

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსანდრე რაზმაძე

**დასავლეთ გარეკახეთის ორ და სამგანზომილებიანი  
სტრუქტურული მოდელირება ნახშირწყალბადების დამჭერების  
(გეომეტრიის) და პროგნოზირების მიზნით**

სადოქტორო პროგრამა: გეოლოგია

შიფრი: 0532

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

თბილისი

2021

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის გამოყენებითი გეოლოგიის  
დეპარტამენტში

თანახელმძღვანელები:

ასოცირებული პროფესორი დავით ბლუაშვილი  
აკადემიური დოქტორი ვიქტორ ალანია

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2021 წლის "-----" -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გეოლოგიის  
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,  
კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

გეოლოგიის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს  
მდივანი, პროფესორი

მ. მარდაშოვა

## შესავალი

**თემის აქტუალობა.** საკვლევი ტერიტორია განლაგებულია არაბეთ-ევრაზიის ფილაქნების კოლიზიის შორეულ ზონაში და მოქცეულია კავკასიონს და მცირე კავკასიონს შორის. მისი გეოლოგიური პოზიცია მეცნიერთა დიდ ინტერესს იწვევს. გარეკახეთი მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ნაწილია და ერთ-ერთი საინტერესო ობიექტია ნავთობგაზიანობის თვალსაზრისით, რაც განაპირობებს ნაშრომის აქტუალობას.

**კვლევის მიზანი და ამოცანები.** კვლევის მიზანს წარმოადგენდა საკვლევი ტერიტორიის აგებულების და დეფორმაციის სტრუქტურული სტილის დადგენა. დასახული მიზნის მისაღწევად საჭირო გახდა, შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა: (1) სეისმური პროფილების სტრუქტურული ინტერპრეტაცია; (2) ზედაპირული გეოლოგიური, ჭაბურღილების მონაცემების და სეისმოპროფილების ინტერპრეტაციაზე დაყრდნობით სერიული სტრუქტურული ჭრილების აგება; (3) სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელების აგება; (5) ნავთობისა და გაზის ბუდობებისათვის პერპექტიული სტრუქტურების გამოყოფა.

**საკვლევი ობიექტის და პრობლემების ფორმულირება.** კვლევის ობიექტი გარეკახეთის დასავლეთ ნაწილში მდებარეობს (ნახ. 1). გარეკახეთი, როგორც მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ნაწილი უნიკალური ბუნებრივი ტექტონიკური ლაბორატორიაა არაბეთისა და ევრაზიის ფილაქნების კონვერგენციის შედეგების შეფასების თვალსაზრისით. კითხვები, რომლებიც ეხება საკვლევი ტერიტორიის აგებულებას და კინემატიკას შემდეგია: (1) როგორია დეფორმაციის სტრუქტურული სტილი? (2) როდის დაიწყო კუმშვითი დეფორმაცია და როგორი იყო დეფორმაციის კინემატიკა? (3) დეფორმაცია თხელ-ზეწრულია, თუ დანალექ საფართან ერთად ფუნდამენტიც არის ჩართული?

**კვლევის მეთოდები.** სეისმოპროფილების ინტერპრეტაციის, სტრუქტურული ჭრილების და სამგანზომილებიანი სტრუქტურული

მოდელის აგებისთვის გამოყენებული იყო, სპეციალური პროგრამა სტრუქტურული გეოლოგიისთვის - Move. პროგრამაში ალგორითმების სახით შეტანილია თანამედროვე სტრუქტურული გეოლოგიის, კერძოდ კი რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების გეომეტრიის და კინემატიკის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები.

**თემის მეცნიერული სიახლე და ძირითადი შედეგები.** ნაშრომში ახლებურადაა წარმოდგენილი გარეკახეთის დეფორმაციის სტრუქტურული სტილი და მისი კინემატიკური ევოლუცია. სეისმოპროფილების ინტერპრეტაციის, სერიული სტრუქტურული ჭრილების და სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელების თანახმად მტკვრის ფორლანდი თხელ-ზეწრული ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელია და მის აგებულებაში მონაწილეობს რღვევა-გალუნული, რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭები და დუპლექსები.

**ნაშრომის თეორიული ღირებულება.** ჩვენი კვლევის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა იყო მიო-პლიოცენიდან დღემდე, გარეკახეთის ფარგლებში, არაბეთისა და ევრაზიის ფილაქნების კოლიზიის შედეგების მნიშვნელობის შეფასება. ამ თვალსაზრისით საკვლევი ობიექტი უნიკალურია და მტკვრის ფორლანდის მესამეული დროის ტექტონიკური ევოლუცია, მთლიანად ასახავს რეგიონის კუმშვითი დეფორმაციის ისტორიას.

**პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სერიული სტრუქტურული ჭრილები და სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელები მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს, ნახშირწყალბადებზე ძებნა-ძიებითი სამუშაოების ჩატარებას.

**კვლევის შედეგების აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები წარდგენილი და განხილული იყო ტექნიკური უნივერსიტეტის სემინარებზე. აგრეთვე, ევროპის გეომეცნიერებათა კავშირის ყოველწლიურ კონფერენციებზე ავსტრიის ქ. ვენაში (2018, 2020).

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია შესავლის, 8 თავის, 18 ქვეთავის, დასკვნის და ნაბეჭდი 122

გვერდისაგან. ნაშრომში მოტანილია 69 ნახაზი. გამოყენებული ლიტერატურის სია შედგება 178 დასახელებისგან.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემასთან დაკავშირებით გამოქვეყნებულია 6 ნაშრომი: 4 სტატია და 2 თეზისი.

## **თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა და შესწავლილობის ისტორია**

გარეკახეთის გეოლოგიური აგებულების შესწავლას დიდი ხნის ისტორია აქვს. ამ ხნის განმავლობაში შესრულდა დიდი მოცულობის გეოლოგიური და გეოფიზიკური სამუშაოები, უპირატესად, ნავთობგაზიანობის შესწავლის მიზნით. გარეკახეთის გეოლოგიური შესწავლილობა საფუძვლიანად არის განხილული ნ. კუდრიავცევის (1938), დ. ბულიშვილის (1960), ო. სეფაშვილის (1976, 1977) და სხვათა ნაშრომებში. სხვადასხვა წლებში გარეკახეთის ტერიტორია აგემილი იქნა 1:25 000 და 1:50 000 მასშტაბში. გარეკახეთის ფარგლებში, სხვადასხვა ფართობებზე დიდი მოცულობის ბურღვითი სამუშაოებია ჩატარებული (ვახანია, პაპავა, 1996). სხვადასხვა წლებში ჩატარებული იყო აერომაგნიტური, ელექტრო და გრავიმეტრიული სამუშაოები. ჩატარებულია მნიშვნელოვანი მოცულობის სეისმური სამუშაოები, სიღრმეში დაახლოებით 7-8 კმ-მდე. სეისმოძიება შესრულებულია არეკვლილი და გარდატეხილი ტალღების მეთოდით (Иოსელიანი, 1969; Иოსელიანი и др. 1989). გამოვლინდა გარეკახეთის მნიშვნელოვანი ნაწილის, ტექტონიკური აგებულების ძირითადი მახასიათებლები. დაზუსტებული იქნა, პერსპექტიული ნაოჭების სიღრმული აგებულება და შედგენილ იქნა, უპირატესად 1:50000 მასშტაბის, სტრუქტურული რუკების მთელი სერია, რიგი ამრეკლავი ჰორიზონტებისათვის, რომლებიც დაკავშირებულია, გავრცელებული დანალექი საფარის, ცალკეულ სტრატეგრაფიულ ერთეულებთან (ცარცული, შუა და ზედა ეოცენური, მაიკოპური და სარმატული) (ვახანია, პაპავა, 1996).

გარეკახეთის გეოლოგიურ შესწავლაში განსაკუთრებული წვლილი მიუძღვის ო. სეფაშვილს (1976). მან სხვადასხვა წლებში ჩაატარა საკვლევო რაიონის სხვადასხვა მონაკვეთის 1:25000 მასშტაბის გეოლოგიური აგეგმვა, შეისწავლა თითქმის ყველა სტრუქტურა და მოგვცა მათი დეტალური აღწერა (1976, 1977).

ბოლო წლებში, ფილაქნების ტექტონიკის თეორიაზე დაფუძნებული კვლევების შედეგად მნიშვნელოვნად შეიცვალა წარმოდგენები მტკვრის ფორლანდის აგებულების, დეფორმაციის ასაკისა და მისი სტრუქტურული სტილის შესახებ. ამ მხრივ აღსანიშნავია შ. ადამიას და სხვ. (2002, 2010), ვ. ალანიას და სხვ. (2008, 2017, 2018), ლ. ბაშალეიშვილი, მ. კუმელაშვილის (2005), ა. ფორტეს და სხვ. (2010), ჯ. მოსარის და სხვ. (2010), მ. ნემჩოკის და სხვ. (2013), ე. რობინსონის და სხვ. (1997), კ. სობორნოვის (1996), ჰ. ფილიპის და სხვ. (1989), ვ. ხაინის (1975) და სხვათა შრომები.

## **თავი 2. კავკასიის რეგიონული ტექტონიკა**

კავკასიის რეგიონი მოქცეულია გეოლოგიური წარსულის ოკეანე ტეთისის აქტიურ მთიან სარტყელში და გეომეცნიერების კვლევის დიდ ინტერესს წარმოადგენს. კავკასიის რეგიონის ტექტონიკის შესწავლას მრავალი გამოკვლევა მიემდვნა, რაც ასახულია ალ. ჯანელიძის, ივ. კახაძის, გ. ძოწენიძის, პ. გამყრელიძის, ვ. ხაინის და სხვათა შრომებში. ბოლო 50 წლის განმავლობაში რეგიონის აგებულება, ფილაქნების ტექტონიკის თეორიის საფუძველზე დაყრდნობით, ახლებურადაა განხილული (Adamia, 1975; Adamia et al., 1977, 1981; Alania et al., 2021; Dercourt et al., 1986; Dewey et al., 1973; Khain, 1975; Gamkrelidze, 1986; Mosar et al., 2010; Philip et al., 1989; Roland, 2017; Sosson et al., 2010, 2016; Stampfli, 2000; Yilmaz et al., 2000 და სხვა).

გეოლოგიურ წარსულში რეგიონის ლითოსფერო ხასიათდებოდა თანამედროვე წყნარი ოკეანის აზიური სანაპიროს მსგავსი გეოლოგიურ-მორფოლოგიური აგებულებით, წარმოადგენდა ოკეანე ტეთისი-ევრაზიის კონტინენტის გარდამავალ არეში არსებულ კუნძულთა რკალების, კიდურა

თუ რკალსშუა აუზების რთულ სისტემას (Adamia, 1975; Adamia et al., 1977, 1981; Deway et al., 1973; Khain 1974). მისი დღევანდელი გეოლოგიური სტრუქტურა ჩამოყალიბდა გვიანკაინოზოურ დროში (-ბოლო 15-10 მლნ. წელი), თუმცა მისი ევოლუცია ამჟამადც მიმდინარეობს, რაც გამოწვეულია აფრიკის და არაბეთის ჩრდილოეთისკენ -20-30მმ/წ სიჩქარით მოძრაობის გამო (Reilinger, Barka, 1997). მცირე კავკასიონის ფორმირება დაკავშირებული იყო სამ ძირითად ტექტონიკურ მოვლენასთან: (1) ოფიოლიტების ობდუქცია ზედა ცარცულ დროში სამხრეთ სომხეთის ბლოკზე, (2) პალეოცენ-ეოცენურ დროში სამხრეთ სომხეთის ბლოკის და ევრაზიის აქტიური კიდის კოლიზია და (3) არაბეთ-ევრაზიის კოლიზია ოლიგოცენ-მიოცენურ დროში (Sosson et al., 2010). ა. ოკაის და სხვ. (Okay et al., 2010) მიხედვით, ბითლის-ზაგროსის შეცოცებით ზონაში, აპატიტებზე ტრეკული მონაცემების მიხედვით, არაბეთ-ევრაზიის კოლიზიის საწყის ასაკად ქვედა მიოცენია მიჩნეული (-20 მლნ.წ). კოლიზიის შედეგად ადგილი ჰქონდა შორეული კიდურა აუზების ინვერსიას და კავკასიონის და მცირე კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლების ფორმირებას (Adamia et al, 1977, 1981, 2010, 2011; Khain, 1974; Mosar et al., 2010). აპატიტებზე ჩატარებული ტრეკული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ მცირე კავკასიონის ფარგლებში ადგილი ჰქონდა ორ თანმიმდევრულ ექსჰუმაციის სტადიას (ადრეული-შუა მიოცენი და შუა მიოცენი-პლიოცენი), რომელიც დაკავშირებული იყო არაბეთ-ევრაზიული ფილაქნების კონვერგენციასთან (Cavazza et al. 2017, 2019). აღმოსავლეთ აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში ჩატარებული მსგავსი კვლევების მიხედვით, აჭარა-თრიალეთის ცარც-პალეოცენური ასაკის ჭიმვითი აუზის ინვერსია და მისი ნაოჭა-შეცოცებით სტრუქტურად ჩამოყალიბება დაიწყო შუა მიოცენიდან (Gusmeo et al., 2020). იდენტური ასაკია მიღებული აღმოსავლეთ აჭარა-თრიალეთის ფრონტულ და მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში არსებულ სეისმოპროფილებში,

მზარდი (ან სინტექტონიკური) ნალექების გეომეტრიის და ასაკების გათვალისწინებითაც (Alania et al., 2017).

კავკასიონის აუზის ინვერსია და შემდგომი ევოლუცია დაკავშირებული იყო ორ კუმშვით დეფორმაციის ფაზასთან: (1) ადრეული, სიმეტრიული ინვერსია (ზედა ეოცენის ბოლო-ოლიგოცენი) და (2) ასიმეტრიული (მიოცენი-პლიოცენი), ჩრდილო და სამხრეთ-ვერგენტული სტრუქტურების ფორმირება. ასიმეტრიულ შეკუმშვასთან უნდა იყოს დაკავშირებული კონტინენტური ქერქის სუბდუქცია. ამ პერიოდში ადგილი ჰქონდა როგორც რიონის, ასევე მტკვრის ფორლანდურ აუზებში სინ-ოროგენული ნალექების დაგროვებას და შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზების ფორმირებას (Alania et al., 2021).

## 2.1 თანამედროვე ტექტონიკური დარაიონება

საქართველო როგორც კავკასიის ან შავი ზღვა – კასპიის ზღვის რეგიონის ნაწილი, მოქცეული ვერაზიის და არაბეთის ლითოსფერული ფილების გვიანკაინოზოური კონტინენტური კოლიზიის ვრცელ არეში, წარმოადგენს ერთიანი ალპურ-ჰიმალაური ოროგენული სარტყლის ნაწილს. შ. ადამიას და სხვ. (Adamia et al., 2011), ახალი ტექტონიკური სქემის მიხედვით საქართველოს ტერიტორიის ფარგლებში გამოიყოფა შემდეგი ტექტონიკური ერთეულები: (1) კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცებითი მთიანი სარტყელი; (2) აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი მთიანი სარტყელი; (3) საქართველოს ბელტი (ფორლანდი - რიონი და მტკვარი) გამოყოფილი ერთმანეთისაგან ძირულა-ოკრიბას აზეგებით; და (4) ართვინ-ბოლნისის ბელტი. ვ. ალანიას მიხედვით (2019, 2021) მსგავსად კავკასიონის, მცირე კავკასიონი ორმაგი სოლის ოროგენია და წარმოდგენილია პრო- და რეტრო სოლებით; ართვინ-ბოლნისის ბელტი და აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი რეტრო სოლის შემადგენელი ნაწილებია. უნდა აღინიშნოს, რომ კავკასიონის აგებულების შესახებ განსხვავებული მოსაზრებებია, კერძოდ კავკასიონის აღმოსავლეთ და ცენტრალური



(გარდამავალი ზონა) ნაწილებისათვის დამახასიათებელია ორმაგი სოლის გეომეტრია, ხოლო მისი დასავლეთ ნაწილი კი მონოვერგენტულია (Cowgill et al., 2016; Forte et al., 2014). ვ. ალანიას და სხვ. მიხედვით (2021) კავკასიონის დასავლეთ ნაწილი, ისევე, როგორც მისი ცენტრალური და აღმოსავლეთ ნაწილები ორმაგი სოლის (ბივერგენტული) ოროგენია.

### **თავი 3. მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი**

მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი, როგორც ბუნებრივი ტექტონიკური ლაბორატორია გვიჩვენებს კავკასიის რეგიონის გვიანკაინოზოური დეფორმაციის ისტორიას (Alania et al., 2017a). მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი მოქცეულია კავკასიონს და მცირე კავკასიონს შორის და მოიცავს საქართველოს და აზერბაიჯანის ტერიტორიებს.

მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი ზედაპირზე წარმოდგენილია ნეოგენური და მეოთხეული ასაკის მარჩხი ზღვის და მძლავრი კონტინენტური ნალექებით და ამ ნალექების სტრატეგრაფია ძირითადად ასახავს მტკვრის ფორლანდური აუზის ევოლუციას. მტკვრის ფორლანდი ოლიგოცენურიდან ქვედა მიოცენის ჩათვლით წარმოადგენდა ტიპიურ ფორლანდურ აუზს, რომელმაც შუა მიოცენურ - პლიოცენურ-პლეისტოცენურ დროში განიცადა კუმშვითი დეფორმაცია (Alania et al., 2008, 2017, 2018). დეფორმაციაში ჩართული სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული შეცოცებებით (Adamia et al., 2002; 2010; Alania et al., 2008, 2017, 2018; Forte et al., 2010). თანამედროვე და ისტორიული მიწისძვრების და GPS მონაცემების მიხედვით მტკვრის ფორლანდი აქტიური ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელია (Adamia et al., 2004; Reilinger et al., 2006; Tsereteli et al., 2016). GPS მონაცემების მიხედვით, კავკასიონისა და მცირე კავკასიონის კონვერგენციის სიჩქარე მტკვრის ფორლანდის ფარგლებში (აზერბაიჯანის ტერიტორია) შეადგენს -14 მმ/წ. (Reilinger et al., 2006).

### 3.1 ფორლანდური აუზის ტიპები და ევოლუცია

ტერმინი “*ფორლანდი*“ შემოღებული იყო ე. ზუსის (1909) მიერ და მისი ძირითადი იდეა მდგომარეობდა იმაში, რომ ფორლანდი, ანუ მთის წინ მდებარე ნაწილი განლაგებულია ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლების წინ და თანმიმდევრული დეფორმაციის (ერთი მიმართულებით) პირობებში, მის გვიან სტადიაზე განიცდიდა დეფორმაციას. ჰ. შტილეს (1936) მიხედვით ეს არის დიდი ტექტონიკური ზონა, რომელიც არ განიცდიდა ალპური ტიპის დეფორმაციას და წარმოადგენდა კონსოლიდირებულ ზონას, რომლისთვისაც მხოლოდ დამახასიათებელი იყო ბლოკური დეფორმაცია. ე. ჰილსის (1940) მიხედვით კი ფორლანდი არის სტაბილური ბლოკი რომლის მიმართულებითაც დეფორმაციის დროს ადგილი აქვს ეროდირებული მასალის გადატანას და დალექვას.

ვილაქნების ტექტონიკის თეორიიდან გამომდინარე მთიანი სარტყლების წინ განლაგებულ დაძირულ რეგიონს უწოდებენ “*ფორლანდის სედიმენტაციურ აუზებს*“ (ან სტრუქტურული აუზი) (Dickinson, 1974). მათი ფორმირება დაკავშირებულია კომპრესიულ ტექტონიკასთან და არჩევენ ორი ტიპის აუზებს: (1) პერიფერული ფორლანდური აუზები (აუზები დაკავშირებული კონტინენტ-კონტინენტის კოლიზიასთან) და (2) რეტრო-რკალური ფორლანდური აუზები (აუზები დაკავშირებული ოკეანური ლითოსფეროს სუბდუქციასთან კონტინენტური ლითოსფეროს ქვევით) (DeCelles, Giles 1996; Dickinson, 1974). პერიფერიული ფორლანდური აუზები უმეტეს შემთხვევაში განლაგებულია ორმაგი სოლის (ბივერგენტული) ოროგენის ორივე მხარეს და წარმოადგენილია პრო- და რეტრო-სოლების ფორლანდური აუზებით. განსხვავებული სურათია კავკასიის რეგიონში. მსგავსად აპენინები-ალპების და პამირ-ტიანშანის, მცირე კავკასიონი-კავკასიონის მაგალითზე, რომელიც არაბეთ-ევრაზიის კოლიზიის შორეულ ზონაშია განლაგებული შეიძლება გამოიყოს ფორლანდური აუზების მესამე ტიპი; ფორლანდური აუზები განლაგებული ორი ოროგენის კონვერგენციის ზონაში - რიონის და მტკვრის ფორლანდური აუზები მდებარეობს მცირე

კავკასიონის რეტრო-სოლსა და კავკასიონის პრო-სოლებს შორის (Alania et al., 2021b).

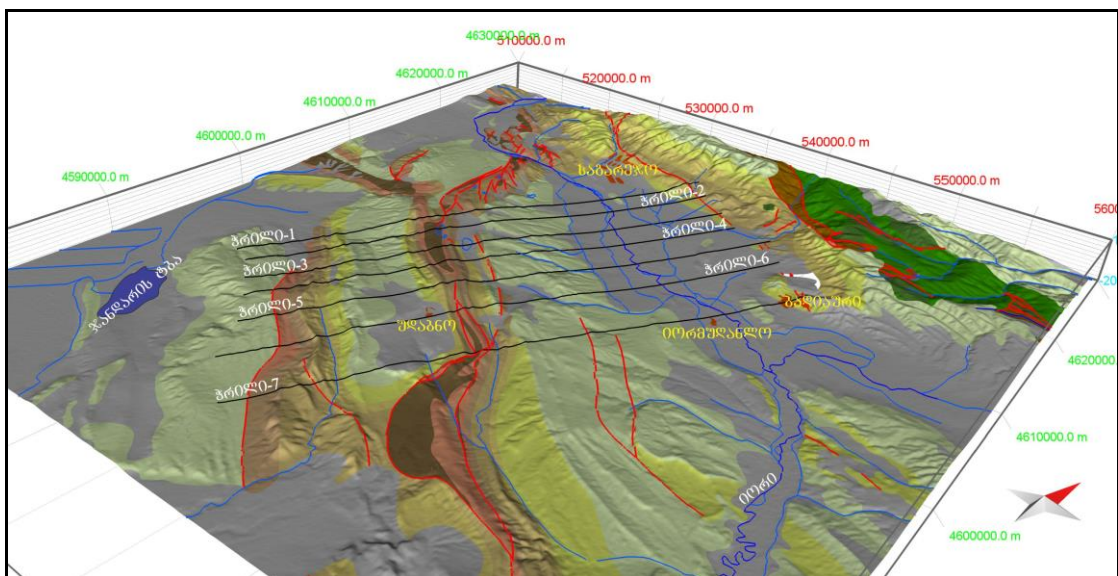
### **3.2 მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის გეომეტრია და კინემატიკური ევოლუცია**

მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული შეცოცებებთან დაკავშირებული ნაოჭებით (Adamia et al., 2010; Alania et al., 2008, 2017, 2018; Forte et al., 2010; Башелейшвили, Кумелашვილი 2005; Nemcok et al., 2011; Mosar et al., 2010; Phillip et al., 1989). ა. ფორტეს და სხვ. (2010) მიხედვით წარმოდგენილ მოდელში მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში განვითარებულია ძირითადად სამხრეთ-ვერგენტული რღვევა-გალუნული ნაოჭები. ვ. ალანიას და სხვ. მიხედვით (2012, 2008, 2017, 2018) კი კუმშვითი სტრუქტურები წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭებით (რღვევა-გავრცელებადი და რღვევა-გალუნული ნაოჭებით) და დუპლექსებით რომლებიც აგებულია მაიკოპური (ოლიგოცენ-ადრე მიოცენი), შუა მიოცენური, გვიან მიოცენური და პლიოცენური ნალექებით.

თხელ-ზეწრული და სქელ-ზეწრული ტექტონიკის კონცეფციიდან (Pfiffner, 2006) გამომდინარე განსხვავებული მოდელებია წარმოდგენილი მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის დეფორმაციის სტრუქტურული სტილის, გეომეტრიის და დეფორმაციის კინემატიკის თვალსაზრისით (Adamia et al., 2002, 2010; Alania et al., 2008, 2017, 2018; Forte et al., 2010; Nemcok et al., 2011; Phillip et al., 1989; Башелейшвили, Кумелашვილი 2005). მკვლევართა ერთი ნაწილის მიხედვით მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი თხელ-ზეწრული სტრუქტურაა, ანუ დეფორმაციაში ფუნდამენტი არ მონაწილეობს (Adamia et al., 2002, 2010; Alania et al., 2008, 2017, 2018; Forte et al., 2010), ხოლო მეორე შეხედულების თანახმად კი დეფორმაციაში დანალექ საფართან ერთად ფუნდამენტიც მონაწილეობს და მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი

სქელ-ზეწრული სტრუქტურა (Башелейшвили, Кумелашვილი 2005; Nemcok et al., 2011; Phillip et al., 1989).

მტკვრის ფორლანდის აუზის ფარგლებში დეფორმაცია დაიწყო შუა მიოცენიდან. თავდაპირველად მან მოიცვა აუზის კიდურა ნაწილები (Alania et al., 2017). აღსანიშნავია, რომ სწორედ ბოლო 5 მლნ/წ. უკან დაიწყო კოლოზიურ ზონაში ლითოსფერული ფილაქნების რეორგანიზაცია, არაბეთის ფილაქანი "შუბლით" მიაწვა ევრაზიის ფილაქანს, რამაც საგრძნობლად გაზარდა კოლიზიის შორეულ ზონაში კავკასიონის ექსჰუმაციის ტემპი (Allen et al., 2003; Allen, 2004; Avdeev, Niemi 2011; Vincent et al., 2007, 2011). ამ დროიდან იწყება ზაგროსის ნაოჭა-შეცოცებითი ზონის, სამხრეთ კასპიის ზღვის და რიონი-მტკვრის ფორლანდურ აუზებში ნაოჭების ფორმირება (Adamia et al., 2010; Banks et al., 1997; Devlin et al., 1999; Forte et al., 2010). ლითოსფერული ფილაქნების რეორგანიზაციის და დეფორმაციის აჩქარების ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი ალბათ იყო წითელ ზღვაში ოკეანური სპრედიუნგის დაწყება (Allen et al., 2003).



**ნახაზი 1.** საკვლევ ტერიტორიის (დასავლეთ გარეკახეთი) გეოლოგიური რუკა ო. სეფაშვილის მიხედვით (1977). შავი ფერის ხაზებით აღნიშნულია სერიული სტრუქტურული ჭრილების განლაგების ხაზები.

## თავი 4. გარეკახეთის გეოლოგიური აგებულება

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს დასავლეთ გარე კახეთის ტერიტორია, რომელიც მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის შემადგენელი ნაწილია (ნახ. 1). გარეკახეთის ოროგრაფია წარმოდგენილია მთაგრეხილებით და დეპრესიებით. მთაგრეხილებს ძირითადად აქვთ თითქმის განედური მიმართულება და მათ აგებულებაში მონაწილეობენ ნეოგენური-მეოთხეული ასაკის ნალექები.

### 4.1. სტრატეგრაფია

ოლიგოცენ-ქვედა მიოცენური, შუა-გვიან მიოცენური და პლიოცენ-პლეისტოცენური ნალექები წარმოდგენილია მარჩხი ზღვის და სქელი კონტინენტული ნალექებით. ოლიგოცენ-ქვედამიოცენური ნალექები ე.წ. მაიკოპური ფაციესით არის წარმოდგენილი, ოკეანესთან შეზღუდული კავშირის მქონე ზღვიური (ევქსინური) წარმონაქმნი. მის შემადგენლობაში წამყვანია თაბაშირიანი და იაროზიტის თიხები, დამორჩილებული - ქვიშაქვები (Adamia et al., 2010; Buleishvili, 1960). შუა მიოცენი არის მარჩხი ზღვის, უპირატესად წარმოდგენილი წვრილნატეხოვანი ტერიგენული კლასტოლითებით, კირქვებით (ხშირია ლუმაშელი) და მერგელებით კონგლომერატების იშვიათი შუაშრეებით. მისი სიმძლავრე გარე კახეთში შეადგენს 100-120მ (Adamia et al., 2010).

გვიან მიოცენური ნალექები მარჩხი ზღვის და კონტინენტური ნალექებით არის წარმოდგენილი (ქვიშაქვები, გრაველიტები, ქვიშიანი თიხები და კონგლომერატები; სიმძლავრე 2000-3000მ). ამ ნალექებში კარგად დაიკვირვება ლითოლოგიური სხვაობა მტკვრის ფორლანდის ჩრდილო და სამხრეთ პერიფერიებს შორის. ჩრდილოურ ფაციესში ქვარგვალეები კავკასიონის ფლიშით არის წარმოდგენილი, ხოლო სამხრეთში – მცირე კავკასიონის ვულკანური, მაგმური, მეტამორფული და სხვ. ქანებით (Adamia et al., 2010; Chubinishvili, 1982). პლიოცენ-პლეისტოცენური (აღჩაგილ-აფშერონული) ნალექები წარმოდგენილია როგორც ზღვიური, ასევე კონტინენტური ნალექებით (Adamia et al., 2010; Buleishvili, 1960).

აღმოსავლეთ საქართველოში მეოტურ-პონტური ასაკის ზედა მოლასას სტრატиграფიული ხარვეზით უთანხმოდ მოყვება პლიოცენური-პლეისტოცენური ნალექები და წარმოდგენილია ქვიშაქვების, ქვიშიანი თიხების, გრაველითებისა და კონგლომერატების მორიგეობით. მათი სიმძლავრე ცვალებადია, მერყეობს ათეულიდან ათასეული მეტრის ფარგლებში (მაგ. გარეკახეთი, შირაქი, -1500მ) (Buleishvili, 1960).

#### **4.2. სტრუქტურები**

გარეკახეთის ფარგლებში განვითარებულია მორფოლოგიურად კარგად გამოხატული ხაზოვანი ნაოჭები, რომლებიც გართულებულია შესხლეტვა-შეცოცვებით (Сепашვილი, 1976). საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში (დასავლეთ გარეკახეთი), სეისმური კვლევების, სავლე გეოლოგიური სამუშაოების, სტრუქტურული და ღრმა ბურღვის შედეგად, გამოყოფილია შემდეგი სტრუქტურები: კაკაბეთის, წიწმატიანის, ლამბალოს, სათიბეს, მწარეხვის, სახარეტის, უდაბნოს და რუსთავი-ნაცვალწყლის ანტიკლინები (Геология СССР, 1964; Дзиграшвили, Гвенетадзе, 1963; Булеიшვილი, Сепашვილი, 1960; Гедройц, Цибих, 1932; Сепашვილი, 1977). ანტიკლინებისათვის დამახასიათებელია ვიწრო, ასიმეტრიული აგებულება და ფართო სინკლინები (Башелейшვილი, Кумелашვილი 2005; Булеიшვილი, 1960; Сепашვილი, 1976). სინკლინები ძირითადად ამოვსებულია მათზე უთანხმოდ განლაგებული ალჩაგილ-ავშერონული კონტინენტური ნალექებით (Alania et al., 2008, 2017, 2018; Булеишვილი, 1960; Сепашვილი, 1976).

### **თავი 5. სეისმური პროფილების სტრუქტურული ინტერპრეტაცია**

კვლევის ძირითადი საკითხი, რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორიის გამოყენებით (Shaw et al., 2006) სეისმური პროფილების ინტერპრეტაცია და მათზე დაყრდნობით სერიული სტრუქტურული ჭრილების აგება იყო (იხ. თავი 6). როგორც ცნობილია, ზედაპირული

გეოლოგიური და ღრმა ჭაბურღილების მონაცემების გამოყენებით რთულია რეალური სიღრმული აგებულების დადგენა და კომპლექსური სურათის წარმოსადგენად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სეისმურ პროფილებს (Shaw et al., 2006). რეალობასთან ახლოს მყოფი მოდელების მისაღებად, აუცილებელია თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით არსებული მონაცემების გადამუშავება და ინტერპრეტაცია და ახალი საველე-გეოლოგიური მონაცემების და სეისმური პროფილების გამოყენება.

### **5.1 მონაცემები**

ნავთობისა და გაზის ძებნა-ძიების მიზნით გარეკახეთის ფარგლებში ჩატარებულია მნიშვნელოვანი მოცულობის სეისმური სამუშაოები, სიღრმეში 7-8 კმ-მდე. საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში და სეისმური პროფილების გასწვრივ ჩავატარეთ საველე-გეოლოგიური სამუშაოები, რომლის ძირითადი მიზანი იყო სტრატეგრაფიული ერთეულების განლაგების ელემენტების, რღვევების და ნაოჭების გეომეტრიის დადგენა. სეისმური პროფილების ინტერპრეტაციის დროს გამოყენებული იყო 1:50000 მასშტაბის გეოლოგიური რუკის (Сепашвили, 1977), ჭაბურღილების და ზედაპირული გეოლოგიური მონაცემები.

### **5.2 მეთოდები**

სეისმური პროფილების ინტერპრეტაცია ჩატარდა Move-ის სპეციალური სტრუქტურული გეოლოგიის კომპიუტერული პროგრამის მეშვეობით. კომპიუტერულ პროგრამაში გამოყენებულია რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორიის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები და შეტანილია მათში ალგორითმების სახით (მაგ. რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭი, რღვევა-გალუნული ნაოჭი). Move-ის პროგრამისთვის შეიქმნა პროექტი რომელშიც შეყვანილი იყო სეისმოპროფილები (SGY ფორმატი), ჭაბურღილების მონაცემები და 1:50000 მასშტაბის, გეოლოგიური რუკა ო. სეფაშვილის (1977) მიხედვით.

სეისმური პროფილების ინტერპრეტაციისთვის გამოყენებული იყო რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორია, რომელიც დაფუძნებულია სტრუქტურების რაოდენობრივ გეომეტრიულ მოდელირებაზე. ნაოჭა-შეცოცებით სარტყლებში სამი ტიპის ნაოჭებს გამოყოფენ: მოწყვეტის, რღვევა-გალუნულ და რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებს (Jamison, 1987; Mitra, Namson, 1989; Suppe, 1983; 1985; Suppe et al., 1992). როგორც ცნობილია ეს სტრუქტურები ძირითადად ქმნიან მძლავრ ნახშირწყალბადების დამჭერებს ნაოჭა-შეცოცებით სარტყლებში (Shaw et al., 2006). მოწყვეტის ნაოჭები ძირითადად დაკავშირებულია და განვითარებულია პლასტიურ შრეებში (ევაპორიტები, თიხები და ა. შ.). მოწყვეტის ზედაპირი (დეტაჩმენტი) შრეებრიობის პარალელურია და მის ზევით ან დაბოლოებაზე ვითარდება ნაოჭი.

განსხვავებით მოწყვეტის ნაოჭებისაგან (detachment fold), რღვევა-გალუნული (fault-bend) და რღვევა-გავრცელებადი (fault-propagation) ნაოჭებისათვის დამახასიათებელია შრეებრიობის პარალელური და ირიბი (რამპი) სეგმენტები. რღვევა-გალუნული ნაოჭისთვის დამახასიათებელია შრეებრიობის პარალელური-ირიბი-შრეებრიობის პარალელური სეგმენტები (Suppe, 1983a). მათზე მექანიკურად გადაადგილდება ზედა ბაგე და რამპის თავზე განიცდის გალუნვას. რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებში შეცოცების გადაადგილების ამპლიტუდა ნაოჭის ფორმირების ხარჯზე, რამპის დაბოლოებაზე 0-ს ტოლია (Suppe, 1985). რღვევა-გალუნულ ნაოჭებში, ისევე როგორც რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებში უკანა ფრთის დახრის კუთხე რამპის დახრის კუთხის პარალელურია. წინა ფრთის დახრის კუთხე კი ყოველთვის რამპის კუთხეზე მეტია (Suppe, 1983). რღვევა-გალუნულ და რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებში რღვევის და ნაოჭების ფორმირება სინქრონულია (Suppe, 1983, 1985).

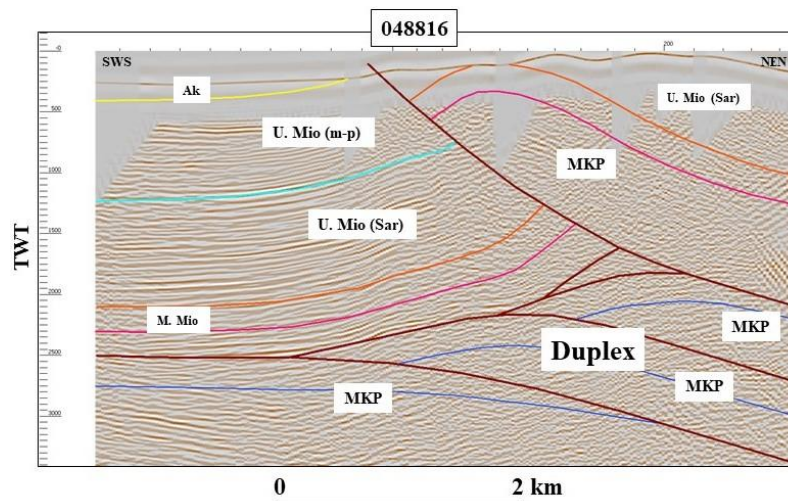
არჩევნ მეორე გენერაციის რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებს (Mercier, 1990; Mitra, 1990; Suppe, 1985; Shaw et al., 2006), რომლებშიც რამპის დაბოლოებიდან სინკლინის ღერძის პარალელურად ვითარდება რღვევა და



მათზე ხდება მოძრაობა. რღვევა-გალუნილი და რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებთან დაკავშირებულ სინ-ტექტონიკურ ნალექებს გეოლოგიურ ლიტერატურაში ხშირად მზარდ ნალექებს უწოდებენ (იხ. თავი 7).

### 5.3 შედეგები

სეისმური პროფილების (დროითი მიგრაცია) ინტერპრეტაციისათვის გამოყენებული იყო როგორც ქაღალდის, ასევე SGY ფორმატის მონაცემები. სეისმოპროფილები ჩატარებული იყო გასული საუკუნის 80-90-იან წლებში საქნავთობის მიერ. სეისმური პროფილები სდს-ჩაჩ მიმართულებისაა და კვეთს უდაბნოს, მწარეხვის და სახარეტბის სტრუქტურებს.



ნახაზი 2. ინტერპრეტირებული სეისმური (დროითი) პროფილი 048816.

ინტერპრეტირებული სეისმური პროფილები გვიჩვენებს უდაბნოს ანტიკლინის, უდაბნოს სინკლინის, სახარეტბის და მწარეხვის ანტიკლინების სიღრმულ აგებულებას. სახარეტბის ანტიკლინის ქვევით განვითარებულია სამხრეთ-ვერგენტული დუპლექსები, რომლებიც აგებულია მაიკოპური ნალექებით. სეისმური პროფილების მიხედვით ძირითადი მოწყვეტის ზედაპირი განვითარებულია მაიკოპურ ნალექებში. მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია 048816 სეისმური პროფილის ინტერპრეტაციის მაგალითი. ინტერპრეტირებული სეისმური პროფილების მიხედვით უდაბნოს და სახარეტბის ანტიკლინები წარმოდგენილია II გენერაციის

რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭებით, მწარეხევის ანტიკლინი კი I გენერაციის რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭით.

#### 5.4 დისკუსია

ჭაბურღილების, ზედაპირული გეოლოგიური მონაცემები და სეისმოსტრატოგრაფიული კორელაცია გვამღევს საშუალებას განვსაზღვროთ, თუ რომელი ლითო-სტრატოგრაფიული დანაწილება შეესაბამება სეისმოპროფილების ამა თუ იმ დონეს. სეისმური პროფილებისათვის ძირითადად დამახასიათებელია შედარებით მარტივი სურათი – მიზნობრივი ჰორიზონტები დროთა ველზე წარმოდგენილნი არიან ერთნაირი ამპლიტუდურ-სიხშირული დიაპაზონით. ამ შემთხვევაში მიზნობრივი ჰორიზონტების სეისმოსტრატოგრაფიული კორელაცია სირთულეს არ წარმოადგენს და შესაბამისად ინტერპრეტაციის შედეგები მაღალი სიზუსტით გამოირჩევა. სეისმური პროფილები საკვლევ ტერიტორიის სამხრეთ და ცენტრალურ ნაწილებში აგებულია ნეოგენური ნალექებით (ზღვიური და კონტინენტური ნალექებით) და მათთვის დამახასიათებელია ორი-სამი ან მეტი ფაზიანი ინტენსიური ტალღები - ფიქსირდება ერთმანეთის პარალელური, მკვეთრად დინამიური ჰორიზონტები, რომლებიც ხშირ შემთხვევაში გაწყვეტილია და გართულებულია შეცოცებებით. უდაბნოს და მწარეხევის ფართობებზე გამავალ დროითი სეისმური ჭრილების ზედა ნაწილებში დაიკვირვება ეროზიული უთანხმოება, რომელიც ალბათ შირაქის წყების ზედა ნაწილებს ან პლიოცენის ქვედა დონეებს უნდა შეესაბამებოდეს. სეისმოპროფილებზე ასევე კარგად დაიკვირვება სამხრეთ-ვერგენტული შეცოცებების და რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების და დუპლექსების გეომეტრია.

## **თავი 6. ორ და სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელები**

სეისმური პროფილების, ჭაბურღილების და ზედაპირული გეოლოგიის მონაცემებზე დაყრდნობით აგებულია, 7 სერიული-სტრუქტურული ჭრილი. სერიულ-სტრუქტურული მონაცემების გამოყენებით აგებულია, როგორც რღვევების და შეცოცებების სამგანზომილებიანი სტრუქტურული, ასევე მაიკოპის, შუა მიოცენის და ზედა მიოცენის (სარმატი და მეოტის-პონტური) სახურავის სამგანზომილებიანი მოდელები.

### **6.1 მეთოდები**

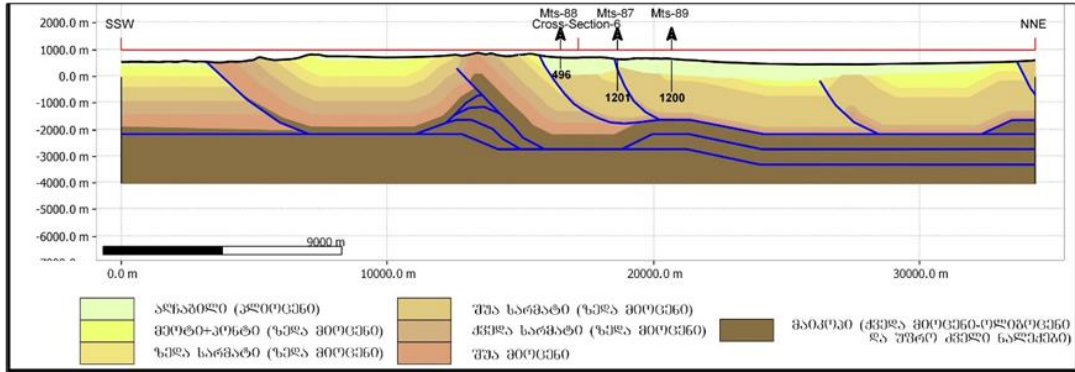
სერიული სტრუქტურული ჭრილების აგებისთვის გამოყენებული იყო რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორია (იხ. თავი 5). სერიული-სტრუქტურული ჭრილების და სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელების აგება ჩატარდა, პროგრამა Move-ის გამოყენებით. სერიული სტრუქტურული ჭრილების აგებისთვის გამოყენებული იყო რელიეფის, ო. სეფაშვილის (1976) 1:50,000 მასშტაბის გეოლოგიური რუკა (ნახ. 1), ინტერპრეტირებული სეისმური პროფილების და ზედაპირული გეოლოგიური მონაცემები.

### **6.2 შედეგები**

#### **6.2.1 სერიული სტრუქტურული ჭრილები**

სერიული სტრუქტურული ჭრილები მოიცავს დასავლეთ გარეკახეთის ტერიტორიას. სერიული სტრუქტურული ჭრილები გადადის უდაბნოს, სახარეტის, მწარეხვის, ლამბალოს ანტიკლინებზე. მე-3 ნახაზზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი სტრუქტურული ჭრილის მაგალითი. სერიულ სტრუქტურულ ჭრილებზე კარგად დაიკვირვება ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის გეომეტრია. სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული, რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭებით და დუპლექსებით. ძირითადი მოწყვეტის ზედაპირის ზევით განვითარებული

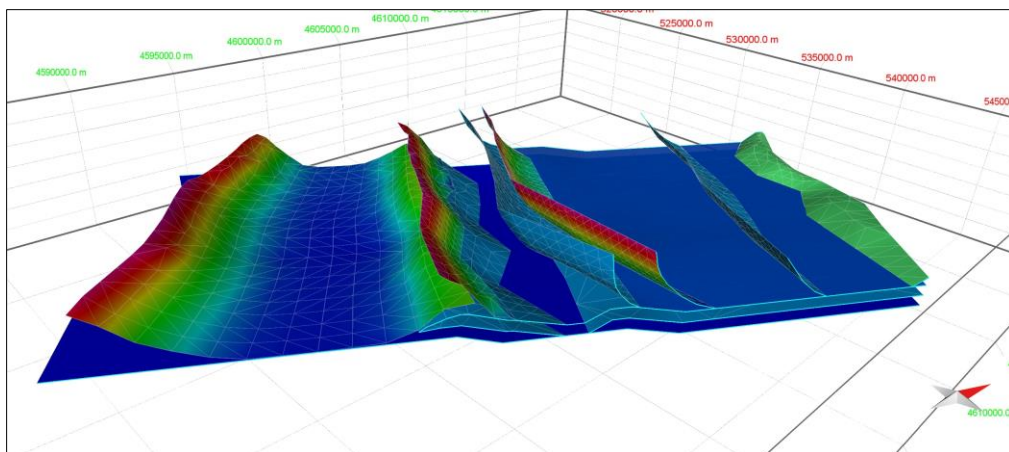
ნაოჭები აგებულია: მაიკოპური, მიოცენური და პლიოცენური ასაკის ნალექებით. სამხრეთ-ვერგენტული დუბლექსები აგებულია მაიკოპური ნალექებით (ნახ. 3).



ნახაზი 3. სტრუქტურული ჭრილი #6. ჭრილის განლაგება ნაჩვენებია ნახაზი 1.

### 6.2.2 სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელები

სერიული სტრუქტურული ჭრილების გამოყენებით, ავადეთ რღვევების და ცალკეული ჰორიზონტებისთვის, სამგანზომილებიანი მოდელები. სერიული სტრუქტურული ჭრილებიდან შევარჩიეთ ცალკეული ჰორიზონტების, რღვევების და შეცოცებების სიბრტყეები და გავაერთიანეთ. გამოყავით ოთხი ჰორიზონტი: მაიკოპის, შუა მიოცენის, ზედა მიოცენის (სარმატის) და ზედა მიოცენის (მეოტის-პონტი). მე-4 ნახაზზე ნაჩვენებია საკვლევი ტერიტორიის შეცოცებების სამგანზომილებიანი მოდელი.



ნახაზი 4. შეცოცებების სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელი.

ხედი აღმოსავლეთიდან.

### 6.3 დისკუსია

დ. პაპავას (2007) მიხედვით, დასავლეთ გარეკახეთის სტრუქტურები დაკავშირებულია ერთიან მოწყვეტის ზედაპირთან, რომელმაც გვიან მიოცენურ დროში უკვე ჩამოყალიბებული სტრუქტურების მოწყვეტას შეუწყო ხელი, რაც უკავშირდებოდა, კავკასიონის მასების ჩრდილოეთიდან სამხრეთი მიმართულებით გადაადგილებას. მიოცენურ დრომდე ჩამოყალიბებული (დეფორმირებული) სტრუქტურების ფორმირება განპირობებულია, აღმოსავლეთ აჭარა-თრიალეთის სამხრეთიდან ჩრდილოეთი მიმართულებით გადაადგილებასთან (პაპავა, 2007). ორ და სამგანზომილებიანი მოდელებიდან ჩანს, რომ სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭებით და დუპლექსებით. სერიულ სტრუქტურულ ჭრილებზე კარგად დაიკვირვება ორი მოწყვეტის ზედაპირი: ზედა მოწყვეტის ზედაპირი განვითარებულია მაიკოპი-შუა მიოცენის საზღვარზე, ხოლო ქვედა (ძირითადი) მოწყვეტის ზედაპირი განვითარებულია მაიკოპური თიხაფიქლების დონეზე. მოწყვეტის ზედაპირები ერთიანდება სახარეტის ანტიკლინენის ქვეშ განვითარებული დუპლექსების დაბოლოებაზე (ნახ. 3). წარმოდგენილი სტრუქტურული ჭრილების მიხედვით, სტრუქტურები თხელ-ზეწრულია და მათი ფორმირება დაიწყო გვიან მიოცენურ დროში.

### თავი 7. თანმიმდევრული კინემატიკური მოდელირება

თანმიმდევრული კინემატიკური მოდელირება შეიქმნა გეოლოგიური ჭრილების თანმიმდევრული გეომეტრიის რეკონსტრუქციისათვის და ასახავს ნაოჭის, შეცოცების ან ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის კინემატიკურ ევოლუციას (Suppe, 1983; 1985; Edignoux, Mugnier, 1990; Mercier, 1990 და სხვა). გეოლოგიურ ლიტერატურაში ის ასევე ცნობილია პროგრესული კინემატიკური მოდელირების სახელით (Edignoux, Mugnier, 1990).

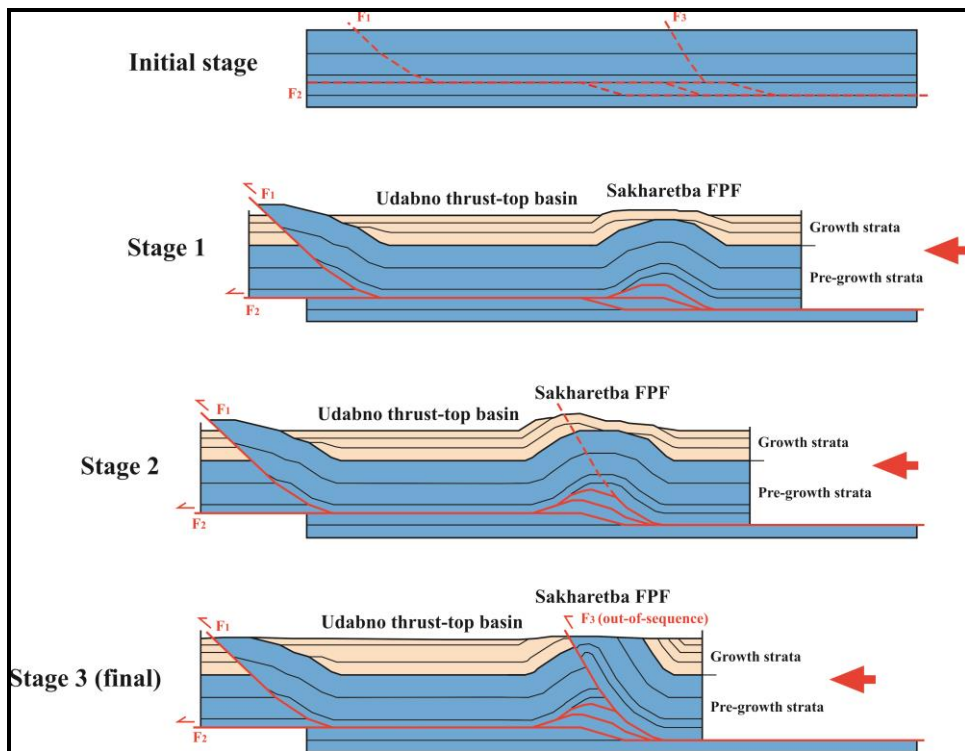
## 7.1 მეთოდი

თანმიმდევრული კინემატიკური მოდელირება დაფუძნებულია შერჩეულ სტრუქტურულ (ან ბალანსირებულ) ჭრილებზე. მოდელირებას იწყებენ ჭრილის საწყისი, რეკონსტრუირებული პოზიციიდან და მიდიან საბოლოო, დამამთავრებელ პოზიციამდე, როგორც გრაფიკულად (ხელით), ასევე სხვადასხვა კომპიუტერული პროგრამების საშუალებით (GeoSec, Move და სხვა). ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებულია, კომპიუტერული პროგრამა - Move. მოდელირება დაფუძნებულია რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭების თეორიაზე (იხ. თავი 5). მოდელირება გვეხმარება, როგორც დეფორმაციის კინემატიკის დასადგენად, ასევე სტრუქტურული ჭრილის ან სეისმური პროფილების ინტერპრეტაციის ხარისხის შემოწმებაში. ამგვარად, კინემატიკური მოდელირებისას ჩვენ ვღებულობთ თანმიმდევრულ პალეორეკონსტრუირებულ ჭრილებს, რომლებიც ასახავენ ტექტონიკურ ევოლუციას (ნახ. 5).

## 7.2 დეფორმაციის ასაკი და კინემატიკა

თანამედროვე გეოლოგიურ ლიტერატურაში გამოიყენება ტერმინები მზარდი ნაოჭები (growth fold) და მზარდი ნალექები (growth strata) (მაგ. Shaw et al., 2006). ეს ტერმინები ერთმანეთის სინონიმებია. მზარდი ნალექები იგივე სინტექტონიკური (ან სინ-კინემატიკური) ნალექებია. მზარდი ანტიკლინების (მოწყვეტის ნაოჭები, რამპანტიკლინები) თაღურ ნაწილებში მზარდი ნალექების სიმძლავრე მცირდება და მათი გეომეტრია ძირითადად დაკავშირებულია ნაოჭების კინემატიკასა და ნალექდაგროვების ტემპების ურთიერთდამოკიდებულებაზე. მზარდი ნალექების დალექვა დეფორმაციის სინქრონულია და პირდაპირ კავშირშია დანაოჭების კინემატიკასთან (Suppe et al., 1992). მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში, განსაკუთრებით კი მის ჩრდილოეთ ნაწილში და ალაზნის აუზის ტერიტორიაზე არსებულ სეისმოპროფილებში, კარგად დაიკვირვება მზარდი ნალექების გეომეტრია.

მზარდ ნაოჭებში უთანხმოების ნიმუშები ძირითადად განპირობებულია ნაოჭის კინემატიკით, კერძოდ კი ადგილი აქვს აქტიური ანტიკლინის და სინკლინის ღერძის კინკ-ბანდის მიგრაციას და ანტიკლინის და სინკლინის ფრთის როტაციას. მზარდი ნალექების გეომეტრია კარგად დაიკვირვება მწარეხევის ფართობზე არსებულ სეისმოპროფილზე. მზარდი ნალექები წარმოდგენილია აღჩაგილ-აფშერონული კონტინენტური ნალექებით. სეისმოპროფილზე ასევე კარგად დაიკვირვება მწარეხევის ანტიკლინის გეომეტრია და უთანხმოების ზედაპირები.



**ნახაზი 5.** თანმიმდევრული კინემატიკური მოდელირება უდაბნოს ანტიკლინის, უდაბნოს სინკლინის და სახარეტბის ანტიკლინის მაგალითზე. წყვეტილი წითელი ხაზით აღნიშნულია შემდგომი რღვევის ტრაექტორია. F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> - თანმიმდევრული შეცოცებები. F<sub>3</sub> - არათანმიმდევრული შეცოცება. წითელი ისრით აღნიშნულია რეგიონული გადაადგილების მიმართულება.

მე-5 ნახაზზე ნაჩვენებია დიდი შირაქის და სახარეტბის ანტიკლინის თანმიმდევრული კინემატიკური ევოლუცია. ნაჩვენებია კინემატიკური ევოლუციის ოთხი სტადია: საწყისი, ორი შუალედური და დამამთავრებელი (ფინალური). მოდელირების მიხედვით კარგად ჩანს სახარეტბის

ანტიკლინის ევოლუცია. თავდაპირველად ის წარმოდგენილი იყო რღვევა-გაღუნული ნაოჭით, ხოლო საბოლოო სტადიაზე განვითარდა როგორც რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭი და მისი ფორმირება დაკავშირებული იყო არათანმიმდევრულ შეცოცებასთან. მზარდი ნალექები წარმოდგენილია აღჩაგილ-აფშერონული ნალექებით (ნახ. 5).

### 7.3 შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზები

ცნობილია, რომ შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზები მნიშვნელოვანი საკვანძო ელემენტია ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლების ტექტონიკური ევოლუციის დასადგენად (DeCelles, Giles 1996; Ori, Friend 1984). თანამედროვე გეოლოგიურ ლიტერატურაში, სხვადასხვა მკვლევარების მიერ შემოთავაზებულია, შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზების განსხვავებული ტერმინები; მაგ. Piggyback basin (Ori, Friend 1984), Thrust-top basin (Butler, Grasso, 1993), Wedge-top basin (DeCelles, Giles 1996). აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ტერმინები ერთმანეთის სინონიმებია და შინაარსობრივად ერთი და იგივეა.

შეცოცებებთან დაკავშირებულ აუზებში განვითარებული ნალექები მთლიანად ასახვენ დეფორმაციის დროს, ევოლუციას და ინტენსივობას (DeCelles, Giles 1996; Ori, Friend 1984; Suppe et al., 1992; Vergés et al., 2002). მსგავს აუზებში ანტიკლინურ ფორმებთან სინტექტონიკური ნალექები უთანხმოდაა განლაგებული და მის ზრდასთან ერთად, თვითონაც განიცდიან დეფორმაციას. კერძოდ სინკლინის ცენტრალურ ნაწილებში მათი სიმძლავრე დიდია ანტიკლინების ფრთებთან უთანხმოდ განლაგებულ ნალექებთან შედარებით. მსგავსი აუზები დადგენილია მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სატყლის ცენტრალურ ნაწილში, კერძოდ გამოყოფილია ალაზნის (Adamia et al., 2010, 2011; Alania et al., 2004, 2017; Forte et al., 2010; Mosar et al., 2010), დიდიგორის (Alania et al., 2018) და დიდი შირაქის აუზები (Alania, Enukidze 2009; Alania et al., 2008, 2017, 2018).

გარეკახეთის ფარგლებში სეისმოპროფილების და ზედაპირულ გეოლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით დადგენილია რამდენიმე



შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზი: უდაბნოს, წიწმატიანის და ბერების სერის. ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი აუზი მოქცეულია მზარდ, რღვევა-გავრცელებად ნაოჭებს შორის. უდაბნოს, წიწმატიანის და ბერების სერის სინკლინებში დაიკვირება ზედა მიოცენური (მეოტურ-პონტური) და პლიოცენური (აღჩაგილ-აფშერონული) ასაკის შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზებისათვის დამახასიათებელი გეომეტრია. ნალექებისთვის დამახასიათებელია დეფორმირებული ფორმები, რომლებიც ანტიკლინების ზურგის და წინა ფრთებზე უთანხმოდ, ცალკეული სექვენსების სახით არიან განლაგებული. მზარდ ანტიკლინებში (აღჩაგილ-აფშერონული დრო) კარგად დაიკვირება უთანხმოების ნიმუშები, რომლებიც ძირითადად დაკავშირებულია ნაოჭის (რღვევა-გავრცელებადი) კინემატიკასთან, კერძოდ, აქტიური სინკლინის ღერძის კინკ-ბანდის მიგრაციასთან. მე-6 ნახაზზე ნაჩვენებია უდაბნოს შეცოცებასთან დაკავშირებული აუზის ბივერგენტული შეცოცებების (ჩრდილო და სამხრეთ-ვერგენტული) სამგანზომილებიანი სტრუქტურული მოდელი.

#### 7.4 დისკუსია

ამრიგად, მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ფარგლებში მზარდი ნალექების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ მტკვრის ფორლანდის ფარგლებში კუმშვითი დეფორმაცია, შუა მიოცენური დროიდან დაიწყო. თავდაპირველად მან მოიცვა აუზის კიდურა, როგორც ჩრდილოეთი, ასევე სამხრეთი ნაწილები და დეფორმაცია ძირითადად განპირობებული იყო, ორი ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის, კავკასიონის ჩრდილოეთიდან, ხოლო სამხრეთიდან, მცირე კავკასიონის ზემოქმედებით.

კავკასიაში, აპატიტებზე და ცირკონებზე ტრეკული რეგიონალური მონაცემების (Albino et al., 2012; Avdeev, Niemi 2011; Vincent et al., 2010) და ასევე, მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის მზარდი ნალექების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ მტკვრის ფორლანდის ფარგლებში შუა მიოცენიდან პლიოცენამდე კუმშვითი

დეფორმაციისთვის დამახასიათებელი იყო დაბალი სიჩქარე, ხოლო შეკუმშვის მაქსიმალურ პიკს მიაღწია მიოცენის ბოლოს (ალანია, 2012; რაზმაძე, 2021; Alania et al., 2017, 2018). გარეკახეთის დასავლეთი ნაწილი (საკვლევო ტერიტორია) დეფორმაციაში ჩაერთო ზედა მიოცენის ბოლოს და შეკუმშვის მაქსიმალურ პიკს მიაღწია პლიოცენ-პლეისტოცენში.

## **თავი 8. ნავთობგაზიანობა და პერსპექტიული სტრუქტურული დამჭერები**

გარეკახეთის ფარგლებში გამოვლენილია ნავთობის 6 საბადო, რომელთაგან მწარეხევის საბადოს გარდა, ყველა დაკავშირებულია ზედა სარმატულ (ტარიბანი) და მეოტურ-პონტური (ტარიბანი, მირზაანი, პატარა შირაქი და ნაზარლები) ასაკის ნალექებთან. მწარეხევის საბადო აღჩაგილ-აფშერონულ ნალექებთანაა დაკავშირებული (ვახანია, პაპავა, 1996). გეოქიმიური მახასიათებლების მიხედვით გარეკახეთში და საერთოდ აღმოსავლეთ საქართველოში, ყველაზე მაღალი პოტენციალის მქონე ნავთობგაზდედაქანებად მიჩნეულია პალეოცენური? ზედა ეოცენური და მაიკოპური (ოლიგოცენი-ქვედა მიოცენი) ნალექები (ვახანია, პაპავა, 1996; Лалиев, 1964; Robinson et al., 1997 და სხვა). დ. პატონის (Patton, 1993) მიხედვით ნავთობის გენერაციას ადგილი ჰქონდა, აგრეთვე ქვედა ეოცენურ ნალექებში, საიდანაც შემდგომში მოხდა ნავთობის მიგრაცია სამგორის შუა ეოცენურ ნალექებში. არ არის გამორიცხული, რომ გარეკახეთში ნახშირწყალბადების გენერაცია დაკავშირებული ყოფილიყო სარმატული და შუამიოცენური ნალექების ცალკეულ, ორგანიკით მდიდარ დასტებთან. აღმოსავლეთ საქართველოში ძირითადი ნავთობგაზმზადი ქანების კატაგენური გარდაქმნის ხარისხის და მათ მიერ “ნავთობის ფანჯრის” გავლის ისტორიის შესწავლის მიხედვით (პატარძელი, ნორიო-საცხენისი) ცარცულ, პალეოცენურ და ქვედა ეოცენურ ნალექებში, დაგროვებული უნდა ყოფილიყო, ძირითადად, გაზის და გაზკონდენსატური ნახშირბადები. იმ ბუდობებში კი, რომლებიც აგებულია უფრო ახალგაზრდა ნალექებით (შუა

ეოცენიდან დაწყებული), დაგროვებული უნდა იყოს ნავთობი (ნიკურაძე, თავდუმაძე, 2003).

მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელში გვიან მიოცენური (სარმატული და შირაქის წყება) ნალექები ნავთობშემცველი კომპლექსებია და მათთანაა დაკავშირებული მტკვრის ფორლანდის ძირითადი ნავთობის საბადოები და უმეტესი ნავთობგამოვლინებები, როგორც ზედაპირზე, ასევე ჭაბურღილებში. დასავლეთ გარეკახეთის ტერიტორიაზე გამოვლენილია მწარეხვის საბადო, რომელიც აღჩაგილ-აფშერონულ ნალექებთანაა დაკავშირებული (Sepashvili, 1976).

როგორც ცნობილია ნაოჭა-შეცოცებით სარტყლებში ნახშირწყალბადების ყველაზე კარგ სტრუქტურულ დამჭერებად, რამპანტიკლინები (რღვევა-გალუნული და რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭები) ითვლება (Mitra, 1988). ნაპრალოვანი კოლექტორების ფორმირებისთვის და მათში ნახშირწყალბადების დაგროვებისთვის ყველაზე ხელსაყრელი პირობები რამპანტიკლინების თაღურ ნაწილებში და დუპლექსებშია შენარჩუნებული (Mitra, 1988). ამ მხრივ კი დასავლეთ გარეკახეთის ტერიტორია, მეტად საინტერესო უნდა იყოს. პერსპექტიულ სტრუქტურულ დამჭერად შეიძლება განვიხილოთ სამხრეთ-ვერგენტული რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭები, რომლებიც აგებულია მაიკოპური და შუა-გვიან მიოცენური ნალექებით.

გარეკახეთის ნავთობგაზიანობის პერსპექტივები, ზოგადად შეიძლება შემდეგნაირად დაჯგუფდეს: ა) ზედა მიოცენურ (სარმატული) და მეოტურ-პონტურ ნალექებთან დაკავშირებული პერსპექტივები, ამასთან ზედა მიოცენური ნალექები, უკვე გამოვლენილი საბადოების ფარგლებშია, სადაც ისინი ბურღვით, ბოლომდე არ არის შესწავლილი; ბ) გარეკახეთის დასავლეთ და სამხრეთ ნაწილებში პერსპექტივები უკავშირდება მაიკოპურ, ზედაეოცენურ და განსაკუთრებით შუაეოცენურ ნალექებს (დასავლეთ გარეკახეთი);

## დასკვნები

შედეგები, რომლებიც მივიღეთ სეისმური პროფილების ინტერპრეტაციით, აგებული სერიული სტრუქტურული ჭრილებით და სამგანზომილებიანი მოდელებით, საშუალებას გვაძლევს გავცეთ პასუხები დასახულ მიზნებსა და ამოცანებს:

- დასავლეთ გარეკახეთის სტრუქტურები წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული რღვევებთან დაკავშირებული ნაოჭებით და დუპლექსებით.
- დასავლეთ გარეკახეთის სტრუქტურები ძირითადად წარმოდგენილია სამხრეთ-ვერგენტული I და II გენერაციის რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭებით.
- სეისმოპროფილების, სერიული სტრუქტურული ჭრილების და სამგანზომილებიანი მოდელებიდან კარგად დაიკვირვება ორი მოწყვეტის ზედაპირი: ზედა მოწყვეტის ზედაპირი განვითარებულია მაიკოპი-შუა მიოცენის საზღვარზე, ხოლო ქვედა (ძირითადი) მოწყვეტის ზედაპირი განვითარებულია მაიკოპური თიხაფიქლების დონეზე.
- დასავლეთ გარეკახეთის ფარგლებში კუმშვითი დეფორმაცია დაიწყო გვიან მიოცენურ-პლიოცენურ დროში და მის ფარგლებში განვითარდა შეცოცებებთან დაკავშირებული აუზების სერია.
- პერსპექტიულ სტრუქტურულ დამჭერებად მიჩნეულია რღვევა-გავრცელებადი ნაოჭები და დუპლექსები.

## გამოქვეყნებული შრომები:

1. რაზმაძე ა. (2021). მტკვრის ფორლანდის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის გეოლოგიური აგებულება დასავლეთ გარეკახეთის მაგალითზე. მიხეილ ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXII.

2. Alania, V., Beridze, M., Enukidze, O., Chagelishvili, R., Lebanidze, Z., Maqadze, D., **Razmadze, A.**, Sadradze, N., Tevzadze, N. (2021). The Geometry of the Two Orogens Convergence and Collision Zones in Central Georgia: New Data from Seismic Reflection Profiles. In: Bonali, F.L., et al. (Eds.), Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 73-88.
3. **Razmadze, A.** (2020). Structure of the Gare Kakheti foothills using seismic reflection profiles: implications for kinematic evolution of the Georgian part of Kura foreland fold-and-thrust belt. EGU General Assembly 2020, EGU2020-2564.
4. Alania, V., Enukidze, O., Glonti, N., **Razmadze, A.**, Chabukiani, A., Giorgadze, G., Glonti, B.V., Koiava, K., Beridze, T., Khutsishvili, S., Chagelishvili, R. (2018). Structural architecture of the Kura foreland fold-and-thrust belt using seismic reflection profile, Georgia. Universal Journal of Geoscience 6, 184-190.
5. Alania, V., Adamia, Sh., Tevzadze, N., Enukidze, O., Beridze, T., Sadradze, N., Sanishvili, A., Chabukiani, A., Chagelishvili, R., Gventsadze, A., **Razmadze, A.**, Vashakidze, G. (2018). Structural geometry of active Kura foreland fold-and-thrust belt revealed by seismic reflection profiles. Geophysical Research Abstracts. Vol. 20, EGU2018-9864.
6. Alania, V., Chabukiani, A., Chagelishvili, R., Enukidze, O., Gogrichiani, K., **Razmadze, A.**, Tsereteli, N. (2017). Growth structures, piggyback basins and growth strata of Georgian part of Kura foreland fold and thrust belt: implication for Late Alpine kinematic evolution. Geological Society, London, Special Publications 428, 171-185.

კვლევა განხორციელდა - შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (გრანტი # PHDF-19-268. “დასავლეთ

გარეკახეთის ნახშირწყალბადების დამჭერების გეომეტრიის დადგენა, 2 და 3-განზომილებიანი სტრუქტურული მოდელირებით”).

### **Abstract**

The PhD thesis presents the interpretation of the geological structure of the western Garekaxheti. The deformation style of the western Garekaxheti (the part of the Kura foreland fold-and-thrust belt) is introduced using the most up-to-date approach. The thesis consists of the introduction, 8 chapters, 18 subsections and conclusions. The introduction substantiates the topicality of the research problem, the aim and objectives of the research, the results obtained based on the application of the methodology and the novelties. The history of the geological study of the research area is presented in the first chapter. The regional tectonics of the Caucasus is discussed in the second chapter. The most up-to-date tectonic subdivision, models and late Alpine deformation history of the Caucasus and Georgia are presented. The third chapter introduces the Kura foreland fold-and-thrust belt and is subdivided into two subsections. In the first subsection the types of foreland basins and their evolution are discussed. Various opinions on the geometry and kinematic evolution of the Kura foreland fold-and-thrust belt are introduced in the second subsection. The geological structure of the Garekaxheti is presented in the fourth chapter which comprises two subsections. The description of stratigraphic units is presented in the first subsection and the key structural elements of the western Garekaxheti are described in the second subsection. The structural interpretations of the seismic profiles are introduced in the fifth chapter which consists of four subsections. The first subsection includes all data. In the second subsection the applied methodology is introduced. The Move Software was used in the construction of seismic profiles as well as of serial structural cross-sections and 3D models. The fault-related folding theory is discussed. Interpreted seismic profiles are introduced in the third subsection. The fourth subsection

presents the discussion of the obtained results. The latter have revealed that the structures are mainly represented by south-vergent thrusts and duplexes. Two and 3D structural models are performed in the sixth chapter which consists of three subsections. In the first subsection the succession of undertaken research and applied methodology is described. The obtained results are introduced in the second subsection. Eight serial structural sections have been constructed using interpreted seismic profiles, boreholes and surficial geology data. 3D structural models have been created using serial cross-sections. The third subsection is dedicated to the discussion of the obtained results. According to presented models the structures are mainly represented by south-vergent fault-propagation folds. Sequential kinematic modelling is represented in the seventh chapter. The chapter consists of four subsections. In the first subsection the applied methodology is described. The second subsection presents the deformation ages of the Kura foreland and their kinematics. Successive kinematic modelling of the western Garekaxheti has been undertaken using Move Software. In the third subsection thrust-top-basin are discussed whilst in the fourth subsection the discussion of these issues is presented. Several thrust-top-basin have been distinguished within the study area using seismic profiles and serial structural cross-sections. Petroleum potential of the Kura foreland is discussed in the eighth chapter. The data on hydrocarbon genesis and reservoirs is introduced. The examples of prospective structural traps are presented as well. In the conclusions chapter the main results are summarized: the western Garekaxheti as a part of the Kura foreland is represented by south-vergent fault-bend folds and duplexes. South-vergent fault-bend folds are mainly represented by the fault-propagation folds of the I and II generation. On the serial structural cross-sections two detachment levels are well-observed: the upper plane is developed on the Maikopian-Middle Miocene boundary, whilst the lower (major) detachment plane is developed at the Maikopian shales level. The structures are thin-skinned and their formation began

in Late Miocene. Several thrust-top basins have been distinguished according to interpreted seismic profiles and serial structural cross-sections.

**Key Words:** Garekakheti, Kura foreland basin, Kura foreland fold-and-thrust belt, Fault-related folding theory, Seismic profile, Structural cross-section, 3D structural model, Fault-bend fold, Fault-propagation fold, duplex, Thrust-top basin.