

“YOU ARE WHAT YOU EAT”- THE IMPORTANCE OF STABLE ISOTOPE ANALYSIS IN ARCHAEOLOGY

„შენ ის ხარ რასაც ჭამ” – სტაბილური იზოტოპების მნიშვნელობა არქეოლოგიაში

ANA DAVITASHVILI

Doctoral student, faculty of archaeology, department of bioarchaeology, University of Warsaw,
Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warsaw, Poland

a.davitashvili@uw.edu.pl

+995 571055040

ORCID:0009-0005-7903-7715

Abstract

The present article examines the theoretical foundations, methodological aspects, and significance of stable isotope analysis in archaeological research, with particular emphasis on the bioarchaeological context. The method is based on an interdisciplinary approach that integrates natural sciences and humanities, enabling the reconstruction of aspects of human life that are difficult to identify through traditional archaeological data alone.

The article provides a detailed discussion of the application of stable isotopes in the study of diet, mobility, and human environment interactions. Special emphasis is placed on the fact that isotopic signals do not represent a direct method, but rather require integrated interpretation within ecological, biological, and cultural frameworks. The study highlights the impact of sample selection, collagen preservation, and diagenesis on the reliability of data, as well as the necessity of statistical analysis as an integral stage of data interpretation. These aspects are demonstrated through a case study illustrating how stable isotopes can reveal different animal husbandry strategies, possible mobility patterns, and issues related to plant cultivation.

The paper underscores that the multifaceted application of stable isotope analysis is essential for contemporary archaeological research in Georgia. Furthermore, it emphasizes that the interpretation of stable isotope data is effective only when integrated with databases, statistical analysis, and the broader archaeological and bioarchaeological context.

Key words: Bioarchaeology, methodology, database, paleodiet, stable isotope analysis

ანა დავითაშვილი

დოქტორანტურის სტუდენტი, არქეოლოგიის ფაკულტეტი, ბიოარქეოლოგიის
დეპარტამენტი, ვარშავის უნივერსიტეტი, კარზიმიეჟოვსკის ქუჩა 26/28, 00-927 ვარშავა,

პოლონეთი

a.davitashvili@uw.edu.pl

+995 571055040

ORCID:0009-0005-7903-7715

აბსტრაქტი

წინამდებარე სტატია განიხილავს სტაბილური იზოტოპების ანალიზს თეორიულ, მეთოდოლოგიურ ჭრილში და ხაზს უსვამს მის მნიშვნელობას არქეოლოგიურ კვლევებში. კვლევა ეფუძნება ინტერდისციპლინურ მიდგომას და აერთიანებს საბუნებისმეტყველო და ჰუმანიტარულ მეთოდებს, რაც საშუალებას იძლევა ადამიანის ცხოვრების ისეთი ასპექტების რეკონსტრუქციას, რომლებიც ტრადიციული არქეოლოგიური მონაცემებით რთულად იდენტიფიცირდება.

სტატიაში დეტალურადაა განხილული სტაბილური იზოტოპების გამოყენება კვებითი რაციონის, მობილობისა და გარემოსთან ურთიერთობის შესასწავლად. იზოტოპური სიგნალები არ წარმოადგენს პირდაპირ „სარკისებურ“ ანარეკლს, არამედ საჭიროებს ეკოლოგიური, ბიოლოგიური და კულტურული ფაქტორების ერთობლივ ინტერპრეტაციას. სტატიაში ნაჩვენებია ნიმუშის შერჩევის, კოლაგენის ხარისხისა და ძვლის დიაგნოზის გავლენა მონაცემთა სანდოობაზე. ასევე სტატისტიკური ანალიზის აუცილებლობა როგორც მონაცემთა ინტერპრეტაციის განუყოფელი ეტაპი. ეს ყოველივე კი წარმოჩენილია ერთ–ერთი კვლევის მაგალითზე, რომელშიც ნაჩვენებია თუ როგორ ასახავს სტაბილური იზოტოპები მეცხოველეობის განსხვავებულ სტრატეგიებს, შესაძლო მობილობასა და მცენარეთა კულტივაციის საკითხებს.

ნაშრომი ხაზს უსვამს, რომ სტაბილური იზოტოპების მრავალპროფილური გამოყენება აუცილებელია თანამედროვე ქართულ არქეოლოგიურ კვლევებში. გარდა ამისა, გასააზრებელია, რომ სტაბილური იზოტოპური მონაცემების ინტერპრეტაცია ეფექტურია მხოლოდ მონაცემთა ბაზებთან, სტატისტიკურ ანალიზთან და არქეოლოგიურ კონტექსტთან ინტეგრაციაში.

საკვანძო სიტყვები: ბიოარქეოლოგია, მეთოდოლოგია, მონაცემთა ბაზა, პალეოდიეტა, სტაბილური იზოტოპები

შესავალი

არქეოლოგიურ კვლევებში მთავარ გამოწვევას წარსული ადამიანების ცხოვრების რეკონსტრუქცია წარმოადგენს, რაშიც მოისაზრება კვების რაციონი, გადაადგილების (მობილობის), ცხოველთა და მცენარეთა მოშინაურების, ძუძუთი კვების და გარემოსთან ურთიერთობის შესწავლა. არქეოლოგიურ კვლევებში ბოლო ათწლეულების მანძილზე აქტიურად გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები, რომლებიც ავსებს ტრადიციულ არქეოლოგიურ მიდგომებს. მათ შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სტაბილური იზოტოპების ანალიზს.

სტაბილური იზოტოპების კვლევის ისტორია XX საუკუნის დასაწყისში იწყება, როდესაც J.J. Thomson-მა 1913 წელს პირველად აჩვენა ნეონის იზოტოპური კომპოზიცია მას-სპექტრომეტრის გამოყენებით, რამაც დაადასტურა სტაბილური იზოტოპების არსებობა (Thoennessen 2016:23). შემდგომ წლებში იზოტოპური კვლევების გამოყენება სწრაფად გაფართოვდა და 1930-იანი წლებისთვის უკვე ცნობილი იყო რამდენიმე ძირითადი მსუბუქი ელემენტის სტაბილური იზოტოპი, მათ შორის ნახშირბადის (^{12}C , ^{13}C), აზოტის (^{14}N , ^{15}N), ჟანგბადის (^{16}O , ^{18}O) და გოგირდის (^{32}S , ^{34}S). სწორედ ამ პერიოდში მას-სპექტრომეტრის ტექნოლოგიური განვითარება გახდა სტაბილური იზოტოპების ფართო გამოყენებაში. მისი არქეოლოგიაში გამოყენება კი პირველად განხორციელდა 1970-იანი წლების ბოლოს, როდესაც DeNiro და Epstein-მა (1978) ექსპერიმენტების მეშვეობით აჩვენეს, რომ ცხოველთა კვება პირდაპირ აისახება ნახშირბადისა და აზოტის იზოტოპურ შემადგენლობაზე სხვადასხვა ქსოვილებში. ამ კვლევების შემდეგ, სტაბილური იზოტოპების არქეოლოგიაში დანერგვა ინტენსიურად დაიწყო (DeNiro & Epstein, 1978).

ამავე პერიოდში Van der Merwe-მ და Vogel-მა (1978) ნახშირბადის იზოტოპების გამოყენება სცადეს ფოტოსინთეზით განსხვავებულ მცენარეებზე დასაკვირვებლად (C3/C4 მცენარეები) და პირველად აჩვენეს მისი მნიშვნელობა არქეოლოგიური კვებითი სისტემების რეკონსტრუქციაში. მათი ნაშრომები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი გახდა მცენარეული რესურსების განსხვავებებსა და სოფლის მეურნეობის წარმოშობის კვლევაში (Van der Merwe & Vogel, 1978:815).

ბოლო ათწლეულებში კი სტაბილური იზოტოპების გამოყენება მნიშვნელოვნად გაიზარდა სხვადასხვა ტიპის კვლევებში, რაც დაკავშირებულია როგორც მას-სპექტრომეტრის ტექნოლოგიურ განვითარებასთან, ასევე ანალიზის ხარჯების შემცირებასა და მონაცემთა ბაზების შექმნასთან. შედეგად, იზოტოპური მეთოდები დღეს ფართოდ გამოიყენება არა მხოლოდ კვების რაციონის აღდგენაში (Burton and Price, 2002:160) არამედ მიგრაციების (Burton and Katzenberg, 2018:508), ძუძუთი კვების (Stantis et al., 2020:59), სოციალური მდგომარეობის, გარემოს პირობებისა და კლიმატის კვლევებში (Lepoint et al., 2004:887). ეს მეთოდი კი საბოლოოდ ინტეგრირდა ბიოარქეოლოგიის დისციპლინაში.

ბიოარქეოლოგია წარმოადგენს ინტერდისციპლინურ სფეროს, რომელიც აერთიანებს არქეოლოგიასა და ბიოლოგიურ მეცნიერებებს და სწავლობს ადამიანის ჩონჩხს არქეოლოგიურ კონტექსტში (Larsen, 2015:3). ტერმინი სხვადასხვა სამეცნიერო ტრადიციაში განსხვავებულად განიშარტება. ამერიკულ მიდგომაში ბიოარქეოლოგია განიხილება, როგორც ბიოლოგიური ანთროპოლოგიის მეთოდების გამოყენება პოპულაციების კვლევისათვის, მათ შორის ჯანმრთელობის, კვების, დემოგრაფიისა და ადაპტაციის საკითხებზე (Larsen, 2014:888). ევროპულ ტრადიციაში კი ბიოარქეოლოგიას უფრო ფართო მნიშვნელობა ენიჭება და იგი

ზემოთ ჩამოთვლილთან ერთად მოიცავს ზოოარქეოლოგიისა და არქეობოტანიკის ინტეგრირებულ კვლევებსაც, რისი მიზანიც ადამიანისა და გარემოს ურთიერთობის რეკონსტრუქციაა (Larsen, 2020:1438) (Stodder and Palkovich, 2012:3). მეთოდოლოგიურად, ბიოარქეოლოგია აერთიანებს მაკროსკოპულ, მიკროსკოპულ და ბიოქიმიურ ანალიზებს (Ruff, 2007:184). სტანდარტულ მეთოდებს მიეკუთვნება ასაკისა და სქესის განსაზღვრა, ძვლების მეტრიკული ანალიზი (Pietrusewsky, 2007:487-488, 2020:889-890), აგრეთვე პათოლოგიური ცვლილებების იდენტიფიკაცია (Lovell and Grauer, 2018:335) (Ortner, 2011:5). თანამედროვე მეთოდოლოგია კი ზემოთ ჩამოთვლილს ამატებს ძვლის მიკროსტრუქტურის ჰისტოლოგიურ შესწავლასა და ბიოქიმიური ანალიზებს, რომელთა შორისაც არის სტაბილური იზოტოპების, მიკროელემენტებისა და დნმ-ის კვლევები (Katzenberg and Waters-Rist, 2019:468) (თავართქილაძე, 2026:190).

მოცემულ სტატიაში გამოყენებულია შედარებითი, აღწერითი და კრიტიკული ანალიზის მეთოდები რის საფუძველზეც გამოკვეთილია სტაბილური იზოტოპების მნიშვნელობა, მეთოდოლოგია და გამოყენება არქეოლოგიაში. მაგალითისთვის კი მოყვანილია სტაბილური იზოტოპების კვლევა ადრე ბრინჯაოს ხანის ძველ ნოგაროლე კამპონზე, რომლის განხილვითაც წარმოვადგენ შესაძლო ინტერპრეტაციებს. სტაბილური იზოტოპები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქართულ რეალობაში, სადაც მეთოდს ბოლო წლებში აქტიურად იყენებენ, თუმცა ჯერ კიდევ შეზღუდული პროფილით. ამ მეთოდის ფუნდამენტური დანერგვა მნიშვნელოვან პერსპექტივას ქმნის რეგიონალური კვლევებისათვის და ბიოარქეოლოგიის, როგორც დისციპლინის განვითარებასა და ახალ თაობებში მისით დაინტერესების საკითხებში.

რა არის სტაბილური იზოტოპი და როგორ გამოიყენება არქეოლოგიაში

სტაბილური იზოტოპები წარმოადგენს ერთი და იმავე ქიმიური ელემენტის ატომებს, რომლებსაც აქვთ პროტონების ერთნაირი, ხოლო ნეიტრონების განსხვავებული რაოდენობა, რის გამოც განსხვავდება მათი ატომური მასა (Tykot, 2006:131) (Faure and Mensing, 2005). ეს მასობრივი განსხვავება განაპირობებს მცირე, მაგრამ გაზომვად ცვლილებებს მათ ქიმიურ ქცევაში. ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეთ როგორც სტაბილური, ისე რადიოაქტიური იზოტოპები. მაგალითად, ^{14}C არის რადიოაქტიური და გამოიყენება დათარიღებისთვის, ხოლო ^{12}C და ^{13}C სტაბილური იზოტოპებია და ინარჩუნებენ გარემოსა და ბიოლოგიურ პროცესებში დაგროვილ ინფორმაციას. სწორედ ეს თვისება ხდის სტაბილურ იზოტოპებს ერთ-ერთ ძირითად ბიომოლეკულურ იარაღად არქეოლოგიაში (Pate, 1994:171). იზოტოპური ანალიზის შედეგები გამოიხატება δ (დელტა) მნიშვნელობით, რომელიც წარმოადგენს ნიმუშისა და სტანდარტის იზოტოპური თანაფარდობის სხვაობას, გამოხატულს პრომილეში (‰). ეს სიგნალი ინახება ბიოლოგიურ ქსოვილებში, განსაკუთრებით ძვლის კოლაგენსა და მინერალურ ფრაქციაში, და ასახავს ინდივიდის სიცოცხლის განმავლობაში მიღებულ საკვებსა და გარემოს პირობებს (Ambrose, 1990:435) (Tykot, 2006:132).

არქეოლოგიაში სტაბილური იზოტოპების გამოყენება მრავალმხრივია და მოიცავს როგორც ბიოლოგიურ, ისე კულტურულ და გარემოსთან დაკავშირებულ საკითხებს. უპირველეს ყოვლისა, იგი გამოიყენება კვებითი რაციონის რეკონსტრუქციისთვის, რაც გულისხმობს მცენარეული და ცხოველური რესურსების წილის განსაზღვრას (Ambrose, 1990:432). აგრეთვე სხვადასხვა ეკოსისტემიდან მიღებული საკვების დიფერენცირებას. ამავე დროს, იზოტოპური ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოვლინდეს ბავშვთა კვების სპეციფიკა,

მათ შორის ძუძუთი კვების ხანგრძლივობა და მყარ საკვებზე გადასვლის დრო (Beaumont et al., 2012: 277-278) (Katzenberg et al., 1996:181-182).

კვების რაციონი

ადამიანის ევოლუცია და განსაკუთრებით ჰომო გვარის ჩამოყალიბება მჭიდროდ იყო დაკავშირებული კვებითი სტრატეგიების ცვლილებებთან, ხოლო შემდგომი სოციალური და ეკონომიკური განვითარება დიდ წილად ეფუძნებოდა რესურსების მიღებისა და განაწილების ფორმების ტრანსფორმაციას (Leonard et al., 2007:312). ამ პროცესის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ეტაპია ნეოლითური რევოლუცია, როდესაც მონადირე-შემგროვებლური ეკონომიკა შეიცვალა მწარმოებლური მეურნეობით, რაც ასახა როგორც კვებით პრაქტიკებზე, ისე გარემოს გამოყენების ფორმებზე (Zeder 2011:S221) (Childe, 1936:66). პრეისტორიული ადამიანების ჯანმრთელობა, ზრდა და ცხოვრების ხარისხი პირდაპირ იყო დამოკიდებული კვებაზე, რომელიც ერთდროულად ასახავდა გარემო რესურსებს, ეკონომიკურ სისტემებსა და კულტურულ ტრადიციებს (Larsen, 2015). შესაბამისად, კვებითი რაციონის შესწავლა წარმოადგენს ადამიანის ბიოლოგიური და სოციალური ადაპტაციის გაგების ძირითად საშუალებას.

ნახშირბადის სტაბილური იზოტოპი ($\delta^{13}\text{C}$) ერთ-ერთი ძირითადი ინდიკატორია კვების რაციონის რეკონსტრუქციაში და პირველ რიგში უკავშირდება მცენარეთა ფოტოსინთეზის ტიპებს. C_3 მცენარეები (მაგ., ხორბალი, ქერი) ხასიათდებიან უფრო ნეგატიური ნახშირბადის ($\delta^{13}\text{C}$) მნიშვნელობებით (დაახლოებით -35‰ -დან -20‰ -მდე), ხოლო C_4 მცენარეები (მაგ., ფეტვი, სიმინდი) ნაკლებად ნეგატიური მნიშვნელობებით (დაახლოებით -16‰ -დან -9‰ -მდე) (O'Leary, 1988:555) (Ambrose and DeNiro, 1986:396). ეს განსხვავება განპირობებულია ფოტოსინთეზის ბიოქიმიური მექანიზმებითა და გარემო ფაქტორებით, რომლებიც გავლენას ახდენენ იზოტოპურ ფრაქცირებაზე. ადამიანის ძვლის კოლაგენში ნახშირბადი ($\delta^{13}\text{C}$) ძირითადად ასახავს მოხმარებული მცენარეული რესურსების ტიპს და ზღვის პროდუქტებისა და ცხოველური პროქტების ჩართულობას რაციონში. თუმცა ნახშირბადისათვის ტროფიკული დონის გავლენა შედარებით მცირეა, რის გამოც ის უფრო კვებითი რაციონის წყაროების დიფერენცირებისთვის გამოიყენება (Tykot, 2006:132).

აზოტის სტაბილური იზოტოპი ($\delta^{15}\text{N}$) წარმოადგენს ძირითად ინდიკატორს კვებითი ჯაჭვის სტრუქტურისა და ტროფიკული დონის განსაზღვრისთვის. ყოველი ტროფიკული საფეხურის გავლით აზოტი ($\delta^{15}\text{N}$) საშუალოდ იზრდება დაახლოებით 3‰ -ით (DeNiro and Epstein, 1981:342). შესაბამისად, მცენარეებს აქვთ ყველაზე დაბალი მნიშვნელობები, ბალახისმჭამელებს უფრო მაღალი, ხოლო მტაცებლებს ყველაზე მაღალი. ადამიანის შემთხვევაში აზოტი ($\delta^{15}\text{N}$) ასახავს როგორც კვების რაციონის შემადგენლობას, ისე ცხოველური ცილების მოხმარების წვლილს რაციონში. წყლის ეკოსისტემებში აზოტის ($\delta^{15}\text{N}$) მნიშვნელობები კიდევ უფრო მაღალია, რაც დაკავშირებულია უფრო გრძელ კვებით ჯაჭვებთან (Tykot, 2006:133). ამასთან, გარემო პირობები, როგორცაა არიდულობა და წყლის ხელმისაწვდომობა, გავლენას ახდენს იზოტოპურ სიგნალზე, რაც აუცილებელს ხდის ევოლუციური კონტექსტის გათვალისწინებას (Ambrose and DeNiro, 1986:398) (Schoeninger et al., 1989:282).

სტაბილური იზოტოპური მეთოდები ასევე ფართოდ გამოიყენება ბავშვთა კვების რეკონსტრუქციაში. ძუძუთი კვების პერიოდში ჩვილებში აზოტის ($\delta^{15}\text{N}$) მნიშვნელობები მომატებულია დედასთან შედარებით, ხოლო მყარ საკვებზე გადასვლის პროცესში ისინი თანდათან მცირდება. კბილის დენტინის სერიული (incremental) ანალიზი კი საშუალებას

იძლევა დააკვირდე კვებით ტრაექტორიას თითოეულ თვეში (Fogel et al., 1989:111-117) (Fuller et al., 2006:279–293) (Beaumont et al., 2015:504-508). ამის განსაზღვრა, მრავალმხრივ საინტერესო საზოგადოებრივი ცხოვრების დაკვირვებისას. ძუძუთი კვების ხანგრძლივობა და გადაჩვევის დრო სხვადასხვა საზოგადოებაში განსხვავდება (Katzenberg et al., 1996:177-180) (Herring et al., 1998:425-427). აგრარულ საზოგადოებებში ხშირად უფრო ადრე ხდება დამატებითი საკვების ჩართვა, რაც დაკავშირებულია საკვების ხელმისაწვდომობასთან. ამ პროცესზე ასევე მოქმედებს ჯანმრთელობის ფაქტორები, მათ შორის ინფექციების რისკი სოციალური პრაქტიკები, როგორცაა ქალის სოციალური როლი და ძიძობა, ასევე დემოგრაფიული ფაქტორები და ორსულობებს შორის ინტერვალი (Dettwyler, 1995:39-52) (Sellen, 2001:2707-2710) ეთნოგრაფიული და ისტორიული წყაროები აჩვენებს, რომ დამატებითი კვება ხშირად იწყებოდა დაახლოებით 6 თვიდან, ხოლო სრული გადაჩვევა მერყეობდა 1-დან 3 წლამდე (Sellen, 2001:2710-2712). ბიბლიაში მოიხსენიებულია გადაჩვევის საკვებიც კი, როგორცაა იოგურტი, ყველი და თაფლი (Isaiah. 7:15), ხოლო შუა ბრინჯაოს ხანის ბაბილონური ძიძობის კონტრაქტები ხშირად განსაზღვრავს მომსახურების ხანგრძლივობას დაახლოებით 3 წლით. გარდა ამისა, სხვადასხვა საზოგადოებაში ფიქსირდება სქესობრივი განსხვავებებიც და ადგილობრივი ტრადიციების გავლენა კვების პრაქტიკებზე (Sellen and Smay, 2001:47–50). ამგვარად, ბავშვთა კვების ტრაექტორიები მრავალფაქტორული და ცვალებადია, რაც მათ შესწავლას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანს და საინტერესო კვლევით მიმართულებად აქცევს.

მიუხედავად ფართო გამოყენებისა, სტაბილური იზოტოპური ანალიზი მოითხოვს ფრთხილ ინტერპრეტაციას, რადგან შედეგებზე გავლენას ახდენს გარემო პირობები, შესაბამისად, იზოტოპური მონაცემები ყოველთვის უნდა განიხილებოდეს არქეოლოგიურ კონტექსტთან და სხვა ბიოარქეოლოგიურ, როგორცაა პალეობოტანიკა, პალინოლოგია, ზოოარქეოლოგია, შედეგებთან ერთად.

გადაადგილება და მობილობა

კვებითი რეკონსტრუქცია ძირითადად ეფუძნება ძვლის ორგანულ ფრაქციას (კოლაგენს) (Tykot, 2006:132), მობილობის კვლევაში კი განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ჩონჩხის მინერალურ კომპონენტს – ბიოაპატიტს, რომელიც ინახავს გარემოსა და გეოლოგიურ სიგნალებს (Bentley, 2006:161).

ამ მიდგომის საფუძველს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ სხვადასხვა რეგიონში არსებული გეოლოგია და წყლის რესურსები ხასიათდება განსხვავებული იზოტოპური შემადგენლობით. ეს სიგნალი გადადის ნიადაგში, მცენარეებში, წყალში და საბოლოოდ საკვები ჯაჭვის მეშვეობით ადამიანის ან ცხოველის ორგანიზმში, სადაც იგი ფიქსირდება ძვალსა და კბილებში. ასეთი გეოქიმიური სიგნალები სივრცობრივად განსხვავდება და შესაძლებელია ინდივიდების ადგილობრივი თუ არაადგილობრივი წარმოშობის განსაზღვრა და მიგრაციული პროცესების რეკონსტრუქცია (Bentley, 2006:136-138).

ადამიანის მობილობისა და გადაადგილების კვლევა არქეოლოგიაში მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ინდივიდუალური ბიოგრაფიების აღსადგენად, არამედ უფრო ფართო სოციალური და ეკონომიკური პროცესების გასაანალიზებლად, როგორცაა მოშინაურების პროცესების დინამიკა და მისი სივრცობრივი გავრცელება, რესურსების ათვისების სტრატეგიების ცვლილება, სეზონური მობილობა (Bentley, 2006:162), ასევე სხვადასხვა რეგიონს შორის მოსახლეობის გადაადგილებასთან დაკავშირებული კულტურული და ტექნოლოგიური გაცვლები (Leach et al., 2009:555) (Laffoon et al., 2013:9), იძულებითი მიგრაციის (Hyland et al., 2021:29–30) შემთხვევები. ამგვარი კვლევა ამავედროულად საშუალებას იძლევა

შეფასდეს, რამდენად იყო პრეისტორიული საზოგადოებები მობილური ან ადგილობრივად ფიქსირებული, როგორ იცვლებოდა დასახლების სტრუქტურა დროის განმავლობაში და როგორ იყო ორგანიზებული ადამიანთა ურთიერთობა ლანდშაფტთან (Prince et al., 2002). ამისათვის კი გამოიყენება სტრონციუმისა და ჟანგბადის იზოტოპები (Knudson et al., 2004:7). იზოტოპური სიგნალის ძირითად კვლევად გამოიყენება ბიოაპატიტი, რომელიც გვხვდება ძვალში, კბილის დენტინსა და მინანქარში. კბილის თვისება, ფორმირების შემდგომ აღარ განახლდეს, საშუალებას იძლევა, რომ აღდგეს ცხოვრების ადრეული ეტაპი (Katzenberg, 2018:468).

სტრონციუმის იზოტოპური სისტემა ეფუძნება გეოლოგიურ საფუძველს. სხვადასხვა ასაკისა და ტიპის ქანებში რადიოგენური პროცესების შედეგად განსხვავებული სტრონციუმის ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) თანაფარდობა ყალიბდება. ეს სიგნალი გადადის ნიადაგში, წყალში და მცენარეებში და პრაქტიკულად უცვლელად გადაეცემა საკვები ჯაჭვის ზედა რგოლებს. შესაბამისად, ადამიანის ან ცხოველის ბიოაპატიტში არსებული სტრონციუმის იზოტოპური შემადგენლობა ასახავს იმ გეოლოგიურ გარემოს, სადაც ინდივიდი გაიზარდა ან ცხოვრობდა (Bentley, 2006: 141–145). მიუხედავად იმისა, რომ ადგილობრივი სიგნალი შეიძლება გარკვეულწილად შეიცვალოს ატმოსფერული მტვრის, წყლის წყაროების ან სასოფლო-სამეურნეო პრაქტიკების გავლენით, ძირითადი შემადგენლობა მაინც ადგილობრივ გეოლოგიას უკავშირდება (Price et al., 2002:118–121).

რაც შეეხება ჟანგბადს, მისი იზოტოპური ანალიზი ეფუძნება ნალექებსა და სასმელ წყალში არსებულ ჟანგბადის ($\delta^{18}\text{O}$) მნიშვნელობებს, რომლებიც დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, გეოგრაფიულ განედზე, სიმაღლეზე და სეზონურ ცვალებადობაზე. წყლის ციკლის დროს მსუბუქი იზოტოპები (^{16}O) უფრო ადვილად ორთქლდება, რის შედეგადაც ნალექები შედარებით გამდიდრებულია მძიმე იზოტოპით (^{18}O). ეს განსხვავება კარგად აისახება რეგიონზე და ქმნის ე.წ. იზოტოპიურ რუკებს, რომლებიც გამოიყენება მობილობის კვლევებში. ორგანიზმში მოხვედრილი სასმელი წყალი ინტეგრირდება სხეულის წყლისა და ბიოაპატიტის შემადგენლობაში, რის შედეგადაც ძვლისა და კბილის ჟანგბადის ($\delta^{18}\text{O}$) მნიშვნელობები ასახავს გარემოს წყლის იზოტოპურ სიგნალს. ეს კავშირი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ხდება ჰომეოთერმულ ორგანიზმებში, სადაც სხეულის ტემპერატურა სტაბილურია და იზოტოპური სიგნალი შედარებით კარგად ინახება (Pederzani and Britton, 2019:78).

მიმდინარე კვლევებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება თანამედროვე ბიომონაცემთა ბაზების შექმნას, მათ შორის მცენარეთა სტრონციუმის იზოტოპური ბაზის ფორმირებას სხვადასხვა რეგიონში. ასეთი მონაცემთა ბაზები აუცილებელია რეგიონული კვლევებისათვის და მომავალში მიგრაციების შესწავლის სიზუსტეს აუმჯობესებს. სწორედ ამ მიზანს ემსახურება PRELUDIUM გრანტის ფარგლებში დაგეგმილი სამუშაო, რომელიც, ფრანგ და პოლონელ ბიოარქეოლოგებთან თანამშრომლობით, ითვალისწინებს საქართველოს ტერიტორიის თანამედროვე მცენარეთა სტრონციუმის იზოტოპური ბაზის შექმნას.

სტაბილური იზოტოპთა მონაცემთა ბაზის მნიშვნელობა

სტაბილური იზოტოპების კვლევაში მონაცემთა ბაზების შექმნა წარმოადგენს აუცილებელ ეტაპს. მონაცემების სისტემატური შეგროვება, სტრუქტურირება და მონაცემთა ბაზაში გაერთიანება მკვლევრებს საშუალებას აძლევს ეფექტურად მოიპოვონ ინფორმაცია, შეადარონ სხვადასხვა არქეოლოგიური ძეგლის შედეგები ერთმანეთს და რეგიონულ ჭრილში გააანალიზონ კვლევითი კითხვები. მსგავსი მიდგომა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია

არქეოლოგიაში, სადაც ცალკეული ძეგლის მონაცემი მხოლოდ ფართო კონტექსტში იძენს სრულ მნიშვნელობას.

მონაცემთა ბაზების შექმნა და განვითარება ხორციელდება საერთაშორისო აკადემიური თანამშრომლობის ფარგლებში და აქტიურად არის ჩართული სხვადასხვა ქვეყნის სამეცნიერო საზოგადოება. ერთ-ერთი ყველაზე მასშტაბური პლატფორმაა IsoArch, რომელიც აერთიანებს 65,000-ზე მეტ იზოტოპურ მონაცემს ადამიანების, ცხოველებისა და მცენარეების შესახებ. აღნიშნული ბაზა მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს ინტერდისციპლინარული კვლევების განვითარებას. ასევე ასეთ ბაზათა რიცხვს განეკუთვნება: PANDORA Repository, North American Repository for Archaeological Isotopes (NARIA), IsoBank, IsoFresh, IsoMed, WSI-PeruDB, Radogost.

მეთოდოლოგია

მასალის შერჩევა

ადამიანის ძვლოვანი ქსოვილი წარმოადგენს ბიოლოგიურად აქტიურ სისტემას, რომელიც სიცოცხლის მანძილზე მუდმივად განიცდის განახლებას. სწორედ ამ პროცესის შედეგად ძვალში ინახება ინფორმაცია ინდივიდის კვების რაციონისა და გარემო პირობების შესახებ. ძვალი შედგება ორგანული (კოლაგენი) და არაორგანული (ჰიდროქსიაპატიტი) კომპონენტებისგან, რომლებიც იზოტოპური კვლევებისას განსხვავებულ ინფორმაციას გვაწვდიან (Ambrose, 1990:433). იზოტოპური მონაცემების ინტერპრეტაციისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ძვლის განახლების პროცესს, რადგან სხვადასხვა ქსოვილით შესაძლებელია ცხოვრების სხვადასხვა ეტაპის კვლევა. ძვლის კოლაგენი საშუალოდ ასახავს სიკვდილამდე ბოლო რამდენიმე წლის ან ათწლეულის კვებით სიგნალს, თუმცა ეს მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული კონკრეტულ ანატომიურ ელემენტზე. პრაქტიკაში ერთ-ერთ ყველაზე ხშირად გამოყენებად ელემენტს წარმოადგენს ნეკნი, რადგან იგი შედარებით სწრაფად რემოდელირდება და ასახავს ინდივიდის ცხოვრების ბოლო პერიოდს. ამის საპირისპიროდ, გრძელი ძვლები, როგორცაა ბარძაყი, უფრო ნელა განიცდის განახლებას და შესაბამისად ასახავს უფრო ხანგრძლივად შენახულ კვების სიგნალს (Fahy et al., 2017:4-5). კბილის დენტინი და მინანქარი ფორმირების შემდეგ აღარ იცვლება, რის გამოც ისინი ინახავენ ბავშვობისა და ადრეული განვითარების პერიოდში მიღებულ იზოტოპურ სიგნალებს. ამგვარად, კბილისა და ძვლის ერთობლივი ანალიზი საშუალებას იძლევა განვასხვავოთ ინდივიდის ადრეული ცხოვრების კვებითი რეჟიმი და გვიანდელი პერიოდის კვება, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მიგრაციის კვლევისას (Katzenberg, 2018:477).

სტაბილური იზოტოპების ანალიზისას აუცილებელია სხვადასხვა შეზღუდვების გათვალისწინება. მონაცემთა ინტერპრეტაციაზე გავლენას ახდენს ეკოლოგიური, ბიოლოგიური და კულტურული ფაქტორები, ასევე ნიადაგის ქიმიური შედგენილობა, კლიმატი და მასალის ხარისხი (Ambrose, 1991:305). განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ძვლის დიაგენეზს – ძვლის ქიმიურ და ფიზიკურ ცვლილებებს მიწაში მოხვედრის შემდეგ, რაც შეიძლება გავლენას ახდენდეს კოლაგენის იზოტოპურ შემადგენლობაზე (Ambrose, 1990:4366-438). კოლაგენის შენარჩუნების ხარისხი კი დამოკიდებულია გარემო პირობებზე: მშრალ და ცივ გარემოში იგი უკეთ ინახება, მაშინ როცა ნოტიო, თბილი და მჟავი ნიადაგი აჩქარებს მის განლევას. სწორედ ამიტომ, კვლევამდე აუცილებელია ნიმუშის ხარისხის შეფასება. ამისათვის გამოიყენება როგორც ვიზუალური, ასევე ქიმიური კრიტერიუმები (Collins et al., 2002:383–387). მაღალი ხარისხის კოლაგენისთვის დამახასიათებელია ნახშირბადისა და აზოტის ატომთა

თანაფარდობა (C:N) 2.9–3.6 ფარგლებში, ასევე ელემენტური შემადგენლობის შესაბამისი დიაპაზონი (Van Klinken, 1999:689–690) (Ambrose, 1990:437).

კოლაგენის გამოყოფის პროცესი

კოლაგენის ძვლიდან გამოყოფის რამდენიმე ლაბორატორიული მეთოდი არსებობს, რომელთა მიზანია მინერალური კომპონენტის მოცილება და სუფთა ორგანული ფრაქციის მიღება იზოტოპური ანალიზისთვის. მეთოდის არჩევა დამოკიდებულია ნიმუშის შენარჩუნების და დაბინძურების ხარისხზე. ყველაზე გავრცელებული მიდგომაა დეკალცინაცია მარილმჟავაში (HCl 1–5%), რომლის დროსაც ძვლის მცირე ნაწილი სუსტ მჟავაში თავსდება და მინერალური ნაწილი თანდათან იხსნება (Sealy, 1986) (Ambrose, 1990:432–435). შემდგომ ეტაპზე ხშირად გამოიყენება ნატრიუმის ჰიდროქსიდი (NaOH), რომელიც ეხმარება ორგანული ნარჩენების მოცილებას, ხოლო მიღებული კოლაგენი იწმინდება და ლიოფილიზაციით სტაბილურ ფორმას იღებს (Ambrose, 1990:435–437). ასევე ფართოდ გამოიყენება დემინერალიზაცია ეთილენდიამინტეტრამმარმჟავაში (EDTA), რომელიც უფრო რბილ ქიმიურ გარემოს ქმნის და მინერალებს ეტაპობრივად აშორებს, რის დროსაც კოლაგენის სტრუქტურა ნაკლებად ზიანდება (Bocherens et al., 1995:330). მესამე მეთოდი გულისხმობს სწრაფ მჟავურ დამუშავებას. ძვლის დემინერალიზაციის მიზნით იგი დაფხვნილი სახით თავსდება 8%-იან მარილმჟავაში ძალიან მოკლე დროის განმავლობაში (დაახ. 18 წუთი). შემდეგ სუსტი მჟავე რეაქციის მქონე ცხელ წყალში (pH 3) იწყება ნელი ჰიდროლიზის პროცესი. ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ცუდად შემონახული ნიმუშებისთვის, თუმცა უფრო მაღალია დაბინძურების რისკი და ხშირად საჭიროებს დამატებით გადარეცხვას ნატრიუმის ჰიდროქსიდით (Longin, 1971: 241–242).

საბოლოოდ მიღებული კოლაგენი წარმოადგენს თეთრ, ფაფუკ ორგანულ მასას, რომელიც იწონება, თავსდება კაფსულებში და მას-სპექტრომეტრით (IRMS) იწვება, იზოტოპური შემადგენლობის განსასაზღვრად.

მას-სპექტრომეტრი (IRMS) და სტატისტიკა

გამოყოფილი კოლაგენის იზოტოპური შემადგენლობა იზომება მას-სპექტრომეტრის (IRMS) საშუალებით. ძირითადი ელემენტისთვის (H, O, N, C) ნიმუში მას-სპექტრომეტრში გარდაიქმნება გაზად (H₂, CO₂, N₂ და CO₂, შესაბამისად). სტაბილური იზოტოპის კვლევისთვის საჭიროა ნიმუშების აალება კოლბებში. აალების შემდეგ CO₂ და H₂O ერთანეთისგან ცალკეედება მანამ სანამ CO₂ მას-სპექტრომეტრში მოხვდება. თანამედროვე დანადგარებში აალების ბრძმედები და გაზის ანალიზატორები მას-სპექტრომეტრში არის ინტეგრირებული, რაც აჩქარებს ნიმუშის აირად გარდაქმნის პროცესს. ამ პროცესის დროს, კოლაგენი იწონება კალის კაფსულებში და თავსდება ნიმუშის დასადგამზე. მბრუნავი დასადგამი აგდებს ნიმუშს ბრძმედზე, სადაც აალების შედეგად წარმოიქმნება N₂, CO₂ და H₂O. ეს აირები სპექტრომეტრში მოხვედრამდე ერთმანეთისგან ცალკეედება. მას შემდეგ რაც მას-სპექტრომეტრში ჩვენთვის საინტერესო აირი მოხვდება, იწყება იონიზაციის პროცესი (აირი „იზომება“ ელექტრონებით). იონური სხივი შემდგომ გადაიტყორცნება მასის ანალიზატორში. აქ სხივი ნაწილდება მცირე სხივებად ორ მაგნიტურ პოლუსებს შორის. ეს პროცესი პირდაპირ ანალოგიურია პრიზმის მეშვეობით თეთრი სინათლის სპექტრის დაყოფის პროცესთან. სხივის ინტენსიურობა იზომება იონების კოლექტორში (Preston, 1992: 1092–1094). საკვლევი ნიმუშის სტაბილური იზოტოპების კონცენტრაცია გამოისახება იზოტოპების თანაფარდობის სახით. მას-

სპექტრომეტრი იძლევა ანგარიშს სტაბილური იზოტოპების თანაფარდობის შესახებ ნიმუშში და სტანდართან მიმართებაში. მოცემული მნიშვნელობა იყენებს შემდეგ ფორმულას: $d(\delta) \text{ in } \text{‰} = \frac{1}{4} R(\text{sample}) R(\text{standard}) R(\text{standard}) 1000$, სადაც d (დელტა) მნიშვნელობა, გამოხატულია პრომილეში (‰), რაც ნიშნავს ათასიდან ერთეულ სხვაობას, R იზოტოპების თანაფარდობა (მაგალითად, ნახშირბადისთვის $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), R (standard) - იზოტოპების თანაფარდობა საერთაშორისო სტანდარტში, R (sample) იზოტოპების თანაფარდობა ნიმუშში. საერთაშორისო სტანდარტები ხელმისაწვდომია ეროვნული სტანდარტების ბიუროს (NBS) და საერთაშორისო ატომური ენერჯის სააგენტოში (IAEA), ვენაში.

მას-სპექტრომეტრის მგრძობელობა ცვალებადია, სწორედ ამიტომ მნიშვნელოვანია დანადგარის სიზუსტის შემოწმება მიღებული მონაცემების გამოყენებამდე. ცდომილება ნახშირბადისთვის დაახლოებით $\pm 0.1\text{‰}$ -ია, ხოლო აზოტისთვის $\pm 0.2\text{‰}$. ეს ცდომილება დგინდება ერთი და იგივე ნიმუშის მრავალჯერადად შემოწმების შედეგად (Katzenberg, 2004:422).

ვან კლინკენის (1999) მიხედვით, კოლაგენის ხარისხის შესაფასებლად მნიშვნელოვანი ინდიკატორებია ორგანული კომპონენტების პროცენტული შემცველობა. მაღალი ხარისხის, სტანდარტულად გაფილტრული და გამოყოფილი კოლაგენი უნდა იყოს არანაკლებ 0.5% წონის მიხედვით (მინიმალური რაოდენობა, რაც უნდა იქნეს გამოყოფილი ძვლის ნიმუშიდან, რათა ჩაითვალოს ანალიზისთვის ვარგისად). ნახშირბადის შემცველობა ასეთ კოლაგენში უნდა მერყეობდეს 13% -დან 47% -მდე, ხოლო აზოტის შემცველობა 4.8% -დან 17.3% -მდე. აღნიშნული საზღვრები გამოიყენება როგორც დიაგნოსტიკური მაჩვენებლები კოლაგენის შენარჩუნების ხარისხისა და სტაბილური იზოტოპების ანალიზისთვის ვარგისიანობის დასადგენად (Van Klinken, 1999:689-691). ამის გარდა, მნიშვნელოვანია, დავრწმუნდეთ ძვალში შემავალი კოლაგენის ხარისხზე. მაგ. ნახშირბადისა და აზოტის ატომის თანაფარდობა ძვალში (C:N) უნდა მერყეობდეს 2.9 - 3.6 -მდე, რაც მაღალი ხარისხის კოლაგენის განმსაზღვრელია (Ambrose, 1990).

იზოტოპური ანალიზის შედეგად მიღებული მონაცემები რომლებიც განისაზღვრება მას-სპექტრომეტრული (IRMS) მეთოდით, საჭიროებს შემდგომ სტატისტიკურ დამუშავებას მათი ინტერპრეტაციისთვის. პირველ ეტაპზე მონაცემები მოწმდება ხარისხის კონტროლისა და კოლაგენის შენარჩუნების კრიტერიუმების მიხედვით, რის შემდეგაც ხდება მათი აღწერითი სტატისტიკური ანალიზი (საშუალო, მედიანა, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები, სტანდარტული გადახრა). მონაცემთა განაწილების ტიპის დასადგენად გამოიყენება ნორმალურობის ტესტები, ხოლო მიღებული შედეგების საფუძველზე ირჩევა შესაბამისი პარამეტრული ან არაპარამეტრული სტატისტიკური მეთოდები ჯგუფებს შორის განსხვავებების შესაფასებლად (Shennan, 1997:67-75) (Drennan, 2009:112-118). დამატებით, მონაცემთა ვიზუალიზაციისთვის გამოიყენება სკატერ-დიაგრამები და ჩარჩო დიაგრამები, რაც საშუალებას იძლევა როგორც ცვლადებს შორის ურთიერთობების, ისე სახეობრივ ჯგუფებს შორის განსხვავებების უკეთ აღქმისა და ინტერპრეტაციის (Nuzzo, 2016:3).

ზემოთ განხილული ფაქტორები ნათლად აჩვენებს, რომ სტაბილური იზოტოპების ანალიზი წარმოადგენს ძლიერ, თუმცა კომპლექსურ მეთოდს, რომლის სანდო გამოყენება დამოკიდებულია ნიმუშის სწორ შერჩევაზე და ხარისხის კონტროლზე.

ინტერპრეტაციები

სტატიაში განხილული მეთოდოლოგიის პრაქტიკაში გამოყენების საჩვენებლად, წარმოვადგენ სამაგისტრო ნაშრომის ნაწილს, რის ფარგლებშიც შევისწავლეთ იტალიის ბრინჯაოს ხანის დასახლება ნოგაროლე კამპონი სტაბილური იზოტოპებით. მიღებული შედეგები ინტეგრირდა მონაცემთა ბაზაში, რომელიც მოიცავს 230 ნიმუშს და აერთიანებს ჩრდილოეთ, ცენტრალური და სამხრეთ იტალიის არქეოლოგიური ძეგლების მონაცემებს ბრინჯაოს ხანაში, რაც შესაძლებელს ხდის ფართო მასშტაბის შედარებით ანალიზს. ამ მიდგომის მთავარი მიზანია იზოტოპური მნიშვნელობების რეგიონული ვარიაციის გამოვლენა და კონკრეტული არქეოლოგიური ძეგლების, მათ შორის ნოგაროლე კამპონის, უფრო ფართო ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ კონტექსტში განხილვა (Davitashvili, 2024:44).

ძველი განეკუთვნება ადრე ბრინჯაოს ხანის მცირე დასახლებას (70მ დიამეტრის), სადაც დაახლოებით ასამდე ადამიანი ცხოვრობდა. ძეგლზე გამოვლენილია ადამიანის ცხოვრების კვალი, რაც გამოხატულია მრავალრიცხოვანი სამარხებითა და დიდი რაოდენობით ცხოველის ძვლებით (კერებში). შინაური ცხოველებიდან გავრცელებულია ცხვარი, ძროხა, თხა, ღორი, ძაღლი, ხოლო გარეული – კეთილშობილი ირემი, კურდღელი, მელია. სტაბილური იზოტოპებით მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ისევე როგორც იტალიის უმეტეს ტერიტორიაზე, აქაც ფაუნის ნახშირბადის ($\delta^{13}\text{C}$) მნიშვნელობები შეესაბამება C_3 მცენარეებზე (ძირითადად ხორბალი) დაფუძნებულ კვებით სისტემას, რაც მიუთითებს ტრადიციულ აგრარულ-ეკოლოგიურ მოდელზე. ამასთანავე, რიგ შემთხვევებში (ძროხების) ფიქსირდება C_4 მცენარეების, განსაკუთრებით ფეტვის, გამოყენების ნიშნები, რაც ასახავს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ ცვლილებებს ბრინჯაოს ხანის პერიოდში. საანალიზო მასალის სიმცირის გამო, კულტივირებული ფეტვის აქტიურ გამოყენებაზე საუბარი შეუძლებელია, თუმცა კვლევამ აჩვენა C_3 და C_4 მცენარეებზე დაფუძნებული კვებითი სისტემების თანაარსებობა, C_3 ტიპის დომინირებით ცხოველებში. ეს შეიძლება ასახავდეს ფეტვის გავრცელების ეტაპობრივ და არათანაბარ ხასიათს, აგრეთვე მის შეზღუდულ გამოყენებას კონკრეტულ ადგილობრივ ეკონომიკურ სისტემაში, რადგან ფეტვის, როგორც C_4 მცენარის, გავრცელება ევროპაში არ ყოფილა ერთგვაროვანი პროცესი.

სტაბილური იზოტოპების კომბინირებული ანალიზი ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) დამატებით საშუალებას იძლევა შეფასდეს ცხოველთა მართვისა და ექსპლუატაციის სტრატეგიებიც. ნოგაროლე კამპონის მასალაზე დაფუძნებული მონაცემები აჩვენებს განსხვავებებს სხვადასხვა სახეობებს შორის, რაც მიუთითებს დიფერენცირებულ სამეურნეო პრაქტიკებზე.

აზოტის ($\delta^{15}\text{N}$) მნიშვნელობები აშკარად გამოყოფს ძაღლებსა და ღორებს, რომელთაც უფრო მაღალი მაჩვენებლები აქვთ, რაც მიუთითებს მათ შერეულ კვებასა და, სავარაუდოდ, ადამიანის საკვების ნარჩენების მოხმარებაზე. აღნიშნული მონაცემები ირიბად ასახავს ადამიანის კვებით პრაქტიკებსაც და მიუთითებს ხორცის პროდუქტების აქტიურ გამოყენებას კვებით რაციონში.

განსაკუთრებით საყურადღებოა გოგირდის ($\delta^{34}\text{S}$) მნიშვნელობების ვარიაცია, რომელიც შეიძლება დაკავშირებული იყოს როგორც გარემო პირობებთან, ისე ცხოველთა მობილობასთან. თხების შედარებით დაბალი მნიშვნელობები შესაძლოა მიუთითებდეს მათ უფრო თავისუფალ გადაადგილებაზე და განსხვავებულ საძოვრებზე, მაშინ როდესაც ცხვარი და მსხვილფეხა საქონელი, სავარაუდოდ, უფრო კონტროლირებულ გარემოში იმყოფებოდა.

კვლევას სხვადასხვა ტიპის შეზღუდვები ჰქონდა. პირველ რიგში კი ეს გამოიხატებოდა მასალის სიმცირით, ზოოარქეოლოგიური და პალეოეკოლოგიური კვლევების არ არსებობით, რადგანაც, ძველი კვლევის პროცესშია და მასზე არქეოლოგიური სამუშაოები დღესაც მიმდინარეობს. ამ ტიპის დანაკლისმა კიდევ ერთხელ წარმოაჩინა თუ რამდენადაა

აუცილებელი შედეგების ფართო ბიოარქეოლოგიურ და არქეოლოგიურ კონტექსტში განხილვა.

დასკვნა

წარმოდგენილი კვლევა ცხადყოფს, რომ სტაბილური იზოტოპების ანალიზი მხოლოდ ტექნიკური ინსტრუმენტი არ არის. ის წარმოადგენს კომპლექსურ მეთოდს, რომლის საშუალებითაც პრეისტორიულ თუ ისტორიულ საზოგადოებათა ცხოვრების გააზრება უფრო მარტივი და სანდოა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ კვებისა და მობილობის კვლევა არ უნდა იქნეს გაგებული ვიწრო, პირდაპირი მნიშვნელობით - „რას ჭამდა ადამიანი“ ან „საიდან სად გადაადგილდებოდა“. რეალურად, ეს მონაცემები ასახავს ფართო პროცესებს, როგორებიცაა: ეკონომიკური სისტემები, აგრარული პრაქტიკები, მეცხოველეობის სტრატეგიები, სოციალურ სტრუქტურები, კულტურული და რელიგიური ნორმები.

მობილობის კვლევა, თავის მხრივ, იძლევა შესაძლებლობას გამოვავლინოთ ისეთი ფენომენები, როგორიცაა მიგრაცია სხვადასხვა მიზეზით - კლიმატური ცვლილებების, რესურსების დეფიციტის, ეკონომიკური საჭიროებების ან იძულებითი გადაადგილების შედეგად. ამ გზით შესაძლებელია განვასხვავოთ მომთაბარე და სედენტური მოსახლეობა, დავაკვირდეთ სეზონურ გადაადგილებებს, გამოვავლინოთ მოსახლეობის შერევისა და სხვა კულტურული პროცესების დინამიკა.

ნოგაროლე კამპონის მაგალითი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან იგი ნათლად აჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება იზოტოპური მონაცემების ინტეგრირებული ანალიზით გამოვლინდეს ეკონომიკური და ეკოლოგიური ცვლილებები. აღნიშნულ შემთხვევაში დაფიქსირებული C₃ მცენარეებზე დაფუძნებული კვებითი სისტემა მიუთითებს ბრინჯაოს ხანაში გავრცელებულ სტაბილურ აგრარულ მოდელზე, თუმცა C₄ მცენარეების (ფეტვი) ნიშნების არსებობა ცხოველებში გვიჩვენებს, რომ მიმდინარეობდა აგრონომიული ინოვაციების ეტაპობრივი დანერგვა. ამასთან, სხვადასხვა ცხოველთა ჯგუფებს შორის აზოტის ($\delta^{15}\text{N}$) მნიშვნელობების განსხვავება მიუთითებს განსხვავებულ კვებით რეჟიმებზე და, შესაბამისად, ადამიანისა და ცხოველის ურთიერთობის მრავალფეროვან ფორმებზე. გოგირდის ($\delta^{34}\text{S}$) მნიშვნელობების ვარიაცია კი გვამლევს საფუძველს ვივარაუდოთ მაშინდელი საზოგადოება სხვადასხვა ტიპის (შესაძლო ზამთრისა და ზაფხულის) საძოვრების გამოიყენებდა.

ამასთანავე, სტაბილური იზოტოპების გამოყენება არ უნდა შემოიფარგლოს მხოლოდ კვებისა და მობილობის კვლევით. იგი აქტიურად შეიძლება იქნეს გამოყენებული უფრო სპეციფიკურ ბიოარქეოლოგიურ საკითხებში, როგორიცაა ძუძუთი კვების პრაქტიკების განსაზღვრა, ბავშვთა კვებითი სტრესის გამოვლენა, ვიტამინების დეფიციტისა და მასთან დაკავშირებული პათოლოგიების კვლევა. ასევე მნიშვნელოვანია მისი როლი პალეოკლიმატისა და გარემოს აღდგენაში, რაც საშუალებას იძლევა უკეთ გავიგოთ, როგორ რეაგირებდნენ ადამიანები გარემოს ცვლილებებზე.

საბოლოოდ, სტაბილური იზოტოპების ანალიზი წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე აუცილებელ მიმართულებას თანამედროვე არქეოლოგიაში, თუმცა მისი სრული პოტენციალი მხოლოდ იმ შემთხვევაში გამოვლინდება, თუ იგი ინტეგრირებული იქნება მონაცემთა ბაზებთან, სტატისტიკურ ანალიზთან და სხვა ბიოარქეოლოგიურ მეთოდებთან. საქართველოს კონტექსტში ამ მიდგომის განვითარება არა მხოლოდ ახალი კვლევითი შესაძლებლობებს შექმნის, არამედ მნიშვნელოვნად გააძლიერებს რეგიონალურ კვლევებს და ხელს შეუწყობს ადგილობრივი მონაცემების საერთაშორისო კონტექსტში ჩართვას.

მადლიერება

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო რომის საპიენცას უნივერსიტეტს, კონკრეტულად კი გარემოს კვლევების დეპარტამენტს, რომელმაც საშუალება მომცა მესარგებლა სტაბილური იზოტოპების ლაბორატორიით და სტატიაში ნახსენები კვლევა მშვიდ და აკადემიურ გარემოში ჩამეტარებინა.

გულწრფელ მადლობას ვუხდის ჩემს სამაგისტრო ხელმძღვანელს, მარი-ანა ტაფურს, რომელმაც დიდი გავლენა იქონია, ჩემი აკადემიური საქმიანობა დამეკავშირებინა ბიოარქეოლოგიას, კონკრეტულად კი სტაბილური იზოტოპებით კვლევას. ასევე მადლობას ვუხდის სილვია სოლცინს ლაბორატორიაში გაწეული დახმარებისათვის.

ბოლოს, მადლობას ვუხდის ჩემს მეგობრებს, რომლებიც მუდმივად მიჭერენ მხარს და მაძლევდნენ მნიშვნელოვან რჩევებსა და უკუკავშირს, რაც დამეხმარა სტატიის გამოქვეყნებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა

- თავართქილაძე, ნ. (2026). ფიზიკური ანთროპოლოგიიდან ბიოარქეოლოგიამდე: ტერმინოლოგიური და მეთოდოლოგიური გარდატეხა საქართველოში. *იბერია-კოლხეთი*, 20, გვ. 184-195. თბილისი.
- Ambrose, S. H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*. 17(4), 431–451.
- Ambrose, S. H. (1991). Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial food webs. *Journal of Archaeological Science*. 18(3), 293–317.
- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J. (1986). Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature*. 319, 321–324.
- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J. (1986). The isotopic ecology of East African mammals. *Oecologia*. 69(3), 395–406.
- Beaumont, J., Gledhill, A., Lee-Thorp, J., Montgomery, J. (2013). Childhood diet: A closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis of incremental human dentine. *Archaeometry*. 55(2), 277–295.
- Beaumont, J., Gledhill, A., Lee-Thorp, J., Montgomery, J. (2015). Childhood diet: A closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis. *Archaeometry*. 57(3), 504–518.
- Bentley, R. A. (2006). Strontium isotopes from the Earth to the archaeological skeleton: A review. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 13(3), 135–187.

- Bocherens, H., Fogel, M. L., Tuross, N., Zeder, M. (1995). Trophic structure and climatic information from isotopic signatures in Pleistocene cave fauna of southern England. *Journal of Archaeological Science*. 22(2), 327–340.
- Burton, J. H., Price, T. D. (2002). The use and abuse of trace elements for paleodietary research. In: Ambrose, S. H., Katzenberg, M. A. (eds.), *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York: Kluwer Academic Publishers, 159–167.
- Burton, J., Katzenberg, M. A. (2018). Strontium isotopes and the chemistry of bones and teeth. In: Katzenberg, M. A., Grauer, A. L. (eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 505–514.
- Childe, V. G. (1936). *Man makes himself*. London, UK: Watts. Retrieved from Archaeological Survey of India Digital Library: http://asi.nic.in/asi_books/20025.pdf (accessed May 4, 2026)
- Collins, M., Nielsen-Marsh, C., Hiller, J., Smith, C., Roberts, S., et al. (2002). The survival of organic matter in bone: A review. *Archaeometry*. 44, 383–394.
- DeNiro, M. J., Epstein, S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45(3), 341–351.
- Dettwyler, K. A. (1995). A time to wean: The hominid blueprint for the natural age of weaning in modern human populations. In: Dettwyler, K. A., Stuart-Macadam, P. (eds.), *Breastfeeding: Biocultural Perspectives*. New York: Aldine de Gruyter, 39–73.
- Drennan, R. D. (2009). *Statistics for Archaeologists: A Commonsense Approach*. 2nd ed. New York: Springer.
- Fahy, G. E., Deter, C., Pitfield, R., Miszkiewicz, J. J., & Mahoney, P. (2017). Bone deep: Variation in stable isotope ratios and histomorphometric measurements of bone remodelling within adult humans. *Journal of Archaeological Science*, 87, 10–16.
- Faure, G., Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: Principles and Applications*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Fogel, M. L., Tuross, N., Owsley, D. W. (1989). Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Carnegie Institution of Washington Yearbook*. 88, 111–117.
- Fuller, B. T., Molleson, T. I., Harris, D. A., Gilmour, L. T., Hedges, R. E. M. (2006). Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen isotope ratios. *American Journal of Physical Anthropology*. 129(2), 279–293.
- Herring, D. A., Saunders, S. R., & Katzenberg, M. A. (1998). Investigating weaning using stable isotope ratios in bone collagen. *American Journal of Physical Anthropology*, 105(4), 425–439.
- Hyland C., Millaire J., Szpak P. 2021. Migration and maize in the Virú Valley: Understanding life histories through multi-tissue carbon, nitrogen, sulfur, and strontium isotope analyses. *American Journal of Physical Anthropology* 176(1). pp. 21–35.
- Katzenberg, M. A., Herring, D. A., & Saunders, S. R. (1996). Weaning and infant mortality: Evaluating the skeletal evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 101(2), 177–199.
- Katzenberg, M. A., Waters-Rist, A. L. (2018). Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history. In: Katzenberg, M. A., Grauer, A. L. (eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 467–504.

- Knudson, K. J., Price, T. D., Buikstra, J. E., Blom, D. E. (2004). The use of strontium isotope analysis to investigate migration and mortuary ritual in Bolivia. *Archaeometry*. 46(1), 5–18.
- Laffoon, J. E., Sonnemann, T. F., Shafie, T., Hofman, C. L., Brandes, U. (2017). Investigating human geographic origins using dual-isotope approaches. *PLOS ONE*. 12(2), e0172562.
- Larsen, C. S. (2015). *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Larsen, C.S. (2014). *Bioarchaeology: Definition*. In: Smith, C. (eds) *Encyclopedia of Global Archaeology*. First edition, pp 888-889 Springer, New York, NY
- Larsen, C.S. (2020). *Bioarchaeology: Definition*. In: Smith, C. (eds) *Encyclopedia of Global Archaeology*. Springer, Cham. Second edition, pp. 1438
- Leach, S., Lewis, M., Chenery, C., Müldner, G., Eckardt, H. (2009). Migration and diversity in Roman Britain. *American Journal of Physical Anthropology*. 140, 546–561.
- Leonard, W. R., Snodgrass, J. J., Robertson, M. L. (2007). Effects of brain evolution on human nutrition and metabolism. *Annual Review of Nutrition*. 27, 311–327.
- Lepoint, G., Dauby, P., & Gobert, S. (2004). Applications of C and N stable isotopes to ecological and environmental studies in seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 49(11–12), 313–328.
- Longin, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*. 230, 241–242.
- Lovell, N. C., & Grauer, A. L. (2019). Analysis and interpretation of trauma in skeletal remains. In A. L. Grauer (Ed.), *A companion to paleopathology* (pp. 335–383). John Wiley & Sons.
- Nuzzo, R. L. (2016). The box plots alternative for visualizing quantitative data. *PM&R*. 8(3), 268–272.
- O’Leary, M. H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*. 20(4), 553–567.
- Ortner, D. J. (2011). Human skeletal paleopathology. *International Journal of Paleopathology*. 1(1), 4–11.
- Pate, F. D. (1994). Bone chemistry and paleodiet. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 1(2), 161–249.
- Pederzani, S., Britton, K. (2019). Oxygen isotopes in bioarchaeology. *Earth-Science Reviews*. 188, 77–107.
- Pietrusewsky, M. (2007). Metric analysis of skeletal remains: Methods and applications. In M. A. Katzenberg & S. R. Saunders (Eds.), *Biological anthropology of the human skeleton* (2nd ed., pp. 487–533). John Wiley & Sons.
- Preston T. 1992. The measurement of stable isotope natural abundance variations. *Plant, Cell and Environment* 15(9). pp. 1091–1097.
- Price, T. D., Burton, J. H., Bentley, R. A. (2002). The characterization of biologically available strontium isotope ratios. *Archaeometry*. 44, 117–135.
- Ruff, C. B. (2007). Biomechanical analyses of archaeological human skeletons. In M. A. Katzenberg & S. R. Saunders (Eds.), *Biological anthropology of the human skeleton* (2nd ed., pp. 183–206). John Wiley & Sons.
- Schoeninger, M. J., Moore, K. M., Murray, M. L., & Kingston, J. D. (1989). Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples. *Applied Geochemistry*, 4(3), 281–292

- Sealy, J. (1986). *Stable Carbon Isotopes and Prehistoric Diets in the South-Western Cape Province, South Africa*. Oxford: BAR.
- Sellen, D. W. (2001). Comparison of weaning among foragers and agriculturalists. *The Journal of Nutrition*, 131(10), 2707–2715
- Sellen, D. W., & Smay, D. B. (2001). Relationship between subsistence and age at weaning in “preindustrial” societies. *Human Nature*, 12(1), 47–61.
- Shennan, S. (1997). *Quantifying Archaeology*. 2nd ed. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Stantis, C., Schutkowski, H., Sołtysiak, A. (2020). Reconstructing breastfeeding and weaning practices. *American Journal of Physical Anthropology*. 172(1), 58–69.
- Stodder, A. L. W., & Palkovich, A. M. (2012). *Osteobiography and bioarchaeology*. In A. L. W. Stodder & A. M. Palkovich (Eds.), *The bioarchaeology of individuals* (pp. 1–11). University Press of Florida.
- Thoennessen, M. (2016). *The discovery of isotopes: A complete compilation*. Springer International Publishing Switzerland
- Tykot, R. H. (2004). Stable isotopes and diet: You are what you eat. In: Martini, M., Milazzo, M., Piacentini, M. (eds.), *Physics Methods in Archaeometry*. Amsterdam: IOS Press, 433–444.
- Tykot, R. H. (2006). Isotope analyses and the histories of maize. In: Staller, J. E., Tykot, R. H., Benz, B. F. (eds.), *Histories of Maize*. Burlington: Academic Press, 131–142.
- Van Der Merwe, N., Vogel, J. (1978) ¹³C Content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature* 276, 815–816
- Van Klinken, G. J. (1999). Bone collagen quality indicators. *Journal of Archaeological Science*. 26(6), 687–695.
- Zeder, M. A. (2011). The origins of agriculture in the Near East. *Current Anthropology*. 52(S4), S221–S235.

References:

- Tavartkiladze, N. (2026). Fizikuri antropologiidan bioarkeologiamde: terminologiuri da metodologiuri gardatexa saqartveloshi. *Iberia-Kolxeti*, 20, 184–195. Tbilisi.
- Ambrose, S. H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*. 17(4), 431–451.
- Ambrose, S. H. (1991). Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial food webs. *Journal of Archaeological Science*. 18(3), 293–317.
- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J. (1986). Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature*. 319, 321–324.
- Ambrose, S. H., DeNiro, M. J. (1986). The isotopic ecology of East African mammals. *Oecologia*. 69(3), 395–406.
- Beaumont, J., Gledhill, A., Lee-Thorp, J., Montgomery, J. (2013). Childhood diet: A closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis of incremental human dentine. *Archaeometry*. 55(2), 277–295.

- Beaumont, J., Gledhill, A., Lee-Thorp, J., Montgomery, J. (2015). Childhood diet: A closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis. *Archaeometry*. 57(3), 504–518.
- Bentley, R. A. (2006). Strontium isotopes from the Earth to the archaeological skeleton: A review. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 13(3), 135–187.
- Bocherens, H., Fogel, M. L., Tuross, N., Zeder, M. (1995). Trophic structure and climatic information from isotopic signatures in Pleistocene cave fauna of southern England. *Journal of Archaeological Science*. 22(2), 327–340.
- Burton, J. H., Price, T. D. (2002). The use and abuse of trace elements for paleodietary research. In: Ambrose, S. H., Katzenberg, M. A. (eds.), *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York: Kluwer Academic Publishers, 159–167.
- Burton, J., Katzenberg, M. A. (2018). Strontium isotopes and the chemistry of bones and teeth. In: Katzenberg, M. A., Grauer, A. L. (eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 505–514.
- Childe, V. G. (1936). *Man makes himself*. London, UK: Watts. Retrieved from Archaeological Survey of India Digital Library: http://asi.nic.in/asi_books/20025.pdf (accessed May 4, 2026)
- Collins, M., Nielsen-Marsh, C., Hiller, J., Smith, C., Roberts, S., et al. (2002). The survival of organic matter in bone: A review. *Archaeometry*. 44, 383–394.
- DeNiro, M. J., Epstein, S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45(3), 341–351.
- Dettwyler, K. A. (1995). A time to wean: The hominid blueprint for the natural age of weaning in modern human populations. In: Dettwyler, K. A., Stuart-Macadam, P. (eds.), *Breastfeeding: Biocultural Perspectives*. New York: Aldine de Gruyter, 39–73.
- Drennan, R. D. (2009). *Statistics for Archaeologists: A Commonsense Approach*. 2nd ed. New York: Springer.
- Fahy, G. E., Deter, C., Pitfield, R., Miskiewicz, J. J., & Mahoney, P. (2017). Bone deep: Variation in stable isotope ratios and histomorphometric measurements of bone remodelling within adult humans. *Journal of Archaeological Science*, 87, 10–16.
- Faure, G., Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: Principles and Applications*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Fogel, M. L., Tuross, N., Owsley, D. W. (1989). Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Carnegie Institution of Washington Yearbook*. 88, 111–117.
- Fuller, B. T., Molleson, T. I., Harris, D. A., Gilmour, L. T., Hedges, R. E. M. (2006). Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen isotope ratios. *American Journal of Physical Anthropology*. 129(2), 279–293.
- Herring, D. A., Saunders, S. R., & Katzenberg, M. A. (1998). Investigating weaning using stable isotope ratios in bone collagen. *American Journal of Physical Anthropology*, 105(4), 425–439.
- Hyland C., Millaire J., Szpak P. 2021. Migration and maize in the Virú Valley: Understanding life histories through multi-tissue carbon, nitrogen, sulfur, and strontium isotope analyses. *American Journal of Physical Anthropology* 176(1). pp. 21–35.
- Katzenberg, M. A., Herring, D. A., & Saunders, S. R. (1996). Weaning and infant mortality: Evaluating the skeletal evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 101(2), 177–199.

- Katzenberg, M. A., Waters-Rist, A. L. (2018). Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history. In: Katzenberg, M. A., Grauer, A. L. (eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 467–504.
- Knudson, K. J., Price, T. D., Buikstra, J. E., Blom, D. E. (2004). The use of strontium isotope analysis to investigate migration and mortuary ritual in Bolivia. *Archaeometry*. 46(1), 5–18.
- Laffoon, J. E., Sonnemann, T. F., Shafie, T., Hofman, C. L., Brandes, U. (2017). Investigating human geographic origins using dual-isotope approaches. *PLOS ONE*. 12(2), e0172562.
- Larsen, C. S. (2015). *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Larsen, C.S. (2014). *Bioarchaeology: Definition*. In: Smith, C. (eds) Encyclopedia of Global Archaeology. First edition, pp 888-889 Springer, New York, NY
- Larsen, C.S. (2020). *Bioarchaeology: Definition*. In: Smith, C. (eds) Encyclopedia of Global Archaeology. Springer, Cham. Second edition, pp. 1438
- Leach, S., Lewis, M., Chenery, C., Müldner, G., Eckardt, H. (2009). Migration and diversity in Roman Britain. *American Journal of Physical Anthropology*. 140, 546–561.
- Leonard, W. R., Snodgrass, J. J., Robertson, M. L. (2007). Effects of brain evolution on human nutrition and metabolism. *Annual Review of Nutrition*. 27, 311–327.
- Lepoint, G., Dauby, P., & Gobert, S. (2004). Applications of C and N stable isotopes to ecological and environmental studies in seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 49(11–12), 313–328.
- Longin, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*. 230, 241–242.
- Lovell, N. C., & Grauer, A. L. (2019). Analysis and interpretation of trauma in skeletal remains. In A. L. Grauer (Ed.), *A companion to paleopathology* (pp. 335–383). John Wiley & Sons.
- Nuzzo, R. L. (2016). The box plots alternative for visualizing quantitative data. *PM&R*. 8(3), 268–272.
- O’Leary, M. H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*. 20(4), 553–567.
- Ortner, D. J. (2011). Human skeletal paleopathology. *International Journal of Paleopathology*. 1(1), 4–11.
- Pate, F. D. (1994). Bone chemistry and paleodiet. *Journal of Archaeological Method and Theory*. 1(2), 161–249.
- Pederzani, S., Britton, K. (2019). Oxygen isotopes in bioarchaeology. *Earth-Science Reviews*. 188, 77–107.
- Pietrusewsky, M. (2007). Metric analysis of skeletal remains: Methods and applications. In M. A. Katzenberg & S. R. Saunders (Eds.), *Biological anthropology of the human skeleton* (2nd ed., pp. 487–533). John Wiley & Sons.
- Preston T. 1992. The measurement of stable isotope natural abundance variations. *Plant, Cell and Environment* 15(9). pp. 1091–1097.
- Price, T. D., Burton, J. H., Bentley, R. A. (2002). The characterization of biologically available strontium isotope ratios. *Archaeometry*. 44, 117–135.
- Ruff, C. B. (2007). Biomechanical analyses of archaeological human skeletons. In M. A. Katzenberg & S. R. Saunders (Eds.), *Biological anthropology of the human skeleton* (2nd ed., pp. 183–206). John Wiley & Sons.

- Schoeninger, M. J., Moore, K. M., Murray, M. L., & Kingston, J. D. (1989). Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples. *Applied Geochemistry*, 4(3), 281–292
- Sealy, J. (1986). *Stable Carbon Isotopes and Prehistoric Diets in the South-Western Cape Province, South Africa*. Oxford: BAR.
- Sellen, D. W. (2001). Comparison of weaning among foragers and agriculturalists. *The Journal of Nutrition*, 131(10), 2707–2715
- Sellen, D. W., & Smay, D. B. (2001). Relationship between subsistence and age at weaning in “preindustrial” societies. *Human Nature*, 12(1), 47–61.
- Shennan, S. (1997). *Quantifying Archaeology*. 2nd ed. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Stantis, C., Schutkowski, H., Sołtysiak, A. (2020). Reconstructing breastfeeding and weaning practices. *American Journal of Physical Anthropology*. 172(1), 58–69.
- Stodder, A. L. W., & Palkovich, A. M. (2012). *Osteobiography and bioarchaeology*. In A. L. W. Stodder & A. M. Palkovich (Eds.), *The bioarchaeology of individuals* (pp. 1–11). University Press of Florida.
- Thoennessen, M. (2016). *The discovery of isotopes: A complete compilation*. Springer International Publishing Switzerland
- Tykot, R. H. (2004). Stable isotopes and diet: You are what you eat. In: Martini, M., Milazzo, M., Piacentini, M. (eds.), *Physics Methods in Archaeometry*. Amsterdam: IOS Press, 433–444.
- Tykot, R. H. (2006). Isotope analyses and the histories of maize. In: Staller, J. E., Tykot, R. H., Benz, B. F. (eds.), *Histories of Maize*. Burlington: Academic Press, 131–142.
- Van Der Merwe, N., Vogel, J. (1978) ¹³C Content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature* 276, 815–816
- Van Klinken, G. J. (1999). Bone collagen quality indicators. *Journal of Archaeological Science*. 26(6), 687–695.
- Zeder, M. A. (2011). The origins of agriculture in the Near East. *Current Anthropology*. 52(S4), S221–S235.