როგორც ელექტროდის კომპონენტი, დანარჩენი ნაწილი გამოიყენება საფარებში, პიგმენტებსა და მოპირკეთებაში, ასევე როგორც პლასტმასის სტაბილიზატორი (12).

მძიმე მეტალები ადამიანის ორგანიზმში უფრო მცირე რაოდენობით ხვდება საკვების, წყლისა და ჰაერის მეშვეობით. ზოგიერთი მათგანი (თუთია, სპილენძი და სელენი) სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ადამიანის ორგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლიზმის შესანარჩუნებლად. თუმცა, უფრო მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში, მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ მოწამვლა. მძიმე ლითონებით მოწამვლა შეიძლება მოხდეს დაბინძურებული სასმელი წყლისგან (ტყვიის მილები), გამოსხივების წყაროებთან ახლოს ატმოსფერულ ჰა-

ერში მათი მაღალი კონცენტრაციის ან კვებითი ჯაჭვის მეშვეობით. მძიმე მეტალები პირდაპირ ბიოაკუმულაციას განიცდიან ორგანიზმში. ბიოაკუმულაცია ნიშნავს ქიმიური ნივთიერების შეწოვის ზრდას ორგანიზმში, რაც შეესაბამება ქიმიური ნივთიერების კონცენტრაციას ატმოსფეროში (13).

მძიმე მეტალები აქტიურად მონაწილეობენ მრავალი დაავადების, მათ შორის დიაბეტის, ალცჰაიმერის დაავადების და კიბოს სხვადასხვა ფორმის წარმოქმნაში (14). მძიმე მეტალები ავლენენ მათი ტოქსიკურობის სპეციფიკურ ნიშნებს. სპილენძით, ტყვიით, ალუმინით, თუთიით, ვერცხლისწყლით, კადმიუმით და დარიშხანით მოწამვლისას მიმდინარეობს კუჭ-ნაწლავის (GI) დისფუნქციები, დიარეა, სტომატიტი, კანკალი, ჰემოგლობინურია, რომელიც იწვევს ჟანგისფერ-წითელ დეპრესიას და პნევმონიას (როდესაც აქროლადი ორთქლი და კვამლი შეისუნთქება). ეფექტების ხასიათი შეიძლება იყოს ვირულენტური (მწვავე, ქრონიკული ან სუბქრონიკული), მუტაგენური, ტერატოგენური, ნეიროტოქსიკური ან კანცეროგენური (15). ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს კუნთოვანი დისტროფიის, პარკინსონის დაავადების და გაფანტული სკლეროზის თანდათანობითი პროგრესირება, ალერგიები და ნებისმიერ ლითონთან განმეორებითმა ხანგრძლივმა კავშირმა, ან მათმა ნაერთებმა, შეიძლება სიმსივნეც კი გამოიწვიოს (16,17). შეწოვის შემდეგ მძიმე მეტალები გროვდება ადამიანის ორგანიზმში. მათი დაგროვება ბიოლოგიურ სისტემებში იწვევს სხეულის სხვადასხვა ქსოვილებსა და ორგანოებზე მავნე შედეგების ფართო სპექტრს (18).

მეტალური გარდაქმნების პროცესში „მეტალური(ლითონური)შხამები“ ორგანიზმში განიცდიან დაჟანგვას,აღდგენას, კონიუგაციას, ჰიდროლიზს. ისინი ნაწილდებიან კუჭში, ნაწლავებში, ღვიძლში, თირკმელებში. ლითონების უმრავლესობისათვის დამახასიათებელია რბილ ქსოვილებში, განსაკუთრებით სადაც ბევრია სულფჰიდრიდული ჯგუფები(ღვიძლი, თირკმელები) დაგროვება. გარდა ამისა ვერცხლი გროვდება კანში, ტყვია, ბარიუმი, კადმიუმი,თალიუმი, დარიშხანი -ბრტყელ ძვლებში.

ლითონები ორგანიზმიდან გამოიყოფიან ძირითადად თირკმელებით, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტიდან. ზოგიერთი ლითონი მაგ. დარიშხანი, ვერცხლისწყალი საოფლე და სარძევე ჯირკვლებიდან.

ტოქსიკური მოქმედება განპირობებულია ლითონთა კათიონების ორგანიზმის ამინომჟავებთან, პეპტიდებთან, ცილებთან შეკავშირებით. ამ დროს წარმოიქმნება მტკიცე კომპლექსნაერთები (19).

დასკვნა

მძიმე მეტალების მიერ გამოწვეული ტოქსიკურობა უარყოფითად აისახება სოფლის მეურნეობის პროდუქტიულობასა და სურსათის უვნებლობაზე, რაც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, მცენარეთა ზრდასა და ზღვის ეკოსისტემებზე. ეფექტური კანონმდებლობა, სახელმძღვანელო პრინციპები, იმ ადგილების გამოვლენა, სადაც მძიმე მეტალების მაღალი დონეა. მძიმე მეტალებთან პროფესიული კონტაქტის შემცირება, გარემოსა და ადამიანებში მძიმე მეტალებთან დამატებითი ზემოქმედების შესამცირებლად შესაძლო ჩარევა შეიძლება პრევენციისკენ გადადგმული მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გახდეს. აუცილებელია ჩამდინარე წყლებიდან მძიმე მეტალების მოცილების პრიორიტეტუ-

ლობის განსაზღვრა. ჩამდინარე წყლები უნდა გაიწმინდოს ისე, რომ მტკნარ წყალში ან წყაროში ჩაშვებამდე შემცირდეს დამაბინძურებლები. საჭიროა სამრეწველო ობიექტებში მყარი მეტალების აღმოჩენის მეთოდები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Tchounwou, P.B.; Yedjou, C.G.; Patlolla, A.K.; Sutton, D.J. Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Exp. Suppl.* 2012, *101*, 133–164.
2. გ. ავქოფაშვილი, ა. ღონღაძე. საქართველოს ზოგიერთი ინდუსტრიული რაიონის ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობა. თბილისი 2022. გვ. 1-232
3. Jacob, J.M.; Karthik, C.; Saratale, R.G.; Kumar, S.S.; Prabakar, D.; Kadirvelu, K.; Pugazhendhi, A. Biological Approaches to Tackle Heavy Metal Pollution: A Survey of Literature. *J. Environ. Manag.* **2018**, *217*, 56–70. [CrossRef]
4. Singh Sankhla, M.; Kumar, R.; Prasad, L. Variation of Chromium Concentration in Yamuna River (Delhi)Water due to Change in Temperature and Humidity. Seybold Report 2020, 15, 293-299
5. Qaiser Jamal, Palwasha Durani, Kamran Khan, Shahzad Munir, Saadat Hussain,Kiran Munir, Muhammad Anees. Heavy Metals Accumulation and Their Toxic Effects: Review Journal of Bio-Molecular Sciences (JBMS) (2013) 1(1-2): 27-36.
6. გ. ავქოფაშვილი (2016). ნიადაგების ფიტორემედიაცია, მონოგრაფია. გვ. 1-198.
7. T. Leveque, Y. Capowiez, E. Schreck, C. Mazzia, M. Auffan, Y. Foucault, A. Austruy, C. Dumat (2013). Assessing ecotoxicity and uptake of metals and metalloids in relation to two different earthworm species (Eiseina hortensis and Lumbricus terrestris), Environmental Pollution. pp. 232-241
8. P. Hooda (2010). Trace Elements in soils, Wiley. book. pp. 1-148.
9. Gaspar, G. M., Mathe, P., Szabo, L., Orgovanyl, B., Uzinger, N and Anton, A. 2005. After-effect of heavy metal pollution in brown forest soils. Proceedings of the 8 Hungarian Congress on Plant Physiology and the 6 Hungarian Conference on Photosynthesis. *Acta Biol.* Szegediensis, 49: 71-72.
10. Khair, M.H. 2009. Toxicity and accumulation of copper in Nanno chloropsisoculata(Eustigmatophycea, Heterokonta). World Appl. Sci. J. 6: 378-384.
11. Lambert M, Leven BA, Green RM. (2000). New methods of cleaning up heavy metal in soils and water. Environmental science and technology briefs for citi-zens. Kansas State University, Manhattan, KS.
12. Monisha JAISHANKAR, Tenzin TSETEN, Naresh ANBALAGAN, Blessy B. MATHEW , Krishnamurthy N. BEEREGOWDA. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol. 2014; Vol. 7(2): 60–72
13. John, H.D. “Heavy metals” a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* 2002, *74*, 793-807,
14. Marini, M.E.; Molina-García, A.; Martínez-Durazo, Á.; Páez-Osuna, F. Trace metal trophic transference and biomagnification in a semiarid coastal lagoon impacted by agriculture and shrimp aquaculture. Environmental Science and Pollution Research 2020, 27, 5323-5336
15. McCluggage, D. Heavy metal poisoning. NCS Magazine, published by the bird hospital, CO, USA 1991, 70.
16. Friend, M.A.; Kohn, J.P. Fundamentals of occupational safety and health. Rowman & Littlefield 2018, 102.

17. Sankhla, M.S.; Kumari, M.; Sharma, K.; Kushwah, R.S.; Kumar, R. Heavy metal pollution of Holy River Ganga: A review. Int. J. Res 2018**,** 5, 421-436.
18. Swaroop S Sonone, Swapnali Jadhav, Mahipal Singh Sankhla, Rajeev Kumar. Water Contamination by Heavy Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain.Nano Bio Science. Volume 10, Issue 2, 2021, 2148 – 2166
19. Manar K. Abd Elnabi, Nehal E. Elkaliny, Maha M. Elyazied, Shimaa H. Azab, Shawky A. Elkhalifa, Sohaila Elmasry, Moustafa S. Mouhamed Ebrahim, M. Shalamesh, Naira A. Alhorieny, Abeer E. Abd Elaty, Ibrahim M. Elgendy, Alaa E. Etman, Kholod E. Saad, Konstantina Tsigkou, Sameh S. Ali ,Michael Kornaros and Yehia A.-G. Mahmoud**.** Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review**.**Journal Toxics**,** 11(7):580

Heavy metals and their toxic effects (review)

Q. Gabunia, N. Abuladze, N. Alavidze, N. Sulashvili

summary

Heavy metals (iron, copper, zinc, molybdenum, selenium) participate in biological processes in living organisms and are essential in certain quantities for the survival of humans, animals, and plants. All life forms, whether microorganisms, plants, or animals, are susceptible to the toxic effects of heavy metals. Researchers have found that heavy metals can alter microbial populations. Heavy metal poisoning can occur through contaminated drinking water (lead pipes), high atmospheric concentrations near radiation sources, or through the food chain.