

შპს „ამბასადორი ბათუმი აილენდ“

ქ. ბათუმში ხელოვნური კუნძულის მშენებლობის და  
ექსპლუატაციის პროექტი

სკოპინგის ანგარიში

დანართი 3. სეისმური საშიშროები ანალიზი

**AMBASSADORI BATUMI ISLAND LLC.**

**DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE  
AMBASSADORI BATUMI ISLAND PROJECT**

**SITE SPECIFIC SEISMIC HAZARD AND  
ANALYSIS REPORT**

**(BTM-CLI-YPJ-BRW-MS-04-107-00-C-00)**

**YÜKSEL  
PROJE**

კლიენტი/CLIENT

ხელმოწერა/Signature

შპს. ამბასადორი ბათუმი აილენდი  
AMBASSADORI BATUMI ISLAND LLC.

სანაპირო სტრუქტურის დეტალური დიზაინი  
ამბასადორი ბათუმი აილენდის პროექტისთვის  
DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE  
AMBASSADORI BATUMI ISLAND PROJECT

დიზაინერი/DESIGNER

**YUKSEL PROJE**  
A.Ş.

ვის მიერ არის  
მომზადებული  
Prepared By

D.KARAKUŞ

ვის მიერ არის  
მომზადებული  
Prepared By

B.BAŞARAN

შემოწმებულია  
Checked By

M.ESEN

შემოწმებულია  
Checked By

H.K.CİHAN

დამტკიცებულია  
Approved By

K.ELMALI

დოკუმენტის დასახელება/Document name

უბნის სპეციფიკური სეისმური საფრთხისა  
და ანალიზის ანგარიში

SITE SPECIFIC SEISMIC HAZARD AND ANALYSIS REPORT

დოკუმენტის /Document No

პროექტის კოდი Prj.Code	კონტ. კოდი Cont. Code	ქვე კონტ. კოდი Sub.Cont.Code	ზონის კოდი Area Code	დისციპლინა Discipline	საგნის კოდი Subject Code	დოკ. N Doc.No	ფურცელი Sheet	პროექტის ეტაპი Des.Stg.	გადახედვა Revision
BTM	CLI	YPJ	BRW	MS	04	107	00	C	00

თარიღი  
Date

სექტემბერი 2022  
November 2022

მასშტაბი  
Scale

ეტაპი  
Stage

კონცეპტუალური დიზაინი/Conceptual Design

ფურცელი  
Sheet

ფურცლები  
Sheets

## სარჩევი

1. შესავალი .....	1
2. ნორმატივი და პროექტთან დაკავშირებული გრუნტის რხევის კრიტერიუმები .....	2
3. ნეოტექტონიკა .....	3
4. სეისმურობა .....	8
5. სეისმური კერის დახასიათება .....	11
5.1. მოდელი-1 (ფართობრივი ტიპის სეისმური კერის მოდელი) .....	11
5.2. მოდელი-2 (რღვევის და ფონური სეისმურობის კერა) .....	12
6. მიწისძვრის განმეორებადობა .....	13
7. გრუნტის მოძრაობის დახასიათება .....	14
8. ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგები .....	15
8.1. მეთოდოლოგია .....	15
8.1.1. ჰუასონის მოდელი .....	16
8.1.2. გათანაბრებული სეისმურობის მოდელი .....	16
8.2. ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი ალბათური სეისმური საშიშროების მოდელი და შედეგები ...	17
9. რეგიონალური სეისმური საშიშროების სხვა შეფასებებთან შედარება .....	18
9.1. ESHM13 პროექტზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება .....	18
9.2. EMME პროექტზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება .....	18
9.3. SERA პროექტზე (2017-2020) დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება .....	19
9.4. ონურის და სხვ. (Onur et al) 2019 წლის კვლევაზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება .....	19
10. გეოტექნიკური პირობები .....	20
11. საპროექტო სპექტრი .....	21
11.1. საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრი .....	21
11.2. საპროექტო ვერტიკალური სპექტრი .....	22
12. სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება .....	23
13. მიმართულობის ეფექტი საპროექტო რეაქციის სპექტრზე .....	25
14. მიმართების (რღვევისპირა) ეფექტები საპროექტო რეაქციის სპექტრზე .....	26
15. სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობა .....	26
15.1. გრუნტის მოძრაობის მასშტაბის განსაზღვრა დროის ინტერვალში .....	27
15.2. სპექტრალური შესაბამისობა სიხშირის ინტერვალში .....	31
16. დასკვნები და წინადადებები .....	42
17. გამოყენებული ლიტერატურა .....	44
დანართი 1. ტერიტორიაზე დამოკიდებული ერთიანი საშიშროების სპექტრის მაჩვენებლები .....	46

## ცხრილების სარჩევი

ცხრილი 1. ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის (Vs30 - 760-800 მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს. ....	17
ცხრილი 2. ESHM13 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის (Vs30 - 760-800 მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს. ....	18
ცხრილი 3. EMME2014 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის (Vs30 - 760-800 მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს. ....	18
ცხრილი 4. ESHM20 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის (Vs30 - 760-800 მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს. ....	19



ცხრილი 5. Onur et al. (2019) მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_{s30} = 760$ მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.	20
ცხრილი 6. გრუნტის მოძრაობის/რხევის დეტერმინისტული პარამეტრები: ( $V_{s30} = 270$ მ/წმ, NEHRP-ს ტერიტორიის კლასი „D“).	24
ცხრილი 7. მაქსიმალური სპექტრალური მაჩვენებლის საშუალო თანაფარდობა ( $RotD100$ ) გეომეტრიული საშუალოს ( $RotD50$ ) მოთხოვნა	25
ცხრილი 8. 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან თავსებადი შერჩეული სეისმური ჩანაწერები	27
ცხრილი 9. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც თავსებადია 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან	29
ცხრილი 10. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც თავსებადია 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან	30
ცხრილი 11. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესატანხმებლად.	32
ცხრილი 12. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესატანხმებლად.	36
ცხრილი 13. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესატანხმებლად	39

## ნახაზების სარჩევი

ნახაზი 1. „ბათუმი აილენდის“ ხედები და გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა	1
ნახაზი 2. უდიდესი რეგიონალური ნეოტექტონიკური ელემენტები (თან და თაიმაზის მიხედვით, 2006 წ.)	4
ნახაზი 3. საქართველოს აქტიური სტრუქტურების რუკა (წერეთელი და სხვ., 2016 წ.)	5
ნახაზი 4. რღვევის კერები EMME პროექტის (Danciu et al, 2015) მიხედვით	5
ნახაზი 5. „ბათუმი აილენდის“ (წითელი ვარსკვლავით აღნიშნული) პროექტის განთავსების რეგიონის ტექტონიკური რუკა (საქართველოს ტექტონიკური რუკის მიხედვით, გამყრელიძე და სხვ., 2013 წ.)	6
ნახაზი 6. აჭარის რეგიონის ტექტონიკური სქემა. წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ განთავსების ტერიტორია (ჯორჯიაშვილი და სხვ., 2016 წ.)	6
ნახაზი 7. სეისმური კერების ზონები (15: ფოთი-აზედათის რღვევა, 33: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი, 21: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილოეთ ღერძული ნაწილი, 22: აჭარა-თრიალეთის ზონის სამხრეთ ღერძული ნაწილი, 23: აჭარისწყალი-თეძამის რღვევა, 4: ცხინვალი-ყაზბეგის რღვევა). წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდი“ (ქელიძე და სხვ. მიხედვით, 2015 წ.)	7
ნახაზი 8. ა), ბ). ნეოტექტონური ზონალურობის სქემები „ბათუმი აილენდის“ მახლობლად. წითელი ვარსკვლავებით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა (ჯორჯიაშვილი და სხვ. (2016წ) გამყრელიძე და სხვ. (1998წ) მიხედვით. (Zajc: აჭარის ზონა, $M_{აქს}5$ ; AT2: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი, $M_{აქს}6.5$ ; f10: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი, $M_{აქს}7$ , f30: აჭარის სისტემა $M_{აქს}5$ )	7
ნახაზი 9. მიწისძვრები საქართველოში. წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა (წერეთელი და სხვ., 2016 წ.)	9
ნახაზი 10. 1900 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w4$ -ზე მეტი) მიწისძვრის ეპიცენტრების რუკა განედურ დიაპაზონში: 40.5-დან 43.5-მდე და გრძივ დიაპაზონში: 40.0-დან 46.5-მდე. (თეთრი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა)	9
ნახაზი 11. ა, ბ ისტორიული (9ა, 1930-მდე) და ინსტრუმენტული (9ბ) დაკვირვების შედეგად დაფიქსირებული მიწისძვრები აჭარის რეგიონში (ჯორჯიაშვილი და სხვ, 2016 წ.)	10
ნახაზი 12. 2000 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w3$ -ზე მეტი) მიწისძვრის ეპიცენტრი განედურ დიაპაზონში: 41.4 -დან 41.9 -მდე და გრძივ დიაპაზონში: 41.1 -დან 42.1-მდე.	10
ნახაზი 13. ფართობრივი სეისმური კერის მოდელი (წითელი ფერით აღნიშნულია აქტიური არაღრმა ქერქული კერები; ლურჯი ხაზით აღნიშნულია: ღრმა სეისმურობა) („ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა აღნიშნულია ლურჯი სამკუთხედით).	12

ნახაზი 14. ინდივიდუალური სეისმოგენური კერის სქემატური გამოსახულება და დახასიათება (Basili et al. 2008).....	13
ნახაზი 15. რღვევის კერის მოდელი („ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა აღნიშნულია ლურჯი სამკუთხედით) .....	13
ნახაზი 16. განმეორებადობის პარამეტრები, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს ტერიტორიაზე 200 კმ-იან რადიუსში.....	15
ნახაზი 17. 5%-იანი დაცხრომის ჰორიზონტალური ერთიანი საშიშროების სპექტრი 2475, 475 და 72 წლიანი განმეორებადობის პერიოდებისთვის (ტერიტორიის კლასი = NEHRP B/C საზღვარი).....	17
ნახაზი 18. გრუნტის პიკური აჩქარება (g) 476 წლიანი განმეორებადობის პერიოდისთვის, რომელიც მოპოვებულია SERA-ს პროექტიდან ( <a href="http://www.efehr.org/">http://www.efehr.org/</a> .....	19
ნახაზი 19. საპროექტო ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი (ASCE-7-16).....	22
ნახაზი 20. საპროექტო ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი 5%-იანი დაცხრომისას NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის .....	22
ნახაზი 21. საპროექტო ვერტიკალური სპექტრი .....	23
ნახაზი 22. პროექტზე დაფუძნებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრი 5%-იანი დაცხრომისას NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის .....	23
ნახაზი 23. a და b. მიწისძვრის საშიშროების დეტერმინისტული ერთიანი სპექტრი, რომელიც დაკავშირებულია NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიის - „ბათუმი აილენდისთვის“ (საშუალო VS30=270მ/წმ) გამოყენებულ მიწისძვრის დეტერმინისტულ სცენარებთან 1 და 2.....	24
ნახაზი 24. რღვევისპირა მაკორექტირებელი კოეფიციენტი როგორც მანძილისა და სპექტრალური პერიოდის ფუნქცია (CALTRANS-ს მიხედვით, 2019) .....	26
ნახაზი 25. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერის სპექტრის შედარება 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან .....	28
ნახაზი 26. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის .....	28
ნახაზი 27. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის სპექტრის შედარება 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან .....	29
ნახაზი 28. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის .....	30
ნახაზი 29. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის სპექტრის შედარება 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან მოცემულია ნახაზზე 29 .....	31
ნახაზი 30. შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის .....	31
ნახაზი 31. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 279).....	33
ნახაზი 32. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 284).....	33
ნახაზი 33. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 295).....	33
ნახაზი 34. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 480).....	34
ნახაზი 35. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 493).....	34
ნახაზი 36. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 567).....	34
ნახაზი 37. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 1754).....	34
ნახაზი 38. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4351).....	35
ნახაზი 39. შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4489).....	35

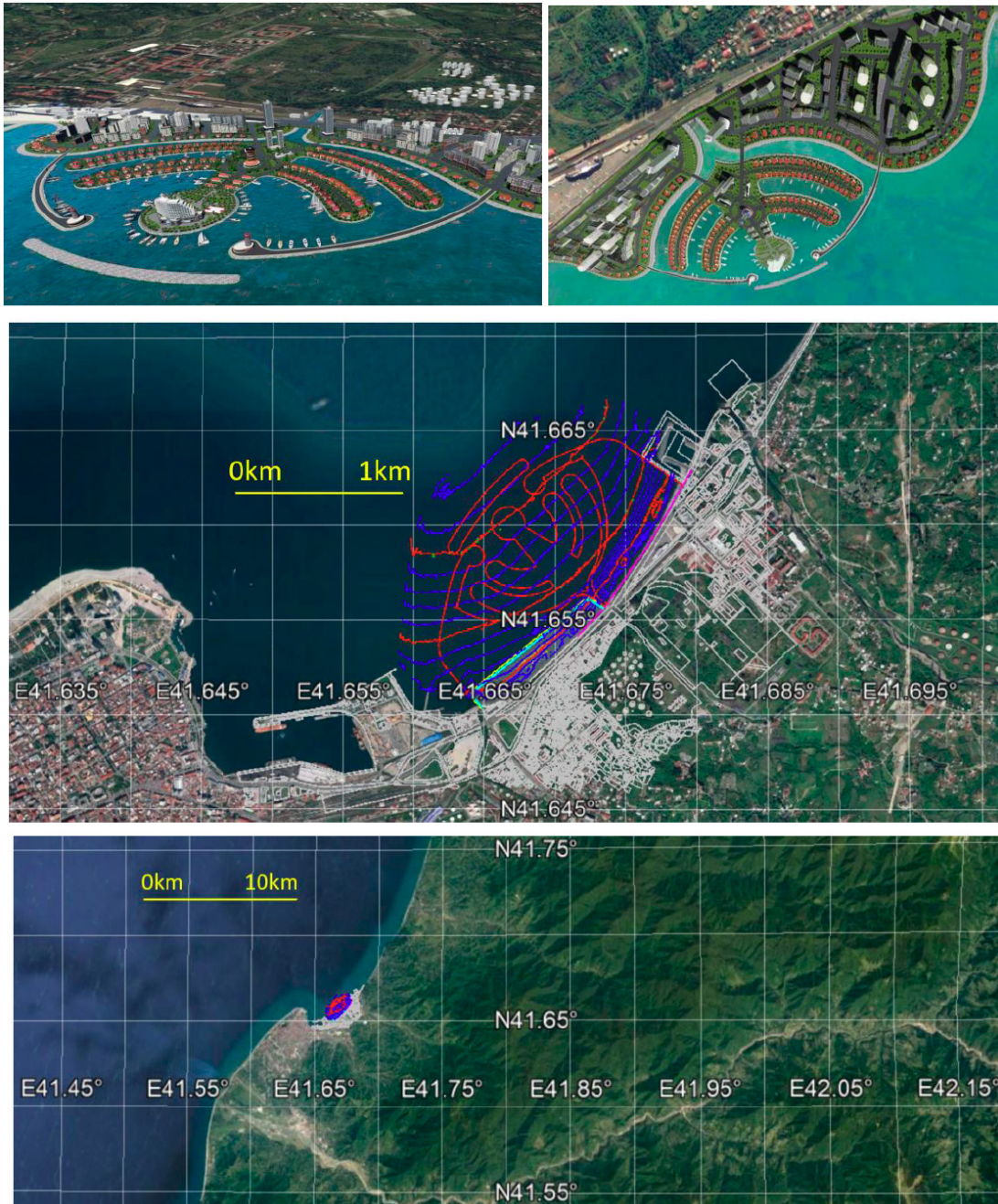




## 1. შესავალი

კვლევის ამოცანას და არეალს წარმოადგენს ალბათური სეისმური საფრთხის შეფასების (PSHA) განხორციელება და პროექტთან დაკავშირებული გრუნტის მოძრაობის შეფასება ბათუმში (საქართველო) დაგეგმილი „ამბასადორი ბათუმი აილენდ“ პროექტისთვის, არსებული მონაცემთა ბაზის და უახლესი ტექნოლოგიების/მეთოდოლოგიის გამოყენებით. „ამბასადორი ბათუმი აილენდ“ პროექტის (შემდგომში ანგარიშში მოხსენიებულია როგორც „ბათუმი აილენდი“) წარმოდგენილი ხედები და გეოგრაფიული ლოკაციები მოცემულია ნახაზზე 1. ანალიზში გამოყენებული კოორდინატებია: 41.6479270 გრძ, 41.6521030 განედ. (საწყისი სიდიდე: WGS84).

**ნახაზი 1.** „ბათუმი აილენდის“ ხედები და გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა



<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

კვლევა იწყება რეგიონის, მათ შორის „ბათუმი აილენდის“ ტერიტორიის და მისი შემოგარენის ნეოტექტონიკური წყობის მიმოხილვით, შესწავლილი იქნება მიწისძვრის გამომწვევი აქტიური ტექტონიკური სტრუქტურები, რომლებსაც შეუძლიათ ზემოქმედება იქონიონ „ბათუმი აილენდის“ პროექტზე. ტექტონიკური წყობის და რეგიონალური სეისმურობის თვალსაზრისით, განხილული იქნება რეგიონში არსებული საფრთხეების შესახებ გამოქვეყნებული კვლევები; ყურადღება გამახვილდება სეისმური კერების ზონების მოდელირებაზე და გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების მოდელზე.

შესწავლილი იქნება ადგილობრივი და რეგიონალური სეისმურობის ინსტრუმენტული კვლევები და ისტორიული სეისმურობა, რომელიც საფუძვლად დაედება მიწისძვრის საფრთხის ანალიზს.

ალბათური სეისმური საფრთხის გაანგარიშების ზოგადი მეთოდოლოგია კარგად არის დამკვიდრებული ლიტერატურულ წყაროებში, რომელიც არსებითად კორნელით (Cornell) (1968წ) იწყება. მეთოდი ორ დამოუკიდებელ მოდელს მოიცავს: სეისმურობის მოდელი, რომელიც აღწერს სეისმური კერების გეოგრაფიულ განაწილებას, ასევე მოდელირებულ სეისმურ კერებში სიმძლავრეების დროებით განაწილებას (სეისმური კერების დახასიათება), და გრუნტის მოძრაობის/რხევის მოდელი, რომელიც აღწერს ნებისმიერ მოცემულ უბანზე გრუნტის მოძრაობის ამპლიტუდების ეფექტს სიმძლავრის მიხედვით, კერა-უბანს შორის მანძილს, რღვევის ტიპს და ა.შ. (გრუნტის მოძრაობის დახასიათება). სეისმური კერის დახასიათების მოდელი მოიცავს გამოვლენილი სეისმური კერის რეგიონების ადგილმდებარეობას და გეომეტრიას, რომელთა სეისმურობა გამოხატული იქნება მიწისძვრის განმეორებადობის ფარდობებით.

„ბათუმი აილენდ“ პროექტში უბნის სპეციფიკური გრუნტის პირობები განხილული იქნება გრუნტის მოძრაობის დახასიათების დროს, როდესაც შესაბამისი ტერიტორიის პირობების შესახებ მონაცემები მოპოვებული იქნება არსებული გეოტექნიკური მონაცემებიდან.

სეისმური მოვლენების განმეორებადობის პროგნოზირებისთვის კვლევაში გამოყენებული იქნება მიწისძვრის განმეორებადობის პუასონის ჰომოგენური სქოლასტიკური მოდელი.

„ბათუმი აილენდის“ საპროექტო ტერიტორიაზე ალბათური სეისმური საფრთხის შეფასება მოხდება განმეორებადობის 72, 475 და 2475 წლების საშუალო პერიოდებზე გაანგარიშებით .

## 2. ნორმატივი და პროექტთან დაკავშირებული გრუნტის რხევის კრიტერიუმები

საზღვაო კონსტრუქციები მნიშვნელოვან ნაგებობებს წარმოადგენენ და მათმა დაზიანებამ შესაძლოა სერიოზული ეკონომიკური დანაკარგი გამოიწვიოს ძლიერი მიწისძვრის სახით (მაგ.: 1999 წლის ქოჯაელის მიწისძვრა, ბულანჟე და სხვ.(Boulanger at al.), 2000წ)

საერთაშორისო მასშტაბით, საზღვაო კონსტრუქციების სეისმური მდგრადობის პროექტირება ზოგადად, ხორციელდება შესაბამისი კოდების გამოყენებით. მათ შორის აღსანიშნავია პორტის კონსტრუქციების სეისმური პროექტირების სახელმძღვანელო მითითებები (Seismic Design Guidelines for Port Structures (PIANC 2001)), ლოს ანჯელესის პორტის სეისმური ნორმატივი (Port of Los Angeles seismic code (POLA 2004)), საზღვაო ნავთობტერმინალის საინჟინრო და ტექნომსახურების სტანდარტები (Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards (MOTEMS 2005)) და ამერიკის ინჟინერ-მშენებელთა საზოგადოება - მოლოებისა და ნავმისადგომების სეისმური დაპროექტება (American Society of Civil Engineers - Seismic Design of Piers and Wharves (ASCE 61-14, 2014)), რომლებიც საიმედო მაგალითებს წარმოადგენენ. ევროკოდი 1: კონსტრუქციებზე ზემოქმედება — ნაწილი 1-8: ზოგადი ზემოქმედება — ტალღების და დინებების ზემოქმედება სანაპირო კონსტრუქციებზე (prEN 1991-1-8) და ევროკოდი 8:

BTM-CLI-YPJ-BRW-MS-04-101-00-D-00	Detailed Design Calculation Report	2
-----------------------------------	------------------------------------	---



<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

სეისმომდეგე კონსტრუქციების დაპროექტება - ნაწილი 5: საძირკვლები, დამცავი კონსტრუქციები და გეოტექნიკური ასპექტები. ასეთი კონსტრუქციების დაპროექტებისას ასევე შესაძლოა გათვალისწინებულ იქნას EN 1998-5:2010.

PIANC 2001 ნორმატივის მიხედვით, მიწისძვრის მოქმედების ორი დონე არის ძირითადად გამოყენებული როგორც სახელმძღვანელო საპროექტო რხევა, რომელიც შემდეგნაირად არის განსაზღვრული: დონე 1 (L1): კონსტრუქციის საექსპლუატაციო ვადაში მოსალოდნელი სეისმური რხევების დონე; დონე 2 (L2): არახშირ, იშვიათ მოვლენებთან დაკავშირებული სეისმური რხევების დონე, რომელიც ჩვეულებრივ იწვევს გრუნტის ძლიერ რყევას. დაზიანების დასაშვები ზღვარი განსაზღვრულია ობიექტების მომხმარებლების/მოსარგებლების კონკრეტული საჭიროებების მიხედვით. კონსტრუქციის დაზიანების კატეგორია პირდაპირ კავშირშია ნაგებობის ფუნქციური შესაძლებლობის აღდგენისთვის საჭირო სამუშაოების ოდენობასთან და ხშირად განიხილება, როგორც მიწისძვრით გამოწვეული პირდაპირი ზარალი/დანაკარგი. მიწისძვრის დონეების და დაზიანების დასაშვები ზღვარის სათანადოდ დადგენის შემდეგ, შესაძლებელია კონსტრუქციის საჭირო საექსპლუატაციო მახასიათებლების დადგენა შესაბამისი საექსპლუატაციო მახასიათებლის დონის გამოყენებით (ე.ი. ექსპლუატაციაზე ორიენტირებული პროექტირება).

ASCE 61-14-ის (2014) მიხედვით, მოითხოვება სეისმური მახასიათებლების ისეთი დონე, რომელიც დაკავშირებულია შემდეგ საკითხებთან: „მინიმალური ზიანი“ - 50%/50 (72-წლიანი განმეორებადობის) გრუნტის რხევის პირობებში, „მართვადი და აღდგენას დაქვემდებარებული ზიანი“ 10%/50 (475-წლიანი განმეორებადობის) გრუნტის რხევის პირობებში და „სიცოცხლის უსაფრთხოების დაცვა“ „საპროექტო მიწისძვრის“ პირობებში, ASCE 7-16-ს თანახმად.

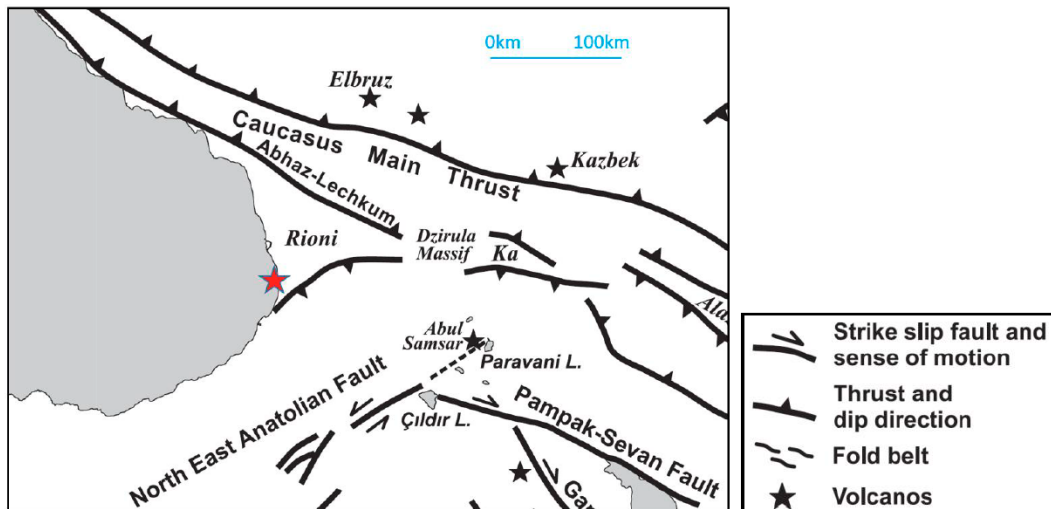
თურქეთის რესპუბლიკის ტრანსპორტის, საზღვაო საკითხთა და კომუნიკაციების სამინისტრომ გამოსცა კოდექსი თურქეთში პორტისა და ნავსადგომის ნაგებობების სეისმომდეგე დაპროექტებისთვის (ოფიციალური ბეჭდვითი ორგანო, 2020 წლის 6 ოქტომბერი, N.31266). აღნიშნული ნორმატიული დოკუმენტის მიზანია „ექსპლუატაციაზე ორიენტირებული პროექტირების“ დანერგვა, სადაც ზიანი რაოდენობრივად განსაზღვრულია პლასტიკური დეფორმაციის მოთხოვნის თვალსაზრისით, რომელიც შეფასებულია მიწისძვრის დროს გრუნტის რხევის თითოეული დონის პირობებში, კონკრეტული საექსპლუატაციო მიზნებისთვის გათვლილი კონსტრუქციული შესაძლებლობების მიხედვით.

წინამდებარე კვლევაში გამოყენებული იქნება ზოგადი მიდგომა, რომელიც დააკმაყოფილებს ყველა ზემოაღნიშნული ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნებს. აქედან გამომდინარე, გრუნტის საპროექტო სეისმური რხევის სამი დონე განისაზღვრა, 50 წელიწადში 50%, 10% და 2% -იანი გადაჭარბების ალბათობით, შესაბამისად. საექსპლუატაციო მახასიათებლები უნდა განისაზღვროს მფლობელი ინჟინრის მიერ გრუნტის სეისმური რხევების სხვადასხვა დონის პირობებისთვის.

### 3. ნეოტექტონიკა

კავკასიის რეგიონი მდებარეობს ევრაზიის, აფრიკა- არაბეთის ფილების გადაკვეთის ადგილზე, სადაც ის ქმნის ტექტონიკურად ერთ-ერთ- ყველაზე აქტიური კონვერგენციის ზონას ალპურ-ჰიმალაურ ოროგენულ სისტემაში. კონვერგენციის ფართო ზონაში დომინირებს დედამიწის ქერქის გაფართოება-შევიწროება, ასევე ნასხლექ-ნაწევი რღვევა, რომელიც წარმოადგენს შეჯახებით გამოწვეული ტექტონიკის ნაწილს. თანი და თაიმაზის (Tan and Taymaz (2006)) ნაშრომების მიხედვით, წარმოდგენილი რღვევები მართავენ ადგილობრივ ტექტონიკურ პირობებს (ნახაზი 2).

ნახაზი 2. უდიდესი რეგიონალური ნეოტექტონიკური ელემენტები (თან და თაიმაზის მიხედვით, 2006 წ.)

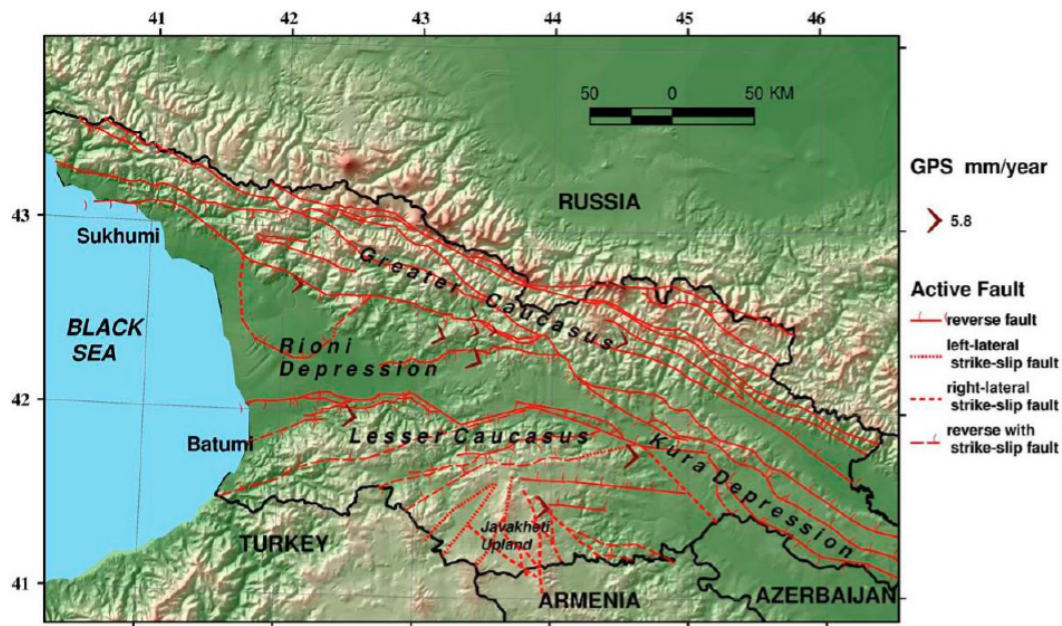


საქართველოს ძირითადი მორფოლოგიური ერთეულებია კავკასიონის და მცირე კავკასიონის მთაგრები, რომლებიც ერთმანეთისაგან გაყოფილია შავი ზღვა-რიონის და მტკვარი-სამხრეთ კასპიის მთათაშუა დაბლობებით. საქართველოს და შავი ზღვა-კასპიის ზღვის რეგიონების თანამედროვე გეოდინამიკა, მთლიანობაში, განპირობებულია მისი მდებარეობით ჯერ კიდევ კონვერგირებად ევრაზიურ და აფრიკა-არაბულ ფილებს შორის. გეოდეზიური მონაცემების თანახმად კონვერგენციის სიჩქარეა 20-30 მმ/წ, რომლის დაახლოებით 2/3, როგორც ჩანს, იხარჯება მცირე კავკასიონის (სევან-აკერის) ოფიოლიტური ნაკერის სამხრეთით, უმეტესად სამხრეთ სომხეთში, ნახჩევანში, ჩდ ირანსა და აღმოსავლეთ თურქეთში. ლითოსფერული ფილების დანარჩენი ს-ჩ მიმართული შეფარდებითი გადაადგილება იხარჯება სამხრეთ კავკასიაში ქერქის დეფორმაცია-შემოკლებაზე (წერეთელი და სხვ., 2016წ).

აქტიური რღვევების სამი ძირითადი მიმართულება შეიძლება გავარჩიოთ რეგიონში: განედური (დჩდ-ასა ან დ-ა) და ორი გარდიგარდმო (ჩა-სდ და ჩდ-სა). სტრუქტურების პირველი ჯგუფი, რომელთაც აქვთ ე.წ. „კავკასიონური“ მიმართებები, წარმოდგენილია კუმშვითი სტრუქტურებით: რევერსიული რღვევებით, ტექტონიკური აშრევებით, რღვევა-განვითარებადი ნაოჭებით. გარდი-გარდმო რღვევები ასევე შეკუმშვითი სტრუქტურებია, თუმცა აქვთ რამდენადმე მნიშვნელოვანი ნაწევური შემადგენელი.

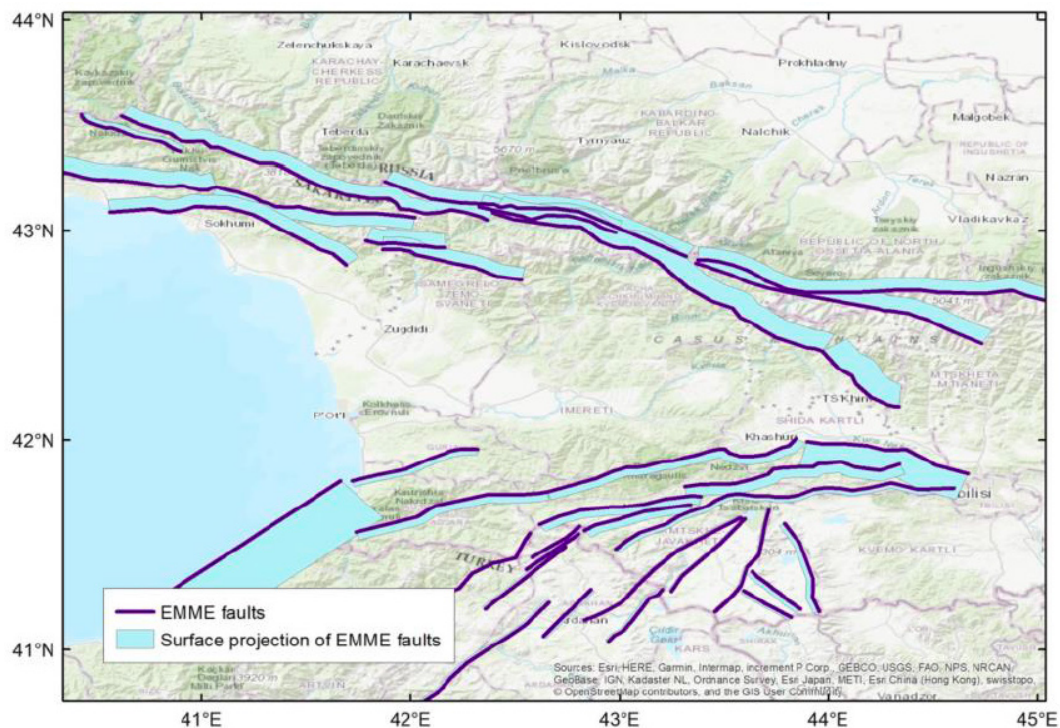
ჭიმვითი ბუნება სუბმერიდიანული რღვევების შემთხვევაში დასტურდება ნეოგენ-მეოტხეული ინტენსიური ვულკანიზმით. ეს კავშირშია სამხრეთ საქართველოს (ჯავახეთის მაღლობი) და დიდი კავკასიონის მთაგრების ჭიმვით რღვევებთან. სამხრეთ საქართველო მოიცავს ჩა-სდ მარცხენა გვერდით ნაწევებს, ჩრდილო-აღმოსავლეთ თურქეთის მსგავსად.

ნახაზი 3. საქართველოს აქტიური სტრუქტურების რუკა (წერეთელი და სხვ., 2016 წ.)



EMME პროექტში (ახლო აღმოსავლეთის სეისმური საშიშროების მოდელი) (Danciu et al, 2015) შედგენილი უდიდესი რღვევები წარმოდგენილია ნახაზზე 4.

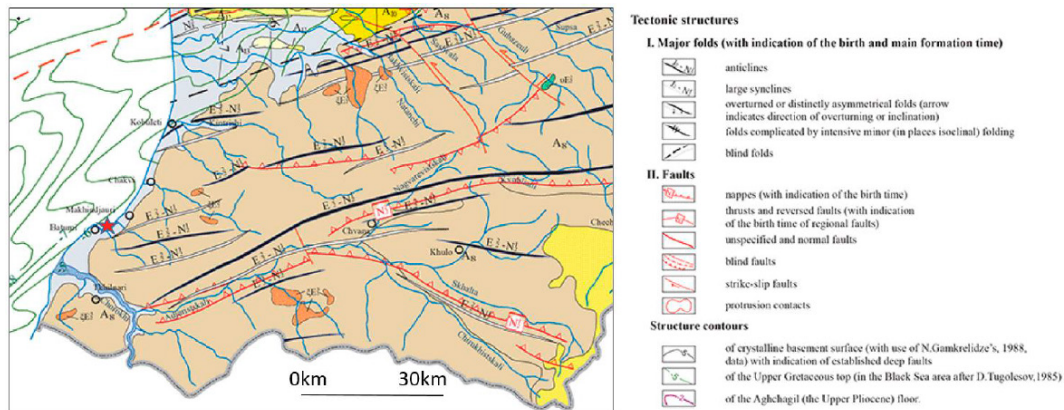
ნახაზი 4. რღვევის კერები EMME პროექტის (Danciu et al, 2015) მიხედვით



„ბათუმი აილენდის“ პროექტის განთავსების რეგიონის ტექტონიკური რუკა მოცემულია ნახაზზე 5, საქართველოს ტექტონიკური რუკის მიხედვით (გამყრელიძე და სხვ., 2013წ.).

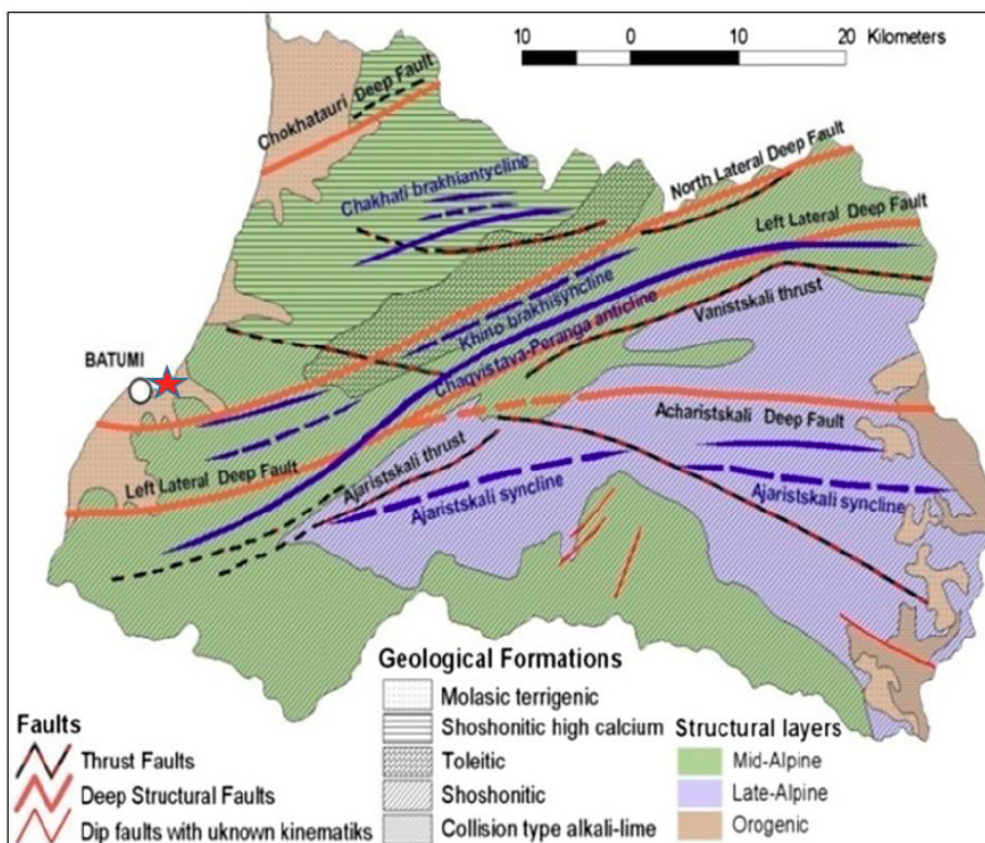


**ნახაზი 5.** „ბათუმი აილენდის“ (წითელი ვარსკვლავით აღნიშნული) პროექტის განთავსების რეგიონის ტექტონიკური რუკა (საქართველოს ტექტონიკური რუკის მიხედვით, გამყრელიძე და სხვ., 2013 წ.)



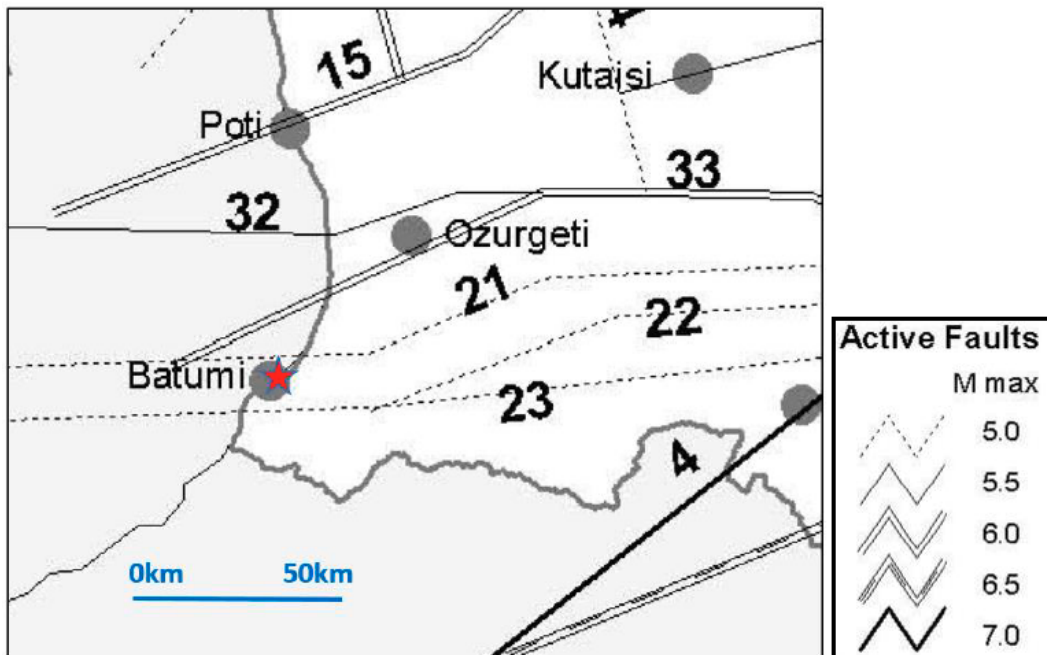
„ბათუმი აილენდის“ ტერიტორია მდებარეობს საქართველოში, მცირე კავკასიონის რეგიონის ნაოჭა სისტემის აჭარა-თრიალეთის ზონაში; იგი შემოსაზღვრულია სტრუქტურულ-მორფოლოგიური ელემენტებით და ანტიკლინური სისტემის სახით გადაჭიმულია შავი ზღვიდან მდ.ივრის ხეობამდე. არსებული ღრმა გვერდითა რღვევები აღნიშნულ ზონას სამ ქვეზონად ყოფენ: შემადლებული ცენტრალური ქვეზონა და შედარებით დაღმავალი ჩრდილოეთ და სამხრეთ ქვეზონები. აჭარა-გურიის ტერიტორია მიეკუთვნება აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის ტექტონიკურად მარტივ დასავლურ სეგმენტს (ნახაზი 6, ჯორჯიაშვილი და სხვ., 2016 წ.).

**ნახაზი 6.** აჭარის რეგიონის ტექტონიკური სქემა. წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ განთავსების ტერიტორია (ჯორჯიაშვილი და სხვ., 2016 წ.)

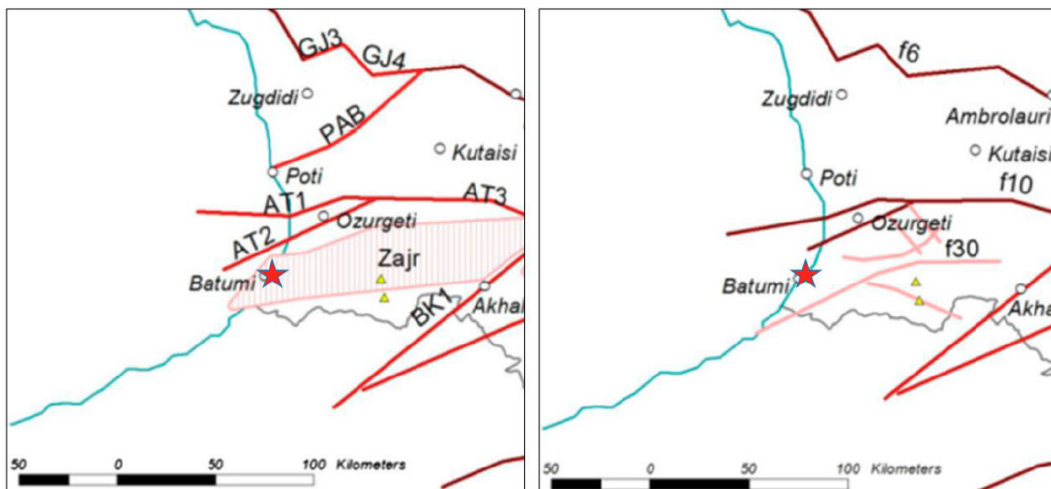


ჭელიძე და სხვ. (2015) მიხედვით საქართველოს სეისმური საშიშროების შეფასებაში გამოყენებულია ერთგვარი გამარტივებული რღვევის კერების ზონები; აღნიშნული ზონები „ბათუმი აილენდის“ პროექტის განთავსების რეგიონთან მიმართებაში წარმოდგენილია ნახაზზე 7. მსგავსი გამარტივებული ნეოტექტონური ზონალობის სქემები „ბათუმი აილენდის“ განთავსების ტერიტორიის მახლობლად მოცემულია ჯორჯიაშვილი და სხვ. (2016 წ) ნაშრომებში, გამყრელიძის და სხვ. მიხედვით (1998 წ) (ნახაზი 8 ა, ბ)).

**ნახაზი 7.** სეისმური კერების ზონები (15: ფოთი-აბედათის რღვევა, 33: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი, 21: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილოეთ ღერძული ნაწილი, 22: აჭარა-თრიალეთის ზონის სამხრეთ ღერძული ნაწილი, 23: აჭარისწყალი-თეძამის რღვევა, 4: ცხინვალი-ყაზბეგის რღვევა). წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდი“ (ჭელიძე და სხვ. მიხედვით, 2015 წ)



**ნახაზი 8.** ა),ბ). ნეოტექტონური ზონალობის სქემები „ბათუმი აილენდის“ მახლობლად. წითელი ვარსკვლავებით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა (ჯორჯიაშვილი და სხვ. (2016წ) გამყრელიძე და სხვ.(1998წ) მიხედვით. (Zajr: აჭარის ზონა,  $M_{აქს}$ 5; AT2: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი,  $M_{აქს}$  6.5; f10: აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილო საზღვარი,  $M_{აქს}$ 7, f30: აჭარის სისტემა  $M_{აქს}$ 5)



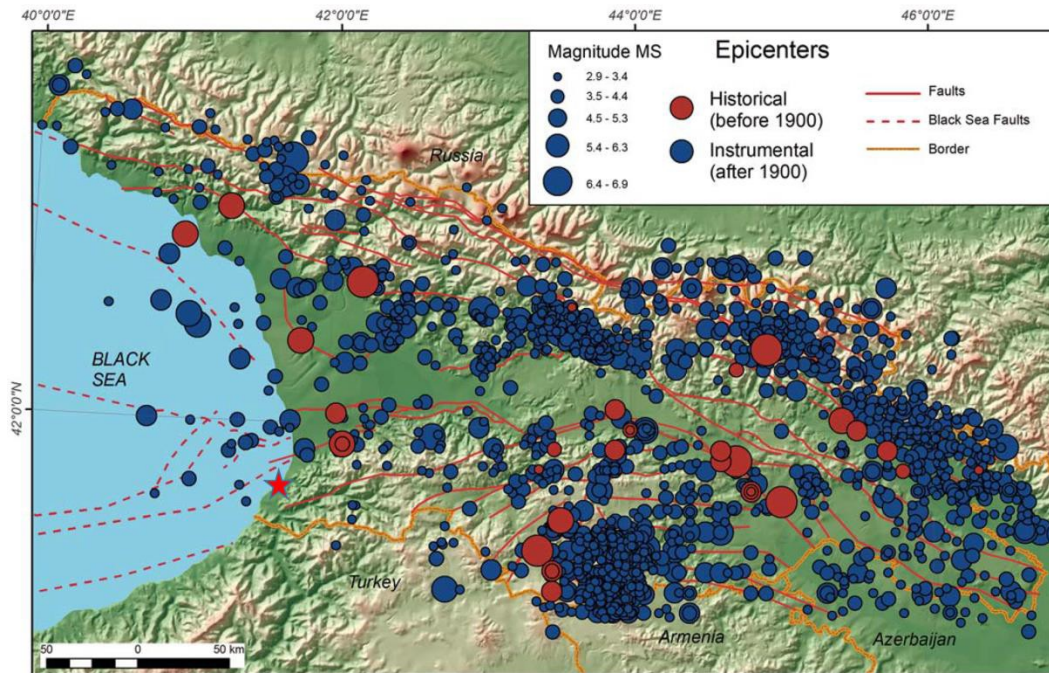
#### 4. სეისმურობა

წარსული, ისტორიული პერიოდის განმავლობაში საქართველოში სეისმურობაზე დაკვირვების მიხედვით, დადგინდა, რომ ქვეყანა საშუალო სეისმურობით ხასიათდება. ისტორიულად და ინსტრუმენტულად დაკვირვებული ყველა ძლიერი და საშუალო მიწისძვრის კერა ( $4.5 < M_s < 7$ ) განლაგებული იყო დიდი და მცირე კავკასიონის ნაოჭა სისტემის და მთათაშორისი დაძირვების გასწვრივ (ნახაზი 9). რღვევის სიბრტყის თვალსაზრისით მიწისძვრის განაწილებამ საშუალო და ძლიერი მიწისძვრების დროს აჩვენა ძაბვის მხოლოდ სამი რეჟიმი - SS (ჰორიზონტალური გადაადგილება), T (შეცოცება), და TS (შეცოცება გადაადგილება), ხოლო სუსტ მიწისძვრებზე განხორციელებულმა დაკვირვებამ აჩვენა ძაბვის ყველა რეჟიმი. ამდენად, საშუალო და ძლიერი მიწისძვრა ასახავს რეგიონალურ ტექტონიკას. მოცემული კლასიფიკაციის მიხედვით, დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობები ხასიათდება უმეტესად შეცოცებებით და შეცოცება-გადაადგილებებით, ხოლო ჯავახეთის მაღლობი - ძირითადად ჰორიზონტალური გადაადგილებებით. საბოლოო ჯამში, მტკვრის ხეობის დაძირულ მონაკვეთზე მოცემულია შეცოცებები-მარჯვენა გვერდითი ჰორიზონტალური გადაადგილებები (წერეთელი და სხვ., 2016).

ყველაზე ძლიერი მოვლენების სიმძლავრე შეფასებულია როგორც 6.5-7, ხოლო მაკროსეისმური ეფექტი როგორც 8-9 MSK სკალით. უდიდესი ისტორიული სტიქიური მოვლენები დაკავშირებული იყო დიდი კავკასიონის (1742 წლის ალავერდის მიწისძვრა,  $M_s=6.8$ , 1350 წლის ლეჩხუმ-სვანეთის ძლიერი მიწისძვრა,  $M_s=7.0$ ) და მცირე კავკასიონზე ჯავახეთის ზეგნის (1088 წლის თმოგვის მიწისძვრა,  $M_s=6.5$ , 1899 წლის ახალქალაქის მიწისძვრა,  $M_s=6.3$ ) აქტიურ რღვევებთან. 1283 წლის ძლიერი მიწისძვრა,  $M_s=7.0$  როგორც ჩანს, უკავშირდება ბორჯომი-ყაზბეგის ჰორიზონტალურად გადაადგილებულ ნაწევებს. ინსტრუმენტალური პერიოდის ძლიერი მოვლენებია ( $M \geq 6$ ) 1905 წლის ტებერდას მიწისძვრა ( $M_s=6.4$ ), 1920 წლის ქართლის მიწისძვრა ( $M_s=6.2$ ), 1940 წლის ტაბაწყურის მიწისძვრა ( $M_s=6.0$ ), 1963 წლის ჩხალთის მიწისძვრა ( $M_s=6.4$ ), 1991 წლის რაჭის მიწისძვრა ( $M_s=6.9$ ) და 1992 წლის ბარისახოს მიწისძვრა ( $M_s=6.5$ ). რაჭის მიწისძვრა, რომელს 1991 წლის 29 აპრილს 09:12:48.1 GMT მოხდა დიდი კავკასიონის სამხრეთ საზღვარზე არის ყველაზე ძლიერი მიწისძვრა, რომელიც ოდესმე დაფიქსირებულა რეგიონში. მიწისძვრის შედეგად 200-ზე მეტი ადამიანი დაიღუპა, დაახლოებით 60 000 ადამიანი უსახლკაროდ დარჩა და ათასობით კვადრატული კილომეტრის ტერიტორია დაინგრა (ჭელიძე და სხვ, 2015 წ).

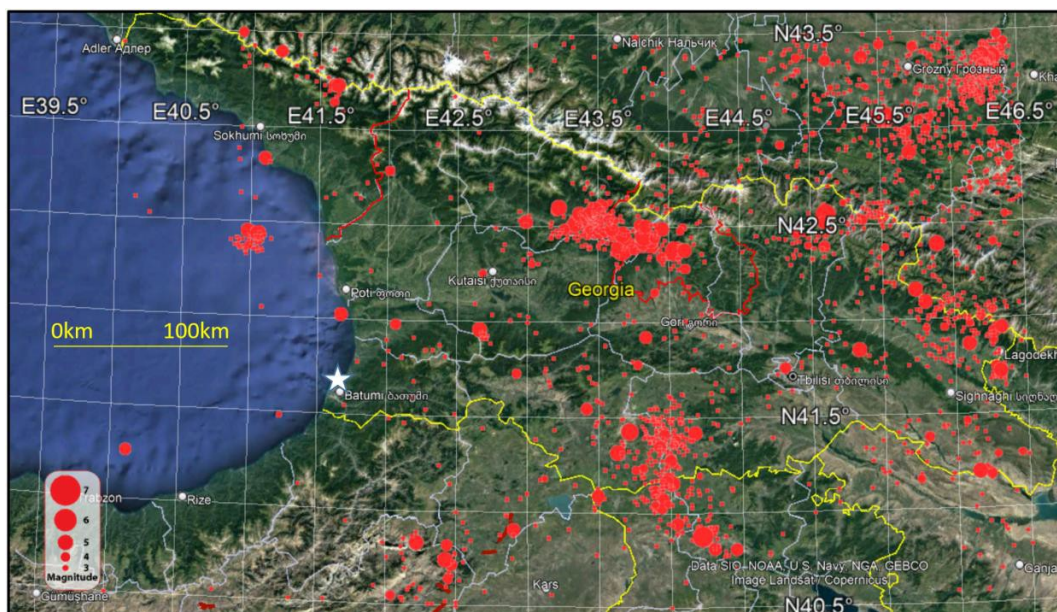


**ნახაზი 9.** მიწისძვრები საქართველოში. წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა (წერეთელი და სხვ., 2016 წ.).



საქართველოს სეისმურობის შესახებ უახლესი მონაცემები მოპოვებულია საერთაშორისო სეისმოლოგიური ცენტრის (ISC) მოვლენათა კატალოგის მონაცემთა ბაზიდან. ნახაზზე 10 მოცემულია 1900 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w4$ ) მიწისძვრის ეპიცენტრი განედურ დიაპაზონში: 40.5-დან 43.5-მდე და გრძივ დიაპაზონში: 40.0-დან 46.5-მდე.

**ნახაზი 10.** 1900 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w4$ -ზე მეტი) მიწისძვრის ეპიცენტრების რუკა განედურ დიაპაზონში: 40.5-დან 43.5-მდე და გრძივ დიაპაზონში: 40.0-დან 46.5-მდე. (თეთრი ვარსკვლავით აღნიშნულია „ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა)

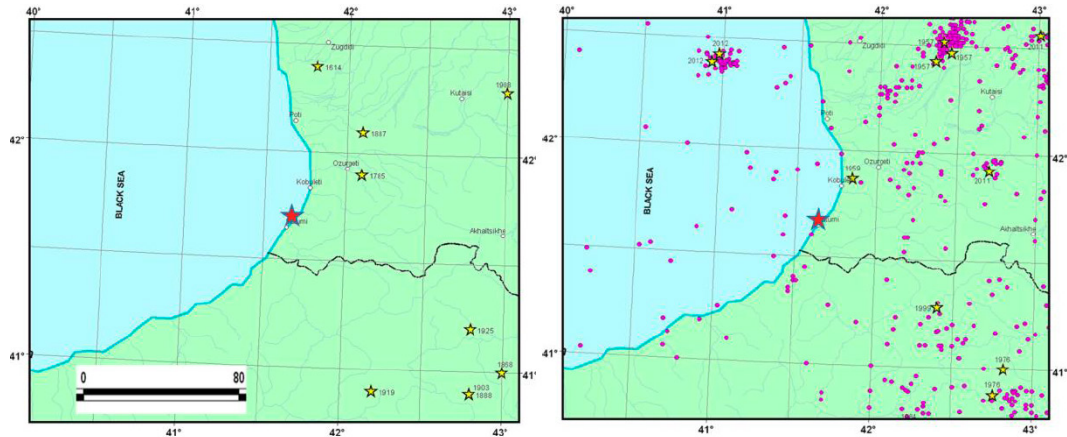


საქართველოს აჭარის რეგიონი, სადაც დაგეგმილია „ბათუმი აილენდის“ განთავსება, არ არის სეისმურად ძალიან აქტიური. ტერიტორიის ისტორიული სეისმურობა ნაჩვენებია ნახაზზე 11ა. ტერიტორია რამდენჯერმე დაზიანდა საშუალო სიძლიერის მიწისძვრებით. ყველაზე ძლიერი



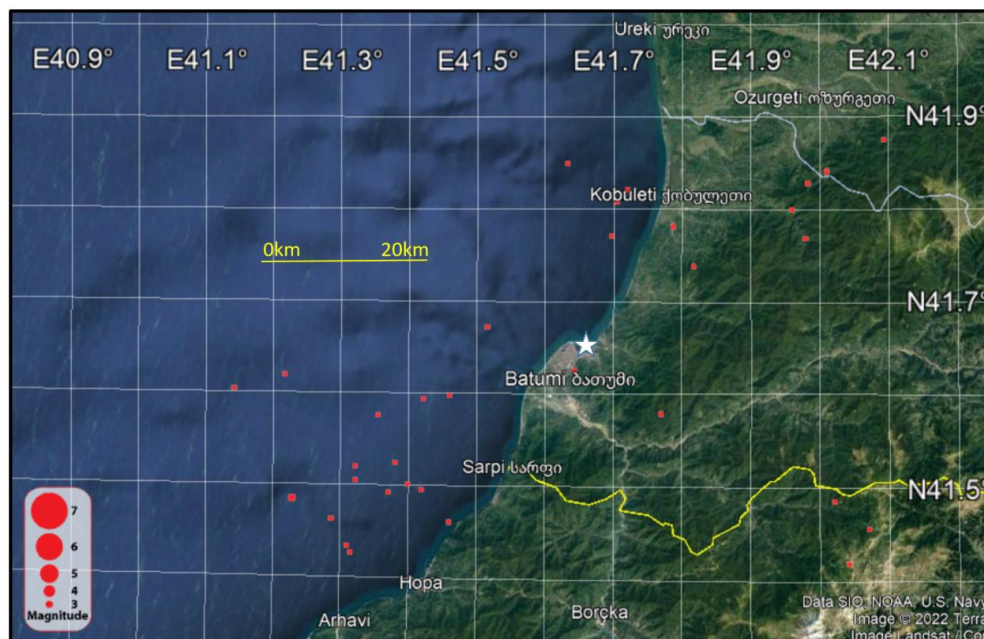
ისტორიული მოვლენა 1868 წელს თურქეთში მოხდა მაგნიტუდით 6.2. ყველაზე ძლიერი ისტორიული მოვლენა საქართველოში 1614 და 1785 წელს დაფიქსირდა, რომელთა მაგნიტუდამ 5.5. შეადგინა. აჭარის რეგიონის სეისმურობა ინსტრუმენტული დაკვირვების მიხედვით მოცემულია ნახაზზე 11ბ). ინსტრუმენტული დაკვირვების პერიოდში უდიდესი მოვლენა დაფიქსირდა 2012 წ-ს შავ ზღვაში მაგნიტუდით 6.0.

**ნახაზი 11.** ა, ბ ისტორიული (9ა, 1930-მდე) და ინსტრუმენტული (9ბ) დაკვირვების შედეგად დაფიქსირებული მიწისძვრები აჭარის რეგიონში (ჯორჯიაშვილი და სხვ, 2016 წ)



რადგან ადრეული პერიოდის მცირე მაგნიტუდის სიძლიერის მიწისძვრების კატალოგი მოცემული რეგიონისთვის არასრულია, რომლის მიზეზად სეისმური სადგურების არასათანადო დაფარვა სახელდება, მიზანშეწონილად მიიჩნევა „ბათუმი აილენდის“ მახლობლად ბოლო ორი ათწლეულის პერიოდის დროს მომხდარი ასეთი მიწისძვრების გამოსახვა. „ბათუმი აილენდის“ მიმდებარე ტერიტორიის სეისმურობის შესახებ უახლესი მონაცემები მოპოვებულია საერთაშორისო სეისმოლოგიური ცენტრის (ISC) მოვლენათა კატალოგის მონაცემთა ბაზიდან. ნახაზზე 12 მოცემულია 2000 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w3$ -ზე მეტი) მიწისძვრის ეპიცენტრი განედურ დიაპაზონში: 41.4 -დან 41.9 -მდე და გრძივ დიაპაზონში: 41.1 -დან 42.1-მდე.

**ნახაზი 12.** 2000 წლიდან დაფიქსირებული ყველა ( $M_w3$ -ზე მეტი) მიწისძვრის ეპიცენტრი განედურ დიაპაზონში: 41.4 -დან 41.9 -მდე და გრძივ დიაპაზონში: 41.1 -დან 42.1-მდე.



<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ 2000 წლიდან მხოლოდ რამდენიმე მიწისძვრა ფიქსირდება მაგნიტუდით  $Mw3-Mw4$  „ბათუმი აილენდიდან 20 კმ-ში. 1900 წლიდან მხოლოდ ერთი მიწისძვრა ფიქსირდება 100 კმ მანძილზე, რომლის მაგნიტუდა  $Mw5$  შეადგენს. როგორც ჩანს, ორი ისტორიული მიწისძვრა მოხდა დახლოებით  $Mw6$  მაგნიტუდით 50-60 კმ მანძილზე.

## 5. სეისმური კერის დახასიათება

სეისმური საშიშროების შეფასების პირველი ნაპიჯი არის სეისმური კერების ზონების გამოყოფა და მათი დახასიათება. ამ მიზნით, გამოყენებული იქნება საქართველოს სეისმური კერების დახასიათება, რომელიც მოცემულია ახლო აღმოსავლეთის სეისმური მოდელირების პროექტში (EMME14). EMME14 პროექტი, რომელიც 2014 წელს OECD-ს მხარდაჭერით შეიქმნა, მიზნად ისახავდა ახლო აღმოსავლეთის რეგიონში სეისმური საშიშროების შეფასების ჰარმონიზაციას ქვეყნების საზღვრების შეზღუდვების გარეშე; აღნიშნული რეგიონი მოიცავდა სომხეთს, აზერბაიჯანს, კვიპროსს, საქართველოს, ირანს, იორდანias, ლიბანს, პაკისტანს, სირიას და თურქეთს.

სეისმური საშიშროების შეფასების უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია სეისმური კერების ზონების დადგენა. არსებობს სეისმური კერის ორი მოდელი, რომლებიც სეისმური კერის განსხვავებულ ტიპოლოგიებს წარმოადგენენ, ფართობრივი (ზონალური) ტიპის სეისმური კერის მოდელი და ნაპრალოვანი რღვევების კერები სივრცულად გათანაბრებულ სეისმურობასთან ერთად. თანდაყოლილი, როგორც ეპისტემიური, ასევე ალეატორული განუსაზღვრელობის გასათვალისწინებლად, კერების აღნიშნული მოდელები დაკავშირებულია ლოგიკური ხის ჩარჩოსთან. სეისმური საშიშროების მოდელის მომზადებისთვის გამოყენებულ იქნა შემდეგი საწყისი მონაცემები და მონაცემთა ბაზა (Danciu et al, 2017).

EMME14 მიწისძვრის კატალოგი (ისტორიული კატალოგი მოიცავს 2,000-ზე მეტ ჩანაწერს ჩვ.წ.აღ-მდე 2000-დან 1899წ-მდე. ინსტრუმენტული დაკვირვების კატალოგი მოიცავს პერიოდს 1900 წ-დან, რომელშიც შედის 6,102 ჩანაწერი  $Mw \geq 5$  მაგნიტუდით.

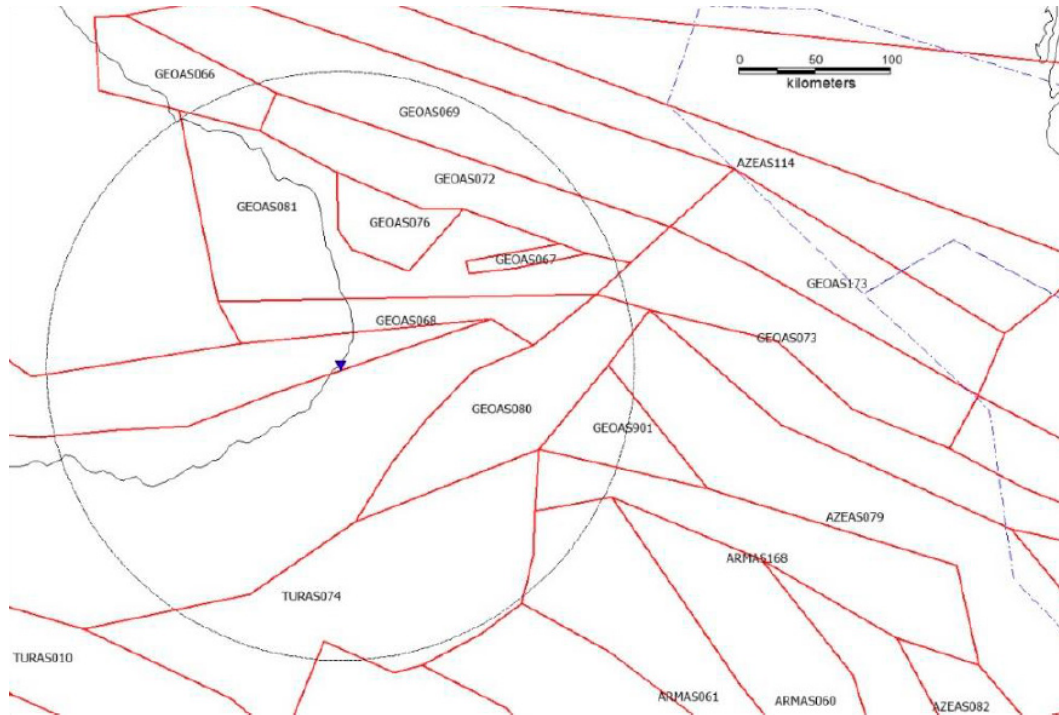
- EMME14 ნეოტექტონიკური მოდელი (შემუშავდა აქტიური ტექტონიკური ციფრული რუკა. სულ განსაზღვრულია 3,397 აქტიური რღვევის მონაკვეთი და განხორციელდა რღვევათა პარამეტრიზაცია საერთო სიგრძით 91,551 კმ.)
- EMME14 არეალი, რღვევათა კერები და ფონური მოდელები
- გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების განტოლებები (Ground Motion Prediction Equations (GMPEs)). შედგენილ იქნა რეგიონალური ძლიერი მოძრაობის ყოვლისმომცველი მონაცემთა ბაზა. საცდელი მეთოდები იქნა გამოყენებული კანდიდატი GMPE-ს კლასიფიცირების დროს და რეგიონალური სეისმური საშიშროების შეფასებებში ლოგიკური ხის გამოყენებისთვის საბოლოო ნაკრების შესარჩევად.

### 5.1. მოდელი-1 (ფართობრივი ტიპის სეისმური კერის მოდელი)

ფართობრივი კერის ზონალურობის მოდელი წარმოადგენს სეისმური კერების საზღვრების დადგენის კლასიკურ მიდგომას. მისი უპირატესობა არის სიზუსტის დაცვის მოთხოვნა ზონის საზღვრების დადგენისას, რომელიც მოიცავს ერთ ან რამდენიმე აქტიურ რღვევას, ან შესაძლოა წარმოადგენდეს კონცენტრირებული სეისმურობის ზონას. განმეორებადობის პარამეტრების

დადგენა შეიძლება თითოეულ ზონაში მიწისძვრის მოხდენის სტატისტიკური ანალიზის მეშვეობით. ფართობრივი ტიპის სეისმური კერის ზონალურობის მოდელი წარმოდგენილია ნახაზზე 13.

**ნახაზი 13.** ფართობრივი სეისმური კერის მოდელი (წითელი ფერით აღნიშნულია აქტიური არაღრმა ქერქული კერები; ლურჯი ხაზით აღნიშნულია: ღრმა სეისმურობა) („ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა აღნიშნულია ლურჯი სამკუთხედით).



ფართობრივი კერის ზონალურობის მოდელი შემდეგ ეტაპებს მოიცავს:

- ტექტონიკური რეგიონალიზაცია;
- სეისმური კერის საზღვრების დადგენა აქტიური რღვევის შესახებ მონაცემთა ბაზის და პროექტისთვის მოწოდებული მიწისძვრების კატალოგის კრიტიკული განხილვის საფუძველზე.
- წყვეტის სხვადასხვა მოდელირების მიკუთვნება ინდივიდუალური კერის ზონებისთვის, ძირითადად რღვევათა პარამეტრების შეფასების, ასევე მიწისძვრის კატალოგისა და სხვა გეოლოგიური მოსაზრებების შედეგად, როგორცაა სეისმოგენური ქერქის სიღრმე.
- მიწისძვრების კატალოგის სისრულის ანალიზი;
- მიწისძვრის ინდივიდუალური კერის ზონებისთვის მიკუთვნება;
- მიწისძვრის განმეორებადობის პარამეტრების გაანგარიშება.

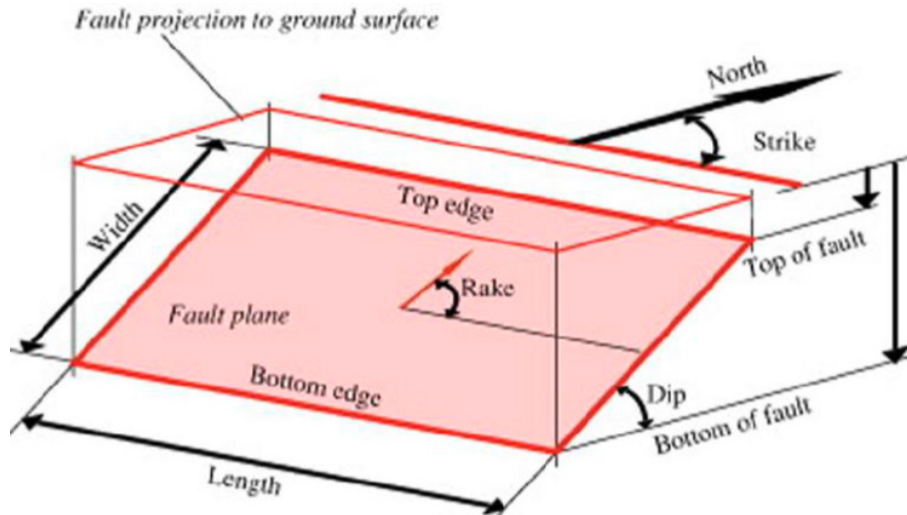
## 5.2. მოდელი-2 (რღვევის და ფონური სეისმურობის კერა)

რღვევის კერის მოდელირებისთვის მიღებულ იქნა DISS ფორმატი (ინდივიდუალური სეისმოგენური წყაროების მონაცემთა ბაზა, <http://diss.rm.ingv.it/diss/>; Basili et al. 2013). ნახაზზე 14 მოცემულია ინდივიდუალური სეისმოგენური კერის სქემატური გამოსახულება. რღვევის კერის მოდელი შემუშავდა აქტიურ რღვევათა დახასიათების მონაცემთა ბაზის გამოყენებით (AFCD), რომლის კლასიფიცირება მოხდა ინდივიდუალური სეისმოგენური კერის დახასიათების მიხედვით; ეს სეისმოგენური კერები განისაზღვრა გეოლოგიური და გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით და მათი დახასიათება მოხდა გეომეტრიული



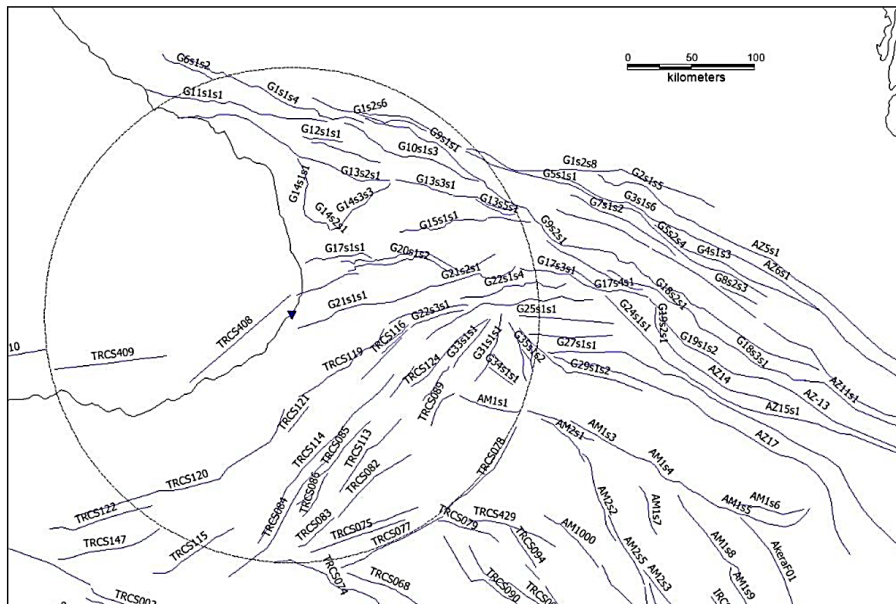
(მიმართება, დაქანება, სიგანე და სიღრმე), კინემატიკური (ქანობი) და სეისმოლოგიური მონაცემების სრული ნაკრებით. ნახაზზე 14 ნაჩვენებია რღვევის კერის მოდელი ზედაპირული პროექციებით.

**ნახაზი 14.** ინდივიდუალური სეისმოგენური კერის სქემატური გამოსახულება და დახასიათება (Basili et al. 2008)



მოცემულ მოდელში, სეისმური აქტივობა გაანგარიშებულია ვარაუდით, რომლის მიხედვითაც  $M > 6.0$  სიმძლავრის მიწისძვრების ზემოქმედება ხვდება 15 კმ-იან სარტყელში, რომელიც გავლებულია სეისმური კერის ხაზოვანი მოდელის პროექციით. 200 კმ-იანი მონაკვეთი, რომელიც გავლენას ახდენს საკვლევ ტერიტორიაზე, მოცემულია ნახაზზე 15 (შავი წრე).

**ნახაზი 15.** რღვევის კერის მოდელი („ბათუმი აილენდის“ ადგილმდებარეობა აღნიშნულია ლურჯი სამკუთხედით)



## 6. მიწისძვრის განმეორებადობა

მიწისძვრებისთვის ემპირიული დამოკიდებულება (გუტენბერგ-რიხტერის მოდელი, რიხტერი, 1954) არის



$$\log N = a + b M \quad (1)$$

სადაც,

N არის მიწისძვრების რაოდენობა M მაგნიტუდის ზემოთ მოცემულ რეგიონში დროის მოცემულ პერიოდში, ხოლო a და b არის რეგრესიის მუდმივები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება სეისმურობის მრავალ კვლევაში და ასევე დამტკიცდა, რომ მათი გამოყენება შეიძლება მცირე სიმძლავრის მიწისძვრებთანაც. „a” კოეფიციენტი დამოკიდებულია ზონის ზომაზე და გამოყენებული ნიმუშის დროის პერიოდზე, ხოლო „b” წარმოადგენს მუდმივას, რომელიც მიიჩნევა რეგიონის მახასიათებლად.

მიწისძვრის კატალოგები ხშირად არაობიექტურია; ამის მიზეზი არის ადრეულ პერიოდში მცირე მაგნიტუდის მიწისძვრების შესახებ არასრული მონაცემების დაფიქსირება. ამდენად, განმეორებადობის დამოკიდებულების რეგიონთან მიმართებაში გამოყენებისთვის, არჩევა უნდა მოხდეს შემდეგი ვარიანტებიდან:

- (1) მოკლე ნიმუში, რომელიც მცირე მოვლენების დროს არის შესრულებული;
- (2) უფრო გრძელი ნიმუში, რომელიც უფრო ძლიერი მოვლენების დროს შესრულდა;
- (3) მონაცემთა ორი ნაკრების კომბინაცია, არასრული მონაცემების შესავსებად, რათა მიღებულ იქნას მონაცემთა ერთიანი ნაკრები.

წინამდებარე კვლევაში, ხელოვნური მონაცემთა ნაკრების სიმულირება განხორციელდა იმ პერიოდის განსაზღვრით, რომლის განმავლობაში მოხდა მოცემული სიმძლავრის ჯგუფის მონაცემების სრულად დაფიქსირება (Stepp, 1973). განმეორებადობის პარამეტრები, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს ტერიტორიაზე 200 კმ-იან რადიუსში, მოცემულია ნახაზზე 16.

## 7. გრუნტის მოძრაობის დახასიათება

გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების განტოლებები (GMPEs) გამოიყენება სხვადასხვა პერიოდში გრუნტის მოძრაობის პარამეტრების შესაფასებლად. დაცხრომის დამოკიდებულების ახლანდელი გაგება მდგომარეობს იმაში, რომ გრუნტის მოძრაობის დაცხრომის დამოკიდებულებებს შორის დიფერენცია დაკავშირებულია უფრო მასშტაბურ გეოტექტონიკურ რეჟიმებთან (როგორიცაა არაღრმა ზედაპირული (ქერქისმიერი), გაფართოების და სუბდუქციის რეჟიმი), ვიდრე პოლიტიკურ საზღვრებთან თუ გეოგრაფიულ რეგიონებთან. თანდაყოლილი ეპისტემიური განუსაზღვრელობის მართვის მიზნით, ალბათური საშიშროების შეფასებაში გამოყენებული იქნება შემდეგი GMPE მოდელები აქტიური არაღრმა ზედაპირული (ქერქისმიერი) და ღრმა სეისმურობის პირობებისთვის, შესაბამისი წონების თანხლებით.

- (a) აქტიური არაღრმა ქერქის ფენა

Abrahamson and Silva 2008- W0.25

Boorea nd Atkinson 2008- W0.25

Campbell and Bozorgnia 2008- W0.25

Chiou and Youngs 2008- W0.25

- (b) ღრმა სეისმურობა

Lin Lee 2008 SSlab- W0.50

Youngs EtAl 1997 SSlab- W0.50

**ნახაზი 16.** განმეორებადობის პარამეტრები, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს ტერიტორიაზე 200 კმ-იან რადიუსში

EMME_IDAS	AGRVAL	BGRVAL	TECTONICS	SS	NF	TF	MAXDEPTH	MMAXMAG01	MMAXMAG02	MMAXMAG03	WMAXMAG01	WMAXMAG02	WMAXMAG03	DIP	STRIKE
TURAS010	3.60	0.75	Active Shallow Crust	80	10	10	20	7.70	8.00	8.30	0.50	0.40	0.10	85	290
GEOAS059	4.00	1.05	Active Shallow Crust	50	0	50	20	6.80	7.10	7.40	0.50	0.40	0.10	35	85
GEOAS066	3.30	1.00	Active Shallow Crust	0	0	100	35	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	75	290
GEOAS068	3.90	1.00	Active Shallow Crust	30	0	70	30	6.80	7.10	7.40	0.50	0.40	0.10	50	80
GEOAS069	3.80	0.95	Active Shallow Crust	0	0	100	35	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	70	295
GEOAS072	3.70	0.87	Active Shallow Crust	0	0	100	35	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	70	295
GEOAS073	4.40	1.06	Active Shallow Crust	0	0	100	30	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	55	300
GEOAS091	4.51	1.08	Active Shallow Crust	80	0	20	30	5.20	5.40	5.80	0.60	0.30	0.10	90	130
GEOAS076	3.70	1.00	Active Shallow Crust	70	0	30	35	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	70	290
AZEAS077	4.30	1.00	Active Shallow Crust	50	0	50	35	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	80	300
AZEAS079	4.30	1.00	Active Shallow Crust	50	0	50	35	6.60	6.80	7.20	0.60	0.30	0.10	80	300
GEOAS080	2.95	0.75	Active Shallow Crust	70	0	30	30	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	70	60
GEOAS081	3.30	0.95	Active Shallow Crust	33	33	34	30	6.80	7.10	7.40	0.50	0.40	0.10	75	270
AZEAS114	3.50	1.00	Active Shallow Crust	50	0	50	35	7.40	7.70	8.00	0.50	0.40	0.10	70	310
ARMAS168	4.57	1.09	Active Shallow Crust	50	0	50	35	7.60	7.80	8.20	0.60	0.30	0.10	75	290
GEOAS173	4.18	0.98	Active Shallow Crust	0	0	100	30	7.00	7.30	7.60	0.50	0.40	0.10	60	295
TURAS178	4.30	1.00	Active Shallow Crust	50	40	10	20	6.80	7.10	7.40	0.50	0.40	0.10	90	90
ARMAS060	3.75	0.90	Active Shallow Crust	70	30	0	35	7.10	7.30	7.70	0.60	0.30	0.10	70	315
TURAS056	3.00	0.75	Active Shallow Crust	100	0	0	20	7.40	7.70	8.00	0.50	0.40	0.10	80	110
TURAS074	3.50	0.80	Active Shallow Crust	85	0	15	20	7.40	7.70	8.00	0.50	0.40	0.10	80	230
ARMAS061	4.35	1.05	Active Shallow Crust	20	60	20	35	6.50	6.80	7.10	0.60	0.30	0.10	70	300
IRNAS958	4.30	0.95	Active Shallow Crust	80	0	20	20	7.60	7.90	8.20	0.50	0.40	0.10	80	310

## 8. ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგები

### 8.1. მეთოდოლოგია

წინამდებარე კვლევაში საშიშროების შეფასებისას გამოყენებული სეისმო-ტექტონიკური ალბათობის მეთოდი არ ემყარება მხოლოდ ისტორიულ სეისმურ ჩანაწერებს, არამედ აერთიანებს გეოლოგიურ ცოდნას, რაც მოიცავს პალეო-სეისმური გრუნტის მოძრაობის და ნეოტექტონიკური რღვევების შესახებ მონაცემებს, და მიწისძვრის გამომწვევი მიზეზების სამეცნიერო სეისმო-ტექტონიკურ გაგებას. ამ მონაცემების გაერთიანება ხდება სეისმური კერების მოდელირების გზით. ალბათური სეისმური საშიშროების გაანგარიშების ზოგადი მეთოდოლოგია კარგად არის დამკვიდრებული ლიტერატურულ წყაროებში (Cornell 1968).

მეთოდი ორ დამოუკიდებელ მოდელს მოიცავს: სეისმურობის მოდელი, რომელიც აღწერს მიწისძვრის წყაროების გეოგრაფიულ განაწილებას, ასევე მოდელირებულ სეისმურ კერებში სიმძლავრეების განაწილებას; მეორე მოდელი არის დაცხრომის მოდელი, რომელიც აღწერს ნებისმიერ მოცემულ უბანზე გრუნტის მოძრაობის ამპლიტუდების ეფექტს სიმძლავრის მიხედვით, კერა-უბანს შორის მანძილს,

სეისმური მოვლენების პროგნოზირებისთვის მრავალი მოდელი შემუშავდა. უმარტივესი სტოქასტური მოდელი მიწისძვრის შემთხვევებისთვის არის პუასონის ჰომოგენური მოდელი, რომელიც გამოყენებულია წინამდებარე კვლევაში. მიწისძვრის შემთხვევებისთვის, აღნიშნული მოდელის მიხედვით, შემდეგი დაშვებები არის გაკეთებული:

1. მიწისძვრის შემთხვევები სივრცულად დამოუკიდებელნი არიან;
2. მიწისძვრის შემთხვევები დროებით დამოუკიდებელნი არიან;

მოვლენათა განმეორებადობის დამოკიდებულება გამოსახულია ემპირიული დამოკიდებულების საშუალებით, რომელიც პირველად გუტენბერგ-რიხტერის მიერ იყო განსაზღვრული:  $\log N = A - bM$  სადაც  $N$  არის ბიძგების რაოდენობა, რომელთა სიმძლავრე არის  $M$ -ზე მეტი ან მისი ტოლი ერთეულ დროში და ერთეულ ტერიტორიაზე (ან ერთეულ სიგრძეზე),  $a$  და  $b$  სეისმური მუდმივები მოცემული რეგიონისთვის. „ $N$ “ მაჩვენებლის მიღება, როგორც წესი, შესაძლებელია დაშვებით, რომლის მიხედვითაც „ $M$ “-ს გააჩნია ზედა და ქვედა საზღვრები  $-M1$  და  $M0$ . საერთო ალბათობის თეორემის მიხედვით, ალბათობა ერთეულ დროში, რომლის მიხედვითაც გრუნტის მოძრაობის ამპლიტუდა  $a^*$  გადაჭარბებულია, გამოისახება შემდეგნაირად (McGuire, 1993):

$$P[A > a^* \text{ in time } t] / t = \sum_i v_i \int \int G_A|_{m,r}(a^*) f_m(m) f_r(r|m) dm dr \quad (1)$$

სადაც  $P[I \leq i | m, r]$  არის ალბათობა, რომლის მიხედვითაც მაქსიმალური ზემოქმედება „ $I$ “ არის „ $i$ “-ზე ნაკლები. იმის გათვალისწინებით, რომ  $m$  და  $r$ ,  $f_m(m)$  არის ალბათური სიმკვრივის კოეფიციენტი სიმძლავრისთვის, და  $f_r(r|m)$  არის ალბათური განაწილების კოეფიციენტი მანძილისთვის,  $f_r(r|m)$  დამოკიდებულია კერის გეომეტრიულ ბუნებაზე.

### 8.1.1. პუასონის მოდელი

პუასონის მოდელში, შემდეგი მიწისძვრის მოხდენის ალბათობა არ არის დამოკიდებული წინა მიწისძვრის მოხდენის დროზე. პუასონის ჰომოგენური მოდელის მიხედვით,  $\Delta T$  დროის ინტერვალში, სეგმენტზე სულ მცირე ერთი დამახასიათებელი მიწისძვრის ალბათობის არსებობა მოცემულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$P[N \geq 1] = e^{-R\Delta T} \quad (2)$$

სადაც,  $R$  არის მიწისძვრის წლიური სიხშირე მოცემულ მონაკვეთზე, რომელიც გაანგარიშებულია, როგორც:  $R = 1 /$  საშუალო განმეორებადობის ინტერვალი. მოდელი პუასონისეულია, რადგან განმეორებადობის ( $R$ ) წლიური გაანგარიშებული მაჩვენებელი არ იცვლება დროსთან ერთად.

### 8.1.2. გათანაბრებული სეისმურობის მოდელი

ფონური სეისმური აქტივობისთვის შესაძლოა გამოყენებულ იქნას სივრცულად გათანაბრებული სეისმურობის მოდელები ჰომოგენურად განაწილებულ სეისმურობასთან ერთად, იმ მიწისძვრების როლის გასათვალისწინებლად, რომლებიც არ უკავშირდებიან რომელიმე გამოვლენილ წრფივ კერას (Frankel, 1995; Frankel et al., 2000). წინამდებარე კვლევაში დაშვებულ იქნა, რომ  $M > 6$  მიწისძვრები 15 კმ-იან ბუფერულ ზონაში კეთილსაიმედოა წრფივი კერის მოდელის პროექციის მიხედვით, ხოლო სხვა მიწისძვრების აღწერა შესაძლებელია სივრცულად გათანაბრებული სეისმურობის მიდგომის გამოყენებით.

სივრცულად გათანაბრებული სეისმურობის გაანგარიშება შესრულდა 0.10x 0.10 უჯრებისთვის, USGS-ს (აშშ-ს გეოლოგიური კვლევა) მიერ შექმნილი პროგრამის „agridPC.for“ განახლებით. მოცემული მიდგომის მიხედვით, სეისმური აქტივობა ( $a$ -მაჩვენებელი), რომელიც მიიღება ვიხერტის (Wiechert (1980)) მეთოდით, განაწილებულია გაუსის კოეფიციენტის საშუალებით, უჯრების საფუძველზე მიღებული სეისმურობის სივრცული კორელაციის 50 კმ-იანი მანძილით. სიმძლავრე-წელიწადის თანაფარდობა მიღებულია თითოეული რეგიონისთვის შესრულებული სისრულის ანალიზის საშუალებით.

სეისმური აქტივობები გაანაგრიშდა b-მაჩვენებლებით და მიწისძვრის მინიმალური სიმძლავრის პარამეტრებით. სეისმური აქტივობის გაანგარიშების დროს, მიწისძვრის მაქსიმალური მაგნიტუდის ( $M_{\max}$ ) სამი მაჩვენებელი და შესაბამისი წონის მაჩვენებლები აისახა a-კოეფიციენტში, რათა მომხდარიყო სეისმური სიმძლავრის განუსაზღვრელობის გათვალისწინება სეისმურ კერებში.

## 8.2. ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი ალბათური სეისმური საშიშროების მოდელი და შედეგები

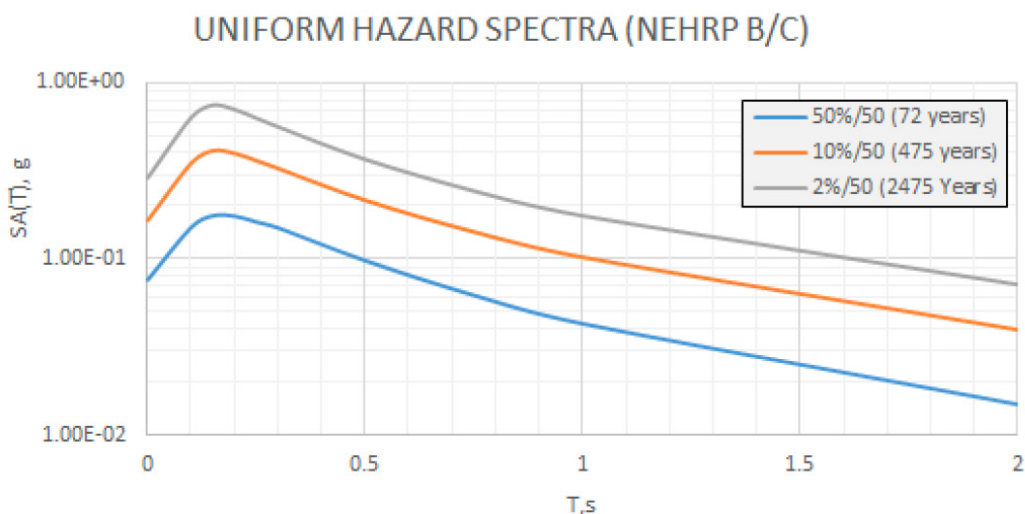
სეისმური საშიშროება რაოდენობრივად განისაზღვრება გრუნტის მოძრაობის ინტენსივობის მაჩვენებლების თვალსაზრისით: გრუნტის პიკური აჩქარება (PGA), 5%-იანი დაცხრომის სპექტრალური აჩქარება (SA) - $T=0.2$  s (SA -  $T=0.2$ s) და  $T=1.0$ s (SA -  $T=1.0$ s) განმეორებადობის სამი პერიოდისთვის: 72, 475 და 2475 წლიანი განმეორებადობა, რომელიც შეესაბამება გადაჭარბების 50%, 10% და 2%-იან ალბათობებს 50 წელიწადში NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_s 30 - 760-800$  მ/წმ), რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

შედეგების ცხრილებში, სპექტრალური აჩქარება,  $SS=SA(T=0.2s)$  და  $S1=SA(T=1.0s)$  მოცემულია ცხრილში 1.

**ცხრილი 1.** ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_s 30 - 760-800$  მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

EMME-NGA08	PGA	SA( $T=0.2s$ )	SA( $T=1.0s$ )
2%/50 (2475 წელი)	0.29	0.71	0.18
10%/50 (475 წელი)	0.16	0.40	0.10
50%/50 (72 წელი)	0.08	0.17	0.04

**ნახაზი 17.** 5%-იანი დაცხრომის ჰორიზონტალური ერთიანი საშიშროების სპექტრი 2475, 475 და 72 წლიანი განმეორებადობის პერიოდებისთვის (ტერიტორიის კლასი = NEHRP B/C საზღვარი)





## 9. რეგიონალური სეისმური საშიშროების სხვა შეფასებებთან შედარება

### 9.1. ESHM13 პროექტზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება

ევროპის და ხმელთაშუაზღვის სეისმური საშიშროების მოდელი (2013 წ.) (ESHM13) არის ევროპისა და ხმელთაშუაზღვის რეგიონისთვის განხორციელებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგი. ESHM13 მოდელი შემუშავდა SHARE პროექტის ფარგლებში (Giardini et al, 2014); აღნიშნული პროექტი ევროკავშირის მიერ დაარსდა „კვლევების მეშვიდე ჩარჩო პროგრამის“ ფარგლებში (Seventh Framework Programme for Research (FP7)). SHARE პროექტის შესახებ დამატებითი ინფორმაცია ხელმისაწვდომია პროექტის ვებ-გვერდზე (<http://www.share-eu.org/>)

მიუხედავად იმისა, რომ გაანგარიშების წერტილი შეირჩა პროექტის გვერდის მსგავსად, EFEHR ვებ-გვერდზე (<http://www.hazard.efehr.org/>) მოცემულია მაჩვენებლები უახლოესი უჯრედიდან.

**ცხრილი 2.** ESHM13 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_s30 = 760-800$  მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

	PGA	Sa(T=0.2s)	Sa(T=1.0s)
2%/50 (2475 წელი)	0.48 g	1.01 g	0.11 g
10%/50 (475 წელი)	0.20 g	0.44 g	0.10 g
50%/50 (72 წელი)	0.065 g	0.14 g	0.03 g

### 9.2. EMME პროექტზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება

ეკონომიკური თანამშრომლობისა და განვითარების ორგანიზაციის (OECD) და გლობალური სეისმური მოდელის (GEM) მხარდაჭერით, ახლო აღმოსავლეთის რეგიონის სეისმური საშიშროების მოდელი შეიქმნა (EMME პროექტი - სეისმური მოდელი ახლო აღმოსავლეთი, <http://www.emme-gem.org/>); მოდელი მოიცავს შემდეგი ქვეყნების სეისმური საშიშროების შეფასებებს: სომხეთი, აზერბაიჯანი, კვიპროსი, საქართველო, ირანი, ერაყი, იორდანია, ლიბანი, პალესტინა, პაკისტანი, სირია და თურქეთი. თანაბრად იქნა მოპოვებული სეისმური საშიშროების მოდელები, მათ შორის მიწისძვრის კატალოგები, რუკაზე დატანილი აქტიური რღვევები, გრუნტის ძლიერი მოძრაობის მონაცემთა ბაზა, გრუნტის მოძრაობის მოდელები და გრუნტის მოძრაობის გაანგარიშებული მაჩვენებლები (Erdik et al., 2012; Giardini et al., 2016; Danciu et al., 2017; Şeşetyan et al., 2018). საპროექტო ტერიტორიისთვის მოპოვებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.

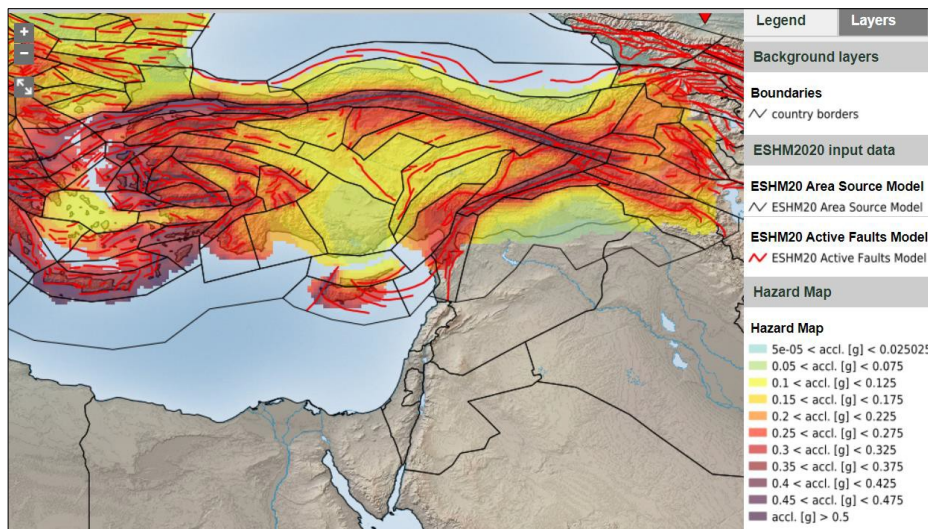
**ცხრილი 3.** EMME2014 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_s30 = 760-800$  მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

EMME2014	PGA	SA(T=0.2s)	SA(T=1.0s)
2%/50 (2475 Years)	0.25g	0.57g	0.15g
10%/50 (475 years)	0.13g	0.28g	0.08g
50%/50 (73 years)	0.05g	0.11g	0.03g

### 9.3. SERA პროექტზე (2017-2020) დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება

ახლაბან, „Horizon 2020“ -ს მიერ დაფინანსებული პროექტი SERA-ს (ევროპის სეისმოლოგიისა და სეისმომდეგვი მშენებლობის სამეცნიერო-კვლევითი ბაზის ალიანსი) ფარგლებში, დასრულდა ევროპის სეისმური საშიშროების 2013 წლის მოდელის (ESHM20) განახლებები. ევროპის სეისმური საშიშროების 2020 წლის მოდელი (შემდგომში ESHM20), რომელიც წარმოადგენს SERA JRA3 პროექტის შედეგს, გვთავაზობს სეისმური საშიშროების შეფასების განახლებულ ვერსიას ევროპისა და ხმელთაშუაზღვის რეგიონისთვის. თანდაყოლილი განუსაზღვრელობების გამოსწორება სეისმური ნაპრალის პროგნოზირების დახასიათებაში ხდება კომპლექსური ლოგიკური ხის საშუალებით, რომელიც შედგება ორი ძირითადი მოდელისგან (ტოტისგან): ფართობი-წყარო/კერაზე დაფუძნებული მოდელი და რღვევისა და გათანაბრებული სეისმურობის ჰიბრიდული მოდელი (ნახაზი 24, Danciu et al, 2021).

**ნახაზი 18.** გრუნტის პიკური აჩქარება (g) 476 წლიანი განმეორებადობის პერიოდისთვის, რომელიც მოპოვებულია SERA-ს პროექტიდან (<http://www.efehr.org/>)



აღნიშნული მოდელის მიხედვით განსახილველი ტერიტორიისთვის მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.

**ცხრილი 4.** ESHM20 მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_{s30} = 760-800$  მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

	PGA	$S_a(T=0.2s)$	$S_a(T=1.0s)$
2%/50 (2475 წელი)	0.31 g	0.79 g	0.21 g
10%/50 (475 წელი)	0.14 g	0.34 g	0.09 g
50%/50 (72 წელი)	0.05 g	0.13 g	0.04 g

### 9.4. ონურის და სხვ. (Onur et al) 2019 წლის კვლევაზე დაფუძნებული ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასება

ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების ჩარჩო შემუშავდა კონკრეტულად საქართველოსთვის, როგორც აღნიშნული პროექტის (Onur et al., 2019) ნაწილი; მისი დაპროექტება მოხდა მიწისძვრის ახალი კატალოგის შესაქმნელად და საფრთხის შესახებ ინფორმაციის მოსაგროვებლად ისეთი ფორმით, რომელიც ხელსაყრელი იქნება საქართველოს

ახალი სამშენებლო ნორმებისთვის.

აღნიშნული მოდელის მიხედვით განსახილველი ტერიტორიისთვის მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.

**ცხრილი 5.** Onur et al. (2019) მოდელი: ტერიტორიისგან დამოუკიდებელი გრუნტის მოძრაობის შედეგები NEHRP -ს მიხედვით განსაზღვრული B/C კლასის ტერიტორიისთვის ( $V_s30 = 760$  მ/წმ) რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო ფუძე-გრუნტის პირობებს.

	PGA	$S_a(T=0.2s)$	$S_a(T=1.0s)$
2%/50 (2475 წელი)	0.37 g	0.82 g	0.25 g
10%/50 (475 წელი)	0.18 g	0.41 g	0.13 g
50%/50 (72 წელი)	0.04 g	0.09 g	0.025 g

ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგები, რომელიც წინამდებარე ანგარიშის ფარგლებში არის მოპოვებული და წარმოდგენილია ცხრილში 1, გარკვეულწილად განსხვავდება სხვადასხვა მოდელით მიღებული შედეგებისგან, რომლებიც 9.1, 9.2, 9.3 და 9.4. პარაგრაფებშია მოცემული. ასეთი განსხვავებები მოსალოდნელი იყო და მიუთითებენ ეპისტემიურ განუსაზღვრელობებზე, რომლებიც თავს იჩენენ სხვადასხვა სეისმური კერის და გრუნტის მოძრაობის დახასიათების მოდელების გამოყენების დროს. ნებისმიერ შემთხვევაში, ცხრილში 1 მოცემული შედეგები ახლოს არის სხვა მოდელების საერთო საშუალო შედეგებთან.

## 10. გეოტექნიკური პირობები

წინამდებარე ანგარიშის ფარგლებში, გეოტექნიკური პირობები შემუშავდა ანგარიშიდან: „სანაპირო გეოტექნიკური კვლევების მომსახურება „ამბასადორი ბათუმი აილენდის“ პროექტისთვის“, რომელიც მომზადდა „ZT Zemin Teknik Zemin Etüdü Müh. ve İnş. Tic. Ltd. Şti.“, - ს მიერ 2022 წლის მაისში.

გეოტექნიკური კვლევების ფარგლებში მოეწყო 21 საზღვაო ჭაბურღილი „ბათუმი აილენდის“ საპროექტო ტერიტორიაზე. აღნიშნული ჭაბურღილების მონაცემების მიხედვით: პირველ 2.20 – 8.00მ ღრმაწყლოვან მონაკვეთზე, სანაპირო მხარესთან ახლოს, ზედა ფენაში აღმოჩენილ იქნა ნაკლებად ხრემის შემცველი, თიხნარი ქვიშის წყებები მოყავისფრო-მონაცრისფრო ფერის, რომლებიც შეიცავენ მეოთხეული ნიჟარების ფრაგმენტებს. აღნიშნული ფენების შემდეგ წარმოდგენილია მომრგვალებული ქვიშიანი ხრემის გრუნტის წყებები ზომით 1-3 სმ, შეფერილობით მოყავისფრო-მონაცრისფრო-მოშავო. ეს ფენა გრძელდება ჭაბურღილების ბოლომდე. სანაპირო ტერიტორიიდან მოშორებით ხრემის დონეები არ იქნა ნანახი, ხოლო თიხიანი ქვიშის წყებები დაფიქსირდა ზღვის დონიდან ჭაბურღილის ბოლომდე. საკვლევი ტერიტორიის ფარგლებში, სტანდარტული შეღწევადობის ტესტით (SPT) მიღებულია მაჩვენებელი  $N 6 - 48$  ნაკლებად ხრემიან, თიხიან-ლამიან ქვიშის და ნაკლებად ხრემიან, თიხიან ლამიან თიხნარის წყებებში. შესაბამისად, დადგინდა, რომ წარმოდგენილი წყებები არის პლასტიურიდან-საშუალოდ ხისტი-მნელად მყარ კონსისტენციამდე, ასევე საშუალოდ ფხვიერიდან-მკვრივი-ძალიან მკვრივამდე. გათხევადების რისკი არ არის მოსალოდნელი.

სამდერმა გამოცდა კუმშვაზე:  $c = 0.30 - 0.65$  კგ/სმ<sup>2</sup>,  $\Phi = 4.38 - 7.65$ °. გრუნტის პირდაპირ ძვრაზე ცდის მიხედვით:  $c = 0.11 - 0.60$  კგ/სმ<sup>2</sup>,  $\Phi = 6.02 - 19.27$ °. უდრენაჟო გრუნტის ძვრაზე სიმტკიცის მაჩვენებლები, რომლებიც მოპოვებულია SPT მაჩვენებლებიდან ( $R$  მნიშვნელობების შეტანა არ მოხდა შეფასებაში, რადგან მათ გამოყენებას შეეძლო შეცდომაში შეყვანა) შემდეგ ფარგლებში არის წარმოდგენილი:  $C_u = 0.34$  კგ/სმ<sup>2</sup>–  $2.74$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

საკვლევ ტერიტორიაზე წარმოდგენილია მეოთხეული ნალექების ხრემიან ლამიანი თიხნარი

<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

ქვიშის და ქვიშიან თიხიანი ქვიშნარის წყებები. მოცემული აღწერილობის მიხედვით, აღნიშნული გრუნტის მიკუთვნება თავისუფლად შეიძლება NEHRP-ს მიხედვით დადგენილ „D“ (ხისტი/არადრეკადი გრუნტი) კატეგორიას. ეს მოსაზრება მყარდება შემდეგი მონაცემებით:

- საშუალო SPT მაჩვენებლები BTM-1 -დან BTM-21-მდე ჭაბურღილების 30 მ სიღრმემდე მერყეობენ 20 (3 ჭაბურღილში) -70 (აღწევს R 5 ჭაბურღილში) ფარგლებში. სტანდარტული შეღწევადობის ტესტის (SPT) აღნიშნული ფარგლების გათვალისწინებით, უპრიანი იქნებოდა NEHRP-ს „D“ კატეგორიის გამოყენება ტერიტორიისთვის, სადაც 30 მ-ზე საშუალო SPT მაჩვენებელი მერყეობს 15-50 შორის.
- პირდაპირი წესით გაზომილი Cu მაჩვენებელი მერყეობს 11-65 კპა-ს შორის, ხოლო სტანდარტული შეღწევადობის ტესტის მაჩვენებელთან შეფარდებული Cu მაჩვენებელი მერყეობს 34-274 კპა-ს შორის. იმის გათვალისწინებით, რომ პირდაპირი წესით გაზომილი Cu მაჩვენებლები მხოლოდ წერტილოვანი მაჩვენებლებია და არ წარმოადგენენ საშუალო მაჩვენებელს გრუნტის ფენის ზედა 30 მ-ზე, სასურველია ტერიტორიისთვის „D“ კატეგორიის მიკუთვნება NEHRP-ს მიხედვით, სადაც 30 მ-ზე Cu მაჩვენებელი მერყეობს 70-250 კპა-ს შორის.

## 11. საპროექტო სპექტრი

### 11.1. საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრი

ASCE 7-16-ს გათვალისწინებით, სპექტრალური აჩქარების რეაქციის (ნახაზი 18) პარამეტრები მოკლევადიანი ( $SMS$ ) და 1 წმ-იანი ( $SM1$ ) პერიოდისთვის, რომელიც დაკორექტირებულია ტერიტორიის კლასის ეფექტებთან მიმართებაში, შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$SMS = F_a S_s; \quad SM1 = F_v S_1 \quad (3)$$

სადაც,  $S_s$  და  $S_1$  არის რუკაზე დატანილი სპექტრალური აჩქარების პარამეტრი 0.2 წმ-იანი და 1 წმ-იანი პერიოდისთვის, შესაბამისად,  $F_a$  და  $F_v$  არის ტერიტორიის კოეფიციენტები, რომელიც მოცემულია ASCE 7-16-ს ცხრილებში 11.4-1 და 11.4-2. საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრალური აჩქარების რეაქციის პარამეტრი ( $S_{aH}$ ), ტერიტორიასთან დაკავშირებით რაიმე კონკრეტული პროცედურის არარსებობის შემთხვევაში, შემდეგნაირად განისაზღვრება:

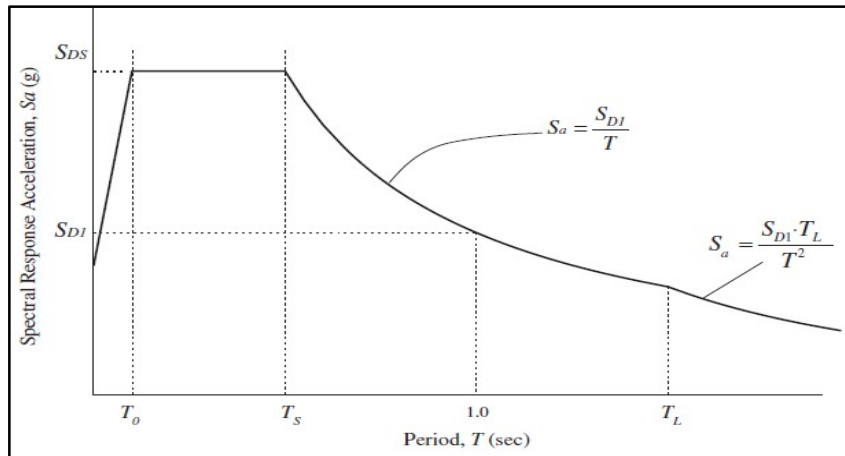
$$\begin{aligned}
 S_{aH}(T_H) &= S_{DS} \left( 0.4 + \frac{T_H}{T_0} \right) & T_H \leq T_0, \\
 S_{aH}(T_H) &= S_{DS} & T_0 \leq T_H \leq T_S, \\
 S_{aH}(T_H) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_S \leq T_H \leq T_L, \\
 S_{aH}(T_H) &= \frac{S_{D1} T_L}{T_H^2} & T_H \geq T_L
 \end{aligned} \quad (4)$$

სადაც,  $T_H$  არის ნაგებობის ჰორიზონტალური პერიოდი;  $T_0$  და  $T_S$ , შესაბამისად, მიიღება შემდეგი გზით:

$$T_0 = 0.2 \left( \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right); \quad T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5)$$



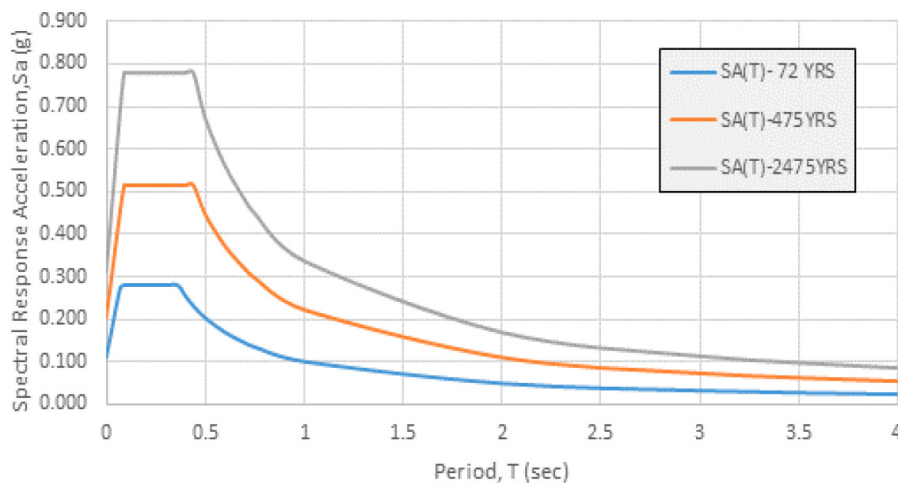
ნახაზი 19. საპროექტო ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი (ASCE-7-16)



პროექტზე დაფუძნებული რეაქციის სპექტრი NEHRP-ს მიხედვით განსაზღვრული ტერიტორიის „D“ კლასისთვის მოცემულია ნახაზზე 20.

ნახაზი 20. საპროექტო ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი 5%-იანი დაცხრომისას NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის

Design Response Spectrum (ASCE7-16)- SITE CLASS D

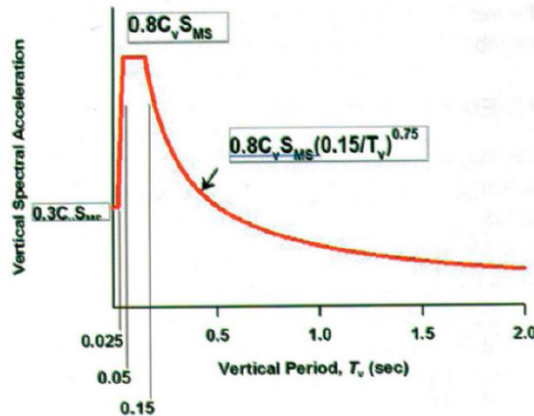


## 11.2. საპროექტო ვერტიკალური სპექტრი

ASCE 7-16 გათვალისწინებით, ტერიტორიისთვის რაიმე კონკრეტული პროცედურის არარსებობის შემთხვევაში, საპროექტო რეაქციის სპექტრი ( $S_a M_v$ ) განისაზღვრება მე-6 განტოლების და ნახაზი 21-ს მიხედვით.

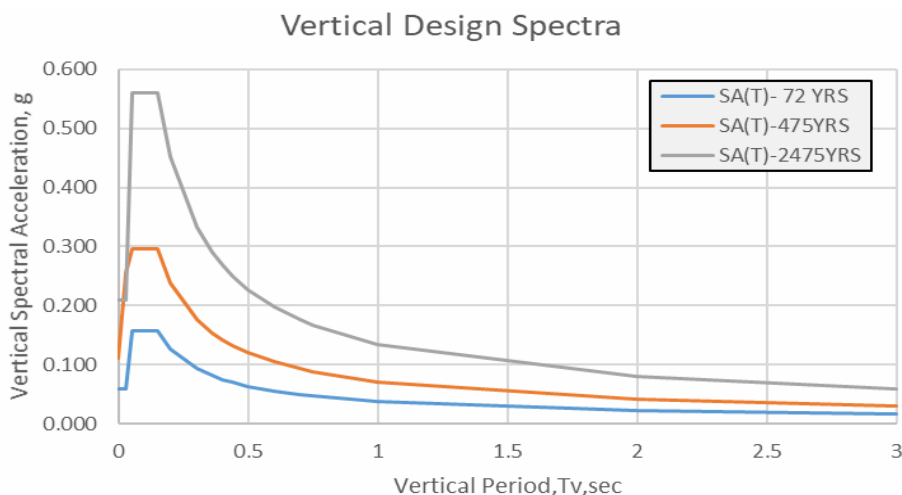
## ნახაზი 21. საპროექტო ვერტიკალური სპექტრი

$$\begin{aligned}
 S_{aMv}(T_V) &= 0.3 C_V S_{MS} & T_V &\leq 0.025 \text{ s}, \\
 S_{aMv}(T_V) &= 20 C_V S_{MS} (T_V - 0.025) + 0.3 C_V S_{MS} & 0.025 \text{ s} &\leq T_V \leq 0.05 \text{ s}, \\
 S_{aMv}(T_V) &= 0.8 C_V S_{MS} & 0.05 \text{ s} &\leq T_V \leq 0.15 \text{ s}, \\
 S_{aMv}(T_V) &= 0.8 C_V S_{MS} \left( \frac{0.15}{T_V} \right)^{0.75} & 0.15 \text{ s} &\leq T_V \leq 2.0 \text{ s}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$



სადაც,  $C_V$  = ვერტიკალური კოეფიციენტი, რომელიც მოცემულია ASCE 7-16-ს ცხრილში 11.9-1;  $T_V$  = ვერტიკალური პერიოდი; და  $S_{MS}$  მაჩვენებელი იგივეა, რაც ჰორიზონტალური სპექტრის შემთხვევაში. კუთხის პერიოდები არ არის დამოკიდებული სიმძლავრეზე, ეპიცენტრულ მანძილსა და გრუნტის უბნებზე. ვერტიკალური სპექტრი განისაზღვრება 2 წმ-მდე პერიოდზე; უბნის სპეციფიკური მშენებლობა რეკონდირებულია განხორციელდეს მხოლოდ ამის შემდეგ. პროექტზე დაფუძნებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრი NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის მოცემულია ნახაზზე 22. და ნახაზზე 20.

ნახაზი 22. პროექტზე დაფუძნებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრი 5%-იანი დაცხრომისას NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის



## 12. სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება

წინა თავებში მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე, სახელდობრ ნახაზებზე 7 და 8 ა),ბ), ცხადია, რომ „ბათუმი აილენდის“ ტერიტორიასთან გრუნტის სეისმური რხევები ძირითადად გაკონტროლდება მიწისძვრის შემდეგბი დეტერმინისტული სცენარების მიხედვით.

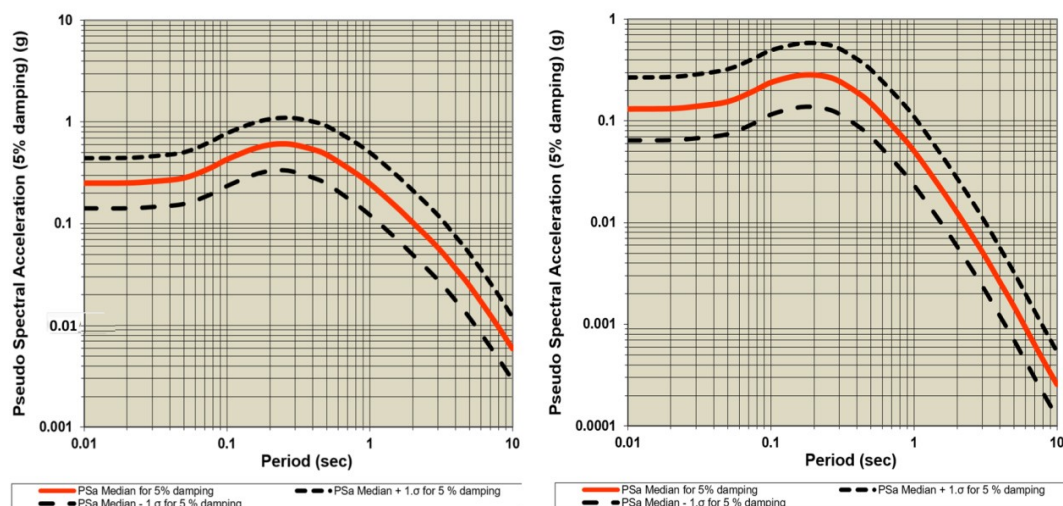
- (1) მიწისძვრის დეტერმინისტული სცენარი 1 - აჭარა-თრიალეთის ზონის ჩრდილოეთ საზღვარი. რევერსული რღვევა. Mw6.5 ჯოინერ-ბურის მანძილზე (Joiner-Boor Distance - Rjb - მანძილი ობიექტიდან რღვევის სიბრტყემდე), Rjb=15 კმ (ნახაზი 8 ა, ბ - გამყრელიძე და სხვ., 1988წ; ჭელიძე და სხვ., 2015 წ).
- (2) მიწისძვრის დეტერმინისტული სცენარი 2 – აჭარის სისტემა ან აჭარისწყალი-თეძამის რღვევის თრიალეთის ზონა. რევერსული რღვევა, Mw5 ჯოინერ-ბურის მანძილზე, Rjb=10 კმ (ნახაზი 8 ა, ბ - გამყრელიძე და სხვ., 1988წ; ჭელიძე და სხვ., 2015 წ).

ზემოხსენებული ორი სცენარის შეფასება შესაძლებელია დეაგრეგაციის ანალიზის გარეშე, რამდენადაც კერის ზონირების სქემაში გამოყენებული ეს ორი რღვევა ინტეგრირებულია ფართობრივი კერის ზონებთან, მათი გარკვეულწილად გაფანტული მდებარეობის გამო, ასევე იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ „ბათუმი აილენდის“ ტერიტორია მდებარეობს განხილული სეისმო-ტექტონიკური რეგიონის ჩრდილოეთ საზღვარზე.

მიწისძვრის საშიშროების დეტერმინისტული ერთიანი სპექტრი, რომელიც დაკავშირებულია NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიის - „ბათუმი აილენდისთვის“ (საშუალო VS30=270მ/წმ) გამოყენებულ მიწისძვრის დეტერმინისტულ სცენარებთან 1 და 2, მოცემულია ნახაზზე 23 ა და ბ, სადაც გამოყენებულია დაცხრომის იგივე დამოკიდებულებები, რაც გათვალისწინებული იყო მე-7 თავში ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასებისას. ცხრილში 6 მოცემულია აღნიშნულ ერთიან საშიშროების სპექტრთან დაკავშირებული გრუნტის რხევის დეტერმინისტული პარამეტრები.

შეიძლება ითქვას, რომ მიწისძვრის დეტერმინისტული სცენარი 1 მართავს დეტერმინისტულ საშიშროებას და როგორც მოსალოდნელია, ნახაზზე 20 მოცემული 2475-წლიანი საპროექტო რეაქციის სპექტრის განთავსება თამამად შეიძლება მედიანასა და მედიანა+1 SD დეტერმინისტულ სპექტრს შორის (ნახაზი 23ა).

**ნახაზი 23.** a და b. მიწისძვრის საშიშროების დეტერმინისტული ერთიანი სპექტრი, რომელიც დაკავშირებულია NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიის - „ბათუმი აილენდისთვის“ (საშუალო VS30=270მ/წმ) გამოყენებულ მიწისძვრის დეტერმინისტულ სცენარებთან 1 და 2



**ცხრილი 6.** გრუნტის მოძრაობის/რხევის დეტერმინისტული პარამეტრები: (Vs30 = 270მ/წმ, NEHRP-ს ტერიტორიის კლასი „D“).

	PGA		Sa(T=0.2s)		Sa(T=1.0s)	
	მედიანა +1SD		მედიანა +1SD		მედიანა +1SD	
სცენარი 1 (Mw6.5 15კმ-ზე)	0.25g	0.44g	0.59g	1.07g	0.25g	0.51g

სცენარი 2 (Mw5 10კმ-ზე)	0.13g	0.27g	0.28g	0.58g	0.05 g	0.11g
-------------------------	-------	-------	-------	-------	--------	-------

### 13. მიმართულების ეფექტი საპროექტო რეაქციის სპექტრზე

სეისმური საშიშროების ანალიზში გამოყენებული გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების განტოლებები (GMPEs), ზოგადად, იძლევა ორმხრივი მიმართულების გრუნტის მოძრაობის ინტენსივობის ერთიანი განმარტებისთვის პროგნოზირებულ დონეებს. ისტორიულად, GMPE განტოლებებში საშუალო გეომეტრიულ მაჩვენებელზე დაფუძნებული განსაზღვრებები ჭარბობდა, რადგან მათი გამოყენების შედეგად, პროგნოზირების განტოლებებში სტანდარტული გადახრის (დევიაციის) უფრო დაბალი მაჩვენებელი მიიღებოდა, ვიდრე ცალმხრივი მიმართულების პროგნოზების შემთხვევაში. ამგვარად, ნახაზზე 20 მოცემული საანგარიშო სპექტრი ეფუძნება გეომეტრიული საშუალოს (RotD50) სპექტრულ მეტრიკას.

ზოგიერთი მკვლევარის მოსაზრებით, არადრეკადი კონსტრუქციების საერთო სეისმური რეაქცია უმეტესად ემყარება გრუნტის მოძრაობის სიმძლავრეს ძირითადი მიმართულების გასწვრივ, ამდენად, მკვლევარების მიერ შემოთავაზებულია მაქსიმალური მიმართულების საფუძველზე დადგენილი განსაზღვრებების გამოყენება. ზოგიერთმა მკვლევარმა შეისწავლა გრუნტის მოძრაობის მიმართულება და შეიმუშავა პროგნოზირების მოდელები სხვადასხვა მიმართულების განსაზღვრების შეფარდებებისთვის (Watson-Lamprey et al., 2007; Huang et al., 2008, 2010).

რამდენადაც GMPE განტოლებები წარმოადგენენ გეომეტრიული საშუალოს კომბინაციას (“GeoMean”) (დაახლოებით RotD50), ASCE 7-16-ს მიხედვით, გარდაქმნის კოეფიციენტები მოცემულია „მაქსიმალური მიმართულების“ მქონე გრუნტის მოძრაობის მაჩვენებლად გარდაქმნისთვის (RotD100). ჰუანგის (Huang et al. (2008, 2010) და სხვა მკვლევარების მიერ განხორციელებული კვლევების მიხედვით, რეაქციის სპექტრალური აჩქარებისთვის გარდაქმნის კოეფიციენტებია 1.1 და 1.3, 0.2წმ და 1.0 წმ პერიოდებისთვის, შესაბამისად (ცხრილი 7).

**ცხრილი 7.** მაქსიმალური სპექტრალური მაჩვენებლის საშუალო თანაფარდობა (RotD100) გეომეტრიული საშუალოს (RotD50) მოთხოვნა

პერიოდი (წმ)	გარდაქმნის საშუალო კოეფიციენტი
0.0 -0.3	1.1
0.5	1.2
1.0-2.0	1.3
4.0 +	1.4

ASCE 7-16 და ASCE 7-22 მიხედვით, საანგარიშო სპექტრალური ამპლიტუდებისთვის გამოიყენება მაქსიმალური მიმართულების (RotD100) სპექტრალური მეტრიკა, რომლისთვისაც საჭიროა გეომეტრიული საშუალო (RotD50) საშიშროების მაჩვენებლების გარდაქმნა სპექტრალურ მეტრიკად - RotD100.

მიწისძვრის რეაქციის ანალიზისთვის, რომლის დროსაც მხოლოდ ცალმხრივი მიმართულების რეაქციის ანალიზი სრულდება, ინჟინრის გადაწყვეტილებით, ხელსაყრელი იქნება მაქსიმალური მიმართულების მქონე (RotD100) საანგარიშო სპექტრის გამოყენება. საჭიროების შემთხვევაში, შესაძლებელია გეომეტრიული საშუალო (RotD50) სპექტრალური ამპლიტუდების გარდაქმნა მაქსიმალურ მიმართულებად შესაბამისი მოსაზრებების და ცხრილში მოცემული მაკორექტირებელი კოეფიციენტების საშუალებით.



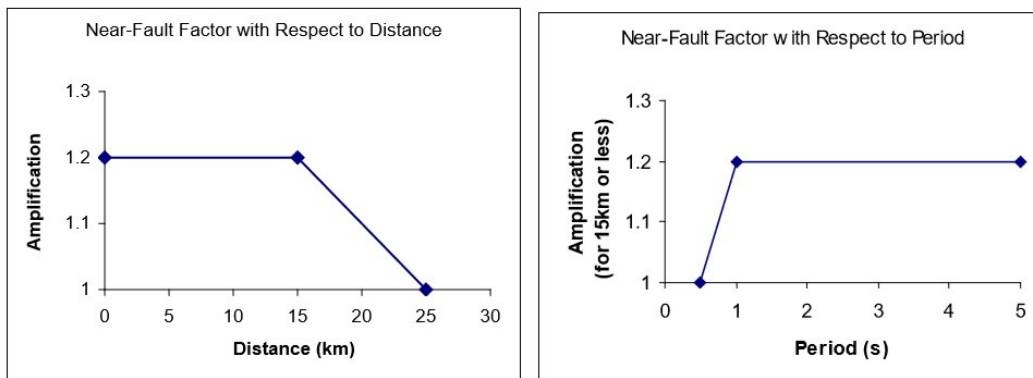
#### 14. მიმართების (რღვევისპირა) ეფექტები საპროექტო რეაქციის სპექტრზე

მიწისძვრის კერიდან გამოსხივებული სეისმური ტალღის ამპლიტუდა და პოლარულობა იცვლება კერის და მიმდებარე ორიენტაციასთან ერთად. გრუნტის სეისმური მოძრაობის ამპლიტუდა უფრო დიდია წყვეტიდან წინ მიმართული გავრცელების მქონე რეგიონის სადგურებზე, ვიდრე იმ რეგიონის სადგურებზე, რომლებსაც წყვეტიდან უკუმიმართულება გააჩნიათ. შედარებით ძლიერი მაგნიტუდის მიწისძვრების შემთხვევაში კერისპირა ეფექტებად მიჩნეულია რღვევიდან დაახლოებით 15 კმ მანძილზე გავრცელებული ზემოქმედება. კერისპირა ეფექტების განსაზღვრა შესაძლებელია სომერვილის (Somerville et al. (1997)) მიერ შემოთავაზებული მოდელების მიხედვით, რომლებიც დაკორექტირდა აბრაჰამსონის მიერ (Abrahamson (2000)) ან მოგვიანებით ბეილისის და სომერვილის (Bayless and Somerville) მიერ შემუშავებული მოდელის (Spudich et al, 2013) ან „CALTRANS“ (2019) მოდელის მიხედვით.

რღვევისპირა ეფექტების გაანგარიშება შესაძლებელია დეტერმინისტული მიდგომით, შერჩეულ მიწისძვრის დეტერმინისტულ სცენარში აღწერილი სეისმური მოვლენების გათვალისწინებით.

პრაქტიკული გამოყენებისთვის ზოგადად გათვალისწინებულია „CALTRANS“-ს (2019) მოდელი, რღვევისპირა ეფექტების მიმართებისთვის საანგარიშო სპექტრის მოდიფიკაციის მიზნით (ნახაზი 24)

**ნახაზი 24.** რღვევისპირა მაკორექტირებელი კოეფიციენტი როგორც მანძილისა და სპექტრალური პერიოდის ფუნქცია (CALTRANS-ს მიხედვით, 2019)



#### 15. სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობა

საპროექტო სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერები საჭიროა არაწრფივი ანალიზისთვის რეალურ დროში. ამ თვალსაზრისით, თურქეთის სეისმომდეგე პროექტირების კოდექსით (TBDY, 2018) და ASCE 7-05-სმიერ განსაზღვრული პირობებია:

- სამგანზომილებიანი ანალიზის შემთხვევებში, გრუნტის მოძრაობის შერჩევა და მისი მასშტაბის განსაზღვრა ხდება მიწისძვრის შესახებ ხელსაყრელი ჩანაწერებიდან, რომლებიც შეიცავენ თითოეული ჩანაწერის ჰორიზონტალურ კომპონენტს. ხელსაყრელი გრუნტის მოძრაობის შერჩევა მოხდება იმ ჩანაწერებიდან, რომლებიც თავსებადი მიწისძვრის მაგნიტუდის, რღვევის მანძილის და კერის მექანიზმთან.
- თერთმეტი (11) სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობის ნაკრები შემუშავდება;
- გრუნტის ჰორიზონტალური მოძრაობის თითოეული წყვილისთვის სპექტრი აიგება გრუნტის ჰორიზონტალური მოძრაობის ორი კომპონენტისგან.
- გრუნტის თითოეული მოძრაობის მასშტაბი განსაზღვრული იქნება მასშტაბირების

იდენტური კოეფიციენტით, რომელიც ორივე ჰორიზონტალურ კომპონენტთან გამოიყენება; ამგვარად სპექტრის საშუალო მაჩვენებელი გრუნტის ყველა მოძრაობისთვის ზოგადად შესაბამისი უნდა იყოს ან უნდა აჭარბებდეს სამიზნე რეაქციის სპექტრს დროის დიაპაზონში.

- გრუნტის ყველა სახის მოძრაობისთვის სპექტრის საშუალო მაჩვენებელი არ უნდა იყოს სამიზნე რეაქციის სპექტრის 90%-ზე დაბლა ერთი და იგივე პერიოდის დიაპაზონის ფარგლებში ნებისმიერ დროს.

წინამდებარე ანგარიშში, სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობა იწარმოება ორივე მეთოდით: დროის ინტერვალში მასშტაბირებით და ასევე სიხშირის ინტერვალში თავსებადობის ტექნიკის საშუალებით.

### 15.1. გრუნტის მოძრაობის მასშტაბის განსაზღვრა დროის ინტერვალში

საპროექტო სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მასშტაბირებული მოძრაობების განსაზღვრისთვის გამოყენებულია გრუნტის მოძრაობის შერჩევისა და მოდიფიკაციის სამუშაო ჯგუფის (GMSM, 2009) მიერ შემუშავებული USA-PEER პროგრამა. აღნიშნული პროგრამა მომხმარებელს საშუალებას აძლევს აარჩიოს გრუნტის მოძრაობის ყველაზე ხელსაყრელი ვარიანტი, სადაც ჩანაწერის ორი კომპონენტის გეომეტრიული საშუალო მაჩვენებელი ყველაზე მეტად იქნება თავსებადი საპროექტო სპექტრთან, საშუალო კვადრატული ცდომილების გათვალისწინებით. წინამდებარე პროექტში გამოყენებულია „PEER NGA-West2 Database“ (2013) მონაცემთა ბაზა.

72, 475 და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდების მიწისძვრის დონეებისთვის შერჩეული და მასშტაბირებული სეისმური მონაცემები, აჩქარების შესაბამისი რიცხვები, სიჩქარისა და წანაცვლების აქსელეროგრამები მოცემულია ელექტრონული სახით.

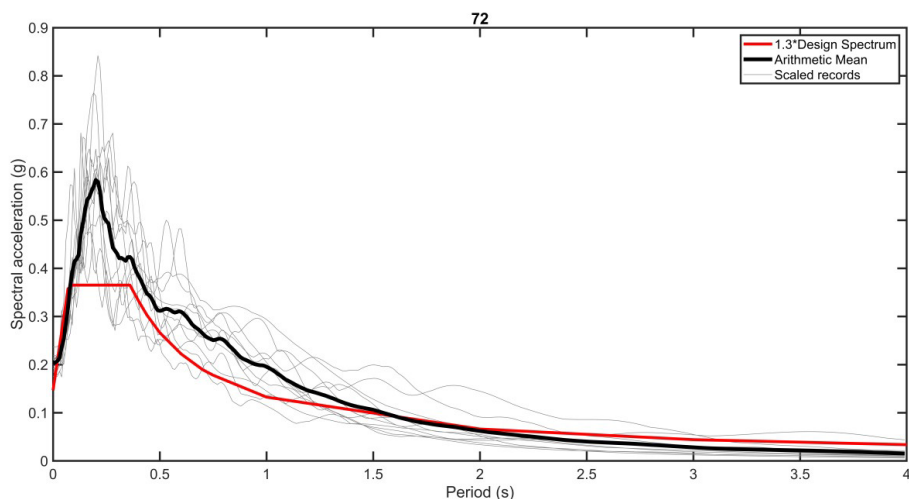
შერჩეული და მასშტაბირებული 11 (ცხრილი 8) გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერის (11x2 ჰორიზონტალური კომპონენტები) რეაქციის სპექტრი, რომელიც თავსებადია 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო ჰორიზონტალურ სპექტრთან შედარებულია და ასახულია ნახაზზე 24. არითმეტიკული და საპროექტო სპექტრის შედარება ასევე მოცემულია ნახაზზე 24. შერჩეული და მასშტაბირებული გრუნტის მოძრაობის 11 ჩანაწერის ვერტიკალური სპექტრი მიწისძვრის დონისთვის, რომელიც შეესაბამება 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდს, მოცემულია ნახაზზე 25.

**ცხრილი 8.** 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან თავსებადი შერჩეული სეისმური ჩანაწერები

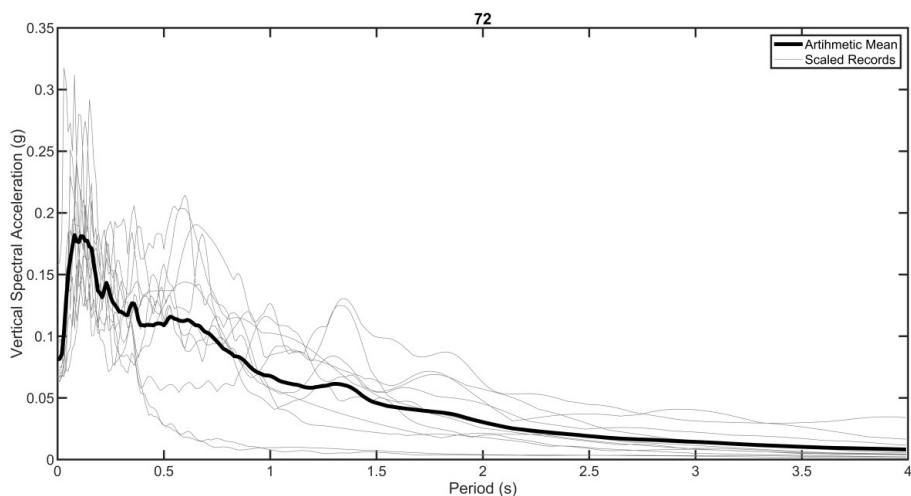
RS N	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	მექანიზმი	Rjb (კმ)	Rrup (კმ)	Vs30 (მ/წმ)	სკალ. კოეფ	Tu (წმ)
279	"Almiros საბერძნეთი	1980	"Almiros"	5.20	ნორმალური	13	14	413	1.839	3
284	"Irpinia_ იტალია"-01"	1980	"Auletta"	6.90	ნორმალური	10	10	477	2.709	2
480	"Lazio- Abruzzo_ იტალია""	1984	"Pontecor vo"	5.80	ნორმალური	30	33	321	2.528	2
493	"Drama_ საბერძნეთი"	1985	"Drama"	5.20	ნორმალური ირიზი	12	12	325	2.292	3
567	"Kalamata_ საბერძნეთი- 02"	1986	"Messinia - Old Townhall"	5.40	ნორმალური	8	8	394	3.344	3
1750	"ჩდ ჩინეთი-02"	1997	"Jiashi"	5.93	ნორმალური	18	37	240	0.923	3

1754	"ზღ ჩინეთი-04"	1997	"Jiashi"	5.80	ნორმალური ირიბი	21	28	240	0.703	3
4351	"Umbria Marche_ იტალია"	1997	"Matelica "	6.00	ნორმალური	23	25	437	1.328	8
4391	"Umbria Marche (აფტერშოკი 2)_ იტალია"	1997	"Norcia- Altavilla"	5.60	ნორმალური	16	18	218	0.849	7
4410	"Umbria Marche (აფტერშოკი 17)_იტალია"	1998	"Gubbio- Piana"	5.10	ნორმალური	18	19	492	2.643	6
4489	L'Aquila _იტალია"	2009	"Monterea le"	6.30	ნორმალური	16	16	421	2.752	40

**ნახაზი 25.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერის სპექტრის შედარება 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან



**ნახაზი 26.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის



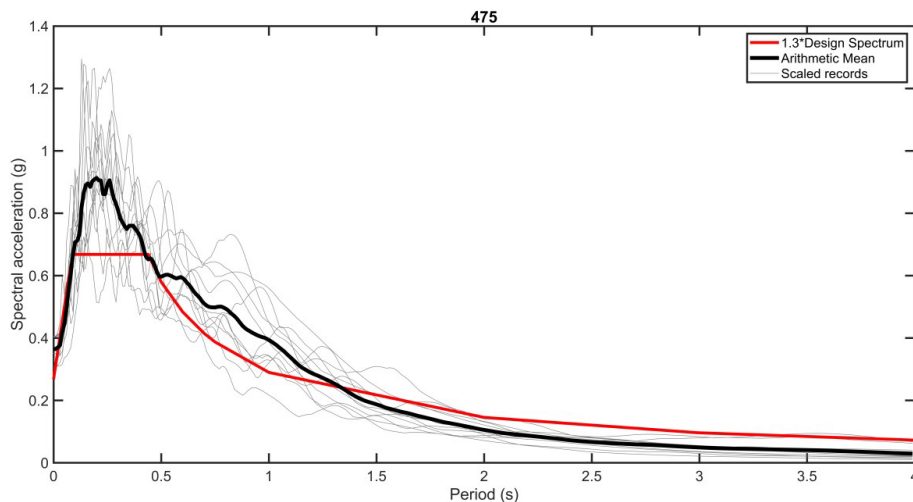
შერჩეული და მასშტაბირებული გრუნტის მოძრაობები, რომლებიც თავსებადია 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან

ჩამოთვლილია ცხრილში. შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც თავსებადია 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შედარებულია ნახაზზე 26.

**ცხრილი 9.** შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც თავსებადია 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან

RSN	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	მექანიზმი	R <sub>jb</sub> (კმ)	R <sub>rup</sub> (კმ)	V <sub>s30</sub> (მ/წმ)	სკალ. კოეფ	T <sub>u</sub> (წმ)
279	"Almiros_ საბერძნეთი"	1980	"Almiros"	5.20	ნორმალური	13	14	413	3.493	3
284	"Irpinia_ იტალია-01"	1980	"Auletta"	6.90	ნორმალური	10	10	477	4.198	2
480	"Lazio- Abruzzo_ იტალია"	1984	"Pontecorvo"	5.80	ნორმალური	30	33	321	4.341	2
493	"Drama_ საბერძნეთი"	1985	"Drama"	5.20	ნორმალური ირიზი	12	12	325	4.366	3
1752	ჩდ ჩინეთი-03"	1997	"Jiashi"	6.10	ნორმალური	10	18	240	0.885	3
1754	ჩდ ჩინეთი-04"	1997	"Jiashi"	5.80	ნორმალური ირიზი	21	28	240	1.336	3
3605	"Lazio- Abruzzo_ იტალია"	1984	"Cassino-Sant' Elia"	5.80	ნორმალური	20	24	437	2.192	3
4348	"Umbria Marche_ იტალია"	1997	"Castelnuovo- Assisi"	6.00	ნორმალური	17	17	293	1.527	9
4351	"Umbria Marche_ იტალია"	1997	"Matelica"	6.00	ნორმალური	23	25	437	2.522	8
4410	"Umbria Marche (აფტერშოკი 17)_ იტალია"	1998	"Gubbio- Piana"	5.10	ნორმალური	18	19	492	4.613	6
4489	"L'Aquila_ იტალია"	2009	"Montereale"	6.30	ნორმალური	16	16	421	4.268	40

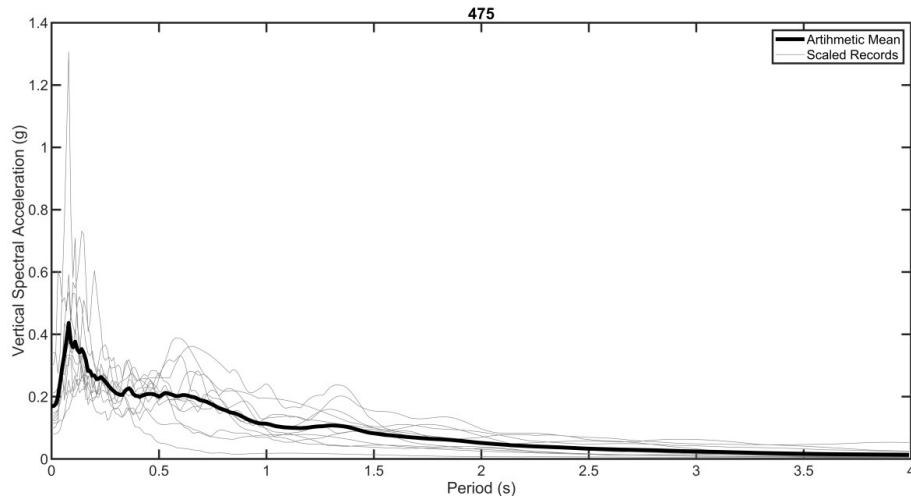
**ნახაზი 27.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის სპექტრის შედარება 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან



მასშტაბირებული გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერების ვერტიკალური სპექტრი და ამ სპექტრების არითმეტიკული საშუალო მოცემულია ნახაზზე 27.



**ნახაზი 28.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის

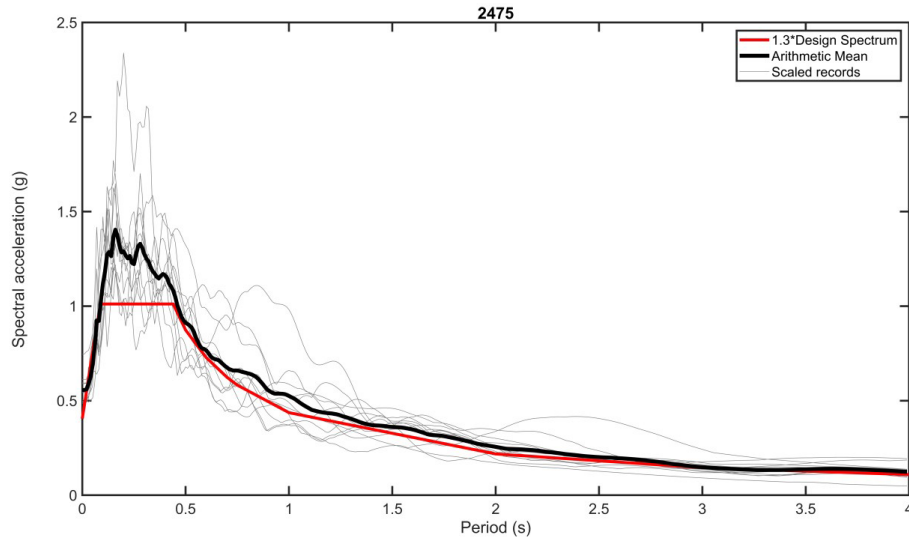


შერჩეული და მასშტაბირებული გრუნტის მოძრაობები, რომლებიც თავსებადია 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან, ჩამოთვლილია ცხრილში 8. სპექტრების შედარება მოცემულია ნახაზზე 28.

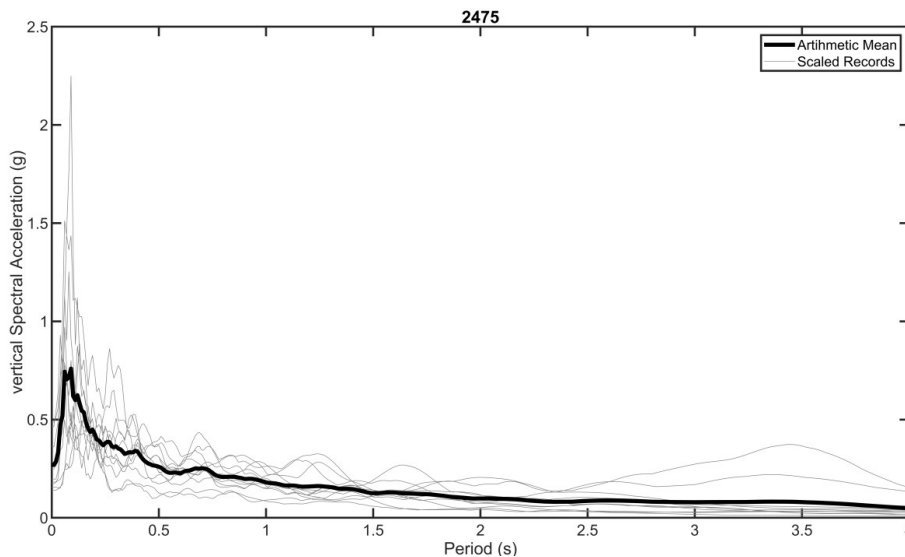
**ცხრილი 10.** შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც თავსებადია 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან

RSN	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	მექანიზმი	R <sub>jb</sub> (კმ)	R <sub>rup</sub> (კმ)	V <sub>s30</sub> (მ/წმ)	სკალ. კოეფ.	T <sub>u</sub> (წმ)
68	"San Fernando"	1971	"LA Hollywood Stor FF"	6.61	რევერსული	23	23	316	1.667	10
730	სპიტაკი- სომხეთი	1988	"Gukasian"	6.77	რევერსული ირიბი	24	24	344	2.310	4
802	"Loma Prieta"	1989	"Saratoga - Aloha Ave"	6.93	რევერსული ირიბი	8	9	381	0.918	8
985	"Northridge- 01"	1994	"LA Baldwin Hills"	6.69	რევერსული	24	30	297	1.727	6
1000	"Northridge- 01"	1994	"LA - Pico& Sentous"	6.69	რევერსული	28	31	305	2.794	5
1008	"Northridge- 01"	1994	"LA W 15th St"	6.69	რევერსული	26	30	330	2.725	6
4228	"Niigata_ იაპონია"	2004	"NIGH11"	6.63	რევერსული	6	9	375	0.778	20
5274	"Chuetsuoki_ იაპონია"	2007	"NIG028"	6.80	რევერსული	15	23	431	2.589	40
5275	"Chuetsuoki_ იაპონია"	2007	"NIGH01"	6.80	რევერსული	16	23	480	2.547	27
8062	"Christchurch_ ახალი ზელანდია"	2011	"Canterbury Aero Club"	6.20	რევერსული ირიბი	14	14	280	2.544	16
8142	"Christchurch_ ახალი ზელანდია"	2011	"TPLC"	6.20	რევერსული ირიბი	17	17	249	2.992	11

**ნახაზი 29.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის სპექტრის შედარება 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან მოცემულია ნახაზზე 29



**ნახაზი 30.** შერჩეული და მასშტაბირებული 11 გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალური სპექტრი 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის შესაბამისი მიწისძვრის დონისთვის



## 15.2. სპექტრალური შესაბამისობა სიხშირის ინტერვალში

წინამდებარე პროექტში გამოყენებულია PEER NGA-West2 მონაცემთა ბაზა (2013) სეისმური მონაცემების მოსაპოვებლად. მოხდა სეისმური მონაცემების სამიზნე სპექტრთან შესაბამისობაში მოყვანა „RspMatch2005“ პროგრამის გამოყენებით.

მეთოდოლოგია შემუშავდა აბრაჰამსონის მიერ (Abrahamson (1993)), რომელიც შემდგომში გაუმჯობესდა და დაიხვეწა ჰენკოკისა და სხვ. მიერ (Hancock et al. (2008)). მომხმარებლის სამიზნე სპექტრთან თავსებადობის მიზნით აჩქარების დროის ჩანაწერში დროის ინტერვალის მოდიფიკაცია განხორციელდა ლილჰანანდისა და ცენგის მიერ (Lilhanand and Tseng (1988)), ასევე აბრაჰამსონის (1993) მიერ შექმნილი კომპიუტერული კოდის გამოყენებით (RspMatch). ჩანაწერის/აქსელეროგრამის მოდიფიკაცია შეიძლება განხორციელდეს მოდიფიკაციის სხვადასხვა მოდელის გამოყენებით. აღნიშნული ხერხით, შენარჩუნებულია თავდაპირველი

ჩანაწერის გრძელვადიანი არასტაციონარული სტადიურობა. RspMatch პროგრამა ასრულებს სპექტრულ შესაბამისობას სეისმური იმპულსების გამოყენებით. ჰენკოკის და სხვ. (Hancock et al. (2006)) მიერ პროგრამის ახალი ვერსიის გაუმჯობესების შემდეგ, RspMatch2005 პროგრამით შესაძლებელია აქსელეროგრამების შეთანხმება ფსევდო-აქსელერაციის თუ წანაცვლების სპექტრის ორდინატებთან, ასევე, აბსოლუტური აქსელერაციის სპექტრთან; გარდა ამისა, ეს პროგრამა საშუალებას იძლევა შესაბამისობა შესრულდეს დაცხრომის ერთდროულად რამდენიმე თანაფარდობაში.

მეთოდოლოგიის არსი შემდეგში მდგომარეობს:

- თავისუფლების ერთხარისხიანი ელასტიკური სისტემის (SDOF) რეაქციის გაანგრიშება აქსელერაციის ჩანაწერების რიგების მოქმედების პირობებში თითოეული პერიოდის და დაცხრომის დონისთვის, რომლებთანაც შესაბამისობა უნდა მოხდეს.
- SDOF-ს თითოეული რეაქციის პიკური მაჩვენებლის შედარება სამიზნე ამპლიტუდასთან და შეუსაბამობის განსაზღვრა;
- აქსელერაციის ჩანაწერებში სეისმური იმპულსების დამატება შესაბამისი ამპლიტუდებით და სტადიურობით/ფაზირებით ისე, რომ თითოეული რეაქციის პიკური მაჩვენებელი სამიზნე მაგნიტუდის შესაბამისი იყოს. ერთი სეისმური იმპულსი გამოიყენება ერთ SDOF რეაქციასთან შესათანხმებლად.

თითოეული სეისმური იმპულსის დროის ჩანაწერთა რიგებთან შესაბამისობა ხორციელდება იმგვარად, რომ SDOF მაქსიმალური რეაქციის დრო სეისმური იმპულსის პირობებში უნდა დაკორექტირდეს აქსელერაციის დაუკორექტირებელი დროის ჩანაწერების რიგებიდან. შემუშავდა ახალი სეისმური იმპულსები, რომელთაც გააჩნიათ ნულოვანი საბოლოო სიჩქარე და წანაცვლება, რათა სეისმური იმპულსის დაკორექტირების შემდეგ საჭირო არ გახდეს ჩანაწერების ფონური კორექტირება.

მიუხედავად იმისა, რომ ალგორითმი გამორიცხავს გადაწყვეტის გადახრას, ის არ უზრუნველყოფს მის ერთ წერტილში თავმოყრას მოთხოვნილი დაშვების ფარგლებში. საჭიროა ბალანსის მიღწევა რეაქციის სპექტრების სიზუსტესა და აქსელეროგრამებში შესრულებული კორექტირების ხარისხს შორის.

შერჩეული და შეთანხმებული მონაცემები 72, 475 და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონისთვის და აჩქარების შესაბამისი რიცხვები, სიჩქარის და წანაცვლების აქსელეროგრამები მოცემულია ელექტრონული სახით.

სეისმური მონაცემების მაჩვენებლები, რომლებიც შეირჩა 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის საპროექტო სპექტრთან სპექტრალური შესაბამისობისთვის ჩამოთვლილია ცხრილში 9. თითოეული შეთანხმებული სპექტრი და საპროექტო სპექტრი მოცემულია ნახაზებზე 30-დან 40-მდე.

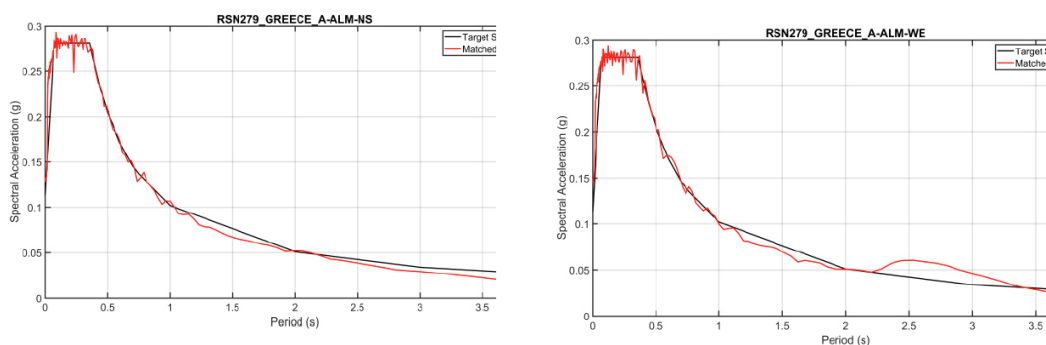
**ცხრილი 11.** შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესათანხმებლად.

RSN	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	მექანიზმი	R <sub>jb</sub> (კმ)	R <sub>rup</sub> (კმ)	V <sub>s30</sub> (მ/წმ)
279	"Almiros_ საბერძნეთი"	1980	"Almiros"	5.20	ნორმალური	13	14	413
284	"Irpina_ იტალია"-01"	1980	"Auletta"	6.9	ნორმალური	10	10	477
295	"Irpina_ იტალია"-02"	1980	"Auletta"	6.20	ნორმალური	29	30	477
480	"Lazio-Abruzzo_ იტალია"	1984	"Pontecorvo"	5.80	ნორმალური	30	33	321
493	"Drama_ საბერძნეთი"	1985	"Drama"	5.20	ნორმალური ირიბი	12	12	325

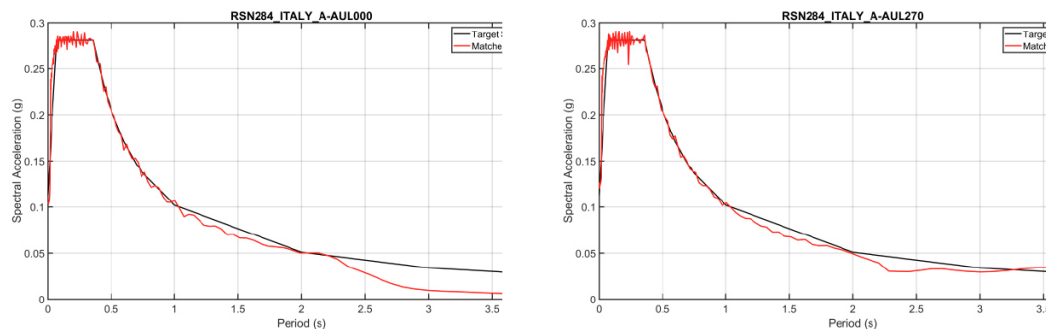


567	"Kalamata_ საბერძნეთი-02"	1986	"Messinia - Old Townhall"	5.40	ნორმალური	8	8	394
1754	"ზღ ჩინეთი- 04"	1997	"Jiashi"	5.80	ნორმალური ირიბი	21	28	240
4351	"Umbria Marche_ იტალია"	1997	"Matelica"	6.00	ნორმალური	23	25	437
4489	"L'Aquila_ იტალია"	2009	"Montereale"	6.30	ნორმალური	16	16	421
4516	"L'Aquila_ იტალია"- ავტერშოვი	2009	"Montereale"	5.60	ნორმალური ირიბი	29	30	421
4547	"L'Aquila_ იტალია"	2009	"V.Aterno- Centro Valle"	5.40	ნორმალური	10	18	475

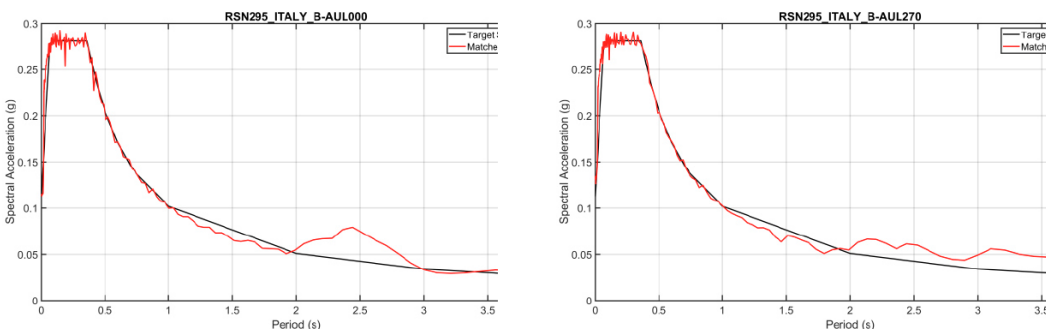
**ნახაზი 31.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 279)



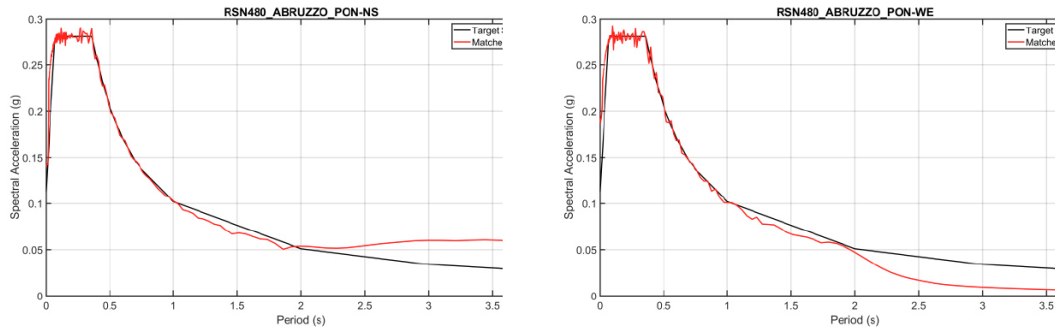
**ნახაზი 32.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 284)



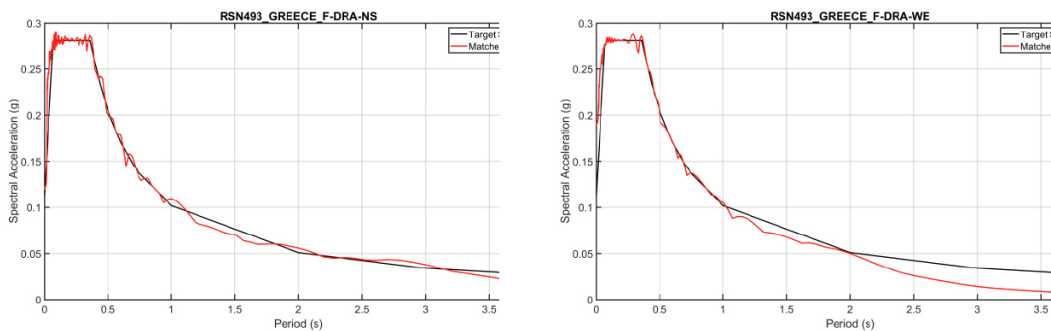
**ნახაზი 33.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 295)



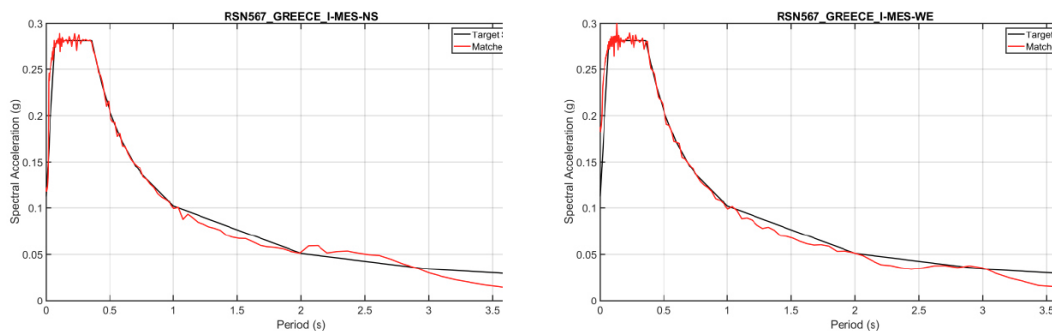
**ნახაზი 34.** შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 480)



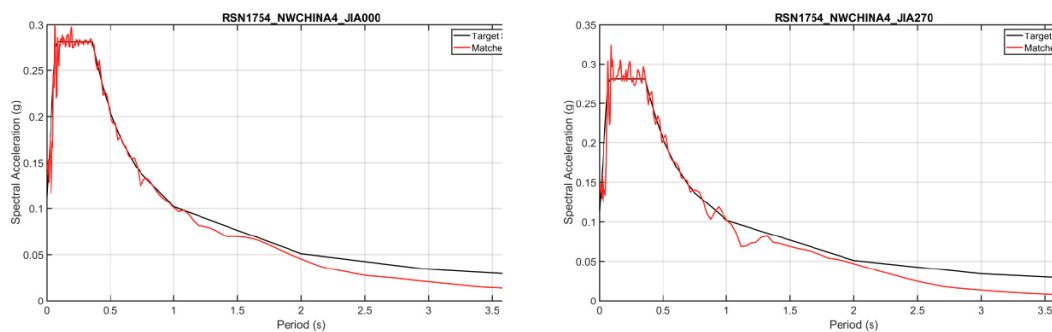
**ნახაზი 35.** შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 493)



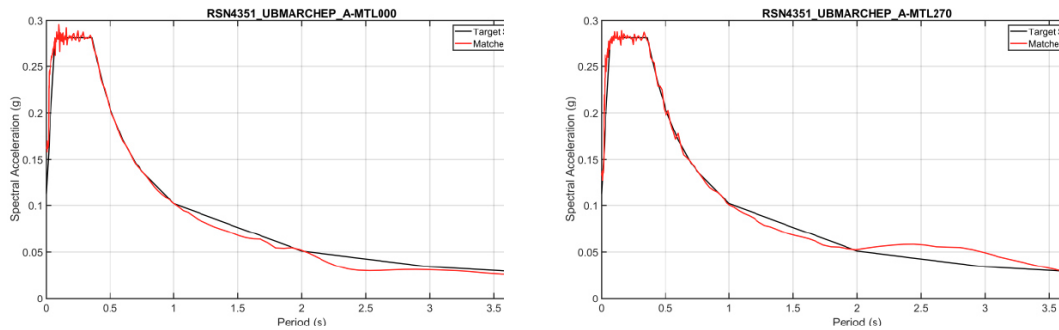
**ნახაზი 36.** შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 567)



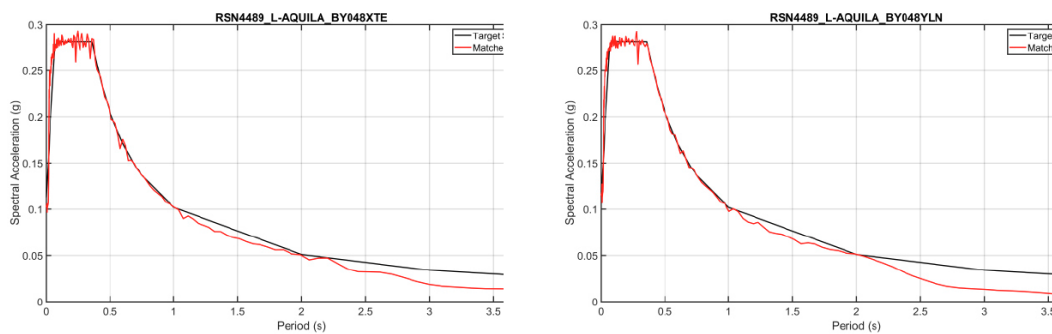
**ნახაზი 37.** შესაბამეული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 1754)



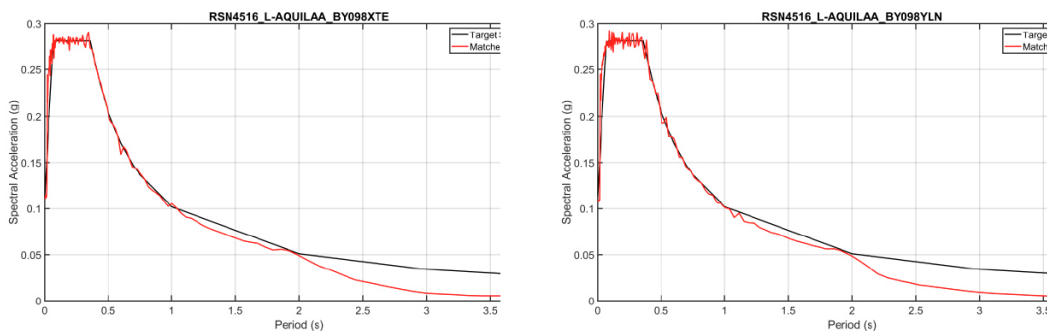
**ნახაზი 38.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4351)



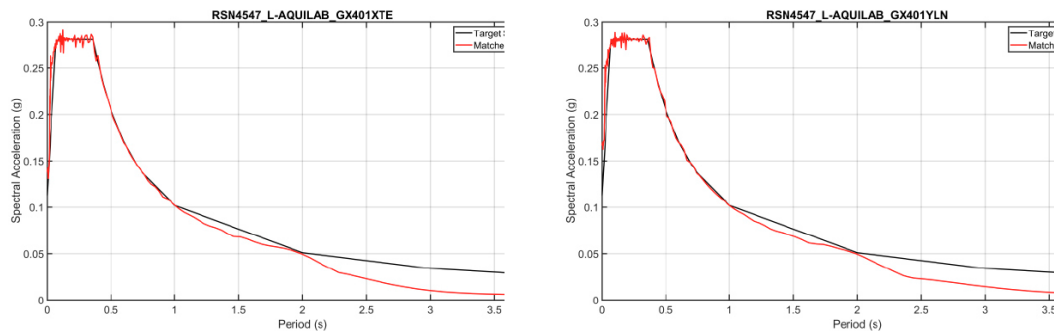
**ნახაზი 39.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4489)



**ნახაზი 40.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4516)



**ნახაზი 41.** შესაბამებული სპექტრის და 72 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4547)



სეისმური მონაცემების მაჩვენებლები, რომლებიც შეირჩა 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის საპროექტო სპექტრთან სპექტრალური შესაბამისობისთვის

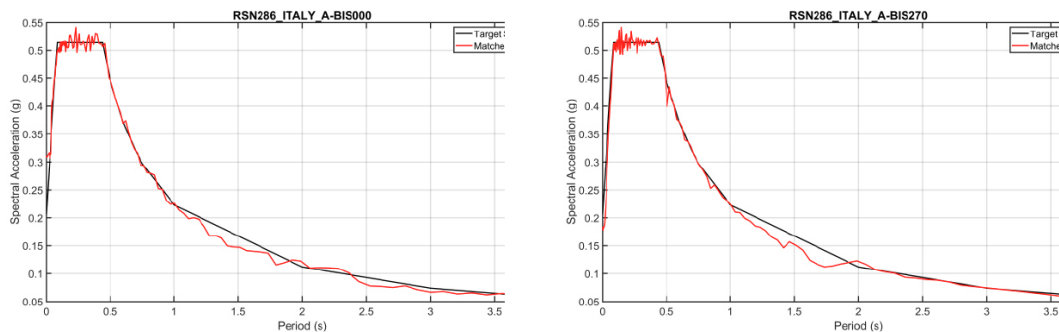


ჩამოთვლილია ცხრილში. თითოეული შეთანხმებული სპექტრი და საპროექტო სპექტრი მოცემულია ნახაზებზე 41-დან 51-მდე.

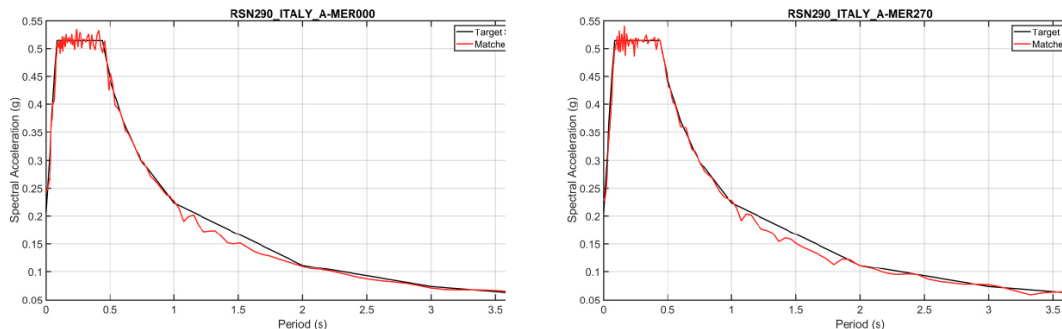
**ცხრილი 12.** შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესაბამისობაში.

RSN	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	შეკანოზმი	R <sub>jb</sub> (კმ)	R <sub>rup</sub> (კმ)	V <sub>s30</sub> (მ/წმ)
286	"Irpinia_ იტალია-01"	1980	"Bisaccia"	6.90	ნორმალური	18	21	496
290	"Irpinia_ იტალია--01"	1980	"Mercato San Severino"	6.9	ნორმალური	30	30	429
297	"Irpinia_ იტალია--02"	1980	"Bisaccia"	6.20	ნორმალური	15	15	496
300	"Irpinia_ იტალია--02"	1980	"Calitri"	6.20	ნორმალური	9	9	456
313	"Corinth_ საბერძნეთი"	1981	"Corinth"	6.60	ნორმალური ირიბი	10	10	361
480	"Lazio-Abruzzo_ იტალია--"	1984	"Pontecorvo"	5.80	ნორმალური	30	33	321
4335	"Umbria Marche (ფორშოვი)_ იტალია"	1997	"Assisi-Stallone"	5.70	ნორმალური	22	23	377
4348	"Umbria Marche_ იტალია"	1997	"Castelnuovo- Assisi"	6.00	ნორმალური	17	17	293
4362	"Umbria Marche (აფტერშოვი 1)_ იტალია"	1997	"Assisi-Stallone"	5.50	ნორმალური	17	17	377
4391	"Umbria Marche (აფტერშოვი 2)_ იტალია--"	1997	"Norcia-Altavilla"	5.60	ნორმალური	16	18	218
4462	"L'Aquila_ იტალია--"	2009	"Avezzano"	6.30	ნორმალური	24	27	199

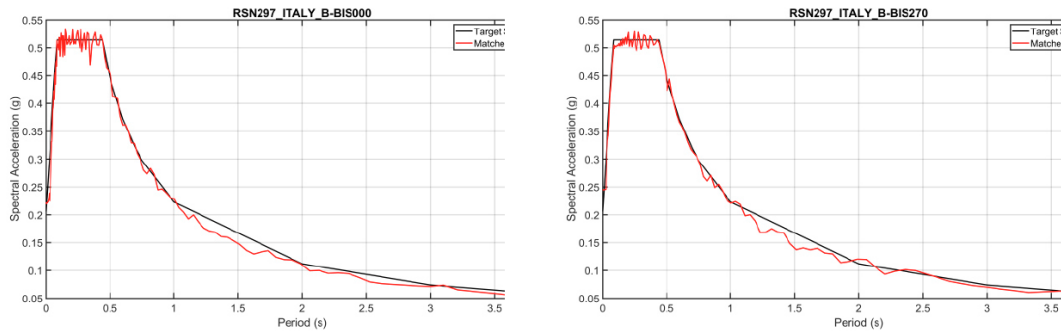
**ნახაზი 42.** შესაბამისებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 286)



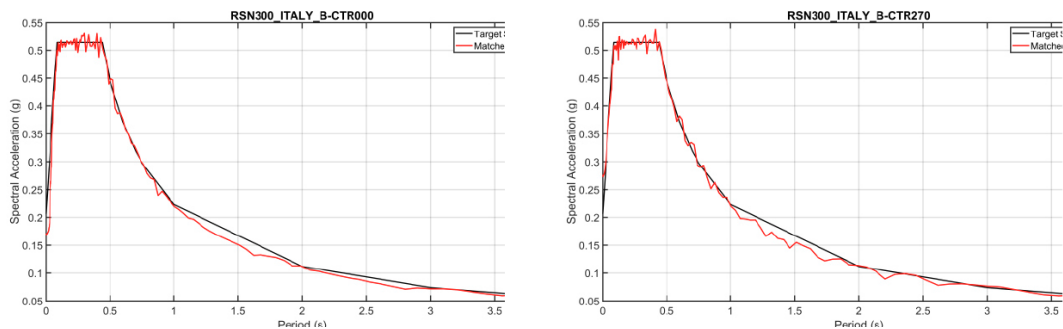
**ნახაზი 43.** შესაბამისებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 290)



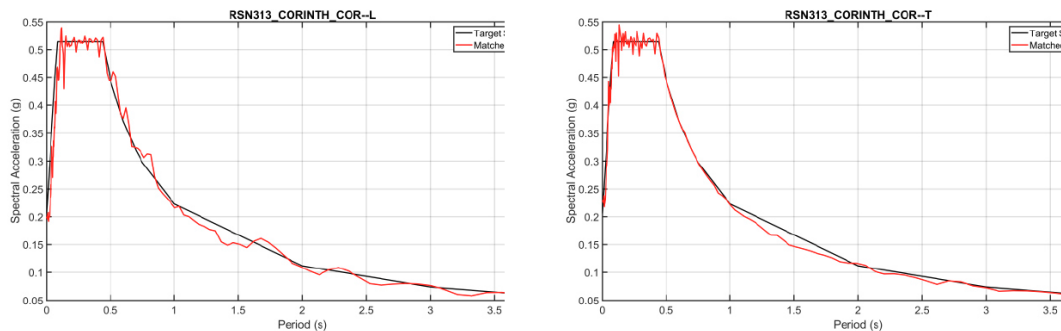
**ნახაზი 44.** შესაბამეული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 297)



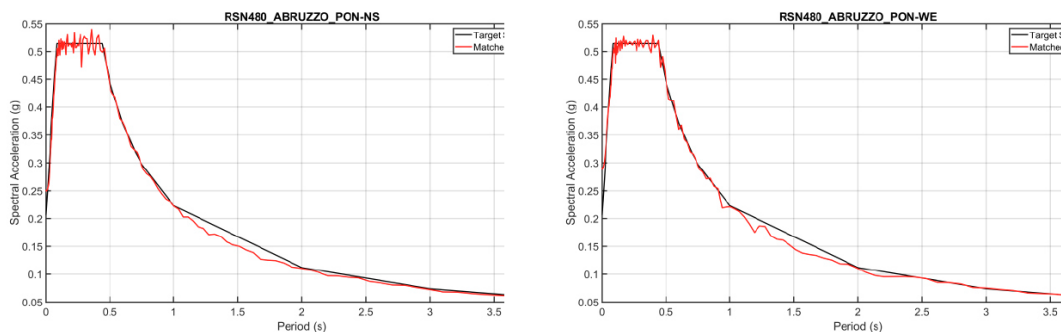
**ნახაზი 45.** შესაბამეული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 300)



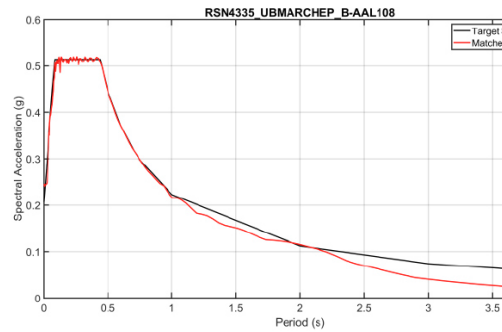
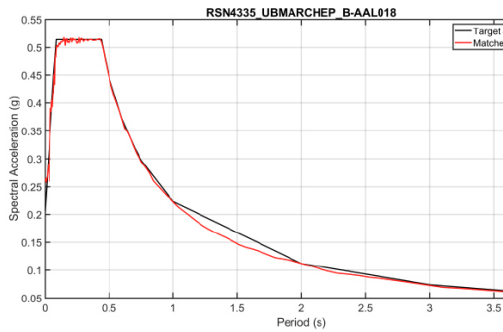
**ნახაზი 46.** შესაბამეული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 313)



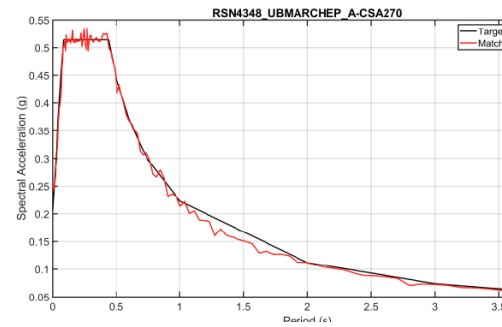
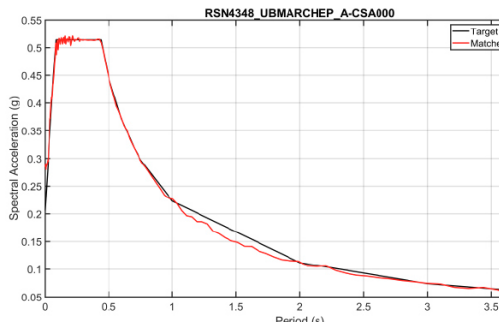
**ნახაზი 47.** შესაბამეული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 480)



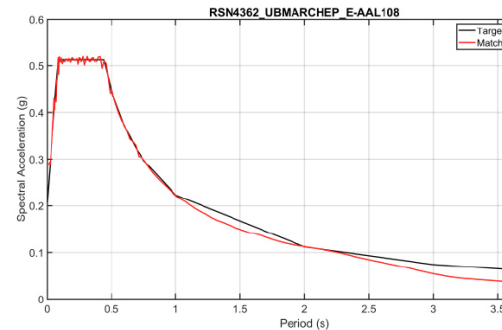
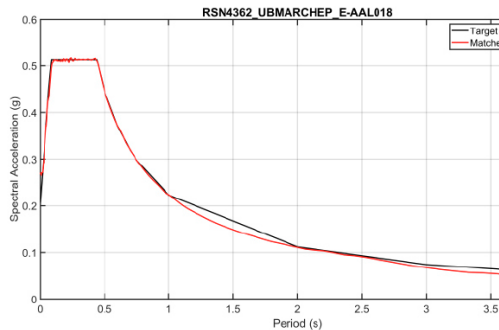
**ნახაზი 48.** შესაბამებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4335)



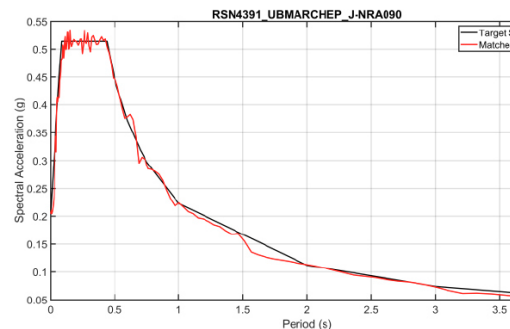
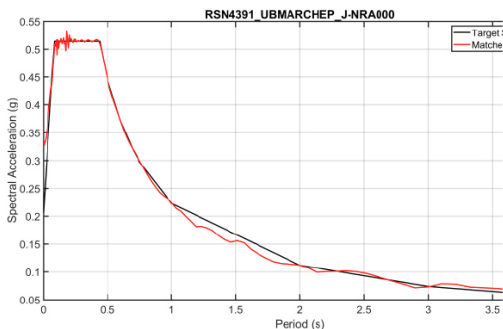
**ნახაზი 49.** შესაბამებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4348)



**ნახაზი 50.** შესაბამებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4362)

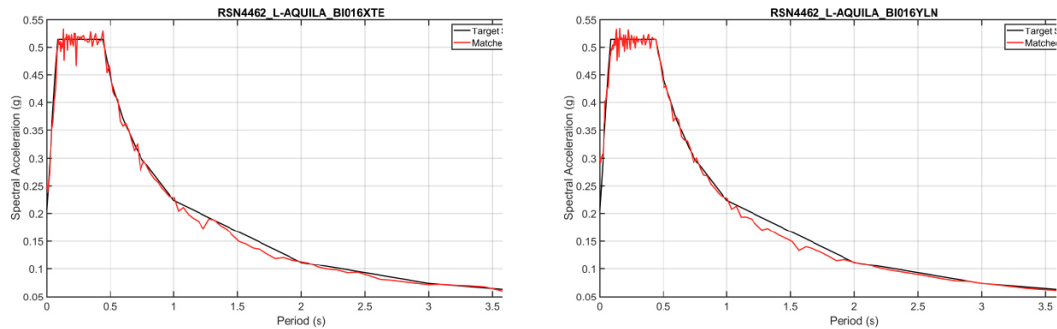


**ნახაზი 51.** შესაბამებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4391)





**ნახაზი 52.** შესაბამებული სპექტრის და 475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4462)

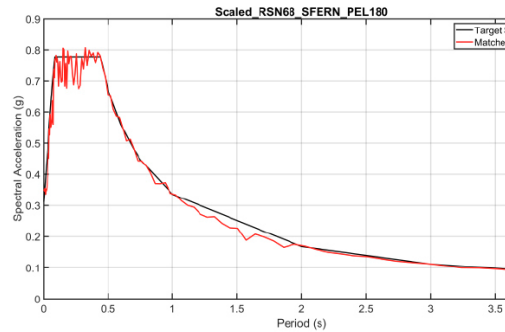
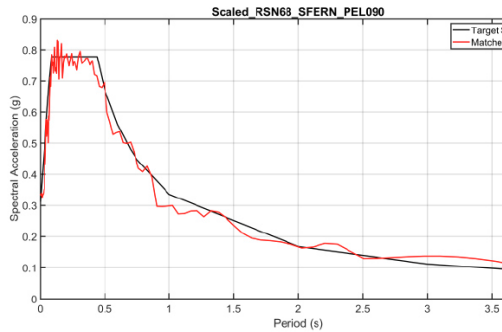


სეისმური მონაცემების მაჩვენებლები, რომლებიც შეირჩა 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის საპროექტო სპექტრთან სპექტრალური შესაბამისობისთვის ჩამოთვლილია ცხრილში 13. თითოეული შეთანხმებული სპექტრი და საპროექტო სპექტრი მოცემულია ნახაზებზე 52-დან 62-მდე.

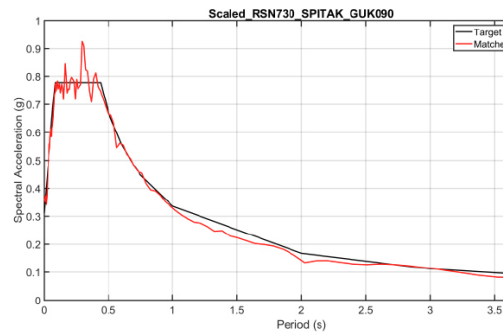
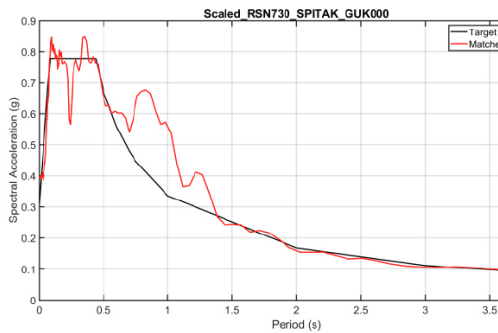
**ცხრილი 13.** შერჩეული სეისმური ჩანაწერები, რომლებიც გამოყენებული იქნება 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრთან შესაბამისობისთვის

RSN	მიწისძვრა	წელი	სადგური	მაგნიტუდა	მექანიზმი	R <sub>jb</sub> (კმ)	R <sub>rup</sub> (კმ)	V <sub>s30</sub> (მ/წმ)
68	"San Fernando"	1971	"LA - Hollywood Stor FF"	6.61	რევერსული	23	23	316
730	სპიტაკი სომხეთი	1988	"Gukasian"	6.77	რევერსული ირიბი	24	24	344
802	"Loma Prieta"	1989	"Saratoga - Aloha Ave"	6.93	რევერსული ირიბი	8	9	381
985	"Northridge-01"	1994	"LA - Baldwin Hills"	6.69	რევერსული	24	30	297
1000	"Northridge-01"	1994	"LA - Pico & Sentous"	6.69	რევერსული	28	31	305
1008	"Northridge-01"	1994	"LA - W 15th St"	6.69	რევერსული	26	30	330
4228	"Niigata_ იაპონია"	2004	"NIGH11"	6.63	რევერსული	6	9	375
5274	"Chuetsu-oki_ იაპონია"	2007	"NIG028"	6.80	რევერსული	15	23	431
5275	"Chuetsu-oki_ იაპონია"	2007	"NIGH01"	6.80	რევერსული	16	23	480
8062	"Christchurch_ ახალი ზელანდია"	2011	"Canterbury Aero Club"	.20	რევერსული ირიბი	14	14	280
8142	"Christchurch_ ახალი ზელანდია"	2011	"TPLC"	6.20	რევერსული ირიბი	17	17	249

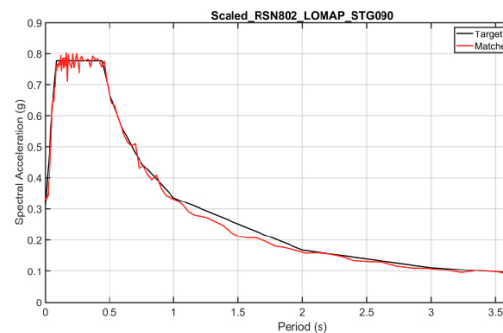
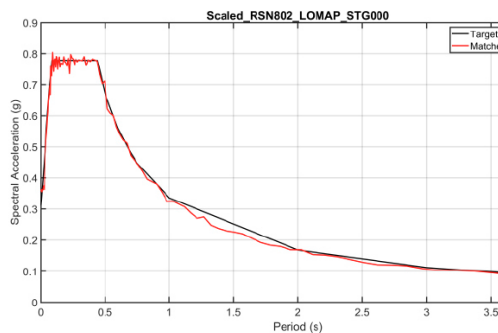
**ნახაზი 53.** შესაბამებული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 68)



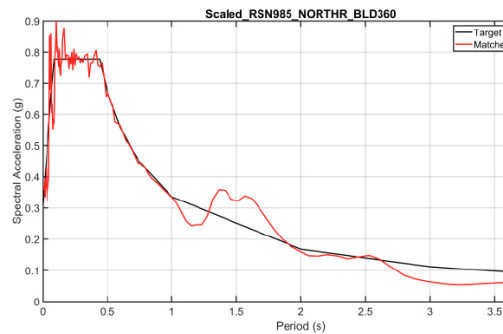
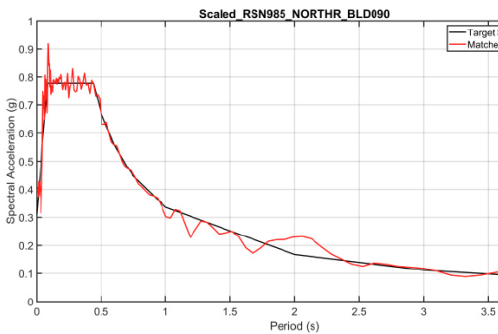
**ნახაზი 54.** შესაბამებული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 730)



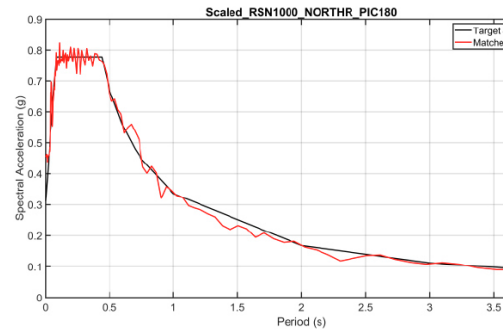
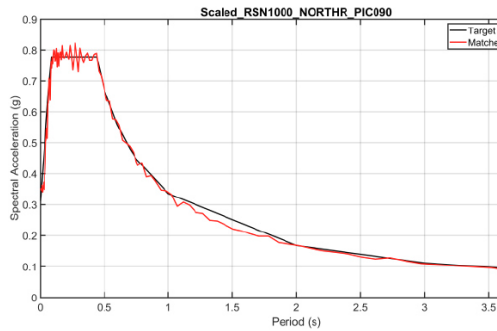
**ნახაზი 55.** შესაბამებული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 802)



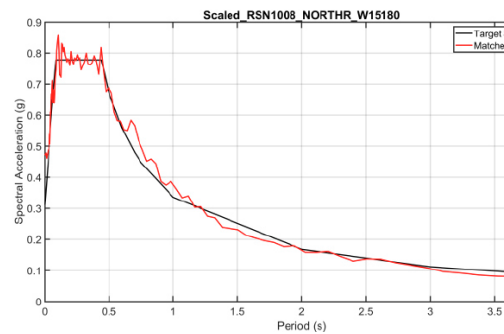
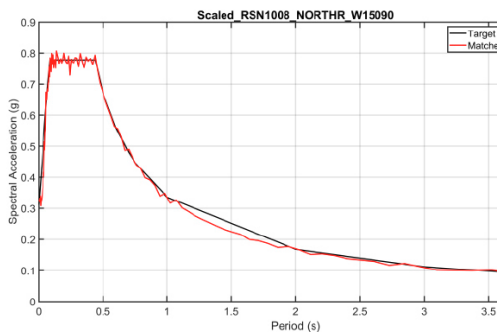
**ნახაზი 56.** შესაბამებული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 985)



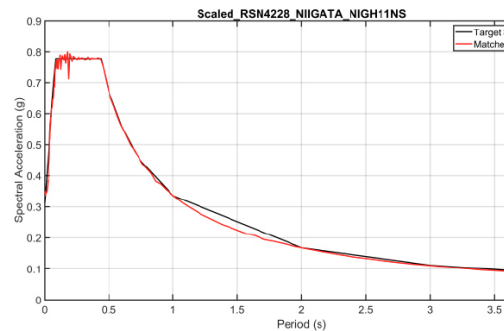
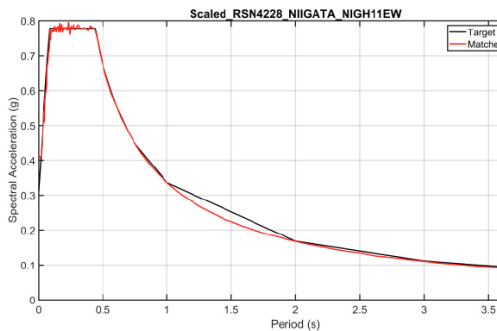
**ნახაზი 57.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 1000)



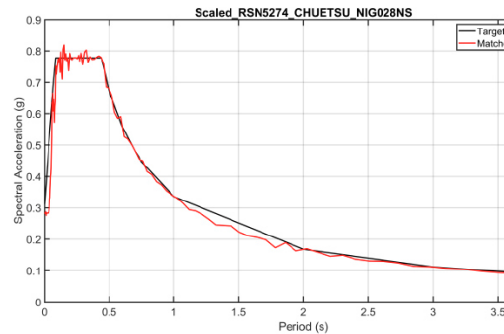
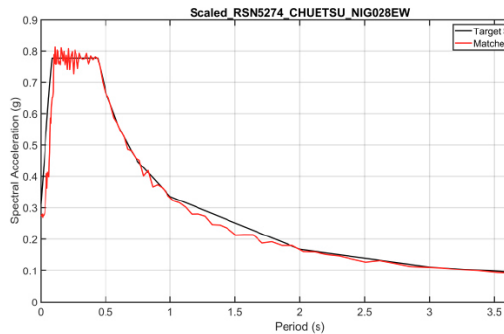
**ნახაზი 58.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 1008)



**ნახაზი 59.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 4228)

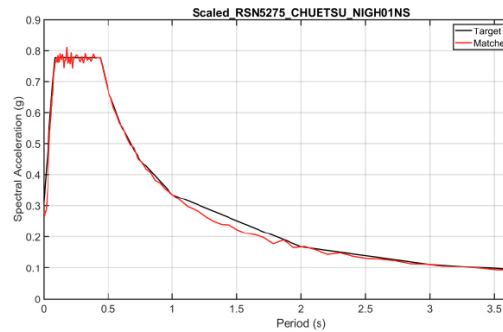
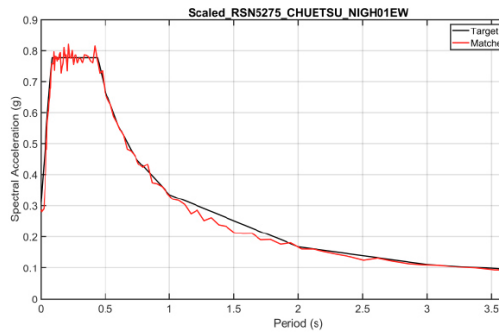


**ნახაზი 60.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 5274)

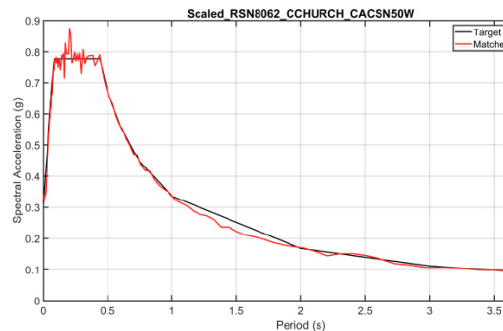
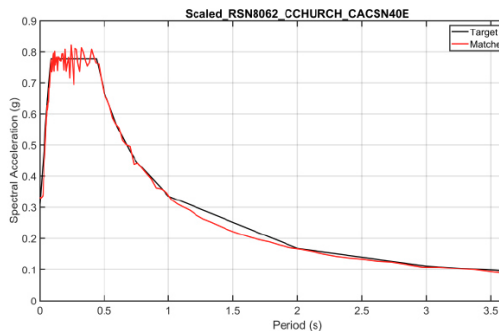




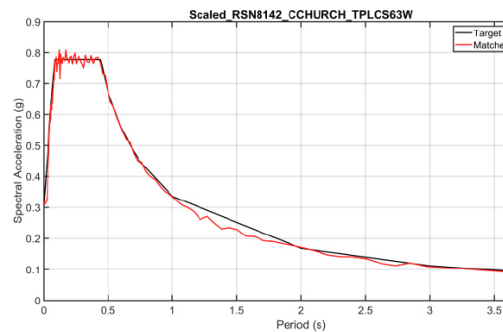
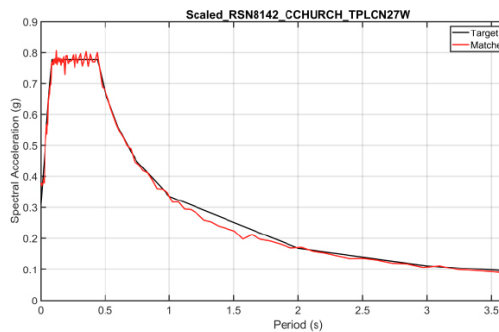
**ნახაზი 61.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 5275)



**ნახაზი 62.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 8062)



**ნახაზი 63.** შესაბამეული სპექტრის და 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდის მიწისძვრის დონის საპროექტო სპექტრის შედარება (RSN 8142)



## 16. დასკვნები და წინადადებები

- გრუნტის მოძრაობის საშიშროების ანალიზი და პროექტთან დაკავშირებული გრუნტის სეისმური მოძრაობის შეფასება განხორციელდა „ბათუმი აილენდ“ პროექტისთვის. ანალიზისთვის გამოყენებულ იქნა თანამედროვე ტექნოლოგიები და უახლესი მონაცემთა ბაზა ყველა შესაბამისი ლიტერატურული წყაროს გათვალისწინებით
- „ბათუმი აილენდის“ საპროექტო ნაგებობების ექსპლუატაციაზე ორიენტირებული სეისმომდებელი პროექტირებისთვის რეკომენდირებულია ორდონიანი ექსპლუატაციაზე ორიენტირებული მიდგომის გამოყენება. საპროექტო ნაგებობები გათვლილია 475 წლიანი (10%/50) საშუალო განმეორებადობის მიწისძვრის გრუნტის რხევებზე, როდესაც აღნიშნული ნაგებობები ფუნქციური უნდა დარჩეს. ე.წ. მაქსიმალური განსახილველი მიწისძვრის დროს, რომელიც დაკავშირებულია 2%-იანი გადაჭარბების ალბათობასთან

<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

50 წელიწადში, 2475 წლიანი საშუალო განმეორებადობის პერიოდით, კონსტრუქციებისთვის მიყენებული ზიანი უნდა იყოს „მართვადი ზიანის“ საექსპლუატაციო კრიტერიუმის შესაბამისი, რათა უზრუნველყოფილი იყოს ნაგებობების დროული შეკეთება და საექსპლუატაციო ქმედებების განახლება.

3. ნახაზებზე 20 და 22 წარმოდგენილია საპროექტო ჰორიზონტალური და ვერტიკალური რეაქციის სპექტრი NEHRP-ს „D“ კლასის ტერიტორიისთვის. სპექტრების რიცხვობრივი მონაცემები წარმოდგენილია დანართში I. ერთიანი საშიშროების სპექტრები მოცემულია ნახაზზე 23. აღნიშნული სპექტრები მოიცავენ კორექტირებას რღვევის მიმართების ეფექტებისთვის.
4. საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრი (ნახაზი 20) წარმოადგენს გრუნტის სეისმური მოძრაობის ორი ჰორიზონტალური ორთოგონალური კომპონენტის გეომეტრიული საშუალოს (RotD50) კომბინაციას. იმ შემთხვევაში, თუ ინჟინრის მიერ შერჩეული ანალიზის ტიპის მიხედვით საჭირო იქნება გრუნტის მოძრაობის მიმართულების მაქსიმალური მაჩვენებლები (RotD100), შესაძლებელი იქნება მე-13 თავის ცხრილში 7 მოცემული კოეფიციენტების გამოყენება ინჟინრის გადაწყვეტილებით.
5. საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრი (ნახაზი 20) არ მოიცავს მე-14 თავში განხილულ რღვევისპირა ეფექტებს. მიწისძვრის დეტერმინისტული სცენარის მაქსიმალური მაგნიტუდის და „ბათუმი აილენდის“ კონსტრუქციების შედარებით მაღალი სიხშირის რეაქციის გათვალისწინებით, რღვევისპირა ეფექტების განხილვა არ უნდა იყოს მნიშვნელოვანი.
6. მე-14 თავში, სპექტრთან თავსებადი გრუნტის მოძრაობა მიიღება როგორც დროის ინტერვალში მასშტაბირებით, ასევე სიხშირის ინტერვალში თავსებადობის ტექნიკის საშუალებით. შესაბამისი აქსელერომეტრიული მონაცემები მოცემულია ციფრულ ფორმატში. მონაცემების არჩევისას პრიორიტეტის დასახვა საპროექტო ინჟინრის კომპეტენციას.
7. „ცუნამის ეფექტი“ შესაძლოა მნიშვნელოვანი იყოს „ბათუმი აილენდის“ კონსტრუქციებისთვის, ამდენად ის უნდა შეფასდეს.

<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

## 17. გამოყენებული ლიტერატურა

- American Society of Civil Engineers - Seismic Design of Piers and Wharves (ASCE 61-14, 2014)
- American Society of Civil Engineers (ASCE), 2005. ASCE Standard–ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, VA: ASCE.
- Asce 7-16
- Basili, R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, and E. Boschi(2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, 453, 20- 43,doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Bouchon, M., M.N.Toksoz, H.Karabulut, M-P. Bouin, M.Dietrich, M.Aktar and M.Edie (2000), Seismic Imaging of the 1999 Izmit (Turkey) Rupture Inferred from the Near-Fault Recordings, Submitted to BSSA
- Cornell, A. (1968) Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583-1606
- Danciu L., Şeşetyan K, Demircioglu M, Gülen L, Zare M, Basili R, et al (2017) The 2014 Earthquake Model of the Middle East: seismogenic sources, Bulletin of Earthquake Engineering,
- Danciu L., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2021) - The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0, <https://doi.org/10.12686/a15>
- Erdik et al., 2012;
- Frankel, A., 1995, Mapping seismic hazard in the central and eastern United States: Seismological Research Letters, v. 66, p. 8-21.
- Gamkrelidze I (1997) Tectonics of the Caucasus and Adjacent Areas.Bull. Georg. Acad. Sci 155:75-81
- Gamkrelidze I., 1986. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. Tectonophysics, no. 127, pp. 261-277.
- Gamkrelidze I., Gamkrelidze M., Loladze M., Tsamalashvili T., 2015. New tectonic map of Georgia (explanatory note): Bull. Georg. Natl. Acad. Sci, vol. 9, no.1, pp. 111-116.
- Gamkrelidze I., Shengelia D., Chchindaze G., Lee Y. H., Okrostsvadze A., Beridze G., Vardanashvili K., 2020. U-Pb LA-ICP-MS dating of zoned zircons from the Greater Caucasus pre-Alpine crystalline basement: Evidence for Cadomian and Variscan evolution. Journal Geologica Carpathica, vol. 71, no. 3, pp. 249-263.
- Giardini D. et al., (2013), Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE.
- Giardini D., L. Danciu, M. Erdik, K. Sesetyan, M. Demircioglu, S. Akkar, L. Gülen and M. Zare (2016) Seismic Hazard Map of the Middle East,doi:10.12686/a1
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu (2014) Mapping Europe's Seismic Hazard. EOS, 95(29): 261-262.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1944) Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34, 185-188
- Jorjishvili, N., Elashvili, M., Gigiberia, M. and Shengelia (2016) Seismic Hazard Analysis of Adjara Region in Georgia. Natural Hazards, 81, 745-758. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2167-6>
- MOTEMS , 2005, Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards Paganı, M., D. Monelli, G. Weatherill, L. Danciu, H. Crowley, V. Silva, P. Henshaw, L. Butler, M. Nastasi, L. Panzeri, M. Simionato, D. Vıgano (2014). Openquake Engine: An Open Hazard (And Risk) Software For The Global Earthquake Model, Seismological Research Letters, 85(3): 692-702.
- PEER Ground Motion Selection and Modification (GMSM) Working Group (2009).
- Evaluation of Ground Motion Selection and Modification Methods: Predicting Median Interstory Drift Response of Buildings. PEER Report 2009/01, University of California at Berkeley, Berkeley, CA.
- PEER NGA-West2 Database (2013). Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahiyo Kishida, and Jennifer L. Donahue.
- PIANC 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures POLA 2004: Port of Los Angeles seismic code
- Sesetyan, K., L. Danciu, M. B. Demircioglu Tumsa, D. Giardini, M. Erdik, S. Akkar, L. Gülen, M. Zare, S. Adamia, A. Ansari, A. Arakelyan, A. Askan, M. Avanesyan, H. Babayan, T. Chelidze, R. Durgaryan, A. Elias, H. Hamzehloo, K. Hessami, D. Kalafat, O. Kale, A. Karakhanyan, M. Asif Khan, T. Mammadli, M. Al-Qaryouti, M. Sayab, N. Tsereteli, M. Utkucu, O. Varazanashvili, M. Waseem, H. Yalcın, M. T. Yılmaz (2018). The 2014 Seismic

<b>YÜKSEL PROJE</b>	DETAILED DESIGN OF COASTAL STRUCTURE AMBASSADORI BATUMI ISLAND	B00
---------------------	---	-----

Hazard Model Of The Middle East: Overview And Results, Bulletin Of Earthquake Engineering,

<https://doi.org/10.1007/s10518-018-0346-4>.

Tuna Onur, Rengin Gok, Tea Godoladze, Irakli Gunia, Giorgi Boichenko, Albert Buzaladze, Nino Tumanova, Manana Dzmanashvili, Lasha Sukhishvili, Zurab Javakishvili, Eric Cowgill, István Bondár, Gurban Yetirmishli; Probabilistic Seismic Hazard Assessment Using Legacy Data in Georgia. Seismological Research Letters 2020;; 91 (3): 1500–1517. doi: <https://doi.org/10.1785/0220190331>

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

Wells, D. L., K. J. Coppersmith (1994). New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, And Surface Displacement, Bulletin Of The Seismological Society Of America, 84: 974–1002.

Woessner, J., Danciu L., D. Giardini and the SHARE consortium (2015), The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results, Bull. Earthq. Eng., doi:10.1007/s10518-015-9795-1.



დანართი 1. ტერიტორიაზე დამოკიდებული ერთიანი საშიშროების სპექტრის  
მაჩვენებლები

საპროექტო ჰორიზონტალური სპექტრი 5% -იანი დაცხრომისას (RotD50)			
T	SA(T)- 72 წ	SA(T)- 475 წ	SA(T)- 2475 წ
0	0.113	0.206	0.311
0.07	0.275	0.454	0.690
0.09	0.281	0.514	0.778
0.1	0.281	0.514	0.778
0.2	0.281	0.514	0.778
0.3	0.281	0.514	0.778
0.36	0.281	0.514	0.778
0.4	0.256	0.514	0.778
0.44	0.233	0.514	0.778
0.5	0.205	0.446	0.672
0.6	0.171	0.372	0.560
0.7	0.146	0.319	0.480
0.75	0.137	0.298	0.448
1	0.102	0.223	0.336
2	0.051	0.112	0.168
3	0.034	0.074	0.112
4	0.026	0.056	0.084

საპროექტო სპექტრი 5% -იანი დაცხრომისას			
Tv	SA(T)- 72 წ	SA(T)- 475წ	SA(T)- 2475წ
0	0.059	0.111	0.210
0.025	0.059	0.256	0.210
0.05	0.158	0.296	0.560
0.07	0.158	0.296	0.560
0.09	0.158	0.296	0.560
0.1	0.158	0.296	0.560
0.15	0.158	0.296	0.560
0.2	0.127	0.239	0.452
0.3	0.094	0.176	0.333
0.36	0.082	0.154	0.291
0.4	0.075	0.142	0.269
0.44	0.070	0.132	0.250
0.5	0.064	0.120	0.227
0.6	0.056	0.105	0.198
0.7	0.050	0.093	0.177
0.75	0.047	0.089	0.168
1	0.038	0.071	0.135
2	0.023	0.042	0.080
3	0.017	0.031	0.059