

## 2.3 სეისმურობა

### 2.3.1 ზოგადი ნაწილი

მოხდა წინა ტექნიკურ კვლევებში ჩატარებული სეისმური საშიშროების შეფასების გადახედვა და განახლება, საიდანაც მიღებულ იქნა ყველა ის ინფორმაცია რომელიც საჭიროა სწორი სტრუქტურული დაპროექტებისათვის და კაშხლის და სამშენებლო სამუშაოების სტაბილურობის გამოსათვლელად.

სეისმური საშიშროების ანალიზი შეიძლება განხორციელდეს ორი განსხვავებული მიდგომის გამოყენებით:

- დეტერმინისტული (DSHA), მიწისძვრის გარკვეული სცენარებით;
- სავარაუდო მოდელი (PSHA), რომელიც წარმოქმნის გადაჭარბების ალბათობას გრუნტის მოძრაობის სხვადასხვა დონეზე.

ორივე ანალიზი ითვალისწინებს კაშხლის ადგილზე მოსალოდნელ გრუნტის მოძრაობას. გრუნტის მოძრაობის პოტენციური შეფასება ეხება რამდენიმე დისციპლინას, როგორებიცაა გეოლოგია, გეოფიზიკა, სეისმოლოგია, გეოტექნიკური და სტრუქტურული ინჟინერია. გრუნტის მოძრაობის რთული ბუნება შეიძლება მიახლოებით იქნას გამოხატული მხოლოდ შედარებით მარტივი პროცესების მეშვეობით (2010, ICOLD), რადგანაც სეისმურობის ანალიზში ჯერ კიდევ ბევრი უზუსტობა არსებობს.

ქვემოთ მოცემულია ყველაზე მნიშვნელოვანი წინა კვლევები:

- 2007 წ., E.C. Hydroprojekt Int. Ltd. ნამახვანის ჰესის კასკადის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების შესწავლა - ანგარიში № 4;
- 2010, Stucky. ნამახვანის ჰესის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების გადახედვა და განახლება - საბოლოო ანგარიში;
- ჭელიძე და სხვ. საქართველოს სეისმური საშიშროების შეფასება (სავარაუდო მიდგომა);

ამ ანალიზისთვის სეისმური საშიშროების განმარტება განხორციელდა პროცედურების და შემდეგი საერთაშორისო სახელმძღვანელო მითითებების შესაბამისად:

- 1995 წ., აშშ – ს არმიის ინჟინრების კორპუსის ანგ. (USACE). RCC კაშხლების სეისმური პროექტის დებულებები (EP 1110-2-12);
- 1999 წ., აშშ – ს არმიის ინჟინრების კორპუსის ანგ.(USACE). საპასუხო სპექტრი და სეისმური ანალიზი ბეტონის ჰიდრავლიკური სტრუქტურებისთვის (EM 1110-2-6050);
- 2003 წ., CEN -ის ტექნიკური კომიტეტი. კონსტრუქციების პროექტი მიწისძვრის გამძლეობაზე (ევროკოდი 8);
- 2010 წელი, ICOLD. სეისმური პარამეტრების შერჩევა დიდი კაშხლებისთვის (ბიულეტენი № 72);

### 2.3.2 რეგიონალური სეისმურობა

საქართველო მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში, რომელიც ჰიმალაის და ალპური სარტყელის გადაკვეთაზე მდებარეობს.

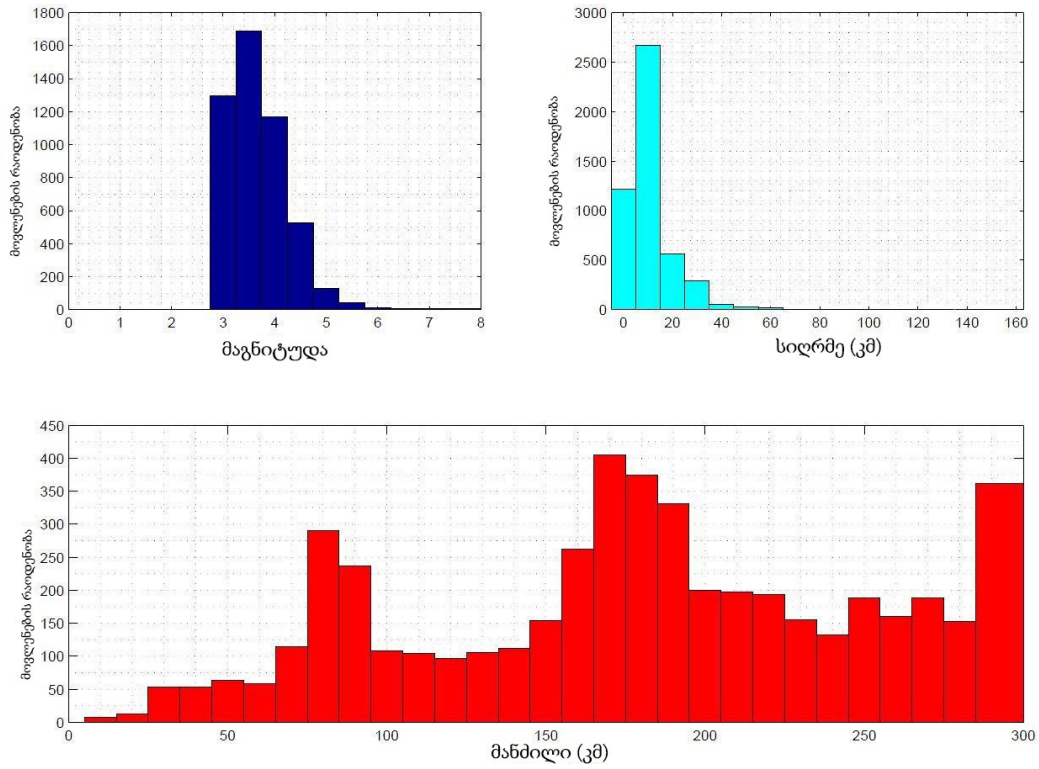
ისტორიული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ ეს არის ზომიერად სეისმური რეგიონია, სადაც მომხდარი არის ძლიერი 7 ბალიანი მიწისძვრა 9 -იანი მაკროსეისმური ინტენსივობით (MSK შეფასების შკალით). მსგავსი მოვლენების განმეორების პერიოდია დაახლოებით 1000 - 10 000 წლის განმავლობაში, როგორც ეს მოცემულია წინა კვლევებში (რეგ. 2007, E.C.H.).

ხელმისაწვდომი მონაცემები მიწისძვრის შესახებ, უკავშირდება 1905-2014 წლების პერიოდს.

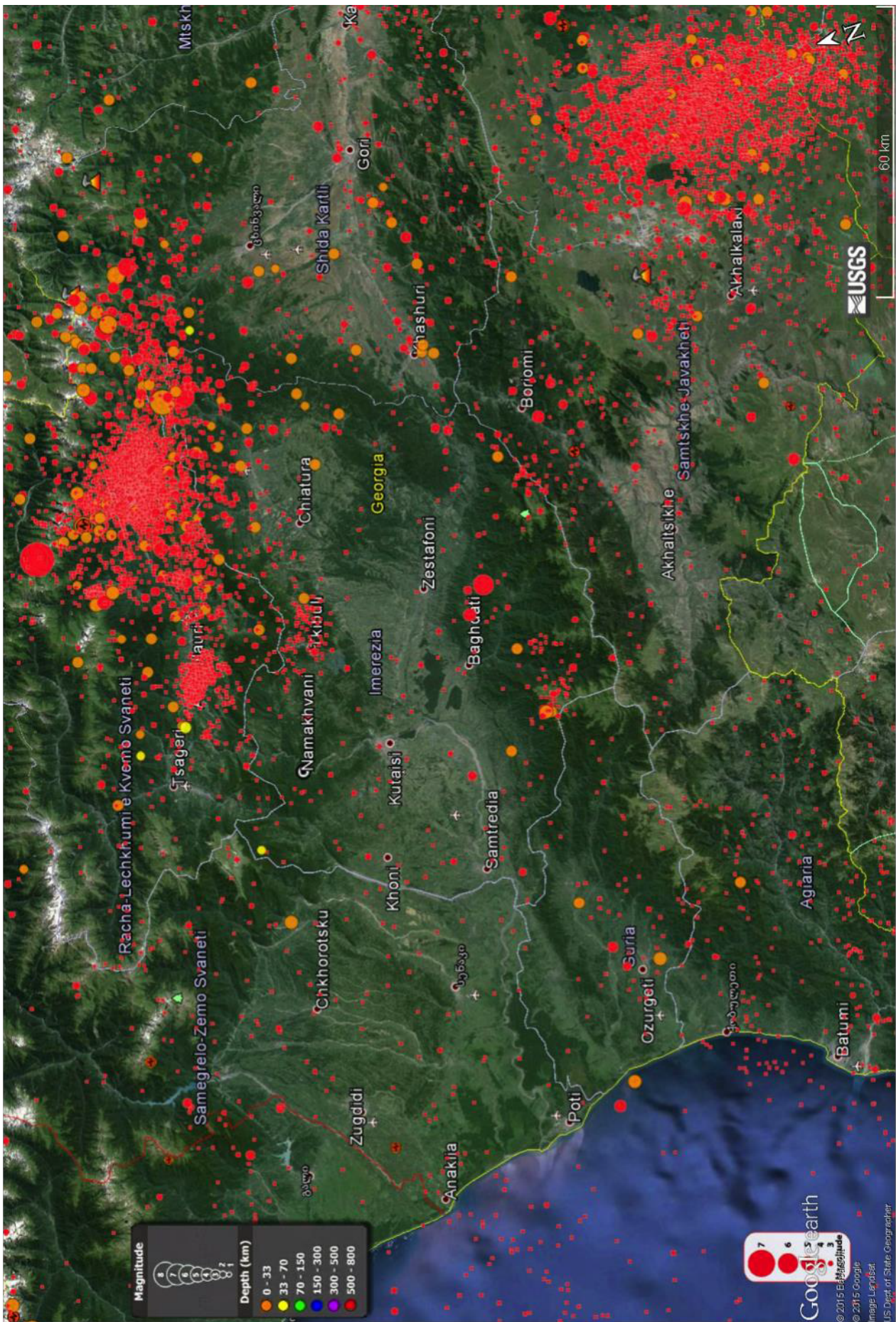
ეს კატალოგი შედგენილია საერთაშორისო სეისმოლოგიური ცენტრის (ISC, ონლაინ ბიულეტენი, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Seis. Cent., Thatcham, გაერთიანებული სამეფო, 2012) უფასო მონაცემთა ბაზებიდან და შეერთებული შტატები გეოლოგიური კვლევიდან (USGS), რაც საბოლოო ჯამში მოიცავს 8200 შემთხვევას, 3.0-ზე მეტი მაგნიტუდის მასშტაბით. ტელესეისმური ჩანაწერები შეიცავს: მაგნიტუდას, თარიღს, განედს, გრძედს, სიღრმეს და სადგურის სახელს.

კაშხლის მიდამოსთან ყველაზე ახლოს მომხდარი მაღალი მაგნიტუდის მქონე მიწისძვრა, დაფიქსირდა 1957 წლის 26 იანვარს, რომლის მაგნიტუდა შეადგენდა 5.6 ბალს, და დაფიქსირდა კაშხლის ადგილიდან დაახლოებით 30 კილომეტრის მანძილზე (წყარო USGS).

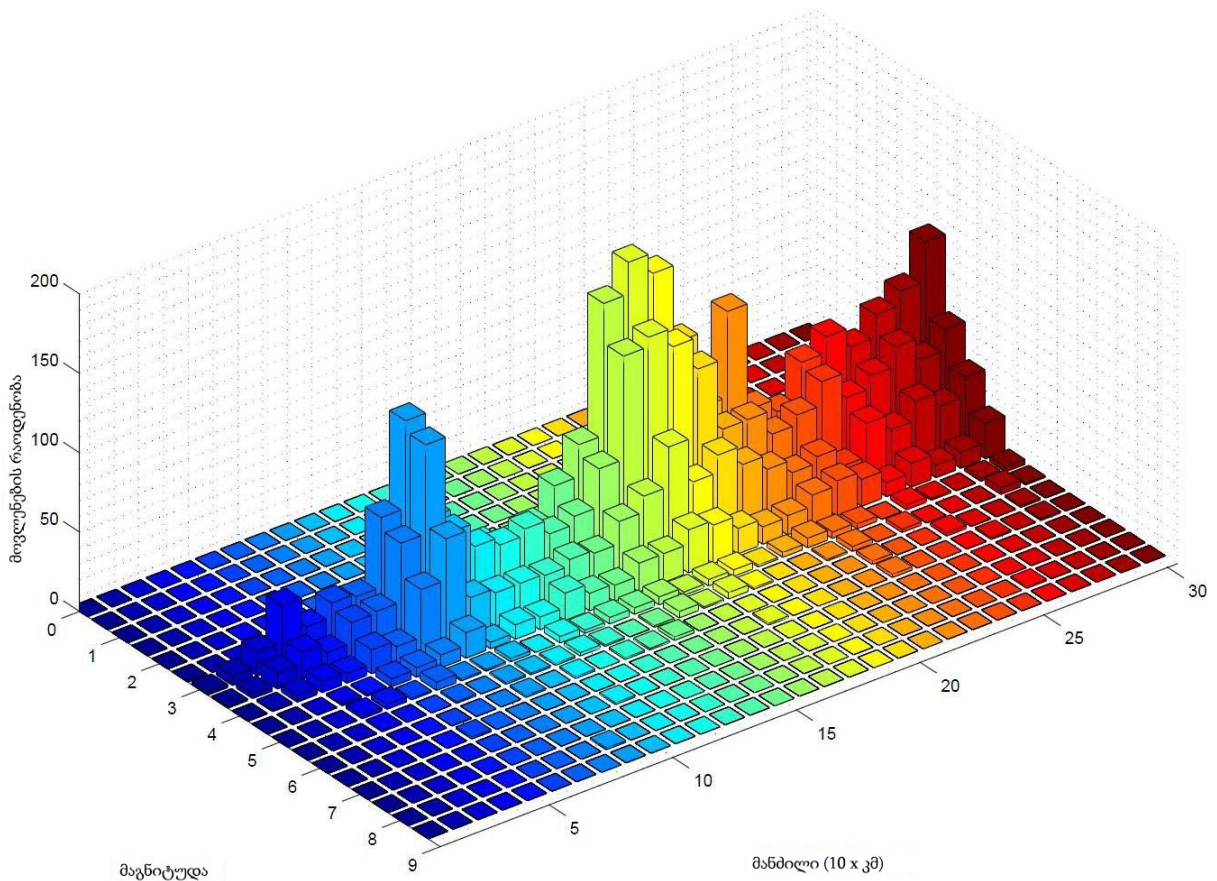
აღნიშნულ რეგიონში ყველაზე ძლიერი მიწისძვრა მოხდა 1997 წლის 26 აგვისტოს, რუსეთის საზღვართან ახლოს, კაშხლის ადგილიდან დაახლოებით 70 კილომეტრში. დარეგისტრირებული მაგნიტუდა შეადგენს 8.4 ბალს (წყარო USGS).



ნახ. 2.3.8 - მოვლენების რაოდენობა მათი მაგნიტუდით, სიღრმით და დაშორებით ნამახვანის ადგილიდან (ISC & USGS მონაცემები)



ნახ. 2.3.9 - მიწისძვრები პროექტის არეალში (ISC & USGS მონაცემები)



ნახ. 2.3.10 - სეისმური მოვლენების განაწილების რაოდენობა 3D გამოსახულებაში (ISC & USGS მონაცემები)

1992 წლის დათარიღებული საქართველოს სეისმური ზონირების რუკის თანახმად, პროექტის ადგილი მდებარეობს 8 ბალის მქონე ინტენსივობის ზონაში. თუმცა, მოცემულ რუკას ჰქონდა რამდენიმე უზუსტობა და ამის გამო 2010 წელს შეიცვალა ახალი სეისმური ზონირებით.

საქართველოს განახლებული სეისმური რუკა, რომელიც მოცემულია ქვემოთ, ნამახვანის მდებარეობას განსაზღვრავს შემდეგი მონაცემების მქონე რაიონში:

- 0.20 გ           PGA
- 8 - 9            ინტენსივობა MSK შეფასების შკალით

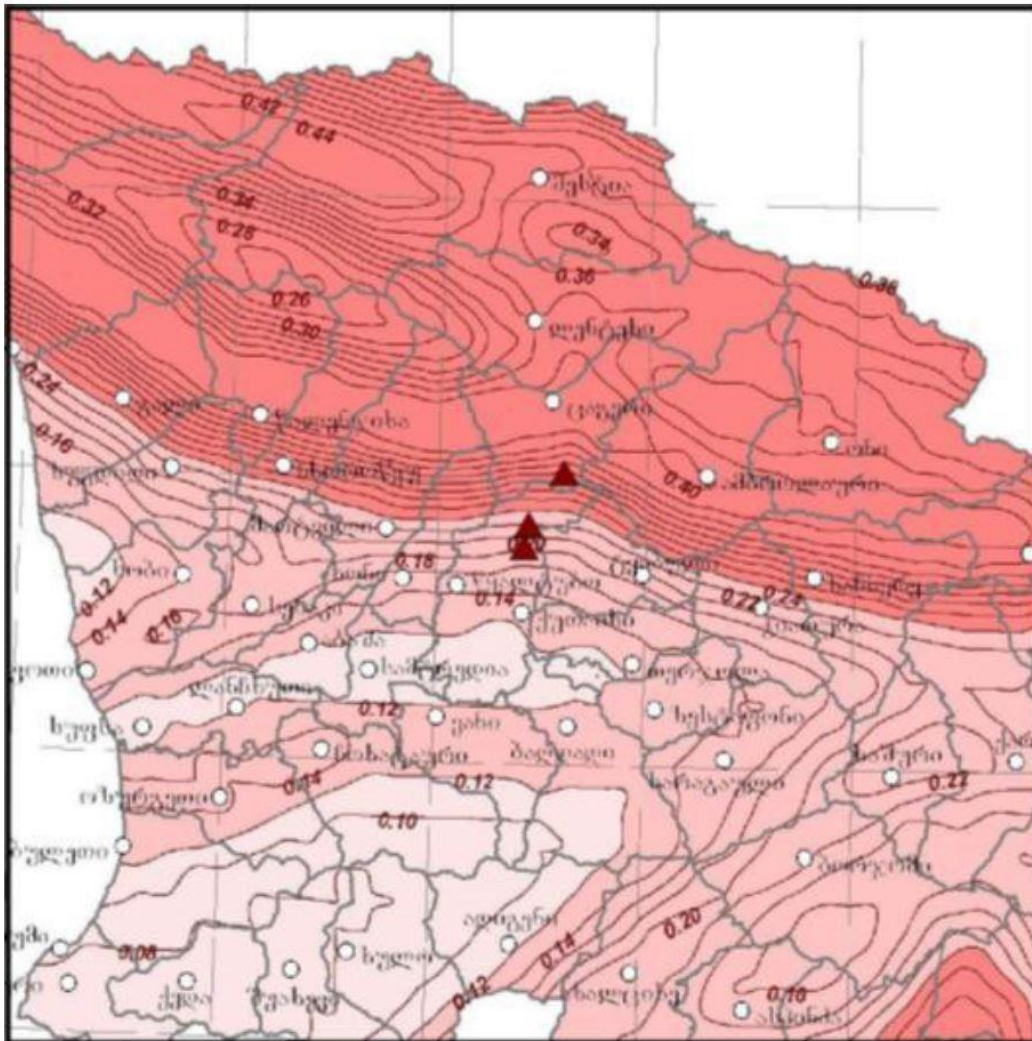
საქართველოს ტექტონიკური რუკის თანახმად, რომელიც მოცემულია ქვემოთ, საპროექტო არეალი მდებარეობს დიდი კავკასიონის დაკეცილი სისტემის და ამიერკავკასიის მთათა შორისი ზონის ცენტრალურ ნაწილის ზღვარზე.

გაგრა-ჯავას ნაწევი ყველაზე უახლოესი ნაწევი რომელსაც გააჩნია მიწისძვრის წარმოქმნის მაღალი ალბათობა. მისი მაგნიტუდის მაქსიმალური პოტენციალი შეადგენს 7.0 ბალს (2006, ადამია და სხვ.). ნაწევი კვლავ მაღიან აქტიურია, ასევე გასათვალისწინებელია 1991 წლის რაჭის მიწისძვრა.

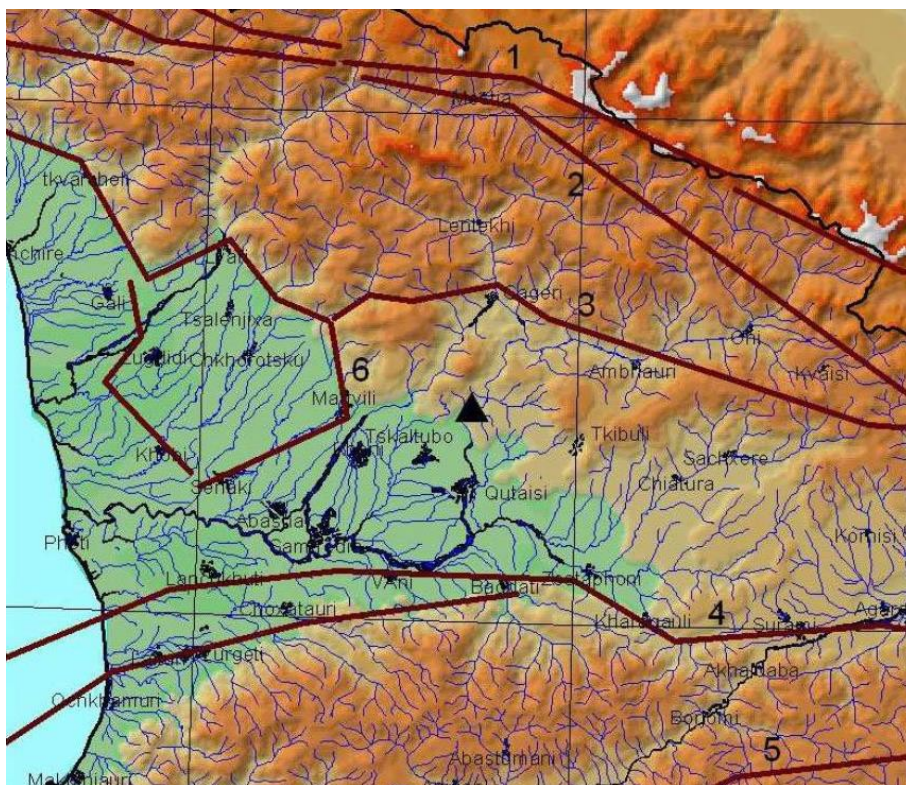
ადამია და სხვ. (2006) ის მიხედვით, ნაწევის მახასიათებლები არის შემდეგი:

- 1200 კმ       სიგრძე
- 15 კმ        სიგანე

- 
- ნაწევი ტიპი
  - NNE აზიმუტის დახრა
  - 70-90 გრად დარღვევის სიბრტყის კუთხე
  - 25 კმ დისტანცია ნამახვანამდე



ნახ. 2.3.11 - საქართველოს სეისმური ზონის რუკა (2010)



ნახ. 2.3.12 - საქართველოს აქტიური ხარვეზების რუკა (2006 წლიდან, ადამია და სხვ.)

### 2.3.3 დეტერმინისტული სეისმური საშიშროების ანალიზი (DSHA)

დეტერმინისტული მიდგომით (DSHA), სეისმური პარამეტრები ფასდება გარკვეული სეისმური სცენარის მიხედვით, რომელიც ნავარაუდებია რომ მოხდება ადგილიდან უახლოეს მანძილზე და მაქსიმალური სიმძლავრის მიწისძვრით (MCE).

აღსანიშნავია ასევე ისიც, რომ არ არსებობს ზოგადად მიღებული დეტერმინისტული სეისმური საშიშროების ანალიზები, რომელიც შესაფერისია მსოფლიოს ყველა ზონისთვის, იმიტომ, რომ ძნელია შეირჩეს შესაფერისი შესუსტების კავშირი. ეს კავშირი განსაზღვრავს თუ რა ფორმით მცირდება მიწისძვრის მაგნიტუდა დისტანციასთან ერთად და როგორ გარდაიქმნება გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების პარამეტრში.

აღნიშნული კავშირის ტიპური ფორმა არის შემდეგი:

$$\ln(Z) = c_1 - c_2 M - c_3 \ln(R) - c_4 R + c_5 F + c_6 S + \epsilon$$

სადაც Z არის გრუნტის მოძრაობის პარამეტრი (მაგ. PGA), M არის მიწისძვრის მაგნიტუდა, R არის მანძილი წყაროდან ადგილამდე, F ეხება ნაწევის მექანიზმს, S აღწერს ადგილის ეფექტებს და  $\epsilon$  არის შემთხვევითი შეცდომა.

DSHA-ს ძირითადი შეზღუდვებია:

- მიწისძვრების განმეორება არ არის ზუსტი;
- არსებობს უზუსტობები მიწისძვრის სცენარების შერჩევაში;
- არ არსებობს სტანდარტული მიდგომა იმ რეგიონებისთვის, სადაც ძნელია მიწისძვრის სცენარის განსაზღვრა.

ამასთან, მაქსიმალური მიწისძვრის პროექტის იდეა ზოგადად მარტივი და ადვილად გასაგებია. მიწისძვრის მაგნიტუდის, წყაროს დისტანციისა და შედეგად ადგილზე გრუნტის მოძრაობის განსაზღვრის დროს კონსერვატიზმის სათანადო დონის დაცვით, MCE-სთვის განკუთვნილი პროექტი უზრუნველყოფს უსაფრთხოების მაღალ დონეს.

შემდეგში დეტერმინისტული მიდგომისთვის განხილულ იქნა მიწისძვრის სამი სხვადასხვა სცენარი:

- No.2 ყველაზე ძლიერი რეგისტრირებული მიწისძვრა, არსებული მონაცემების გათვალისწინებით;
- მაქსიმალური პოტენციური მიწისძვრა, დაფუძნებული ემპირიულ კორელაციაზე მაგნიტუდის და ნაწევის რღვევის მახასიათებლებს შორის (1994, Wells & Coppersmith).

თითოეულ სცენართან დაკავშირებული PGA-ს გამოსათვლელად, გამოყენებულია ექვსი განსხვავებული შესუსტების კავშირი:

- ატკინსონი და ბორი (1997);
- Twesigomwe (1997);
- ბერგ-ტიერი და სხვ. (2003 წ.);
- E.C.H. (2007);
- იდრის (2008);
- დიეგ და სხვ. (2011).



სხვადასხვა შესუსტების კავშირის განხილვის არჩევანი მიზნად ისახავს იმ შეცდომების გამორიცხვას, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ კავშირებზე, მცირე დისტანციასა და დიდ მაგნიტუდებზე და ზემოხსენებული გლობალური ტოლობის არ არსებობის აღმოფხვრას.

მოქმედი ნაწევების პოტენციალის შესაფასებლად, Wells & Coppersmith- მა (1994) წარმოადგინეს გარკვეული ემპირიული კავშირები მომენტალურ მაგნიტუდას და ზედაპირის რღვევის სიგრძეს, რღვევის სიგანეს, რღვევის არეალის, მაქსიმალურ და საშუალო გადაადგილებებს შორის.

მათ ჩაატარეს ისტორიული მიწისძვრების მსოფლიო მონაცემების ლოგარითმული რეგრესია (No.244 მიწისძვრა), სადაც კარგად ჩანს კორელაცია სტანდარტულ გადახრებს შორის 0.25-0.35 დიაპაზონის მაგნიტუდას და 0,8-ზე მეტი კორელაციის კოეფიციენტების დროს.

კავშირი რღვევის სიგანესა და მასშტაბებს შორის არის შემდეგი:

$$M = 4.06 + 2.25 \log RW$$

თუ გავითვალისწინებთ რღვევის სიგანეს, რომელიც ტოლია ნაწევის სიგანის (ე.ი. 15 კმ), შედეგად მიღებული მაგნიტუდა დაახლოებით 6.7-ია, რაც შეესაბამება ზედაპირის რღვევის სიგრძეს 33 კმ-ს, და რღვევის ზონას 551 კმ<sup>2</sup>-მდე. უსაფრთხოების მიზნით, მაგნიტუდა დამრგვალებულ იქნა 7.0-მდე.

დასკვნის სახით, ასევე, ზემოთჩამოთვლილი ყველაზე ძლიერი რეგისტრირებული მიწისძვრების გათვალისწინებით, დეტერმინისტული მიდგომისთვის გათვალისწინებული იქნა შემდეგი სამი სცენარი:

- M = 5.6 30 კმ-ზე;
- M = 8.4 70 კმ-ზე;
- M = 7.0 25 კმ-ზე.

შედეგები, რომელიც დაკავშირებულია წინა სამ სცენართან, მოცემულია შემდეგ ცხრილში.

M	R	PGA	PGA/g	მიწისძვრა
-	კმ	სმ / წმ <sup>2</sup>	-	-
5.6	30	76	0.08	1957 წლის 26 იანვარი
8.4	70	231	0.23	1997 წლის 26 აგვისტო
7.0	25	272	0.28	გაგრა-ჯავას ნაწევი

ცხრილი 4 - შედეგი PGA / g მიწისძვრის სხვადასხვა სცენარში

ზემოაღნიშნული შედეგების PGA მიუთითებს, რომ მაქსიმალური შესაძლო მიწისძვრა (MCE), DSHA- ს მიხედვით, შეიძლება დადგინდეს 0.28 გ-ის ღირებულებით.

### 2.3.4 სავარაუდო სეისმური საშიშროების ანალიზები (PSHA)

სავარაუდო სეისმური საშიშროების ანალიზის (PSHA) ძირითადი მიზანია მიწისზედა მოძრაობის სხვადასხვა დონის გადამეტების ალბათობის დადგენა არჩეულ ადგილზე, მიწისძვრის ყველა სცენარის გათვალისწინებით.

პროცედურა ეხება კორნელ-მაკგუარის კლასიკურ მიდგომას (1968, კორნელი; 1976, მაკგუარი), რომელიც დაფუძნებულია სამ ძირითად ვარაუდზე:

- მიწისძვრების წარმოქმნა არის შემთხვევითი ხასიათის და მიყვება პუასონისეულ განაწილებას (მოვლენები დამოუკიდებელია და მუდმივია დროთა განმავლობაში);
- განსაზღვრული მიწის მოძრაობის დონის  $P(Z > z)$  გადამეტების ალბათობა, ზემოქმედების დროს განმავლობაში ან საპროექტო პერიოდის დროს  $t$  ადგილზე, უკავშირდება მიწის მოძრაობის გადამეტების ყოველწლიურ მაჩვენებელს ( $\gamma$ );
- მიწისძვრის შესუსტების დისტანციასთან ერთად ექვემდებარება შერჩეულ კანონს;
- სეისმურობა ერთნაირად არის განაწილებული თითოეულ სეისმურ რეგიონში.

საჭირო მონაცემები უნდა შეიცავდეს:

- მიწისძვრები ადგილიდან ასი კილომეტრის მეტი რადიუსით;
- რეგიონის სეისმოტექტონიკური მახასიათებლები;
- რეგიონის გეოლოგიური მახასიათებლები;
- ადგილობრივი ნიადაგის პირობები;
- მიწის შესუსტების მახასიათებლები.

ეს მიდგომა მოიცავს შემდეგ ნაბიჯებს:

- სეისმური წყაროს ზონების იდენტიფიცირება, სეისმურობის თანაბარი განაწილებით (ასეთ ზონებში მიწისძვრებს თანაბარი მოხდენის ალბათობა აქვს);
- სეისმური პარამეტრების განსაზღვრა თითოეული წყარო ზონისთვის;
- შესაბამისი განტოლების შერჩევა გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირებისათვის;
- PGA- ს სხვადასხვა ღირებულებასთან დაკავშირებული გადაჭარბების ალბათობის გაანგარიშება.

PSHA– ს გამოყენების უპირატესობა DSHA– ს მიმართებაში მოიცავს შემდეგს:

- შესულია ყველა მაგნიტუდის მიწისძვრის სიგნალები (თანაბარი წონის პირობებში);
- შესულია ყველა დისტანციიდან ყველა წყაროდან შეტანილი სიგნალები;
- მხედველობაში მიიღება მიწისძვრების ადგილების, მაგნიტუდების და განმეორების უზუსტობები;
- შედეგები იძლევა პროექტის პარამეტრების არჩევის საშუალებებს, რომლებიც დაკავშირებულია რისკის ხარისხთან (ე.ი. შესაფერისი დაბრუნების პერიოდის არჩევის შესაძლებლობა).

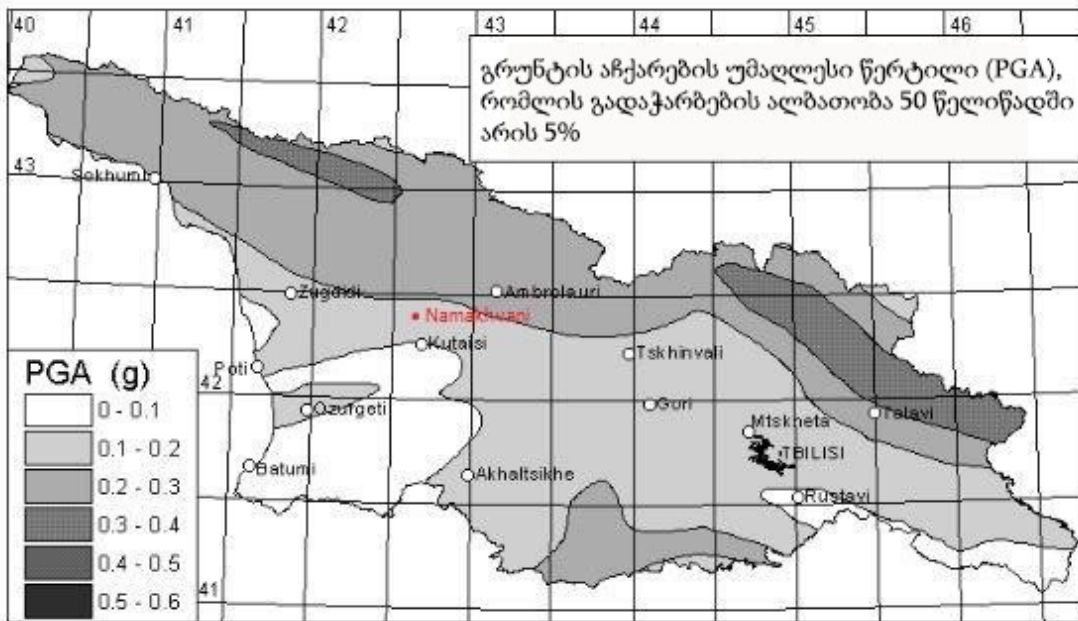
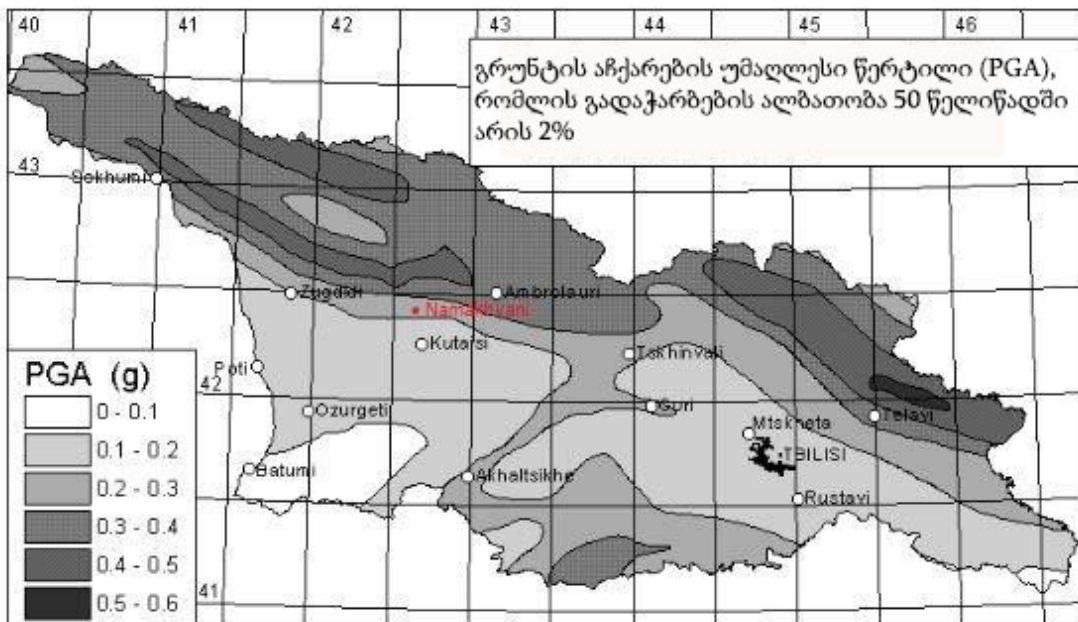
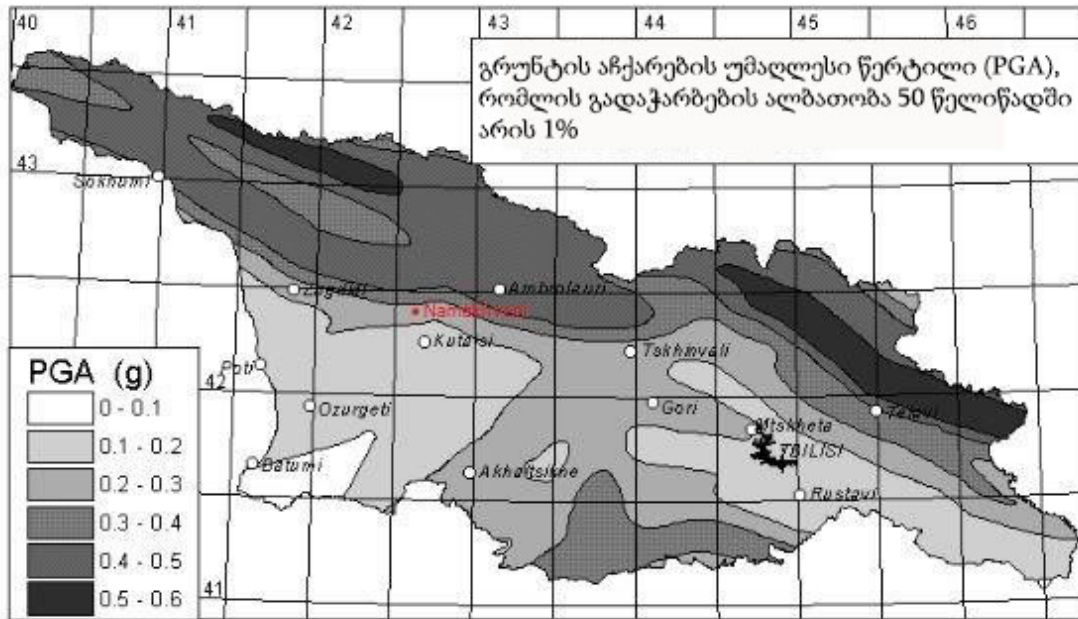
ამასთან, წყაროს ზონების სუბიექტური ინტერპრეტაცია და მიწის მოძრაობის პროგნოზირების

---

განტოლების შერჩევა გამოიწვევს შესაბამის უზუსტობებს შედეგებში.

ქვემოთ მოცემულ რუკებზე ნაჩვენებია PGA მნიშვნელობები სხვადასხვა დაბრუნების პერიოდში, საქართველოს უახლესი სავარაუდო სეისმური საშიშროების ანალიზის მიხედვით (ჭელიძე და სხვ.).





ნახ. 2.3.13 - PGA რუკები გადაჭარბების სხვადასხვა ალბათობით (ჭელიძე და სხვ.)

შემდეგი ცხრილი აჯამებს რუკებთან დაკავშირებულ PGA მნიშვნელობებს.

T	PGA/g	გადაჭარბების ალბათობა
წლები	-	-
970	0.17	50 წლის განმავლობაში 5%
2'470	0.24	50 წლის განმავლობაში 2%
4'970	0.28	50 წლის განმავლობაში 1%

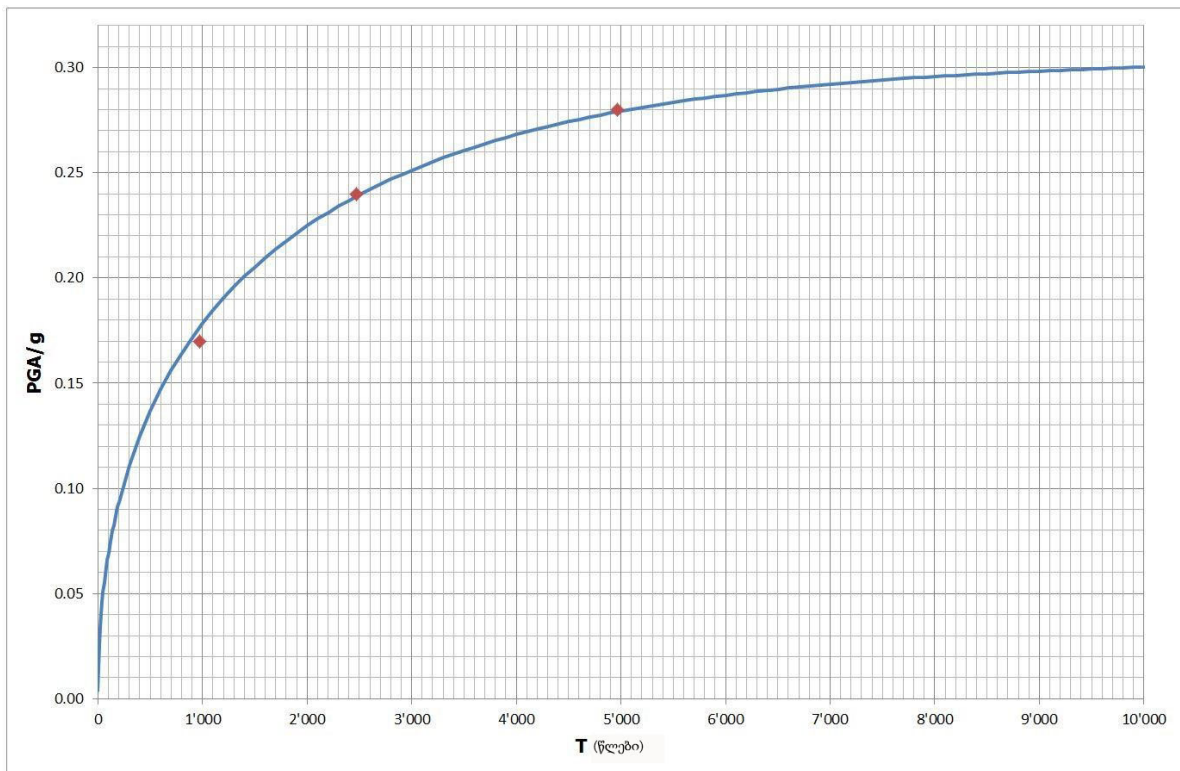
ცხრილი 5 - PGA მნიშვნელობები ჭელიძე და სხვ. რუკები

PGA ღირებულებები მიყვება შემდეგ დროზე დამოკიდებულ კანონს:

$$PGA/g = a + b T + c T^{0.5} + d T^2$$

ზემოაღნიშნული მნიშვნელობების ინტერპრეტაციით, ყველაზე ნაკლებად კვადრატების შესაფერის პროცედურის საშუალებით, შეგიძლიათ იხილოთ შემდეგი პარამეტრები:

- a = 0.0039822202
- b = - 4.734901E-05
- c = 0.0069929684
- d = 7.0454433E-10



ნახ. 2.3.14 - PGA vs დაბრუნების პერიოდი ნამახვანის ადგილას

მაღალი დაბრუნების პერიოდებთან დაკავშირებული PGA ღირებულებები ხშირად ძალიან მაღალი და არარეალურია, ამიტომ მათი შემცირება შესაძლებელია დეტერმინისტული მიდგომით გაანგარიშებული MCE ღირებულებით.

### 2.3.5 საპროექტო მიწისძვრები

კაშხლებისა და მათი დამხმარე ობიექტების დაზიანება შეიძლება გამოიწვიოს ნაწევის პირდაპირმა მოძრაობამ კაშხლის საძირკველზე, ან, რაც უფრო სავარაუდოა, გრუნტის მოძრაობამ, რომელიც გამოწვეულია მიწისძვრით, რომელიც ხდება კაშხალიდან გარკვეული მანძილის მოშორებით.

კაშხლების მიწისძვრით დაზიანების ისტორიული მოვლენები მერყეობდა მცირედი ბზარებიდან ან ნალექებიდან წყალსაცავის მიერ წყლის შენარჩუნების უნარის მკვეთრ შემცირებამდე და დაკარგვამდე, თუმცა მიწისძვრის შედეგად არცერთ ბეტონის კაშხალს არ განუცდია კატასტროფული დაშლა (2010, ICOLD).

ამ პარაგრაფში მოკლედ არის შეჯამებული უახლესი სახელმძღვანელო პრინციპები ICOLD (2010) სეისმური შეფასების პარამეტრების შერჩევისათვის, ნებისმიერი ახალი კაშხლისა და დამხმარე ნაგებობებისათვის მიწისძვრისადმი მდგრადი პროექტის უზრუნველსაყოფად.

ამასთან, წარმოდგენილია ნამახვანთან დაკავშირებული პროექტის შერჩეული ვარიანტები, კერძოდ, სხვადასხვა დონეზე გრუნტის მოძრაობები, საპასუხო სპექტრი და დროებითი დამოკიდებულებები.

ICOLD (2010) თანახმად, კაშხლის პროექტისთვის შესაძლებელია განისაზღვროს გრუნტის მოძრაობის სამი დონე:

- მაქსიმალურად შესაძლო მიწისძვრა (MCE);
- უსაფრთხოების შეფასების მიწისძვრა (SEE), რომელიც ცვლის ტერმინს მაქსიმალურ საპროექტო მიწისძვრას (MDE);
- ოპერაციული ბაზისის მიწისძვრა (OBE).

#### მაქსიმალურად შესაძლო მიწისძვრა (MCE)

MCE განსაზღვრულია ICOLD-ის მიერ (2010 წ.), როგორც "ყველაზე დიდი გონივრულად დასაბუთებული მიწისძვრის სიდიდე, რომელიც შესაძლოდ მიიჩნევა აღიარებული ნაწევით ან გეოგრაფიულად განსაზღვრული ტექტონიკის პროვინციაში, ამჟამად ცნობილი ან სავარაუდო ტექტონიკურ ჩარჩოებში".

MCE გრუნტის მოძრაობის შეფასება ზოგადად ხდება დეტერმინისტული მიდგომის (DSHA) გამოყენებით, მიწისძვრის ყველაზე აქტუალური სცენარის გათვალისწინებით. ეს გრუნტის მოძრაობა შეიძლება უკავშირდებოდეს ხანგრძლივი დაბრუნების პერიოდს, მაგ. 10000 წლის განმავლობაში.

#### უსაფრთხოების შეფასების მიწისძვრა (SEE)

SEE განისაზღვრება ICOLD (2010) -ის მიერ, როგორც "გრუნტის მოძრაობის მაქსიმალური დონე, რომლისთვისაც უნდა იყოს კაშხალი დაპროექტებული ან შეფასებული. კაშხლებისთვის, რომელთა ნაწევი დიდ სოციალურ საფრთხეს ქმნის, SEE როგორც წესი, ხასიათდება ისეთი მოძრაობის დონით, რომელიც მოსალოდნელია კაშხლის ადგილზე, წარმოშობილი დეტერმინისტულიად შეფასებული MCE-საგან ან სავარაუდოებით შეფასებული მიწისძვრის გრუნტის მოძრაობისგან, ძალიან ხანგრძლივი დაბრუნების პერიოდით".

ამ დონეზე საჭირო იქნება მინიმუმ, რომ არ არსებობდეს შეცდომები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს სიცოცხლის დაკარგვა ან მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენოს ქვედა დინების ქონებას წყალსაცავიდან წყლის უკონტროლო გამოშვების შედეგად. დასაშვებია არა ხაზოვანი ქვედა შესაბამისი ზიანით, მაგრამ კაშხლის დაზიანებულმა მდგომარეობამ უნდა უზრუნველყოს წყალსაცავის დონის კონტროლირებადი დაქვეითება რემონტის გასაადვილებლად (1995, USACE).

SEE– სთან დაკავშირებული დაბრუნების შესაფერისი პერიოდი უნდა იყოს (2010, ICOLD):

- 10,000 წელი მაღალი შედეგების კაშხლებისთვის;
- 3'000 წელი ზომიერი შედეგების მქონე კაშხლებისთვის;
- 1'000 წელი დაბალი შედეგების მქონე კაშხლებისთვის.

სამაგრი კონსტრუქციები ( ავზები, ელექტროსადგურები, გამტარი სტრუქტურები და ა.შ.) უნდა იქნას დაპროექტებული დაბრუნების პერიოდით, ტოლი იმ პერიოდის რომელიც მითითებულია სეისმური შენობების კოდექსში, რაც, როგორც წესი, 475 წელია. ნაგებობებისთვის, რომლებიც გადამწყვეტია კაშხლის უსაფრთხოებისთვის (მაგ. ქვედა გასასვლელი, წყალის გამშვები კარიბჭე, საკონტროლო განყოფილება) პროექტი უნდა ეფუძნებოდეს SEE -ს (2010, ICOLD).

ოპერაციული ბაზისის მიწისძვრა (OBE)

OBE განისაზღვრება ICOLD (2010) - ის მიერ, როგორც „კაშხლის ადგილზე გრუნტის მოძრაობის დონე, რომლისთვისაც მხოლოდ მცირე დაზიანების მიღებაა მისაღები. კაშხალი, სამაგრი კონსტრუქციები და აღჭურვილობა უნდა დარჩეს ფუნქციონალური, ხოლო დაზიანება უნდა იყოს ადვილად გამოსწორებადი [...] ხშირ შემთხვევაში, მიზანშეწონილია აირჩიოთ მინიმალური დაბრუნების პერიოდი 145 წლის ვადით (ე.ი. 50% -იანი ალბათობა 100 წელიწადში არ გადაჭარბების) ”.

პროექტის ღირებულებები

ზემოხსენებული სახელმძღვანელოს გათვალისწინებით, პროექტისთვის მიღებულია შემდეგი პროექტის PGA– ები.

	T	PGA	მიწისძვრა
	წლები	-	-
SEE	3'000	0.25	უსაფრთხოების შეფასების მიწისძვრა
OBE	145	0.08	ოპერაციული ბაზისის მიწისძვრა

ცხრილი 6 - პროექტის PGA მნიშვნელობების განსაზღვრა

**2.3.6 საპასუხო სპექტრი**

საპასუხო სპექტრები წარმოადგენს მაქსიმალურ რეაგირებას (აჩქარებისათვის, სიჩქარისთვის ან გადაადგილებისთვის), როგორც სიხშირის ფუნქცია, მოცემული დემფირების კოეფიციენტისთვის, თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე სისტემისთვის, რომელიც ექვემდებარება დროზე დამოკიდებულ მაგნიტური ველის წარმოქმნას. საპასუხო სპექტრი, რომელიც ეხება SEE და OBE- ს, შეიძლება განისაზღვროს გრუნტის აჩქარების მაქსიმალური მნიშვნელობით, ადგილზე დამოკიდებულების ან



ადგილისგან დამოუკიდებელი განზოგადებული სპექტრული ფორმის გამოყენებით.

დემფირების დონე, რომლისთვისაც უნდა იქნას განსაზღვრული საპასუხო სპექტრი SEE და OBE ს წარმოსადგენად, იმყოფება დიაპაზონში, რომელიც დამოკიდებულია კაშხლის ტიპსა და განსახილველ გრუნტის მოძრაობის დონეზე. მაგალითად, ბეტონის კაშხლების ანალიზისთვის დემფირების დონე როგორც წესი მერყეობს 3-დან 10% -მდე, ეს დამოკიდებულია იმაზე, არის თუ არა პასუხი, სავარაუდოდ, ელასტიური, თუ არა ხაზოვანი, როგორცაა ბეტონის დაშლა, ირიბად შედის ანალიზში, თუ სავარაუდოდ დემფირების დონე არის მაღალი.

დიდი თაღოვანი კაშხლების დემფირების დონეები, ზოგადად, უფრო მცირეა მასიური სიმძიმის კაშხლებისგან, რადიაციული დემფირების ეფექტების გამო. გრუნტის მოძრაობის დახასიათებისათვის, ყველაზე ხშირად გამოყენებული მნიშვნელობა არის დემფირების 5% -იანი მნიშვნელობა (2010, ICOLD).

ევრო კოდექსი 8 უზრუნველყოფს ელასტიური საპასუხო სპექტრის აჩქარებას ჰორიზონტალური კომპონენტებისთვის, როგორც ცვალებადი პერიოდის ფუნქცია T.

ისინი გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$\begin{aligned}
 S_e(T) &= a_g S [1 + T / T_B (2.5 \eta - 1)] & 0 \leq T \leq T_B \\
 S_e(T) &= a_g S 2.5 \eta & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_e(T) &= a_g S 2.5 \eta (T_C / T) & T_C \leq T \leq T_D \\
 S_e(T) &= a_g S 2.5 \eta (T_C T_D / T^2) & T_D \leq T \leq 4s
 \end{aligned}$$

სადაც:

- $S_e(T)$  არის ელასტიური ჰორიზონტალური რეაგირების სპექტრი;
- T არის ხაზოვანი თავისუფლების ერთი ხარისხის მქონე სისტემის ვიბრაციის პერიოდი;
- $a_g$  არის გათვლითი გრუნტის დაჩქარება კლდეზე (PGA);
- $T_B$  არის მუდმივი სპექტრული ფსევდო-აჩქარების შტოს პერიოდის ქვედა ზღვარი;
- $T_C$  არის მუდმივი სპექტრული ფსევდო-აჩქარების შტოს პერიოდის ზედა ზღვარი;
- $T_D$  არის ღირებულება, რომელიც განსაზღვრავს მუდმივი სპექტრულ გადაადგილებას შტოს დასაწყისში;
- $\xi$  არის ნიადაგის ფაქტორი;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

- $\eta \geq 0.55$  არის დემფინგის კორექციის ფაქტორი ( $\eta = 1$  -ს დემფინგის 5% -ისთვის).

ვერტიკალური კომპონენტისთვის, ელასტიური საპასუხო სპექტრის დაჩქარების განტოლებები ხდება:

$$\begin{aligned}
 S_{ve}(T) &= a_{vg} [1 + T / T_B (3.0 \eta - 1)] & 0 \leq T \leq T_B \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} 3.0 \eta & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} 3.0 \eta (T_C / T) & T_C \leq T \leq T_D \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} 3.0 \eta (T_C T_D / T^2) & T_D \leq T \leq 4s
 \end{aligned}$$

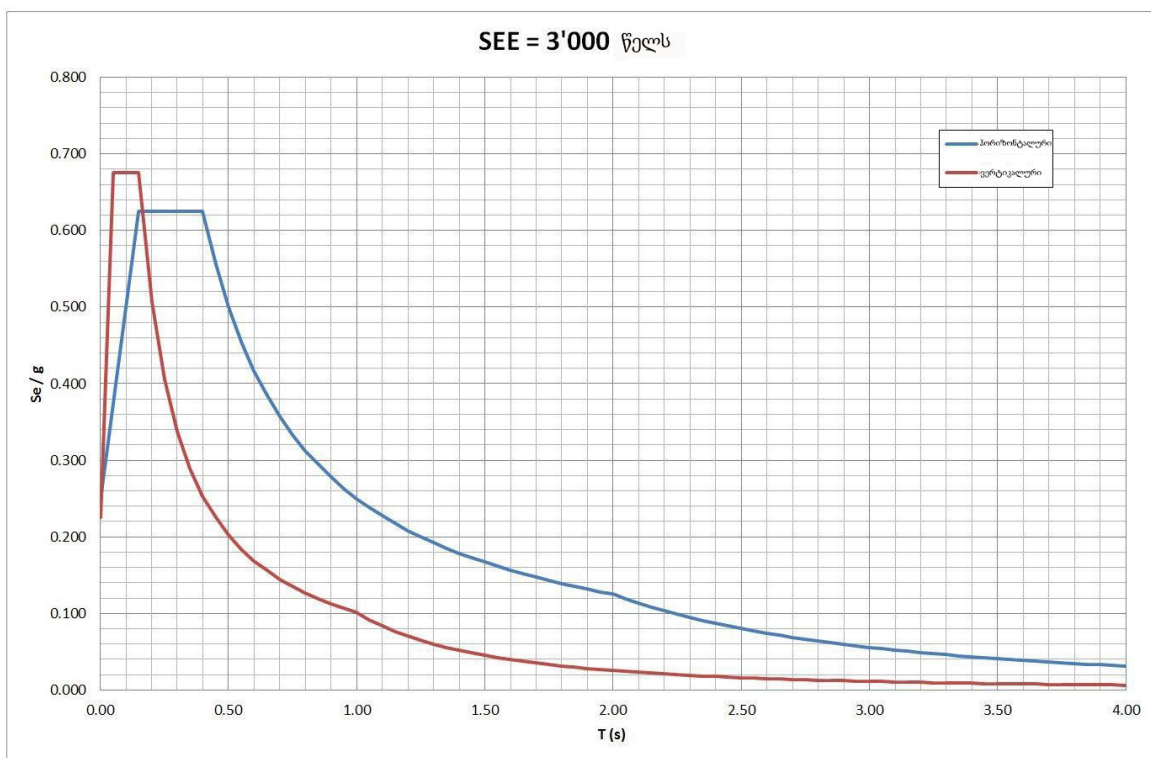
სადაც:

- $S_{ve}(T)$  არის ელასტიური ვერტიკალური საპასუხო სპექტრი;
- $a_{vg} = 0.9 a_g$  ტიპი 1 სპექტრისთვის (დაკავშირებული მიწისძვრასთან რომელთა  $M > 5.5$ );

ტიპი 1-ის საპასუხო სპექტრისა და მყარი საძირკველებისათვის (ტიპი A ადგილი, ევროკოდი 8-ის მიხედვით) მითითებულია შემდეგი პარამეტრები:

		OBE (T = 145 წელი)		SEE (T = 3'000 წელი)	
		ჰორიზონტალური	ვერტიკალური	ჰორიზონტალური	ვერტიკალური
$a_g$	g	0.080	0.072	0.250	0.225
$T_B$	s	0.15	0.05	0.15	0.05
$T_C$	s	0.40	0.15	0.40	0.15
$T_D$	s	2.00	1.00	2.00	1.00
S	-	1	-	1	-
$\xi$	%	5	5	5	5
$\eta$	-	1.0	1.0	1.0	1.0

ცხრილი 7 - ელასტიური საპასუხო სპექტრის დაჩქარების პარამეტრები OBE და SEE-სთვის (ევროკოდი 8)



ნახ. 2.3.15 - ელასტიური რეაგირების სპექტრის დაჩქარება SEE- სთვის (ევროკოდი 8)

### 2.3.7 დროებითი დამოკიდებულებები

სეისმური პარამეტრების განსაზღვრა უმაღლესი მნიშვნელობებით და სპექტრული მახასიათებლებით საკმარისია მრავალი კაშხლის გამოყენებისთვის. მაღალი სეისმურობის ადგილებში მყოფი კაშხლების და ძირითადი კაშხლების შესავასებლად საჭიროა არა წრფივი ანალიზის ტექნიკა. ამისათვის საჭიროა

დროებითი დამოკიდებულებების აჩქარების ჩანაწერები.

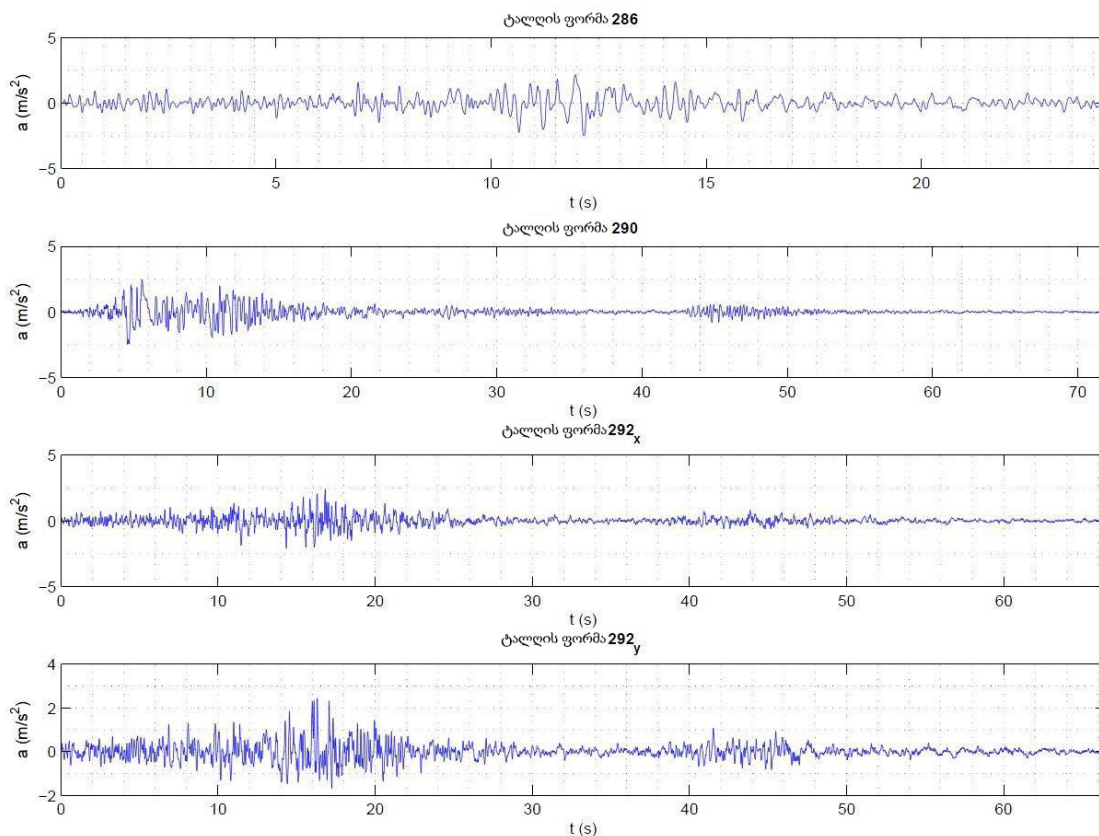
ასეთი ანალიზის შედეგები აჩვენებს სეისმური პასუხის ზოგად ქცევას და შეუძლია მოგვცეს მოსალოდნელი არაელასტიკური დაზიანების გონივრული შეფასება, როდესაც არაწრფივი ფორმა მიიჩნევა მცირედიდან ზომიერამდე. ჰიდრავლიკური სტრუქტურების სრული არაწრფივი ანალიზი ამჟამად არ არის პრაქტიკული, რადგან განხილულ შეიძლება იქნას არაწრფივი რეაგირების მხოლოდ შეზღუდული ასპექტები (მაგ., ერთობლივი გახსნა, ბლოკების დახრილობა).

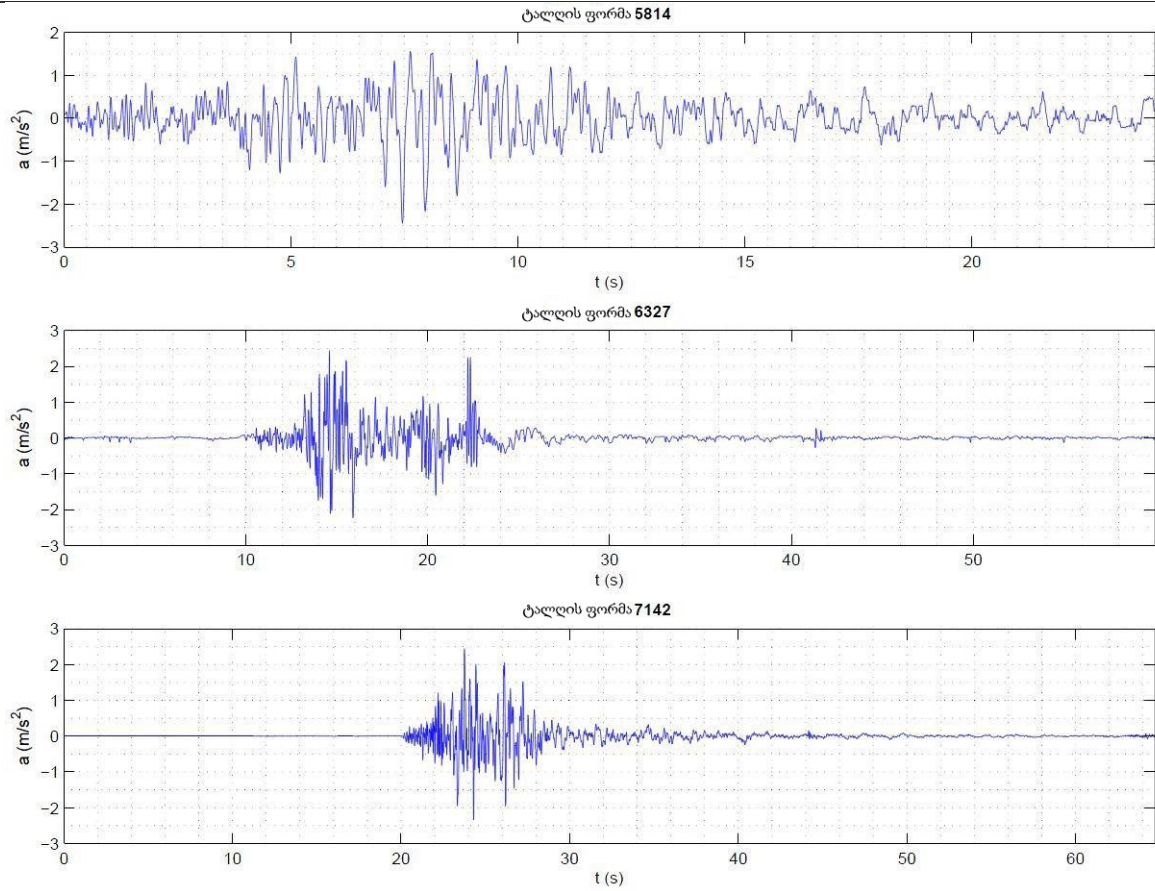
ამასთანავე, შეიძლება განხორციელდეს ხაზოვანი დროებითი დამოკიდებულებების ანალიზი, რომელიც მოიცავს სტრუქტურის სრული დროებითი საპასუხო ისტორიის, და არა მხოლოდ მაქსიმალური მნიშვნელობების გამოთვლას.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიწისძვრების ჩანაწერი და მათი დაგროვება არის მიწისძვრის თვისებების გამოვლენის და კაშხალზე მოქმედი გრუნტის მოძრაობების ძირითადი მონაცემების მოპოვების ყველაზე უსაფრთხო გზა.

REXEL- ის პროგრამის საშუალებით შერჩეულ იქნა ისტორიები რეალურ დროში (2009, იერვოლინო და სხვ.). ეს პროგრამა საშუალებას იძლევა, მოძებნოთ ერთიდან ოცდაათამდე თავსებადი ჩანაწერის ნაკრები, საშუალოდ, პროექტის სპექტრით (განსაზღვრულია ევროკოდი 8-ის შესაბამისად). REXEL- ში მოცემული მონაცემთა ბაზა არის ევროპული ძლიერი მოძრაობის მონაცემთა ბაზა (ESD), იტალიის აქსელერომეტრული არქივი (ITACA) და შერჩეული შეყვანის მოძრაობები, გადაადგილების საფუძველზე დაყრდნობილ შეფასებისა და პროექტისათვის (SIMBAD).

SEE - სთან დაკავშირებული დროებითი დამოკიდებულებები, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური აჩქარებისათვის, ნაჩვენებია შემდეგ ფიგურებსა და ცხრილებში:

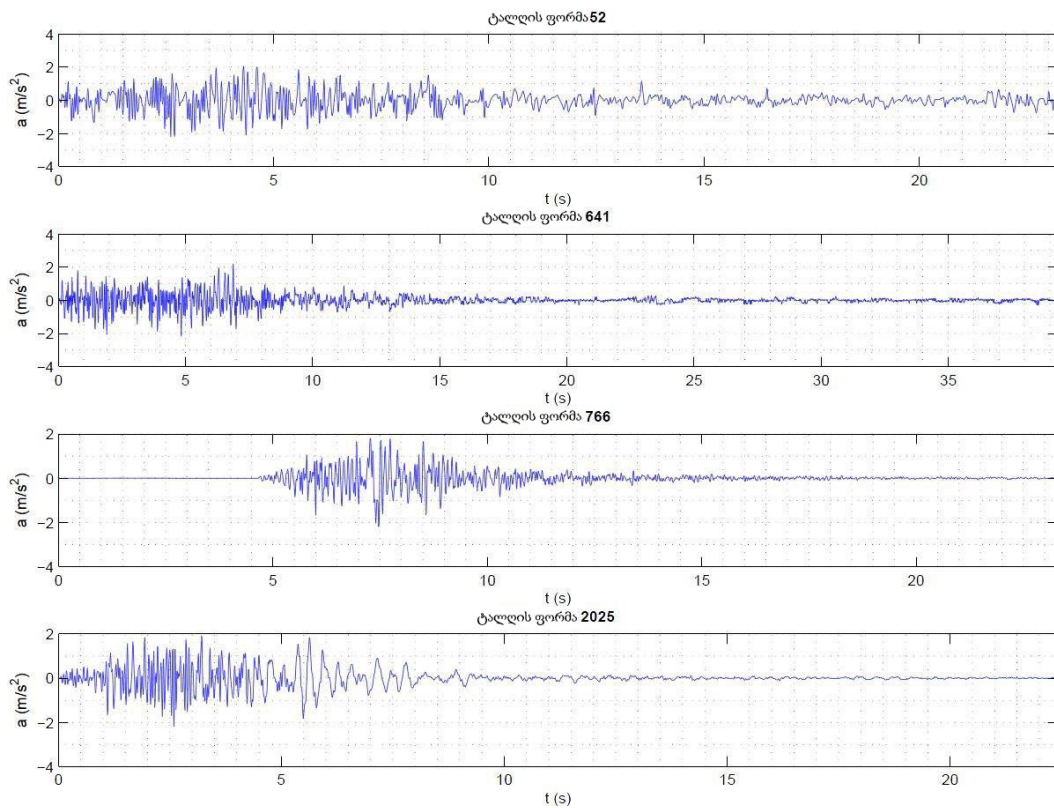




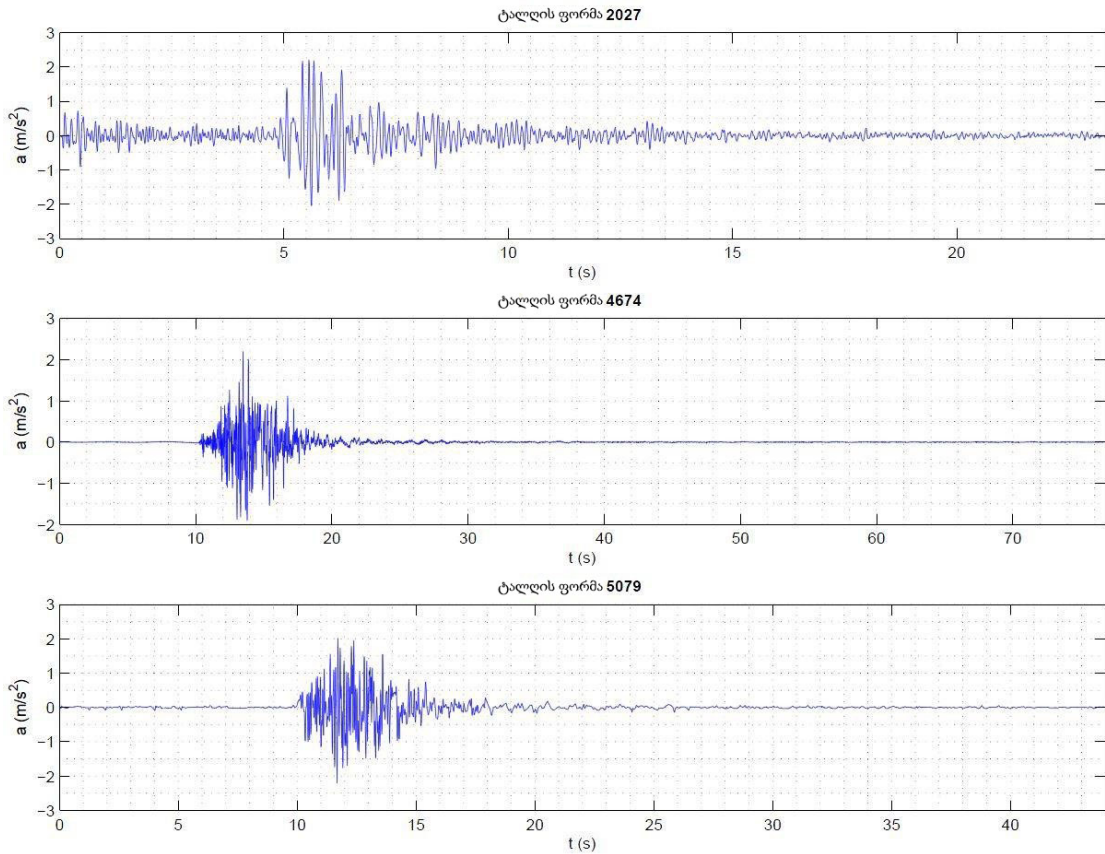
ნახ. 2.3.16 - SEE- სთან დაკავშირებული ჰორიზონტალური აჩქარების არჩეული დროებითი დამოკიდებულებები (ESD- დან)

ტალღის ფორმა ID	მიწისძვრის სახელი	თარიღი	M	ეპიცენტრული მანძილი
-	-	დღე/თვე/წელი	-	კმ
286	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	78
290	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	32
292	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	25
5814	Kalamata	13/10/1997	6.4	61
6327	South Iceland	21/06/2000	6.4	24
7142	Bingol	01/05/2003	6.3	14

ცხრილი 8 - ჰორიზონტალური აჩქარების მიზნით შერჩეულ დროებით დამოკიდებულებებთან დაკავშირებული რეგისტრაციის მახასიათებლები



ნახ. 2.3.17 - SEE- სთან დაკავშირებული ვერტიკალური აჩქარების არჩეული დროებითი დამოკიდებულებები (ESD- დან)



ნახ. 2.3.18 – SEE– სთან დაკავშირებული ვერტიკალური აჩქარების არჩეული დროებითი დამოკიდებულებები (ESD– დან)

ტალღის ფორმა ID	მიწისძვრის სახელი	თარიღი	M	ეპიცენტრული მანძილი
-	-	დღე/თვე/წელი	-	კმ
52	Friuli	06/05/1976	6.5	108
641	Umbria-Marche	14/10/1997	5.6	26
766	Umbria-Marche	14/10/1997	5.6	12
2025	Kremedia	25/10/1984	5.0	16
2027	Ierissos	26/08/1983	5.1	42
4674	South Iceland	17/06/2000	6.5	5
5079	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	6

ცხრილი 9 - ვერტიკალური აჩქარების მიზნით შერჩეულ დროებით დამოკიდებულებებთან დაკავშირებული რეგისტრაციის მახასიათებლები