AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

SSENAR ZƏLZƏLƏLƏRİNİN MƏLUMATLAR TOPLUMUNA ƏSASƏN ŞƏMKİR SU ANBARI ƏRAZİSİNDƏ SİNTEZLƏNMİŞ SEYSMİK TƏSİRİN MODELLƏRİ

İxtisas: 2507.01 – "Geofizika, faydalı qazıntıların geofiziki axtarış üsulları"

Elm sahəsi: Yer elmləri

İddiaçı: **Tural Hikmət oğlu Babayev**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2026

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya və Geofizika İnstitutunun (hazırda Geologiya İnstitutu) Seysmologiya və seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Yer elmləri doktoru, professor
Qulam Rüstəm oğlu Babayev

Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent
Ədalət Bədəl oğlu Həsənov

geologiya-mineralogiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Hafiz İsmayıl oğlu Şəkərov

geologiya-mineralogiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Səbinə Eldar qızı Kazımova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.01 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Geologiya-mineralogiya elmləri doktoru, akademik, professor
Əkpər Əkpər oğlu Feyzullayev

Dissertasiya şurasının elmi katibi:
Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Dilquşa Ramzey qızı Mirzəyeva

Elmi seminarın sədri:
Geologiya-mineralogiya elmləri doktoru, professor
Tofiq Rəşid oğlu Əhmədov

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Seysmologiya elminin inkişafı son illərdə böyük yollar qət etmişdir. Onun bir şaxəsi kimi, seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi də təkmilləşdirilmiş metodların tətbiqi ilə perspektivli elm sahəsinə çevrilmişdir.

Yerin litosfer qatının tərkib hissəsi olan tektonik plitələrin qarşılıqlı hərəkətləri zəlzələlərə təkan verməklə seysmik aktivlik yaradır. Azərbaycan ərazisində Qusar-Şabran, Böyük Qafqazın cənub-şərq yamacı, Kür çökəkliyi, Kiçik Qafqazın şimal-şərq yamacı, Talış dağları kimi seysmik aktiv zonaların olduğu aşkar edilmişdir. Azərbaycan ərazisində mövcud seysmik aktiv zonalarda infrastrukturların olması seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi tədqiqatlarını zəruri edir. Bu nöqteyi-nəzərdən Azərbaycan ərazisindəki hidrotexniki qurğuların yerləşdiyi ərazilərdə seysmikliyin öyrənilməsi və seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi günümüzün aktual məsələlərindən biridir. Bu cəhətdən, Böyük və Kiçik Qafqaz dağ-qırışıqlıq sistemlərinin arasında qalan Kür dağarası meqaçökəkliyi üzərindəki Şəmkir su anbarı ərazisində seysmik təhlükənin müasir məlumatlar və imkanlar əsasında qiymətləndirilməsi böyük əhəmiyyət daşıyır.

Bundan başqa, tədqiqat sahəsindən keçən çayların ərazidəki suvarma və digər təsərrüfat işlərində istifadə olunması, böyük su anbarları və su-elektrik stansiyalarının aktiv fəaliyyətdə olması nəticəsində texnogen zəlzələlərin yaranma ehtimalı olduğundan ərazidə seysmik təhlükə tədqiqatlarının aparılması vacibdir. Hidrotexniki qurğuların yerləşdirildiyi ərazilərdə Q.R.Babayev, F.Ə.Qədirov, Q.C.Yetirmişli, L.Telesca, P.Talwani, O.Mikhailov, K.Malik, S.Liu kimi alimlərin işləri mövcuddur. Bir sıra tədqiqatlar göstərir ki, Şəmkir su anbarı ərazisində səviyyə dəyişmələrindən törəmiş daimi təkanlar müşahidə olunur. Bu, ərazidə seysmik təhlükə səviyyəsinin tədqiq edilməsinin günümüz üçün aktual və perspektivli məsələ olduğunu göstərir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Tədqiqatın obyekti olaraq Azərbaycan Respublikasının Şəmkir rayonunda yerləşən Şəmkir su anbarı və yaxın ətrafı seçilmişdir. Tədqiqat sahəsi Şəmkir, Gəncə, Samux və Tovuz inzibati rayonlarını əhatə etməklə, ümumilikdə, 2608.674 (iki min altı yüz səkkiz tam mində altı yüz yetmiş dörd) km^2

sahəni tutur. Tədqiqat sahəsinə Şəmkir su anbarı, Şəmkir su-elektrik stansiyası (SES), Yenikənd su anbarı, Yenikənd SES, Gəncə beynəlxalq hava limanı (BHL) kimi strateji əhəmiyyətli obyektlər daxildir.

Tədqiqatın predmeti Şəmkir su anbarı və yaxın ətraf ərazilərin timsalında seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsində yeni yanaşmalar əsasında təkmilləşdirilmiş müasir metodologiyanın təklif, təqdim və tətbiq edilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi seysmik təhlükənin deterministik qiymətləndirilməsi əsasında Şəmkir su anbarı ərazisində müasir seysmik təhlükə xəritəsinin tərtib edilməsindən ibarətdir. Bu məqsədlə, tədqiqat çərçivəsində aşağıda **sayılan vəzifələr** ardıcıllıqla yerinə yetirilir:

1. Tədqiqat sahəsində seysmik təhlükənin proqnozlaşdırılmasında mürəkkəb geoloji şəraitin təsirinin nəzərə alınması məqsədilə geoloji-geofiziki təhlillərin aparılması, qrunt effektinin öyrənilməsi. Bu məqsədlə, eninə dalğanın 30 metr dərinlik müstəvisində orta sürətinin (V_{S30}) paylanma xəritəsi tərtib edilməsi və ərazidəki qrunt təsnifatının aparılması üçün kompüter alqoritmlərinin yazılması və müasir məlumatların istifadə edilməsi;
2. Tədqiqat sahəsi üzrə yaxın tarixdə seysmiklik analizinin aparılması, seysmik monitorinqin əhatəli icrasında rəqəmsal seysmik stansiyaların istifadəsi. Yaxın keçmişdəki zəlzələ akseleroqramlarının alınması və müasir rəqəmsal məlumat bazasının tərtib olunması metodologiyasının təşkili və tətbiqi üçün kompüter alqoritmlərinin yazılması və istifadəsi;
3. Ədəbiyyat məlumatları, həmçinin seysmiklik kataloqlarının statistik tədqiqatı əsasında tədqiqat sahəsində seysmik rejimin analizi, maksimal maqnitudanın, potensial zəlzələ ocaqlarının müəyyənləşdirilməsi, zəlzələ və qrunt parametrlərinin müasir proqram təminatına inteqrasiyası ilə süni akseleroqramların generasiya edilməsi və sintetik verilənlər bazasının qurulması metodologiyasının təklif, təqdim və tətbiq olunması;
4. Ənənəvi qrunt hərəkətinin proqnozlaşdırılması tənliklərini əvəzləmək, ssenar zəlzələ ocağında qruntun maksimal təcilini (QMT, ing., PGA – peak ground acceleration) dolğun şəkildə proqnozlaşdırmaq üçün tərtib olunmuş real və sintetik verilənlər bazalarını

öyrənərək real şəraiti əks etdirən lokal qrunt hərəkəti modellərinin tərtib olunmasında maşın öyrənmə alqoritmlərindən istifadəyə əsaslanan metodologiyanın təklif, təqdim və tətbiq olunması;

5. Tədqiqat sahəsi üzrə deterministik seysmik təhlükə qiymətləndirilməsi metodunun tətbiq edilməsi, "ən pis ssenari"nin (ing., the worst-case scenario) müəyyənləşdirilərək QMT-nin proqnozlaşdırılması. Proqnozlaşdırılan QMT-nin sönmə qrafikinin və məkan-paylanma xəritəsinin tərtib olunması;

6. Tədqiqat sahəsi üzrə seysmik rayonlaşdırılmanın aparılması məqsədilə QMT-intensivlik çevirmələrindən istifadə etməklə, MSK-64 şkalası üzrə intensivlik vahidlərində seysmik təhlükə xəritəsinin tərtib olunması.

Tədqiqat metodları. Seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsində deterministik metod süni intellekt üsullarından istifadə edilməklə tətbiq olunur. Tədqiqat ərazisi üzrə seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi aşağıdakı ardıcıllıqda aparılır:

1. Tədqiqat sahəsində geoloji-geofiziki məlumatlar əsasında potensial zəlzələ ocaqlarının (aktiv tektonik qırılmaların) müəyyənləşdirilməsi;

2. Tədqiqat sahəsində seysmik rejiminin analizi və maksimal maqnitudanın müəyyənləşdirilməsi;

3. Ən aktiv zəlzələ ocağının (Kür aktiv tektonik qırılmasının) ssenar zəlzələ ocağı kimi seçilməsi və "ən pis ssenari" üçün ssenar zəlzələ və maqnitudanın təyin edilməsi;

4. Ssenar zəlzələnin Kür aktiv tektonik qırılmasının 170 km-lik hissəsi boyunca hər 10 km-də yerləşdirilməsi və fokal dərinliklərin kataloq təhlilləri əsasında müəyyənləşdirilməsi;

5. Tədqiqat sahəsinin seqmentləşdirilməsi: tədqiqat sahəsi 10 km * 10 km ölçüdə kvadrat xanalardan ibarət tor şəbəkəyə bölünür, xanaların düyün nöqtələrinin koordinatları qeydə alınır. Seqmentlərin qrunt xarakteristikasının V_{S30} paylanma xəritəsi və qrunt sinifləri timsalında müəyyən edilməsi üçün kompüter alqoritmlərinin yazılması;

6. Ssenar zəlzələdən tor şəbəkənin düyün nöqtələrinə qədər olan episentral və hiposentral məsafələrin ölçülməsi və hesablanması;

7. Ssenar maqnitudanın, hiposentral məsafə, V_{S30} və qrunt sinfi məlumatlarının əsasında tərtib olunmuş modellərlə QMT-lərin

proqnozlaşdırılması (qal vahidlərində).

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işi üzrə aşağıdakı **müddəalar** müdafiəyə çıxarılır:

1. Müasir verilənlər bazalarının maşın öyrənmə (ing., ML – Machine Learning) alqoritmlərinə inteqrasiyası əsasında, zəlzələ parametrlərini və ərazi xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla tədqiqat sahəsində qrunt hərəkətinin modelləşdirilməsi (ing., GMM – Ground Motion Modeling);

2. Qrunt hərəkəti modelləri əsasında ssenar zəlzələ üçün qruntun maksimal təcilinin (ing., PGA – Peak Ground Acceleration) məkan üzrə proqnozlaşdırılması və ərazi üzrə seysmik təhlükə xəritəsinin tərtib olunması.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Aparılmış tədqiqat nəticəsində aşağıdakı **yeniliklər** əldə edilmişdir:

1. Kompüter alqoritmlərinin yazılması və müasir məlumatların inteqrə edilməsilə ərazi üzrə V_{S30} paylanma xəritəsi tərtib olunmuşdur. V_{S30} səciyyələndirməsi ərazidə qruntun təsnif edilməsinə, qrunt effektinin öyrənilməsinə və seysmik təhlükənin proqnozlaşdırılmasında mürəkkəb geoloji şəraitin təsirinin nəzərə alınmasına imkan verir;

2. Tədqiqat ərazisi üzrə qrunt hərəkətinin modelləşdirilməsi məqsədilə ilk dəfə olaraq, Python proqramlaşdırma dilindən istifadə etməklə müasir rəqəmsal məlumat bazalarının tərtib olunması və emalı metodologiyaları təklif edilmişdir;

3. Ərazidəki seysmiklik təhlilləri əsasında müəyyən olunmuş maksimal maqnituda çoxluğu, eləcə də digər zəlzələ və qrunt parametrlərini daxil etməklə müasir proqram təminatının inteqrasiyasına əsaslanan metodun tətbiqi ilə süni akseleroqramlar generasiya edilmiş və tədqiqat ərazisi üçün sintetik verilənlər bazası tərtib olunmuşdur;

4. Tədqiqat sahəsində tərtib olunmuş real və sintetik verilənlər bazalarının inteqrasiyası əsasında, ilk dəfə olaraq, maşın öyrənmə alqoritmləri istifadə edilmiş və lokal qrunt hərəkəti modelləri (QHM, ing., GMM – ground motion model) qurulmuşdur. Maşın öyrənmə əsaslı modellərin müqayisəli təhlilləri aparılaraq ən effektiv modellər seçilmiş və seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsində istifadə olunmuşdur;

5. Tədqiqat sahəsində deterministik yanaşma çərçivəsində "ən pis ssenari" konsepsiyası tətbiq edilmişdir. Tərtib olunmuş lokal QHM-lərdən istifadə etməklə, müəyyən edilmiş ssenari üzrə QMT proqnozlaşdırılmış və yekunda QMT sönmə qrafiki və məkan-paylanma xəritəsi alınmışdır (qal vahidlərində);

6. Proqnozlaşdırılan QMT qiymətləri MSK-64 şkalası üzrə intensivlik vahidlərinə korrelyasiya edilmiş və tədqiqat sahəsi üzrə seysmik təhlükə xəritəsi (intensivlik vahidlərində) təqdim edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Tədqiqat Azərbaycanın böyük su anbarlarından biri olan Şəmkir su anbarı ərazisində seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsinə həsr olunmuşdur. Nəzəri olaraq seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi tədqiqatlarının dünya miqyasında olduqca aktual olması baxımından, dissertasiya işi üzrə aparılan tədqiqat dünya elminin praktikasında mövcud olan maşın öyrənmə alqoritmlərinin istifadəsi, QHM-lərin qurulması, sintetik verilənlər toplularının generasiya edilməsi kimi metodları inteqrasiya etməklə Azərbaycan elmində müasir yanaşmaların tətbiqinə töhfə vermək məqsədi daşıyır.

Praktiki baxımdan dissertasiya işi strateji əhəmiyyətli obyektlərin gələcəkdə üzləşə biləcəyi zəlzələ təhlükəsinin dərəcəsini və zəlzələ zamanı məruz qalacaqları seysmik təsiri ssenar zəlzələlər timsalında müəyyən etməklə tam təhlükəsiz şəraitin təmin edilməsinə töhfə verir.

Beləliklə, dissertasiya işində Şəmkir su anbarı ərazisi timsalında seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsində və seysmik rayonlaşdırmada müasir yanaşmaların inteqrasiyası ilə təkmilləşdirilmiş kompleks metodologiyanın təklif, təqdim, təsdiq və tətbiq edilməsi aparılan tədqiqatın metodoloji-tətbiqi mahiyyətini və elmi-praktiki əhəmiyyətini nümayiş etdirir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işində aparılan tədqiqatların bir hissəsi Avropa Yer Elmləri İttifaqının Avstriyanın Vyana şəhərində keçirilmiş Baş Assambleyası (2024), Asiya Seysmoloji Komissiyasının Türkiyənin Antalya şəhərində keçirilmiş 15-ci (2024) və Özbəkistanın Daşkənd şəhərində keçirilmiş 16-cı Baş Assambleyasında (2026) və daha bir sıra beynəlxalq elmi konfranslarda məruzə olunmuşdur. Dissertasiyanın mövzusu üzrə,

ümumilikdə, 13 elmi əsər dərc edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi ETN Geologiya və Geofizika İnstitutunda (hazırda, ETN Geologiya İnstitutu) yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş (10173 işarə), 5 fəsil (I fəsil – 24051 işarə, II fəsil – 28689 işarə, III fəsil – 31497 işarə, IV fəsil – 53510 işarə, V fəsil – 63739 işarə), nəticə (3083 işarə), əlavələr (5 cədvəl) və ixtisarların və şərti işarələrin siyahısı (1924 işarə) olmaqla, ümumilikdə, 216666 işarədən, 49 Şəkil, 25 Qrafik, 27 Cədvəl (Əlavələrdə olan cədvəllər istisna olmaqla, 22) və 196 ədəbiyyatdan ibarət ümumi həcmdə təqdim olunur.

İddiaçının şəxsi rolu. Dissertasiya işində müəllif tədqiqat ərazisinin geoloji-geofiziki və tektonik-geodinamik şəraitini səciyyələndirmişdir. Beynəlxalq seysmiklik kataloqunun əldə edilməsi, emalı və analizi metodologiyalarını göstərmiş və tətbiq etmiş, tektonik qırılmaların seysmiklik xarakteristikalarını təhlil etmişdir. İlk dəfə olaraq tədqiqat ərazisi üçün maşın öyrənmə alqoritmlərinin inteqrasiyası ilə qrunt hərəkəti modellərini tərtib və istifadə etmiş, müasir rəqəmsal məlumat bazalarının qurulması və emalı, sintetik verilənlər bazasının generasiyası metodologiyalarının tətbiqi üçün müasir proqram təminatlarını inteqrasiya etmiş, eləcə də Python proqramlaşdırma dilinin köməkliyi ilə alqoritmlər yazıb istifadə etmiş və əldə olunanlar əsasında Şəmkir su anbarı ərazisində seysmik təhlükəni qiymətləndirərək tədqiqat ərazisi üçün müasir seysmik təhlükə xəritəsini təqdim etmişdir.

Minnətdarlıq. Dissertasiya işini yerinə yetirməyimdə göstərdiyi bütün yardımlarına və elm yolunda püxtələşməyim üçün böyük əmək sərf etməsinə, dəyərli məsləhətlərini əsirgəməməsinə görə elmi rəhbərim y.e.e.d., professor Q.R.Babayevə, dissertasiya işimə vaxtaşırı, müntəzəm və xüsusi diqqət göstərməsi və qayğıkeşliklə yanaşmasından ötrü akademik F.Ə.Qədirova, dissertasiya işinin yerinə yetirilməsi, tədqiqatların aparılması və nailiyyətlərin işıqlandırılması üçün yaradılan imkanlara və şəraitə görə akademik Ak.A.Əlizadəyə dərin təşəkkürlərimi bildirirəm.

Dissertasiya işimin tamamlanması müddətində maddi və mənəvi

dəstəklərinə görə başda ailə üzvlərim olmaqla bütün yaxın ətrafıma və birgə çalışdığım şöbə kollektivinə sevgi və məhəbbətlə minnətdarlıq duyuram.

İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

I FƏSİL. TƏDQİQAT ƏRAZİSİNİN GEOFİZİKİ, GEOLOJİ, TEKTONİK VƏ GEOMORFOLOJİ SƏCİYYƏLƏRİ

Bu fəsil tədqiqat ərazisi haqqında müfəssəl, hərtərəfli məlumatın verilməsinə həsr olunur. Seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi zamanı ərazinin geoloji-geofiziki şəraitini, tektonik-geodinamik səciyyələrini geniş təhlil etmək tədqiqatın labüd və ilkin mərhələsidir.

Beləliklə, bu fəsildə tədqiqat ərazisi haqqında məlumatlar təqdim edilir, qrunt tərkibi eninə dalğanın 30 m-də sürəti əsasında xarakterizə olunur və tədqiqatın aktuallığı ərazidəki strateji əhəmiyyətli obyektlərin təqdim olunması ilə vurğulanır.

Dissertasiya işində göstərilən tədqiqat Azərbaycan Respublikasının Şəmkir rayonunda yerləşən Şəmkir su anbarını və yaxın ətraf regionları əhatə edən sahədə aparılır. Tədqiqat ərazisinə Şəmkir, Gəncə, Samux və Tovuz inzibati rayonları daxildir. Ərazi 2608.674 (iki min altı yüz səkkiz tam mində altı yüz yetmiş dörd) km^2 sahəni əhatə edir. Şəkil 1-də tədqiqat ərazisi göstərilir.

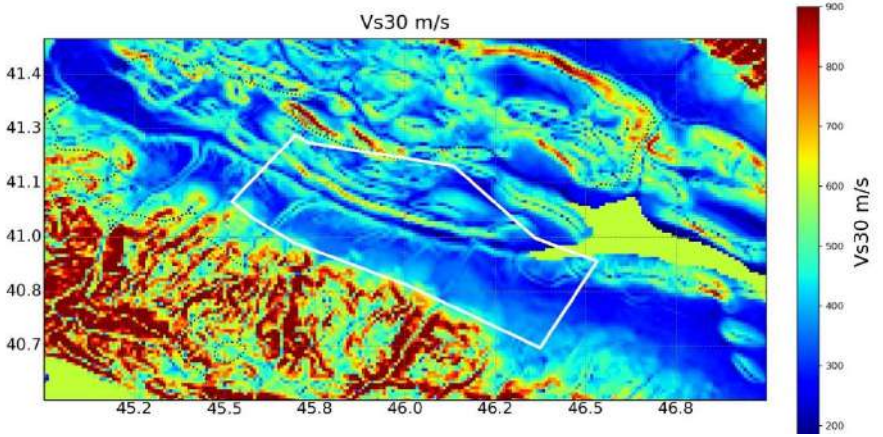


Şəkil 1. Tədqiqat ərazisinin təsviri[1]

[1]Image of Azerbaijan: [Electronic resource] / Google LLC, Google Earth Software. – Mountain View, California, U.S., 2024. URL: https://earth.google.com/web/.

Tədqiqat sahəsi üçün Pliosen və Dördüncü dövrün zəif və az daşlaşmış çöküntüləri və vulkanitləri səciyyəvidir. Cənub hissədə yuxarı Pliosen Ağcagil çöküntüləri səciyyəvidir. Bu çöküntülər klastlı konqlomeratlardan, qumdaşlarından, lilli gil daşlarından, gilli lildaşlarından və vulkan küllərindən təşkil olunub [1].

Birləşmiş Ştatlar Geoloji Tədqiqat bürosu[2] topoqrafik və relyef göstəricilərinə əsaslanan üsullardan istifadə etməklə, eləcə də litoloji, geoloji, geomorfoloji göstəricilərin müxtəlif kombinasiyalarına əsaslanan məlumatlar toplumuna əsaslanmaqla ümumdünya V_{S30} qiymətlərini təqdim edir. BŞTB tərəfindən təqdim olunan V_{S30} qiymətləri əsasında Python proqramlaşdırmasından istifadə etməklə ərazi üçün V_{S30} xəritəsi tərtib olunmuşdur (Şəkil 2).

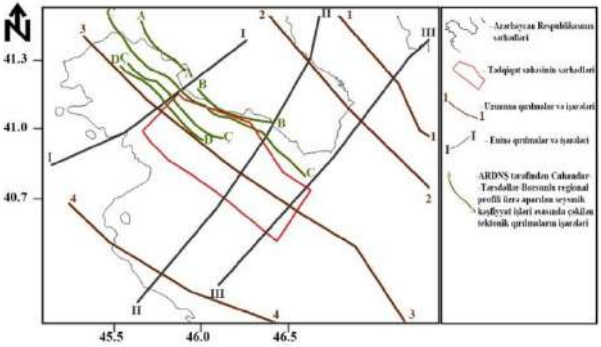


Şəkil 2. Tədqiqat ərazisinin V_{S30} xəritəsi
(BŞTB[2] məlumatlarını emal edərək xəritəni tərtib etdi: T.H.Babayev)

Tədqiqat sahəsi bir sıra mühüm strateji əhəmiyyət kəsb edən obyektləri əhatə edir: Şəmkir və Yenikənd su anbarları və SES-lər, Gəncə BHL. Beləliklə, aktiv tektonik və geodinamik hərəkətlərin fonunda, ərazidən keçən, böyük maqnitudalı zəlzələlər üçün potensial ocaq mahiyyətini daşıyan, uzun Kür dərinlik qırılmasının seysmo-

[2] Global Vs30 Data: [Electronic resource] / USGS: United States Geological Survey. – Reston, Virginia, United States, 2020. URL: https://apps.usgs.gov/shakemap_geodata/vs30/global_vs30.grd.

tektonik müstəvidə potensial aktivliyi və seysmogenetik xarakteristikası seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi işlərində nəzərə alınmalıdır. Bu məqsədlə, I fəsil tədqiqat sahəsinin geofiziki, geoloji, tektonik baxımdan ətraflı öyrənilməsinə və sahə üzrə müxtəlif qaynaqlardan toplanaraq ümumiləşdirilmiş dərinlik qırılmaları xəritəsinin hazırlanmasına həsr olunmuşdur (Şəkil 3).



Şəkil 3. Tədqiqat ərazisi üzrə G.J.Yetirmishli et al.[3], T.Babayev et al. [9] işlərinə və ARDNŞ-in 2011-ci il layihəsinin nəticələrinə[4] əsasən dissertasiya müəllifi tərəfindən tamamlanmış ümumiləşdirilmiş tektonik dərinlik qırılmaları xəritəsi (Verilənlər əsasında tərtib etdi: T.H.Babayev)

Şəkil 3-də təqdim olunan xəritə növbəti fəsillərdə tədqiqat sahəsində seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi zamanı istifadə olunur.

II FƏSİL. TƏDQİQAT ƏRAZİSİNDƏ TARİXİ SEYSMİK HADİSƏLƏR VƏ SEYSMİK TƏHLÜKƏNİN ÖYRƏNİLMƏSİNİN İNKİŞAF XRONOLOGİYASI

Bu fəsildə seysmiklik tədqiqatlarının tarixi, baş vermiş tarixi dağıdıcı zəlzələlərin icmalı, seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi

[3] Yetirmishli, G.J. About the seismic risk of Sabayil district of Baku / G.J.Yetirmishli, T.Y.Mammadli, R.B.Muradov [et al.] // Seismoprognosis Observations in the Territory of Azerbaijan, – 2017. 14, 1, – p. 12-21.

[4] Əliyeva, İ.P., Yunusova, S.Ə. Kür-Qabırrı çaylararası və Gəncə NQR-də Cahandar-Tərsdəllər-Borsunlu regional və 2D profilləri üzrə 2010-cu ildə aparılmış seysmik kəşfiyyat işlərinin hesabatında təqdim olunan Neogen strukturlarının tektonik sxemi: [Elektron resurs] / ARDNŞ GGİ Kəşfiyyatgeofizika İdarəsi. – Bakı, 2011. – CD-ROM.

metodikasının inkişaf yolu və yekunda müasir yanaşma olan süni intellektin inteqrasiyası haqqında məlumat təqdim olunur.

Azərbaycan tarixinə həkk olunmuş güclü bir sıra zəlzələlər mövcuddur. Məsələn, 427-ci ildə baş vermiş 6.7 maqnitudaya və 12 km dərinliyə malik dağıdıcı zəlzələ Azərbaycan tarixindəki ən güclü zəlzələlərdən biri kimi qəbul olunur. 1139-cu ildə Gəncə (Göygöl) ərazisində Azərbaycanın ən gözəl təbiət gözəlliklərindən biri sayılan Göygölün əmələ gəlməsinə səbəb olan 6.8 maqnitudaya və 15 km dərinliyə malik zəlzələ baş vermişdir.

Seysmik təhlükə istiqamətində ehtimal/probabilistik və deterministik yanaşmalar kimi təkmilləşdirilmiş yanaşmalardan istifadə olunur.

Ehtimal/probabilistik qiymətləndirilmə (ESTQ) metodunun ilkin konsepsiyası 1960-cı illərdə C.A.Cornell tərəfindən təklif olunmuşdur[5]. Bu metodun əsas məqsədi verilmiş zaman intervalı üçün qrunt hərəkəti parametrlərinin aşılma ehtimalının illik tezliyini proqnozlaşdırmaqdır. ESTQ böyük ərazilərdə (şəhərlər, ölkələrin bir qismi) seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsində istifadə olunur.

Deterministik qiymətləndirilmə (DSTQ) metodunun əsası XX əsrdə qoyulub. Bu üsulda tədqiqat obyekti üçün ən təhlükəli ssenar zəlzələnin təsiri qruntun maksimal parametrləri hesablanaraq öyrənilir. Bu üsula su anbarları, elektrik stansiyaları, tunellər və s. kimi xüsusi strateji əhəmiyyətli obyektlərdə və yaxud nisbətən kiçik tədqiqat sahələrində üstünlük verilir. Müəllif bu üsuldan istifadə etməklə Şamaxı-İsmayıllı seysmoaktiv zonasında [3, 4], Şəmkir su anbarı ərazisində [5], Xəzər dənizində [7] tədqiqatlar aparmışdır.

XXI əsrin ilk rübündə dünyada texnologiyanın inkişafı hər bir sahədə olduğu kimi elmdə də öz əksini tapdı. Dünyada gedən rəqəmsallaşmanın sürətli inkişafı ölkəmizdə də müşahidə olunur.

Seysmologiya elmində də rəqəmsallaşma, müasir texnologiyanın istifadəsi istər dünyada, istərsə də ölkəmizdə geniş vüsət almışdır.

Son illərdə dünya elmində geniş yayılmış yenilik də süni intellekt və maşın öyrənməsinin tətbiqidir. Süni intellekt seysmik

[5] Cornell, C.A. Engineering seismic risk analysis // Bulletin of the Seismological Society of America, – 1968. 58 (5), – p. 1583-1606.

siqnalın identifikasiyasında böyük potensial nümayiş etdirərək son illərdə yeni tədqiqat imkanları meydana çıxarmışdır.

Maşın öyrənməsi zəlzələ seysmologiyasının seysmik kataloqların işlənməsi və təhlili, fokal mexanizmlərin analizi, qrunt hərəkətinin proqnozlaşdırılması və s. şaxələrində istifadə olunur.

Maşın öyrənməsi və ya süni intellekt üsullarının metodoloji təkmilləşdirilmələrdə böyük rolları olsa da, ənənəvi üsullarla fiziki modelləşdirmələrin tədqiqatlardan tamamilə kənarlaşdırılması mənfi hallara səbəb bilər. Belə halların qarşısının alınması üçün maşın öyrənmə metodlarını ənənəvi seysmologiya üsullarına inteqrasiya etməklə hibrid yanaşmalar təklif olunur.

III FƏSİL. MÜASİR TEXNOLOGİYALARIN TƏTBİQİ İLƏ ZƏLZƏLƏ HADİSƏLƏRİNİN RƏQƏMSAL MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ PAYLANMA DİNAMİKASININ ANALİZİ

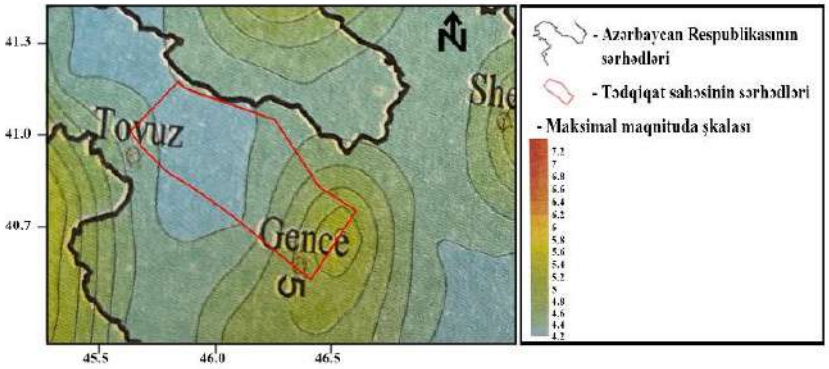
Bu fəsildə tədqiqat ərazisinin seysmikliyi zəlzələ kataloqları timsalında keçən yüzillikdən günümüzə qədər ətraflı təhlil olunur. Beynəlxalq Seysmoloji Mərkəzin və Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzinin zəlzələ kataloqları təhlil edilir. Daha sonra müəllif tərəfindən ən yaxın dövr üzrə verilənlər bazasının formalaşdırılması və emal metodları təqdim olunur.

F.Ə.Qədirov, Q.C.Yetirmişli, A.H.Qədirov[6] 1902-2010-cu illər kataloqu əsasında Azərbaycanın maksimal maqnituda xəritəsini hazırlamışlar. Müəllif xəritəni georeferensləmə üsulu ilə tədqiqat ərazisinə uyğunlaşdırmışdır (Şəkil 4).

Tədqiqat ərazisi 4.2-5.8 maksimal maqnitudaları ilə xarakterizə edilir (Şəkil 4). Tədqiqat ərazisi üçün həm aktiv tektonik hərəkətlərdən, həm də ərazidəki böyük Şəmkir və Mingəçevir su anbarlarından törəyən seysmiklik növləri xarakterikdir [2]. Şəmkir su anbarı ətrafında kataloq analizi əsasında tədqiqat ərazisi seysmiklik xarakterinə görə üç qrupa bölünərək Qutenberq-Rixter (Q-R) qanunauyğunluğunun b ədədinə görə təsnif edilib. Ərazinin şimal hissəsi Şəmkir və

[6] Кадиров, Ф.А., Етирмишли, Г.Д., Кадыров, А.Г. Оценка максимальной магнитуды и интенсивности землетрясений на территории Азербайджана // – Баку: Труды Института Геологии, – 2008. №36, – с. 81-87.

Mingəçevir su anbarlarından törəyən seysmikliklə səciyyələnir [2, 6]. Şimaldan cənub istiqamətində depressiya-dağlıq keçidində b ədədinin azalması və bunun sıxılma-gərilmə deformasiyalarının mövcudluğuna işarə etməsi aşkar olunub [2].

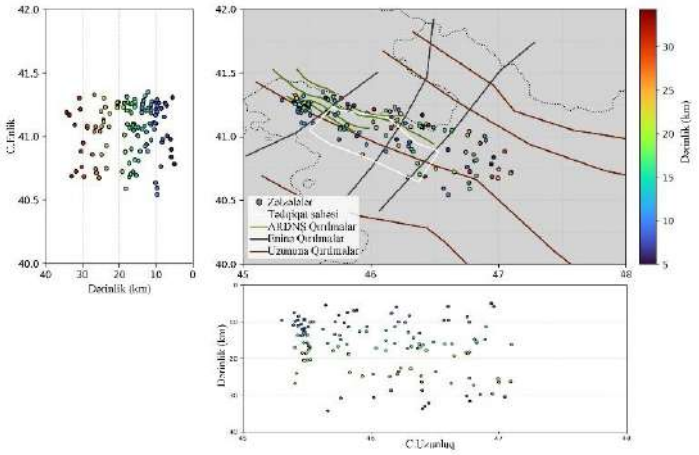


Şəkil 4. 1902-2010-cu illər kataloqu əsasında hesablanmış ehtimal edilən maksimal maqnituda xəritəsi (tərtib etdilər: F.Ə.Qədirov, Q.C.Yetirmişli, A.H.Qədirov[6], işləyib və tədqiqat ərazisinə uyğunlaşdırıb: T.H.Babayev)

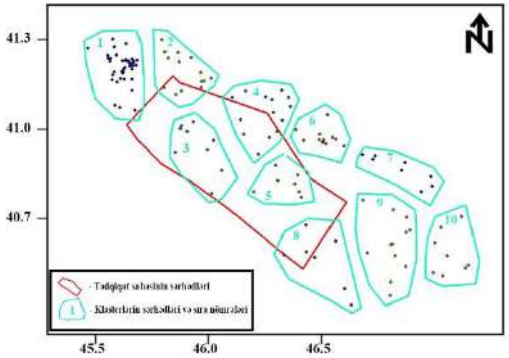
Ərazidə seysmikliyi səciyyələndirmək üçün 24/3/1974 və 29/12/2022 tarixləri arasında baş vermiş 1.3-4.8 lokal maqnituda aralığında 132 zəlzələdən ibarət kataloq istifadə edilir.

Ərazidəki ümumi seysmikliyə səbəb kimi son illərdə antropogen mənşəli amillər müşahidə olunsa da, tədqiqat sahəsindən keçən aktiv qırılmalardan qaynaqlanan təbii seysmikliyin təzahürü danılmazdır. Bunu aydınlaşdırmaq məqsədilə, zəlzələ episentrlərinin ümumiləşdirilmiş tektonik qırılmalar üzrə dərinlik paylanması xəritəsi Şəkil 5-də verilir.

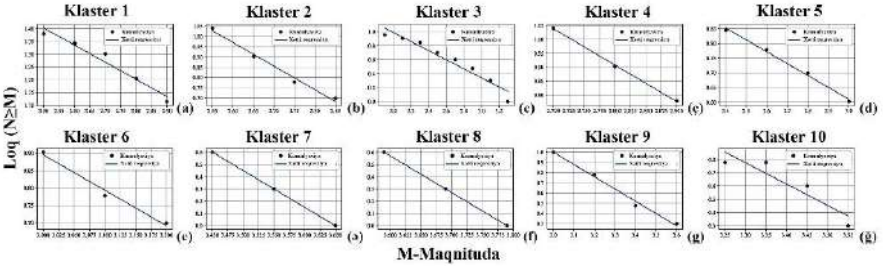
Kataloq üzrə Q-R qanunauyğunluğu klasterləmə yanaşması ilə tətbiq olunur [10]. Kataloq alt klasterlərə bölünərək Q-R qanununun a və b kəmiyyətləri hesablanır (Şəkil 6). Bunun üçün maqnituda həddinin yekunlanma parametri, maksimal maqnituda və maqnituda addımı təyin olunur [2]. Hər bir klaster üçün addımlar təkrarlanır (Qrafik 1). Yekunda tədqiqat ərazisi üçün a və b ədədlərinin məkan paylanma xəritələri hazırlanır. (Şəkil 7a, b).



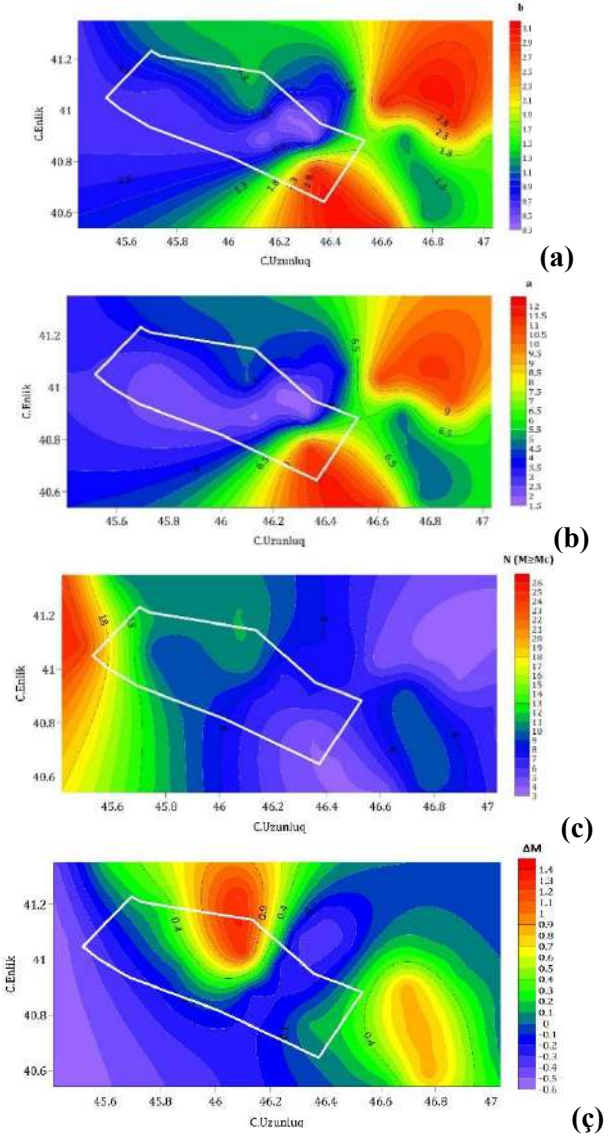
Şəkil 5. Zəlzələlərin qırılmalar üzrə episentral paylanması və dərinlik dəyişmələri (Tərtib etdi: T.H.Babayev)



Şəkil 6. Kataloqun klasterlər üzrə episentral paylanması (Tərtib etdi: T.H.Babayev)



Qrafik 1. Klasterlər üzrə Q-R qanununun təsviri və b ədədinin xətti reqressiya ilə hesablanması (Tərtib etdi: T.H.Babayev)



Şəkil 7. Kataloq üzrə hesablanmış seysmiklik indikatorlarının tədqiqat ərazisi üzrə paylanma xəritələri. (a) b ədədi. (b) a ədədi. (c) N: maqnitudası lokal maqnituda həddinin yekunlanma parametrinin təyin olunmuş qiymətindən böyük və ya bərabər olan zəlzələlərin sayı. (ç) Maksimal maqnituda fərqi (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Hər bir klaster üçün maksimal maqnituda fərqi hesablanır [10]. Maksimal maqnituda fərqi dedikdə, hər bir klasterdə müşahidə edilən maksimum maqnituda ilə təxmin edilən maksimum maqnituda arasındakı fərq nəzərdə tutulur. Təxmin edilən maksimal maqnituda isə a ədədinin b ədədinə olan nisbətidir.

Beləliklə, təxmin edilən və müşahidə edilən maksimal maqnitudaların fərqinin sıfıra yaxın olması a və b ədədlərinin düzgün hesablanmasından asılıdır. Mənfi fərq təxmin edilən maksimal maqnitudanın müşahidə edilən maksimal maqnitudadan böyük olduğunu, müsbət fərq isə müşahidə olunan maqnitudanın daha böyük olduğunu göstərir [10].

Hesablanmış seysmiklik indikatorlarının məkan paylanma xəritələri Şəkil 7-də göstərilir.

Şəkil 7a-da müşahidə olunur ki, tədqiqat sahəsində b kəmiyyətinin əsasən aşağı qiymətləri xarakterikdir. a kəmiyyəti də tədqiqat sahəsi üzrə b kəmiyyəti ilə eyni trendi izləyir (Şəkil 7a, b). Bu isə, kiçik maqnitudalı zəlzələlərin nisbətən sıx olması, böyük maqnitudalı zəlzələlərin isə daha az olmasını deməyə imkan verir. Maqnitudası $M \geq M_C$ şərtini ödəyən zəlzələlərin sayının a və b ədədlərinin qiymətlərinin artımı istiqamətində azalması daha az sayda daha böyük maqnitudalı zəlzələlərin olmasına işarə edir (Şəkil 7c). b ədədinin cənub-qərbdən şimal-şərqə doğru artmasını qeyd edilən istiqamətdə aktiv tektonik hərəkətlərin gətirdiyi sıxılmanın nəticəsi kimi şərh etmək mümkündür. Tədqiqat sahəsində maksimal maqnituda fərqi, əsasən, sıfıra yaxındır (Şəkil 7ç). Beləliklə, hesablanmış a və b kəmiyyətlərinin dəqiqliyi qənaətbəxşdir.

Beləliklə, bu fəsildə tədqiqat ərazisinin seysmikliyinə ümumi nəzər salınmış, seysmiklik kataloqunun əldə edilməsi, emal olunması və analiz edilməsi metodologiyaları göstərilmiş, tektonik qırılmaların seysmiklik xarakteristikaları təhlil edilmişdir.

IV FƏSİL. SEYSMİK TƏHLÜKƏNİN DETERMİNİSTİK QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ QRUNT HƏRƏKƏTİ MODELLƏRİNİN TƏTBİQİNİN NƏZƏRİ ƏSASLANDIRILMASI VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏ ALQORİTMLƏRİNİN TƏTBİQİ

Bu fəsildə deterministik yanaşmanın tətbiqinin nəzəri əsaslandırılması və metodoloji ardıcıllığı yer alır, qrunt hərəkəti modellərinin verilənlər bazası əsasında sınanılması, maşın öyrənmə alqoritmləri ilə tərtibatı və tətbiqi göstərilir.

DSTQ metodu regionun geoloji-tektonik xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq mümkün olan "ən pis ssenari"ni qiymətləndirir. "Ən pis ssenari" dedikdə, yəni geoloji və tektonik baxımdan real, əsaslandırılmış, tədqiqat ərazisində gözlənilən ən böyük təsirə malik ssenar zəlzələ nəzərdə tutulur.

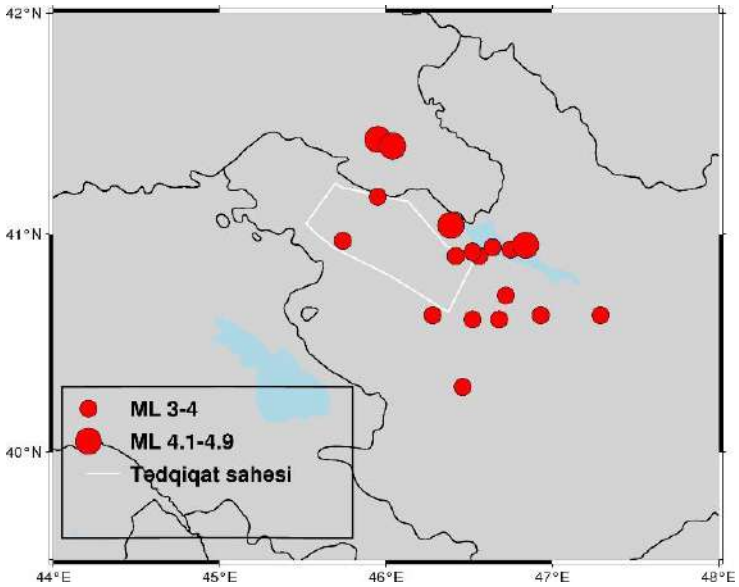
Təcil verilən zaman dəyişməsində cismin sürətinin istiqamətdən asılı olmayaraq dəyişməsini ifadə edən parametrdir. QMT isə zəlzələ dalğalarının yayılması zamanı müəyyən bir ərazidə müşahidə olunan qrunt hərəkətlərinin təcilinin ən böyük mütləq qiyməti kimi müəyyən edilir. QMT qiymətləri g vahidi (yerin qravitasiya təcili) və ya sm/s^2 ilə ifadə olunur. 1 qal = 1 sm/s^2 və 1 g = 981 qal-a bərabərdir.

Real məlumatlardan istifadə etməklə hər hansı bir ərazi üçün QHM və ya qrunt hərəkətinin proqnozlaşdırılması tənliyi (QHPT) tərtib oluna bilər. Real məlumatların çox olması tərtib olunan model və ya tənliklərin də bir o qədər dəqiq olmasına gətirib çıxarır. Lakin qeydə alınan məlumatların çatışmazlığı tərtib olunan model və ya tənliklərin proqnozlaşdırma dəqiqliyini sual altında qoyur.

Nümunə olaraq, Qafqaz regionu üçün hazırlanmış QHPT-nin tədqiqat ərazisi üzrə uyğunluğu yoxlanılır. İlkin olaraq, real QMT qiymətlərindən ibarət verilənlər bazası toplanılır.

Verilənlər bazasını tərtib etmək üçün ilkin növbədə RSXM-nin məlumatlarından istifadə etməklə 2022-2024-cü illəri əhatə edən kataloq tərtib olunur.

Kataloq 3-4.9 lokal maqnituda aralığında 18 zəlzələdən ibarətdir (Şəkil 8). Zəlzələlərin stansiya qeydləri əsasında 77 titrəyişdən ibarət verilənlər bazası tərtib olunur.



Şəkil 8. Zəlzələlərin maqnituda paylanması (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Növbəti olaraq, verilənlər bazasının əsasında QHPT yoxlanılır. F.F.Aptikayev və Y.F.Kopniçyev[7] tərəfindən təqdim olunmuş QHPT (1), (2) Azərbaycan ərazisinin müxtəlif regionlarında aparılan seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi tədqiqatlarında geniş istifadə olunur. Tənlik şərti olaraq A&K−1979 kimi kodlaşdırılır.

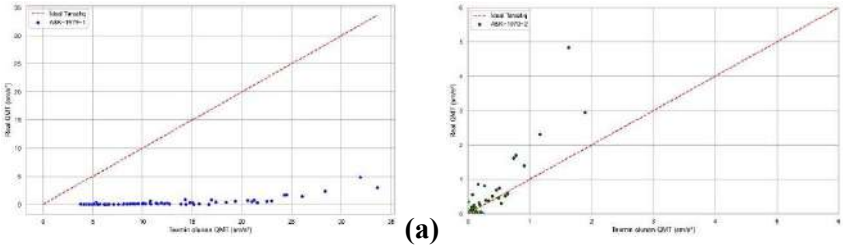
$$\log QMT_{A\&K-1979-1} = 0.28M - 0.8\log R + 1.70, \quad (1)$$

$$\log QMT_{A\&K-1979-2} = 0.8M - 2.3\log R + 0.80, \quad (2)$$

burada, M ssenar zəlzələnin maqnitudası, R onun tədqiqat sahəsindən olan hiposentral məsafəsidir. $log\ QMT_{A\&K-1979-1}$ tənliyin proqnozlaşdırdığı QMT-nin 160 sm/s^2-dan böyük və bərabər olan, $log\ QMT_{A\&K-1979-2}$ 160 sm/s^2-dan kiçik olan halları üçün on əsasından loqarifmidir.

Real QMT qiymətləri A&K−1979−1 və A&K−1979−2 tənliklərinin proqnozları ilə müqayisə olunur (Qrafik 2).

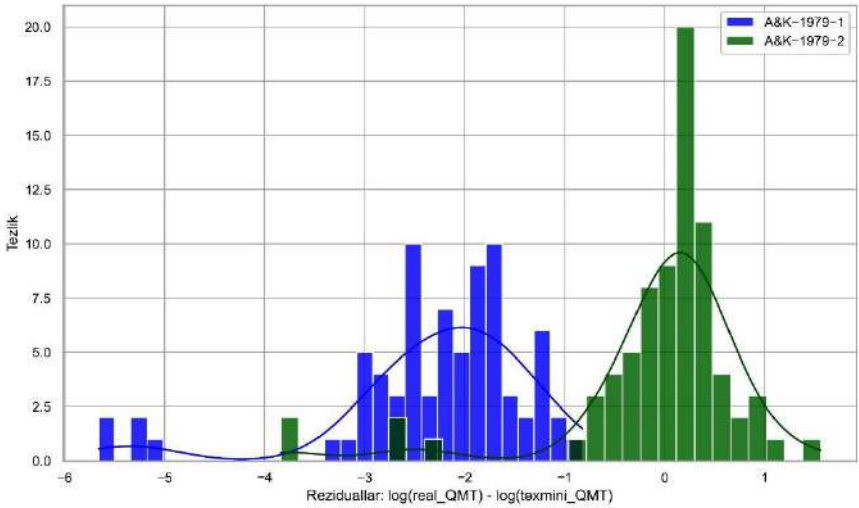
[7] Аптикаев, Ф.Ф., Копничев, Ю.Ф. Учёт механизма очага землетрясения при прогнозе параметров сильных движений // – ДАН СССР, – 1979. т. 247, № 4, – с. 822-825.



(a) **(b)**

Qrafik 2. A&K−1979 tənliklərinin proqnozlaşdırdığı QMT-nin tədqiqat sahəsi və yaxınlığında baş vermiş zəlzələlərin seysmik yazılarından alınan təcillə müqayisəsi. (a) A&K−1979−1. (b) A&K−1979−2
(Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Qrafik 2a və Qrafik 2b-də göstərilən qırmızı qırıq-qırıq xətt "ideal tarazlıq" xətti adlanır. Bu, o haldır ki, seysmik yazılardan əldə olunmuş QMT ilə tənliyin proqnozlaşdırdığı QMT bir-birinə bərabər olsun. Beləliklə, modelin, yaxud tənliyin uyğun və ya ideal olması üçün nöqtələrin "ideal tarazlıq" xəttinin üzərində və ya yaxınında yerləşməsi tələb olunur. Nöqtələrin (QMT) "ideal tarazlıq" xəttindən uzaq qalması proqnozların real verilənlərə uyğun olmadığını göstərir. Qrafik 3-də təsvir olunan reziduallar tənliklərin əraziyə uyğunluğunda şübhə yaradır.



Qrafik 3. Reziduallar. Göy rəng A&K−1979−1 tənliyi, yaşıl rəng A&K−1979−2 tənliyi üçün (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Rezidual dedikdə, QMT-nin real və proqnozlaşdırılan qiymətlərinin loqarifmlər fərqi nəzərdə tutulur. Müsbət reziduallar proqnozlaşdırılan qiymətlərin real qiymətlərdən kiçik olmasını göstərir. Mənfi reziduallar isə proqnozların "şişirdilmiş" olduğunu göstərir. Beləliklə, Qrafik 2 və 3 A&K−1979−1 tənliyinin real qiymətlərə nisbətən "şişirdilmiş", A&K−1979−2 tənliyinin isə aşağı qiymətlər proqnozlaşdırdığını təsvir edir [9, 13]. Bu səbəblə Şəmkir su anbarı ərazisi üzrə maşın öyrənmə alqoritmləri ilə lokal QHM-nin qurulması metodikası təqdim və tətbiq olunur.

Dissertasiya işi üzrə dörd alqoritmlə (SNŞ, EQG, TM, DVM) qurulan QHM-lərdə ümumi olaraq giriş parametri kimi verilənlər bazasındakı zəlzələlərin lokal maqnitudası (M_L), V_{S30} (m/s), stansiyadan hiposentral məsafə (km) və hədəf parametr kimi QMT (qal) daxil edilir. Giriş parametrləri daxil edildikdə modellər hədəf parametrini, yəni QMT-ni (qal) proqnozlaşdırır.

İlkin olaraq SNŞ alqoritmi ilə tədqiqat ərazisi üçün QHM qurulur [11]. SNŞ, ümumilikdə, insan beyninin məlumatı emal etmə üsulunu təqlid edən hesablama modelidir. O, bir-biri ilə əlaqəli neyron təbəqələrindən ibarətdir. Hər bir neyron məlumatları emal edir və növbəti təbəqəyə ötürür. SNŞ modeli ardıcıl çoxqatlı perseptron struktura, giriş qatı, 64 və 32 neyrondan ibarət 2 gizli qat və çıxış qatına malik quruluşla tərtib olunur.

Növbəti olaraq EQG alqoritminə əsaslanan modelləşdirmə aparılır. EQG ardıcıl şəkildə əlavəedici model qurur və əvvəlki iterasiyaların qalıq xətalarını minimallaşdırır. EQG modeli 0.05 öyrənmə sürəti və 500 estimator (ağac) ilə konfiqurasiya edilir, hər bir ağac üçün maksimal dərinlik 4 seçilir.

Daha sonra TM reqressiya alqoritmi ilə QHM tərtib olunur. TM alqoritmi paralel şəkildə qurulan qərar ağacları ilə sxemləşdirilir. Model 500 qərar ağacından təşkil olunur.

Sonuncu modelləşdirmə DVM alqoritmi ilə aparılır. Alqoritmdə dəstək vektor reqressiyası funksiyası tətbiq olunur. Modelin tənzimlənməsi üçün nizamlayıcı parametrlər C = 100, epsilon = 0.1 müəyyən edilir.

Tərtib olunmuş QHM-lərin müqayisəli təhlili ümumi verilənlər toplusu üzrə statistik nəticələrlə aparılır (Cədvəl 1).

Cədvəl 1

Qurulmuş modelləri ölçən ümumi statistik göstəricilər

(Tərtib etdi: T.H.Babayev)

	R^2	OMX	KOKX	OKX	Meyllik	Yayınma (sigma)
SNŞ	0.3270	0.5761	0.9146	0.8365	0.0892	0.9103
EQG	0.7816	0.3075	0.5210	0.2714	-0.0027	0.5210
TM	0.8050	0.2858	0.4923	0.2423	-0.0433	0.4904
DVM	0.6255	0.3797	0.6823	0.4655	0.1187	0.6719

R^2 – determinasiya əmsalı, OMX – orta mütləq xəta, KOKX – kök orta kvadrat xəta, OKX – orta kvadrat xəta.

Ümumilikdə, ansambl əsaslı öyrənən alqoritmlərin (EQG, TM) modelləşdirmələri ən yüksək dəqiqliyi və minimal xətanı təmin edir. DVM ansambl modelləri qədər yüksək təlim uyğunluğu göstərməsə də, sınaq dəsti üzrə 4 model arasında ən yüksək R^2 qiymətinə (0.5005) malikdir. SNŞ bütün göstəricilər üzrə ən zəif nəticələri göstərmişdir ki, bu da, onun giriş dəyişənlərinin məhdud sayda olmasına yüksək həssaslığı ilə izah olunur.

Statistik göstəricilərə əsasən, TM modeli tədqiqat üçün proqnozlaşdırmada ən yaxşı nəticəni təqdim edən model hesab olunur (Cədvəl 1).

Tərtib olunan QHM-lərin təlimində istifadə olunan verilənlər bazası tərkibindəki elementlərin sayı baxımından azlıq təşkil edir [11]. Belə ki, hər bir modelin tərtibatında verilənlərin 80% hissəsi istifadə olunmuş, qalan 20%-lik hissəsi onların proqnozlaşdırma qabiliyyətlərinin sınanmasında istifadə olunmuşdur. Lakin təlim və sınaq dəstlərinin həm kəmiyyət, həm keyfiyyət baxımından azlıq və zəiflik təşkil etməsi tərtib olunan modellərin istifadəsini şübhəli hala gətirir. Maşın öyrənmə alqoritmi nə qədər çox müxtəlif məlumat qəbul edərsə, bir o qədər çox fərqlilik görər və öyrənər, beləcə daha sağlam proqnozlaşdırma qabiliyyətinə yiyələnər.

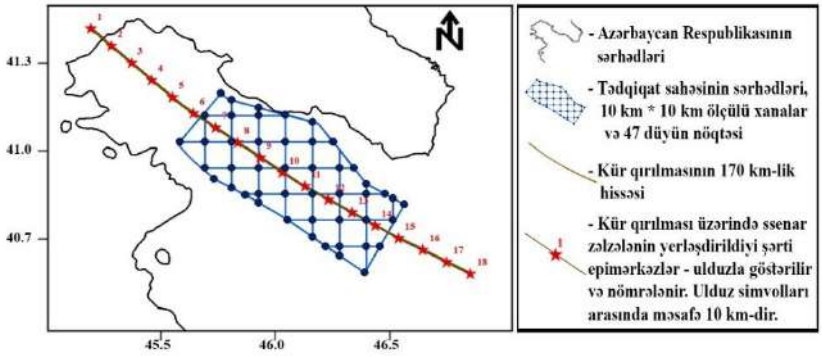
Buna isə həll yolu kimi sintetik verilənlər bazasının tərtib olunmasını və həmin sintetik bazadan istifadə etməklə maşın öyrənmə alqoritmləri ilə QHM qurmaq təklif olunur [9].

V FƏSİL. TƏDQİQAT ƏRAZİSİNDƏ SEYSMİK TƏHLÜKƏNİN DETERMİNİSTİK QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ. SİNTETİK AKSELEROQRAMLAR TOPLUSUNUN TƏRTİB OLUNMASI VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏ ALQORİTMLƏRİNƏ İNTEQRASİYASI

Bu fəsildə DSTQ üsulunun tədqiqat ərazisinə tətbiqi yer alır. İlkin olaraq, tədqiqat ərazisində ssenar zəlzələnin seçilməsi, növbəti olaraq, ssenar zəlzələdən məsafənin ölçülməsi və hesablanması, sahənin seqmentləşdirilməsi və seqmentlərin qrunt xarakteristikasının müəyyənləşdirilməsi, nəhayət, ssenar zəlzələ üçün proqnozlaşdırılma aparılır. Tədqiqat sahəsində müəyyən olunmuş maksimal maqnitudalarda (Şəkil 4) sintetik akseleroqramlar bazası və maşın öyrənmə əsaslı QHM-lər qurulur [12]. Seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi üçün ən səmərəli QHM QMT-ni proqnozlaşdırır və seysmik təhlükə xəritəsi tərtib olunur.

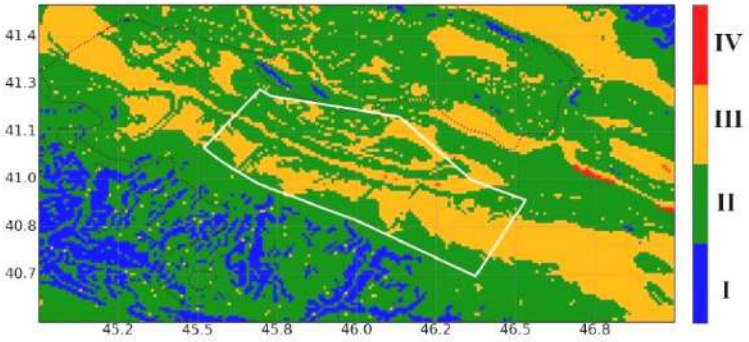
Seysmik təhlükə baxımından ərazidəki ən aktiv qırılma olması səbəbilə, Kür qırılmasının tədqiqat ərazisinə və yaxınlığına düşən təqribən 170 km-lik hissəsi ssenar zəlzələ ocağı kimi qiymətləndirilir. "Ən pis ssenari"ni qiymətləndirməkdən ötrü, ssenar zəlzələnin maqnitudası 6.0 olaraq müəyyənləşdirilir. Ssenar zəlzələ üçün Kür qırılmasının nəzərə alınan 170 km-lik uzunluğu boyunca 10 km-lik hissələrdə şərti epimərkəzlər müəyyənləşdirilir (Şəkil 9).

Növbəti addımda eni və uzunluğu 10 kilometrə bərabər olan kvadrat seqmentlərin düyün nöqtələri işarələnir və ərazi üzrə 47 nöqtə toplusu yığılır (Şəkil 9).



Şəkil 9. Ssenar zəlzələ üçün müəyyən olunmuş şərti episentrlərin təsviri və tədqiqat sahəsinin seqmentləşdirilməsi (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

47 düyün nöqtəsində V_{S30} qiymətləri və qrunt sinifləri müəyyən edilərək qrunt xüsusiyyətləri xarakterizə edilir. Tədqiqat ərazisinin qrunt təsnifatı xəritəsi Şəkil 10-da göstərilir.



Şəkil 10. Tədqiqat ərazisinin qrunt təsnifatı xəritəsi. I, II, III və IV qrunt sinifləri xəritədə müvafiq rənglərlə göstərilmişdir (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Tədqiqat ərazisi üçün II və III qrunt sinifləri (müvafiq olaraq, 1.0 və 1.2 gücləndirmə əmsalları) xarakterikdir (Şəkil 10). Ərazidə Kür çayı və ona qovuşan bir sıra çayların olması ilə geoloji tərkib çay terrasları, ellüvial, allüvial-delüvial, allüvial-prolüvial gilcələr, qumlar və çaqıllar ilə səciyyələnir. Nəm geoloji mühitin olması eninə dalğanın yayılma sürətinin kiçik olmasını (Şəkil 2), bu da, titrəyişlərdə rezonans effektinin yüksək olmasını göstərir.

Real verilənlərin kəmiyyət və keyfiyyət kriteriyalarını ödəyə bilmədiyi hallarda sintetik verilənlərin generasiya edilməsi geniş yayılmış yanaşmadır. Tədqiqatda sintetik akseleroqramların generasiyası Seismoartif[8] proqram təminatı ilə aparılır. B.Halldorsson və A.S.Papageorgiou[9] nəticələrinə əsaslanan generasiya üsulu istifadə olunur. Üsulu tətbiq etməklə 3013 süni akseleroqramdan ibarət sintetik verilənlər bazası qurulmuşdur [12].

[8] SeismoArtif v2024 Release-1 Build-2 (64-bit): [Electronic resource] / Seismosoft ltd. – Pavia, Italy, 2024. URL: https://seismosoft.com/products/seismoartif/.

[9] Halldorsson, B., Papageorgiou, A.S. Calibration of the specific barrier model to earthquake of different tectonic regions // Bulletin of the Seismological Society of America, – 2005. 95 (4), – p. 1276-1300.

Beləliklə, növbəti addımda tərtib olunmuş sintetik verilənlər bazası SNŞ, EQG, TM, DVM alqoritmlərinin daha kompleks formalarına öyrədilərək yeni QHM-lər qurulur (Cədvəl 2).

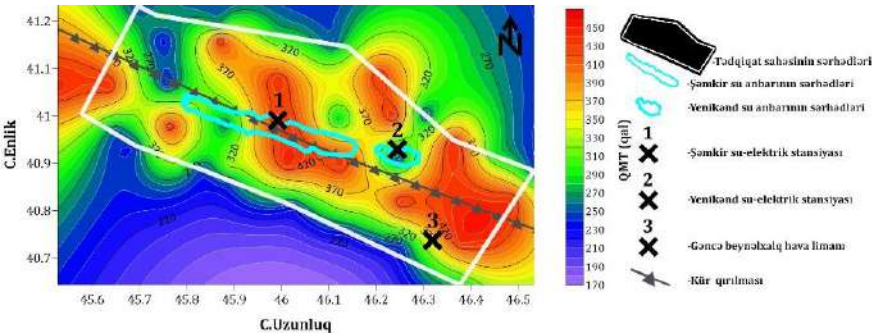
Cədvəl 2

Sintetik verilənlər bazasının inteqrasiyası əsasında qiymətləndirilmiş statistik göstəricilər üzrə ən yaxşı nəticələri göstərən modellər (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

	R^2	OMX (qal)	KOKX (qal)	OKX (qal^2)	Meyllik	Yayınma (sigma, qal)
Təlim	TM	TM	TM	TM	SNŞ	TM
Sınaq	SNŞ	DVM	SNŞ	SNŞ	SNŞ	EQG
Model	TM	TM	TM	TM	SNŞ	TM

R^2 – determinasiya əmsalı, OMX – orta mütləq xəta, KOKX – kök orta kvadrat xəta, OKX – orta kvadrat xəta.

Tərtib olunmuş QHM-lərin müqayisəsi əsasında SNŞ və TM modellərinin dörd model arasında ən qabaqcıl nəticələri nümayiş etdirdiyi aşkar edilir (Cədvəl 2). Beləliklə, Şəmkir su anbarı ərazisində DSTQ metodunun tətbiqində onların hər ikisindən istifadə edərək simbioz proqnozların alınması daha düzgün və dolğun yanaşma hesab olunur. Ssenar zəlzələnin maqnitudası (M=6), hesablanmış hiposentral məsafələr, hər bir düyünün V_{S30} və qrunt sinfi məlumatları hər iki modelə (SNŞ və TM) giriş parametrləri kimi daxil edilir. Hər iki modelin QMT proqnozlarının əsasında tədqiqat sahəsi üzrə ümumi QMT paylanma xəritəsi tərtib olunur (Şəkil 11).

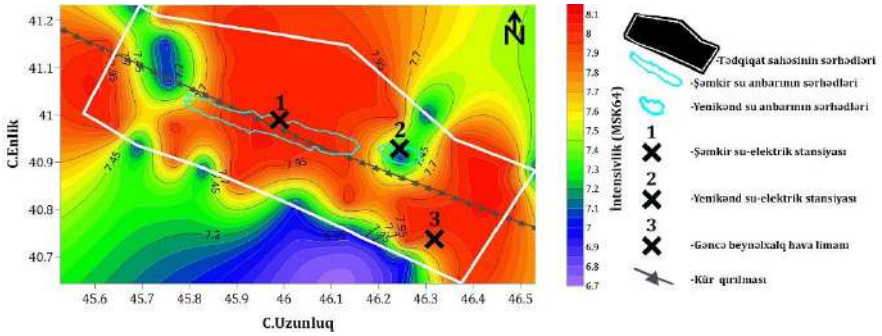


Şəkil 11. Tədqiqat sahəsi üçün müəyyən edilmiş "ən pis ssenari" (M=6) üzrə proqnozlaşdırılan QMT paylanma xəritəsi (Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Tədqiqat sahəsindəki strateji infrastruktur obyektləri heterogen seysmik sahədə yerləşir. Şəmkir və Yenikənd su anbarları və SES-lər, Gəncə BHL birbaşa Kür aktiv qırılma zonasının təsir dairəsində olmaqla, 260–450 qal intervalında təhlükə potensialına malikdir (Şəkil 11). Ərazidə seysmik dalğa enerjisinin həm ocaq mexanizmi, həm də lokal litoloji qatların rezonans xüsusiyyətləri nəticəsində qeyri-xətti artım nümayiş etdirdiyi areallar müşahidə olunur.

Tədqiqatın başlıca obyekti olan Şəmkir su anbarı, eləcə də, Şəmkir SES ümumi ərazi üzrə ən yüksək QMT (450 qal) proqnozuna malikdir.

Proqnozlaşdırılan QMT qiymətləri əsasında tədqiqat sahəsi üzrə intensivlik vahidlərində seysmik təhlükə xəritəsi tərtib olunur (Şəkil 12).



Şəkil 12. Tədqiqat sahəsi üçün müəyyən edilmiş "ən pis ssenari" (M=6) üzrə proqnozlaşdırılan QMT qiymətləri əsasında tərtib olunmuş intensivlik vahidlərində seysmik təhlükə xəritəsi

(Tərtib etdi: T.H.Babayev)

Tədqiqat sahəsi VII-VIII ballıq intensivliklə xarakterizə edilir (Şəkil 12). Tədqiqat sahəsi boyu uzanan aktiv Kür qırılmasının seysmik təsiri intensivlik vahidlərində bariz şəkildə müşahidə olunur. Belə ki, xəritədə qırılmanın ətrafında VIII ballıq intensivlik, qırılmadan uzaqlaşdıqca isə VII ballıq intensivlik təzahür edir. Bu, eyni zamanda qrunt hərəkətinin sönməsi qanunauyğunluğunun təzahürü olub ssenar zəlzələnin mənbəyindən uzaqlaşdıqca rəqslərin sönməsini ehtiva edir. Şəmkir və Yenikənd su anbarları və SES-lər, həmçinin Gəncə BHL VIII ballıq intensivliklə xarakterizə olunur. Ərazi güclü

seysmik təsirə məruz qalmaqla səciyyələnir. Ərazidə kiçik həcmli uçqunlar, sürüşmələr, tikililərdə bir sıra zədələr, köhnə tikililərin qismən dağılması, torpaqda iri çatların yaranması kimi seysmik təhlükə potensialları var. Həmçinin, burada çay mühitinə xas sıxlığı az olan boş qumlar, nəmli və su ilə doymuş orta sıxlıqlı xırda dənəli və tozlu qumlar, nəmli yarımbərk gillər, gilcələr, nisbətən böyük məsaməli qumcalar geniş yayıldığına görə torpaqda yaranan çatların böyük və təhlükəli olması, zəlzələ baş verən zaman rezonans effektinin böyük olması xarakterikdir.

Müəllifin tədqiqat ərazisini bir sıra tədqiqatlarında kataloq və tektonik qırılmaların analizi [2], eləcə də DSTQ metodunun başqa ssenari variasiyalarının tətbiqi ilə [5] yenə VII və VIII ballıq intensivliklə səciyyələndirməsi hazırki nəticələri və yeni tətbiq olunmuş yanaşmanı dəstəkləyir. Beləliklə, dissertasiya işində tətbiq olunan yeni və müasir metodologiya, vasitələr və verilənlər özlərini doğruldaraq düzgün nəticələr təqdim etdiyini sübut edir. Həmçinin, nisbilik yanaşması fonunda tədqiqat ərazisi üçün seçilmiş ssenar zəlzələnin uzaq və ya yaxında olması da əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, həddən artıq kiçik məsafədə və böyük maqnitudada müəyyən olunmuş ssenar zəlzələlər şişirdilmiş QMT və intensivlik qiymətlərinə gətirib çıxara bilər [8]. Lakin cari tədqiqatın nəticələri seçilmiş ssenar zəlzələnin reallığa uyğun olduğunu göstərir.

Beləliklə, dissertasiya işi Şəmkir su anbarı ərazisində seysmik təhlükənin qiymətləndirilməsi tədqiqatının nəticələrini təqdim edir. Tədqiqatda istifadə olunan və beynəlxalq təcrübələrə əsaslanan yanaşmalar və təklif olunan metodologiya dolğun nəticələr təqdim etməklə və qəbul olunmuş normalarla uyğunlaşaraq özlərini doğrultmaqla müəllif tərəfindən tətbiqi zəruri hesab edilən yeni və müasir üsullar kimi qəbul, təqdim və tətbiq olunur. Beləliklə, dissertasiya işində alınan nəticələr strateji əhəmiyyətli obyektlərdən ibarət tədqiqat ərazisində seysmik təhlükə və risk qiymətləndirmələrində elmi və praktiki əhəmiyyət daşıyır.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işi üzrə aparılan tədqiqatın nəticələri aşağıdakı kimi təqdim olunur:

1. Ərazidə qrunt effekti qiymətləndirilmiş və 30 m dərinlik üzrə orta eninə dalğa sürətinin (V_{S30}) 200–600 m/s intervalında dəyişdiyi müəyyən edilmişdir. Sahə əsasən aşağı V_{S30} göstəriciləri ilə səciyyələnir. Ən aşağı sürətlər Şəmkir su anbarı hövzəsində Kür qırılması boyunca izlənilir. Ərazinin çay mənşəli çöküntülərlə örtülməsi və aktiv tektonik qırılmanın mövcudluğu yüksək seysmik təhlükə potensialını nümayiş etdirir. Aşağı sürətlər zonalarında (ing., LVZ – low-velocity zone) boş allüvial çöküntülər və qrunt sularının bolluğu eninə dalğaların sürətini azaldıb amplitudasını artıraraq rezonans effektini gücləndirir [12];
2. Tədqiqat ərazisində 2022-2024-cü illərdə baş vermiş 18 zəlzələnin ($M_L \geq 3$) ümumilikdə 77 stansiya qeydindən ibarət verilənlər bazası tərtib olunmuşdur. Bazaya zəlzələlərin tarixi, yeri, maqnitudası, dərinliyi, QMT (qal), stansiyaların adı, V_{S30} qiyməti, episentral və hiposentral məsafələr, daxildir. Zəlzələlər 3.0–4.9 lokal maqnituda, 32–284 km hiposentral məsafə aralığında dəyişir, QMT 5 qal-a çatır [9, 11];
3. SeismoArtif proqramı vasitəsilə 4.2–5.8 maqnituda, 1–140 km hiposentral məsafə və 165–733 qal QMT intervalında II və III qrunt sinifləri üçün 3013 süni akseleroqram generasiya edilmişdir. Akseleroqramlar 10% maksimal orta xəta və 15% variasiya əmsalı (yalnız bir akseleroqram istisna olaraq, 17%) ilə validasiya edilmişdir [12];
4. Dörd maşın öyrənmə alqoritmi SNŞ, EQG, TM və DVM (ing., ANN, XGBoost, RF, SVM) QHM-lərin qurulmasına tətbiq edilmişdir. Real verilənlərlə qurulan modellərin determinasiya əmsalları, müvafiq olaraq, 0.3270, 0.7816, 0.8050 və 0.6255 olmuşdur (təxminən 33–81% izah və ümumiləşdirmə qabiliyyəti). Sintetik baza ilə qurulan modellər, müvafiq olaraq, 0.8436, 0.8472, 0.8506 və 0.8387 determinasiya əmsalları ilə yüksək ümumiləşdirmə və proqnoz dəqiqliyi göstərir [12];
5. Sintetik verilənlərin inteqrasiyası ilə tərtib olunmuş SNŞ və TM

alqoritmlərinə əsaslanan QHM-lərin hibrid proqnozlarından alınan QMT sönmə qrafiki, məkan-paylanma xəritəsi və seysmik təhlükə xəritəsi yekun nəticə kimi təqdim edilir. Sönmə qrafiki QMT-nin 230-450 qal aralığında qiymətlərinin hiposentral məsafədən asılılığını nümayiş etdirir. Alınan qrafikdə modelin yalnız həndəsi yayılma faktorunu deyil, həm də mürəkkəb geoloji şəraiti nəzərə aldığı əks olunur;

6. QMT məkan-paylanma xəritəsinə əsasən, birbaşa Kür aktiv qırılma zonasının təsir dairəsində məkan-paylanma xəritəsinə əsasən, birbaşa Kür aktiv qırılma zonasının təsir dairəsində qalmaqla, Şəmkir və Yenikənd su anbarları və SES-lər, Gəncə BHL üçün 260–450 qal arasında seysmik təsir proqnozlaşdırılır. Şəmkir və Yenikənd su anbarları, müvafiq olaraq, 270-450 qal və 260-330 qal ilə, Şəmkir və Yenikənd SES-lər isə, müvafiq olaraq, 450 qal və 270 qal ilə xarakterizə olunur. Gəncə BHL isə 360 qal-la xarakterizə olunur. Tədqiqat sahəsi üzrə ən yüksək QMT qiyməti (450 qal) Şəmkir SES-də proqnozlaşdırılır;
7. Təqdim olunan seysmik təhlükə xəritəsinə əsasən, tədqiqat sahəsi, ümumilikdə, VII-VIII ballıq (MSK-64) intensivliklə xarakterizə olunur. Seysmik təhlükə xəritəsində qırılmanın ətrafında VIII bal intensivlik, uzaqlaşdıqda isə VII bal intensivlik əks olunur. Şəmkir və Yenikənd su anbarları və SES-lər, Gəncə BHL VIII ballıq intensivliklə xarakterizə olunur. Beləliklə, bu infrastrukturların bir sıra hissələrində zədələr, onların qismən dağılması, kiçik həcmli uçqunlar, sürüşmələr, torpaqda iri çatların yaranması kimi təhlükəli seysmik təsirlər proqnozlaşdırılır. Nəticələr bir sıra digər tədqiqatlarla müqayisəli şəkildə təsdiq olunur [1, 2, 5].

Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı əsərlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Babayev, T.H., Babayev, Q.R. Biblioqrafik icmal əsasında Şəmkir rayonu və ətrafının tektonik, geoloji, geomorfoloji və seysmik təhlili // – Bakı: Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, – 2023. Cild 33 (04), buraxılış 10, – s. 73-81.
2. Babayev, T.H. Seismic analysis of the Shamkir reservoir area through insights into the dynamics of the earthquake characteristics

/ T.H.Babayev, Y.N.Aliyev, I.B.Muradi [et al.] ANAS Transactions, Earth Sciences, – Baku: – 2023. № 2, – p. 51-63.
3. Babayev, G.R., Babayev, T.H., Aliyev, Y.N., Muradi, I.B. Numerical earthquake ground motion modeling for southern slope of Greater Caucasus // VII International Conference "Seismology and Engineering Seismology" dedicated to the 100th anniversary of the birth of the Nationwide Leader H.Aliyev, – Baku: Materials of Conference, – 7-9 June, – 2023, – p. 264-268.
4. Babayev, G., Babayev, T., Telesca, L. Deterministic ground motion modeling with target earthquakes and site effects in eastern Azerbaijan // Arabian Journal of Geosciences, – 2024. 17 (61), – p. 1-12.
5. Babayev, T.H. Recent scenario-based ground motions and intensity modeling of Shamkir water reservoir area // PAHTEI-Proceedings of Azerbaijan Higher Technical Educational Institutions, – 2024. 26 (3-4), – p. 6-14.
6. Babayev, T., Babayev, G. Spatial distribution of b-value on the Mingachevir water reservoir area for seismicity analysis applying the microzonation method of Babayev G. et. al., 2020 // EGU General Assembly 2024, – Vienna, – 14-19 April, – 2024, – 1 p.
7. Babayev, T., Muradi, I., Babayev, G. Offshore ground motion estimation for the Caspian Sea based on the encompassing scenario epicenters // Caspian Basin Conference, – Baku: Book of Abstracts, – 3-6 June, – 2024, – p. 50-51.
8. Babayev, T., Babayev, G. Far and remote scenario earthquakes in seismic hazard assessment // 15th General Assembly of the Asian Seismological Commission, – Belek, Antalya: Book of Abstracts, – November 3-7, – 2024, – p. 43-49.
9. Babayev, T. Development of ann-based data-driven ground motion model for Azerbaijan using temporal earthquake records of 2022–2024 / T.Babayev, G.Babayev, S.Irawan [et al.] // Frontiers in Earth Science, – 2025. 13, – p. 1-18.
10. Babayev, T.H. Aliyev, Y.N., Babayev, G.R. Clustering analysis of 100-year international seismic catalogue for Azerbaijan // Geology and Geophysics of Russian South, – 2025. 15 (1), – p. 105-118.
11. Babayev, T.H. Süni intellekt alqoritmlərindən istifadə etməklə Şəmkir su anbarı ərazisi üçün regional qrunt modelinin tərtib

olunması // “Konstitusiya və Suverenlik İli” və “AMEA-nın 80 illik yubileyi”nə həsr edilmiş “Yer elmlərində fənlərarası tədqiqatlar: nailiyyətlər və perspektivlər” adlı gənc alim, mütəxəssis və tələbələrin Respublika elmi praktiki konfransı, – Bakı, – 18-19 dekabr, – 2025, – s. 11-13.
12. Babayev, T. Machine learning-based ground motion simulation for seismic hazard assessment of critical water infrastructure in Azerbaijan (Case study: Major Shamkir water reservoir) / Tural Babayev, Gulam Babayev, Emil Bayramov [et al.] // PLOS One, – 2026. 21 (4), – p. 1-26.
13. Babayev, T., Babayev, G., Bayramov, E. ANN-Based Ground Motion Model for Azerbaijan Using 2022–2024 Earthquake Records // 16th General Assembly of Asian Seismological Commission, – Tashkent, Uzbekistan, – April 25-30, – 2026, – p. 287.

Dissertasiyanın müdafiəsi 26 oktyabr 2026-cı il tarixində saat 14^{30}-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.01 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az1073, Azərbaycan, Bakı şəh., H.Cavid pr., 119.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Geologiya İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 25 sentyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.09.2026
Kağızın formatı: 60x84$^{1/16}$
Həcm: 39529
Tiraj: 100