

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՎ ԹՈՒՐԹԻԱՅԻ ԶՐԱՄԲԱՐՆԵՐԻ ՊԱՏՎԱՐՆԵՐԻ ՍԵՑՍՄԻԿ ԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Անի Համբարձումի Գևորգյան, Վահան Սուրիկի Կոբեյան, Մարիաննա Պողոսի Հակոբյան*

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

* m.hakobyan@nuaca.am

Համեմատական վերլուծությամբ գնահատվել է Հայաստանի և Թուրքիայի ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ վարքը՝ հատուկ ուշադրություն դարձնելով 2023 թ. Քահրամանմարաշի երկրաշարժերի փաստագրված հետևանքներին: Հետազոտության նպատակն է հիմնավորել Հայաստանի պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատման արդիականացման ուղղությունները: Կիրառվել են գիտական հրապարակումների, հետերկրաշարժային զննումների, պատմական տվյալների և գործող նորմատիվային փաստաթղթերի համադրման մեթոդներ: Վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ PGA-ն անհրաժեշտ, սակայն ոչ բավարար ցուցանիշ է: անվտանգության գնահատման մեջ պետք է առանձին հաշվի առնել ակտիվ խզվածքի տեղաշարժը, հեղուկացումը, սեյսմիկ խտացումը, կառուցվածքային և շահագործական վիճակը, մշտադիտարկումը և ստորին բիեֆում հնարավոր հետևանքները: Առաջարկվել է ութ գործոնային նախնական գնահատման կառուցվածք, որը կարող է կիրառվել մանրամասն հետազոտությունների և ուժեղացման միջոցառումների առաջնահերթությունները սահմանելու համար:

Բանալի բառեր. պատվար, սեյսմիկ անվտանգություն, սեյսմիկ խոցելիություն, ակտիվ խզվածք, PGA, հեղուկացում, մշտադիտարկում, ջրամբար

Ներածություն

Հայաստանը գտնվում է Արաբական և Եվրասիական սալերի բախման գոտում և բնութագրվում է բարձր սեյսմիկ վտանգով: Հայաստանի համար 2026 թ. հրապարակված նոր հավանականային սեյսմիկ վտանգի գնահատումը ցույց է տալիս, որ երկրի տարածքում 475 տարվա կրկնելիության ժամանակահատվածի համար առավելագույն գրունտային արագացման (PGA) հաշվարկային արժեքները մոտավորապես 0,2...0,5g միջակայքում են, իսկ առավել բարձր վտանգը կենտրոնացած է հատկապես հյուսիսարևմտյան հատվածներում և ակտիվ խզվածքային համակարգերի հարևանությամբ [1]: Հայաստանի ջրամբարների համար լրացուցիչ նշանակություն ունի նաև ջրամբարով հրահրված սեյսմիկության հնարավորությունը, որն ուսումնասիրվել է Ախուրյանի, Ազատի և Տոլորսի ջրամբարների օրինակներով [2]: Հայաստանի սեյսմիկ վտանգի գնահատման և մշտադիտարկման արդիականացման անհրաժեշտությունն ընդգծվում է նաև վերջին տարիների ազգային ու միջազգային հետազոտություններում [3]:

Պատվարների սեյսմիկ անվտանգությունը չի սահմանափակվում միայն փլուզման հավանականությամբ: Ժամանակակից մոտեցումները դիտարկում են ուժեղ գրունտային ցնցումը, ակտիվ խզվածքի մակերևութային տեղաշարժը, զանգվածային շարժումները, հեղուկացումը, ծակոտկենային ճնշումների աճը, սեյսմիկ խտացումը, մնացորդային նստվածքներն ու հորիզոնական տեղաշարժերը, ինչպես նաև ջրթող կառույցների և շահագործական համակարգերի աշխատունակությունը [4]: Գոյություն ունեցող հողային պատվարների վերաբերյալ վերջին հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ հուսալի գնահատման համար անհրաժեշտ է համադրել տեղամասային սեյսմիկ վտանգը, նյութերի ու հիմքի երկրատեխնիկական բնութագրերը, ոչ գծային դինամիկ արձագանքը և մնացորդային դեֆորմացիաների չափանիշները [5-8]:

Հայաստանի համար այս խնդիրը հատկապես արդիական է, քանի որ գործող բազմաթիվ ջրամբարներ նախագծվել և կառուցվել են նախկին սեյսմիկ պատկերացումների ու նորմատիվների պայմաններում: Տեղային ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ ջրամբարների անվտանգությունը կարող է պայմանավորվել ոչ միայն ուղղակի սեյսմիկ ցնցումով, այլև սողանքներով, հիմքի ու շեպերի կայունությամբ և ջրային ռեժիմի փոփոխությամբ [2, 9]: Միաժամանակ Թուրքիայի Արևելա-Անատոլյան խզվածքային համակարգը և հարակից տարածքները Հայաստանի հետ ունեն համադրելի բարձր սեյսմատեկտոնական ակտիվություն, ինչի պատճառով Թուրքիայի պատվարների վարքի փաստագրված փորձը կարևոր համեմատական նյութ է [10]:

2023 թ. փետրվարի 6-ի Քահրամանմարաշի երկրաշարժերի հաջորդականությունը բացառիկ տվյալներ է տրամադրել պատվարների իրական սեյսմիկ վարքի վերաբերյալ: Հետերկրաշարժային հետազոտություններում ընդգրկվել է մոտ 140 պատվար, որոնցից մի մասում արձանագրվել են մնացորդային դեֆորմացիաներ, հեղուկացման, սեյսմիկ խտացման և խզվածքային տեղաշարժի հետ կապված վնասումներ [11, 12]: Հետագա դաշտային ուսումնասիրությունները մանրամասնեցրել են հատկապես Erkenek, Sultansuyu, Arıklıkaş և այլ հողային պատվարների արձագանքը [13]: Գործիքային գրանցումները ցույց են տվել նաև ուժեղ շարժումների իրական չափումների կարևորությունը տարբեր տիպի պատվարների հաշվարկային մոդելների ստուգման համար [14]: 2025 թ. հրապարակված Reyhanlı պատվարի ուսումնասիրությունը հաստատել է, որ նույնիսկ ջրապահպանման ունակության պահպանման դեպքում կարող են ձևավորվել մեծ մնացորդային տեղաշարժեր [15]:

Հայաստանի պատվարների պատմական փորձը նույնպես ցույց է տալիս, որ վտանգը կարող է ձևավորվել սեյսմիկ և ոչ սեյսմիկ գործոնների համակցությունից: Հայկական սեյսմոլոգիական և ինժեներական ուսումնասիրություններում ներկայացված են Սպիտակի երկրաշարժից հետո պատվարների զննման արդյունքներ, ինչպես նաև մի շարք հիդրոտեխնիկական կառույցների վթարների և նախավթարային վիճակների տվյալներ [16]: Թուրքիայի պատմական փորձի հիման վրա մշակված սեյսմիկ վտանգի և ռիսկի դասակարգման մոտեցումները ևս ընդգծել են

պատվարի բարձրության, ջրամբարի ծավալի, տեղամասային վտանգի և կառույցի վիճակի համատեղ դիտարկման անհրաժեշտությունը: Ակտիվ խզվածքների վրա կամ դրանց անմիջական հարևանությամբ պատվարների տեղադրումը հատուկ գնահատման առանձին խնդիր է:

Հետազոտության նպատակն է Հայաստանի և Թուրքիայի պատվարների պատմական և ժամանակակից սեյսմիկ վարքի համեմատության հիման վրա հիմնավորել Հայաստանի պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատման արդիականացման հիմնական ուղղությունները: Աշխատանքի խնդիրներն են՝ 1 - համադրել երկու երկրների փաստագրված փորձը, 2 - գնահատել PGA-ի վրա հիմնված պարզեցված մոտեցման սահմանափակումները, 3 - դիտարկել գործող ազգային նորմատիվային դաշտը ICOLD-ի մասնագիտացված ուղեցույցների համատեքստում և 4 - առաջարկել բազմագործոն նախնական գնահատման կառուցվածք՝ մանրամասն հետազոտությունների առաջնահերթացման համար: Աշխատանքի նորույթը կայանում է 2023 թ. Թուրքիայի երկրաշարժերի նոր փաստական նյութի, Հայաստանի պատմական փորձի և ժամանակակից սեյսմիկ անվտանգության պահանջների մեկ միասնական գնահատման տրամաբանության համադրման մեջ:

Նյութեր և մեթոդներ

Ուսումնասիրությունն իրականացվել է համեմատական-վերլուծական և սինթեզային մեթոդներով: Նյութական բազան կազմել են՝ ա - Հայաստանի պատվարների պատմական սեյսմիկ և շահագործական արձագանքի հրապարակված տվյալները, բ - Թուրքիայի պատվարների՝ 1986 և 1999 թթ. երկրաշարժերից հետո հրապարակված դիտարկումները, գ - 2023 թ. Քահրաման-մարաշի երկրաշարժերի վերաբերյալ 2024–2025 թթ. հրապարակված հետերկրաշարժային հետազոտությունները, դ - պատվարների սեյսմիկ գնահատման արդի գիտական աշխատանքները, ե - ICOLD-ի ուղեցույցները, ինչպես նաև ՀՀ գործող նորմատիվային և ծրագրային փաստաթղթերը:

Համեմատության համար կիրառվել են հետևյալ հիմնական չափանիշները՝ տեղամասային սեյսմիկ ազդեցություն (PGA և, առկայության դեպքում, սպեկտրային բնութագրեր), ակտիվ խզվածքից հեռավորություն կամ ուղղակի հատում, պատվարի տեսակ, դիտարկված մնացորդային դեֆորմացիաներ, հեղուկացման կամ սեյսմիկ խտացման նշաններ, ջրապահպանման ունակության պահպանում, արտակարգ շահագործական գործողություններ և գործիքային մշտադիտարկման տվյալների առկայություն: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս տարբեր ժամանակաշրջանների ու մանրամասնության տվյալները համադրել նույն տրամաբանական շրջանակում՝ առանց դրանք կեղծ ճշգրտությամբ մեկ թվային ցուցանիշի վերածելու:

ICOLD-ի պատմական և արդիականացված ուղեցույցները կիրառվել են որպես պատվարներին հատուկ միջազգային մեթոդաբանական հիմք: Bulletin 72-ը ձևավորել է մեծ պատվարների սեյսմիկ պարամետրերի ընտրության հիմնարար սկզբունքները [17], իսկ Bulletin 148-ում ավելի հստակ զարգացվել են Safety Evaluation Earthquake (SEE), ակտիվ խզվածքների, հեղուկացման,

ուղղահայաց բաղադրիչի և ուժեղ շարժման տևողության հարցերը [18]: Հետերկրաշարժային գնման կազմակերպման համար կարևոր են նաև ICOLD Bulletin 166-ի սկզբունքները [19]:

Հայաստանի մասով ազգային նորմատիվային հիմք է ընդունվել ՀՀ քաղաքաշինության կոմիտեի նախագահի 2020 թ. դեկտեմբերի 28-ի N 102-Ն հրամանով հաստատված ՀՀՀՆ 20.04-2020 «Երկրաշարժադիմացկուն շինարարություն. Նախագծման նորմեր» փաստաթուղթը՝ գործող ինկորպորացված խմբագրությամբ [20]: Այն դիտարկվել է որպես ազգային սեյսմիկ նորմատիվային հիմք, որը պատվարների դեպքում անհրաժեշտ է լրացնել հիդրոտեխնիկական կառույցների հատուկ ինժեներական հետազոտություններով և մասնագիտացված միջազգային մոտեցումներով:

Պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների առաջնահերթության հարցը դիտարկվել է նաև Հայաստանի Կառավարության գործողությունների ծրագրի և պաշտոնական պետական հաղորդագրությունների հիման վրա: Կառավարության ծրագրային փաստաթղթում նախատեսվել է պետական հատուկ նշանակության 24 ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատում և փորձագիտական առաջարկությունների մշակում [18]: Նույն նպատակը վերահաստատվել է ՀՀ ներքին գործերի նախարարության 2024 թ. պաշտոնական հաղորդագրությամբ [21, 22]:

Սույն աշխատանքում առաջարկվող 8 գործոնային կառուցվածքը նախատեսված է որպես նախնական գնահատման և առաջնահերթացման գործիք: Այն չի փոխարինում յուրաքանչյուր պատվարի տեղամասային սեյսմիկ վտանգի հատուկ ուսումնասիրությանը, ինժեներաերկրաբանական հետազոտմանը, նյութերի դինամիկ փորձարկումներին, ֆիլտրացիոն հաշվարկներին, շեպերի կայունության և ոչ գծային դինամիկ հաշվարկներին: Միավորային կշիռներ չեն սահմանվել, քանի որ դրանց հիմնավորումը պահանջում է Հայաստանի կոնկրետ պատվարների միասնական և ստուգված տվյալների բազա:

Արդյունքներ և քննարկում

Թուրքիայի պատվարների պատմական և ժամանակակից սեյսմիկ վարքը

Թուրքիայի պատվարների պատմական դիտարկումները ցույց են տալիս, որ ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ նույնիսկ բարձր սեյսմիկ ազդեցության ենթարկված հողային և քարալիցքային պատվարները հաճախ պահպանել են ընդհանուր կայունությունն ու ջրապահպանման ունակությունը՝ միաժամանակ կրելով տեղային վնասումներ: 1999 թ. Իզմիթի և Դյուզլեի երկրաշարժերից հետո էպիկենտրոնային գոտուն մոտ մի շարք պատվարներում արձանագրվել են ճաքեր և այլ սահմանափակ վնասումներ: Այդ դեպքերը պատմականորեն նպաստել են այն մոտեցման զարգացմանը, ըստ որի սեյսմիկ անվտանգությունը պետք է գնահատվի ոչ միայն հաշվարկային արագացմամբ, այլև պատվարի կառուցվածքային վիճակով և հնարավոր հետևանքներով [17, 18]:

1986 թ. Դոգանշեհիր երկրաշարժի և Թուրքիայի մեծ հողային պատվարների հետագա գնահատումների փորձը ցույց է տվել, որ ռիսկի նախնական դասակարգման համար նպատակահարմար է համադրել տեղամասային սեյսմիկ վտանգը, պատվարի բարձրությունը և տեսակը,

ջրամբարի ծավալը, տեխնիկական վիճակը և ներքին բիեֆում հնարավոր հետևանքները [17, 18]: Այս մոտեցումը օգտակար է պորտֆելային մակարդակում, սակայն չի կարող փոխարինել առանձին կառույցի մանրամասն ինժեներասելյամիկ գնահատմանը:

2023 թ. Քահրամանմարաշի երկրաշարժերի ժամանակ ազդեցության գոտում գտնվել է մոտ 140 պատվար: Առաջին հիմնական ցնցման ժամանակ տարբեր տեղամասերում PGA-ի գնահատված արժեքները մոտավորապես 0,1...1,3g են եղել, իսկ երկրորդ հիմնական ցնցման ժամանակ՝ մոտ 0,15...0,45g [11]: Չնայած այս ուժեղ ազդեցություններին՝ ուսումնասիրված պատվարները պահպանել են ջրապահպանման հիմնական գործառույթը: Միաժամանակ հողային և քարալիցքային որոշ պատվարներում գրանցվել են միջինից մինչև մեծ մնացորդային դեֆորմացիաներ, իսկ Sultansuyu և Arıklıkas ջրամբարներում ջրի մակարդակը վերահսկելի կերպով նվազեցվել է որպես անվտանգության միջոց [11–13] (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

2023 թ. Քահրամանմարաշի երկրաշարժերի ժամանակ պատվարների արձագանքի ընտրանքային տվյալներ [11-15]

N	Պատվար / կառույց	Ազդեցություն	Դիտարկված արձագանք	Անվտանգության նշանակություն
1	Erkenek	PGA≈0,54g, խզվածքի հատում	~3,4 մ՝ ձախակողմյան տեղաշարժ պատվարի մարմնով	Ակտիվ խզվածքի ուղղակի ազդեցությունը գնահատել առանձին
2	Sultansuyu	ուժեղ մոտակա ցնցում	զգալի վնասումներ, ջրի մակարդակի վերահսկելի նվազեցում	Արտակարգ շահագործման պլանն անվտանգության բաղադրիչ է
3	Arıklıkas	ուժեղ ցնցում	վնասումներ, ջրի մակարդակի վերահսկելի նվազեցում	Անհրաժեշտ է արագ հետերկրաշարժային գնում
4	Reyhanlı	ուժեղ մոտադրյուր ազդեցություն	մինչև ~0,8 մ՝ նստվածք և ~1,0...1,2 մ՝ հորիզոնական տեղաշարժ	Դեֆորմացիոն չափանիշները ներառել գնահատման մեջ
5	Ազդեցության գոտու պատվարներ	մոտ 140 պատվար	17 հողային պատվարում փաստագրվել են տարբեր երկրատեխնիկական վնասներ	Ջրապահպանման պահպանումը չի նշանակում վնասումների բացակայություն

Erkenek հողային պատվարի դեպքը հատկապես կարևոր է ակտիվ խզվածքի ուղղակի ազդեցության տեսանկյունից: Դաշտային ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ մակերևութային խզվածքը հատել է պատվարի մարմինը և առաջացրել մոտ 3,4 մ՝ ձախակողմյան հորիզոնական տեղաշարժ՝ մոտ 0,54g տեղամասային PGA-ի պայմաններում [13]: Այս փաստը ցույց է տալիս, որ PGA-ն չի արտացոլում այն վտանգը, որը պայմանավորված է խզվածքի մշտական տեղաշարժով: Հետևաբար ակտիվ խզվածքի հատման հնարավորությունը պետք է գնահատվի որպես անկախ վտանգի բաղադրիչ:

Reyhanlı պատվարի 2025 թ. մանրամասն ուսումնասիրությունը ևս հաստատել է դեֆորմացիոն չափանիշների կարևորությունը: Հետերկրաշարժային քարտեզագրմամբ առավել կրիտիկական հատվածներում արձանագրվել են մինչև մոտ 0,8 մ՝ նստվածք և 1,0...1,2 մ՝ կարգի հորիզոնական տեղաշարժեր, մինչդեռ կառույցը պահպանել է ջրապահպանման գործառույթը [15]: Այս

արդյունքը կարևոր է անվտանգության չափանիշների ձևակերպման համար. «չփլուզվելը» և «առանց էական վնասման գործելը» նույն հասկացությունները չեն:

Հայաստանի պատվարների պատմական փորձը և գնահատման արդի խնդիրները

Հայաստանի պատվարների պատմական տվյալները ցույց են տալիս, որ կառույցների անվտանգության խախտումները միշտ չէ, որ պայմանավորված են երկրաշարժով: Ձորաղբյուրի, Մարմարիկի, Ագարակի և Արթիկի պատվարների հայտնի վթարների պատճառների թվում նշվել են ինտենսիվ կամ անոմալ ֆիլտրացիան, սուֆոզիոն և սոփային երևույթները, շինարարական տեխնոլոգիայի խախտումները, ծակոտկենային ճնշման աճը, հիմքի թույլ ապարները և վերթափումը [16]: Մա կարևոր է սեյսմիկ խոցելիության գնահատման համար, քանի որ երկրաշարժը կարող է ակտիվացնել կամ արագացնել արդեն գոյություն ունեցող թաքնված անբարենպաստ մեխանիզմները:

1988 թ. Սպիտակի երկրաշարժից հետո Հայաստանի պատվարների զննումները ցույց են տվել տարբեր տիպի տեղային վնասումներ: Գետիկի պատվարի մոտ դիտարկվել է սողանքային զանգվածի զգալի տեղաշարժ և խոշոր ճաքավորում, Կառնուտում՝ ջրընդունիչ աշտարակի տեղաշարժ և բետոնե սալիկների ճաքեր, Հալավարում՝ շեպի և իրիգացիոն ջրթողի մոտ ճեղքեր, իսկ Ապարանի և Զոդազի կառույցներում՝ տեղային վնասումներ ջրթող կառույցներում [16]: Այս փորձը ցույց է տալիս, որ սեյսմիկ անվտանգությունը պետք է դիտարկվի պատվարի մարմնի, հիմքի, շեպերի և օժանդակ կառուցվածքների միասնական համակարգի մակարդակով:

Հայաստանի մի շարք պատվարներ նախագծվել են այն ժամանակահատվածում, երբ գործող սեյսմիկ պահանջները և տարածքի վտանգի գնահատականները տարբերվել են ներկայիս պատկերացումներից: Այդ պատճառով նախկին հաշվարկները և դասակարգումները նպատակահարմար է օգտագործել որպես պատմական կամ նախնական գնահատման հիմք: Յուրաքանչյուր կառույցի արդիական գնահատման համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել ճշգրիտ տեղադիրքը, տեղամասային գրունտային պայմանները, ակտիվ խզվածքների դիրքը, պատվարի և հիմքի փաստացի վիճակը, շահագործման ռեժիմը և ներքին բիեֆում հնարավոր հետևանքները:

Հայաստանի արդի սեյսմիկ վտանգի նոր գնահատումները [1] և ջրամբարներին առնչվող տեղական ուսումնասիրությունները [2, 9] լրացուցիչ հիմք են տալիս հին պորտֆելային գնահատականների վերանայման համար: Մասնավորապես, սեյսմիկ վտանգի, սողանքային և այլ երկրորդային գործընթացների համատեղ դիտարկումը թույլ է տալիս առանձնացնել այն պատվարները, որոնց համար միայն ընդհանուր գոտիավորման պարամետրերի կիրառումը բավարար չէ:

Պետական քաղաքականության մակարդակում ևս ամրագրվել է պետական հատուկ նշանակության 24 ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատման անհրաժեշտությունը [18, 19]: Հետևաբար, գիտական խնդիրը ոչ միայն առանձին պատվարների հաշվարկային ստուգումն է, այլև սահմանափակ ռեսուրսների պայմաններում առաջնահերթ հետազոտման, մշտադիտարկման և ուժեղացման ենթակա կառույցների հիմնավորված հերթականության որոշումը:

PGA-ի վրա հիմնված գնահատման սահմանափակումները

PGA-ն շարունակում է մնալ սեյսմիկ ազդեցության կարևոր և գործնական ցուցանիշ, սակայն վերջին հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ այն ինքնաբավ չէ: Հողային պատվարների ոչ գծային արձագանքը զգայուն է շարժման տևողության, հաճախականային կազմի, ուղղահայաց բաղադրիչի, նյութերի ցիկլիկ փափկացման և ծակոտկենային ճնշումների զարգացման նկատմամբ [5-8]: Նույն PGA ունեցող երկու ազդակներ կարող են առաջացնել էապես տարբեր մնացորդային դեֆորմացիաներ:

Ակտիվ խզվածքի մակերևութային տեղաշարժն առանձին վտանգ է, որի ազդեցությունը չի կարող վերականգնվել միայն գրունտային արագացման արժեքից: Erkenek-ի 2023 թ. դեպքը դրա գործնական օրինակն է [13]: Նույն կերպ, հեղուկացումն ու սեյսմիկ խտացումը կախված են ոչ միայն շարժման առավելագույն արագացումից, այլև հողի կառուցվածքից, հագեցվածությունից, ցիկլային լարվածությունների պատմությունից և շարժման տևողությունից: Հետևաբար, պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատումը նպատակահարմար է կազմակերպել երկու մակարդակով. 1 - պատվարների համախմբի նախնական գնահատում՝ առավել ռիսկային կառույցների արագ առանձնացման համար և 2 - ընտրված պատվարների մանրամասն ինժեներակրթական, երկրաֆիզիկական ուսումնասիրություն: Նախնական գնահատման արդյունքը պետք է դիտարկվի որպես կառավարման որոշման աջակցող գործիք, ոչ թե որպես վերջնական անվտանգության եզրակացություն:

Պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատման առաջարկվող կառուցվածքը

Հայաստանի պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների համար առաջարկվում է ութ գործոնային կառուցվածք, որը համադրում է վտանգը, խոցելիությունը, շահագործական վիճակը և հետևանքները: Գործոնների ընտրությունը բխում է Հայաստանի և Թուրքիայի փաստագրված փորձից, ICOLD-ի ժամանակակից մոտեցումներից և հողային պատվարների սեյսմիկ վարքի վերաբերյալ վերջին գիտական արդյունքներից [5-8, 11-15, 18, 19]:

Առաջին երկու խմբերը բնութագրում են արտաքին սեյսմիկ վտանգը: Սեյսմիկ վտանգի խմբում PGA-ն պետք է լրացվի սպեկտրային արագացումներով և ուժեղ շարժման տևողությամբ, իսկ ակտիվ խզվածքների խմբում պետք է առանձին գնահատվի մակերևութային խզման և մշտական տեղաշարժի հնարավորությունը: Այս բաժանումը կանխում է այն սխալը, երբ խզվածքային վտանգը «կլանվում» է մեկ PGA արժեքի մեջ:

Երկրատեխնիկական և կառուցվածքային խմբերը բնութագրում են պատվարի փաստացի խոցելիությունը: Դրանք ներառում են հեղուկացման և սեյսմիկ խտացման ներուժը, սողանքային պայմանները, հիմքի վարքը, պատվարի նյութերի ու հանգույցների վիճակը, ճաքերը, նստվածքները և ֆիլտրացիոն անոմալիաները: Հատկապես գործող հին պատվարների համար նախագծային փաստաթղթերը պետք է համադրվեն իրական գնման և գործիքային տվյալների հետ:

Պատվարների սեյսմիկ ռիսկի նախնական գնահատման առաջարկվող գործոնները

N	Գործոնների խումբ	Գնահատվող ցուցանիշներ	Նպատակ
1	Սեյսմիկ վտանգ	PGA, սպեկտրային արագացումներ, ուժեղ շարժման տևողություն	Տեղամասային սեյսմիկ ներգործության բնութագրում
2	Ակտիվ խզվածքներ	հեռավորություն, մակերևութային խզման/տեղաշարժի հնարավորություն	Խզվածքային մշտական տեղաշարժի վտանգի գնահատում
3	Երկրտեխնիկական պայմաններ	հեղուկացում, խտացում, սողանքներ, հիմքի պայմաններ	Հիմքի և պատվարի մարմնի դեֆորմացիաների գնահատում
4	Կառուցվածքային վիճակ	պատվարի տեսակ և տարիքը, ճաքեր, նստվածքներ, ֆիլտրացիա	Փաստացի խոցելիության գնահատում
5	Շահագործում	ջրամբարի լցվածություն, ջրթողերի և փականների աշխատունակություն	Արտակարգ կառավարման հնարավորության գնահատում
6	Մշտադիտարկում	արագաչափեր, GNSS/GPS, պիեզոչափեր, թեքաչափեր, ֆիլտրացիոն չափումներ	Վաղ հայտնաբերում և հետերկրաշարժային արագ գնահատում
7	Հետևանքներ	ջրի ծավալ, ներքին բիեֆի բնակչություն և ենթակառուցվածքներ	Վթարի հետևանքների և ռիսկի դասակարգում
8	Կառավարում	զննման պարբերականություն, արտակարգ գործողությունների պլան, վերականգնման պատրաստվածություն	Ռիսկի նվազեցման միջոցառումների առաջնահերթացում

Շահագործման և մշտադիտարկման խմբերը գնահատում են ոչ միայն կառույցի դիմադրությունը, այլև վտանգավոր իրադարձությանը արձագանքելու կարողությունը: 2023 թ. Թուրքիայի փորձը ցույց տվեց, որ ջրի մակարդակի վերահսկելի նվազեցումը կարող է դառնալ արտակարգ անվտանգության կարևոր միջոց [11-13]: Այդպիսի գործողությունը հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ ջրթող համակարգերն աշխատունակ են և գործողությունների պլանը նախապես մշակված ու փորձարկված է:

Հետևանքների և կառավարման խմբերը նախնական գնահատումը կապում են ռիսկի կառավարման հետ (աղ. 2): Նույն կառուցվածքային խոցելիությամբ երկու պատվարների առաջնահերթությունը կարող է տարբեր լինել՝ կախված ներքին բիեֆի բնակչության թվից, կարևոր ենթակառուցվածքներից, ջրի պաշարի ծավալից և արտակարգ տարահանման հնարավորությունից: Հետևաբար վերջնական առաջնահերթացումը պետք է հիմնված լինի ոչ միայն «վտանգ × խոցելիություն» տրամաբանության, այլև վթարի հետևանքների վրա:

Գործիքային մշտադիտարկման և հետերկրաշարժային կառավարման դերը

Ժամանակակից պատվարային անվտանգության համակարգը նպատակահարմար է կառուցել պարբերական ակնադիտական զննման և գործիքային մշտադիտարկման համադրմամբ: Պատվարի տեսակից, չափերից և պատասխանատվության մակարդակից կախված կարող են կիրառվել ուժեղ շարժումների արագաչափեր, GNSS/GPS դիտարկումներ, պիեզոչափեր, թեքաչափեր, նստվածքաչափական համակարգեր, ֆիլտրացիոն հոսքի չափումներ և հեռահար զոնդավորման մեթոդներ: Գործիքային գրանցումները թույլ են տալիս տարբերակել նախապես

գոյություն ունեցող դեֆորմացիաները սեյսմիկ իրադարձության հետևանքով առաջացած փոփոխություններից և ստուգել հաշվարկային մոդելները [14]:

Մշտադիտարկումը նպատակահարմար է կազմակերպել երեք հաջորդական մակարդակով՝ բազային երկրաբաժամկետ դիտարկում, սեյսմիկ իրադարձության գործիքային գրանցում և հետերկրաշարժային արագ գնահատում: ICOLD-ի հետերկրաշարժային զննման մոտեցումների տրամաբանությամբ [19] նախապես պետք է սահմանվեն զննման պատասխանատուները, չափումների նվազագույն կազմը, շեմային արժեքների գերազանցման դեպքում գործողությունները և անհրաժեշտության դեպքում ջրի մակարդակի կառավարման ընթացակարգերը:

Հայաստանի համար գործիքային մշտադիտարկման առաջնահերթ տեղակայումը նպատակահարմար է սկսել այն պատվարներից, որոնք միաժամանակ ունեն բարձր տեղամասային սեյսմիկ վտանգ, ակտիվ խզվածքների կամ սողանքային գոտիների մոտիկություն, զգալի ներքին բիեֆի հետևանքներ և նախկինում արձանագրված կառուցվածքային կամ ֆիլտրացիոն խնդիրներ: Այս մոտեցումը հնարավորություն կտա սահմանափակ ներդրումներն ուղղել առավել բարձր ռիսկ ունեցող օբյեկտներին:

Եզրակացություն

1. Հայաստանի և Թուրքիայի փորձը հաստատում է, որ ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ անվտանգությունը պետք է գնահատվի ոչ միայն ամբողջական փլուզման հավանականությամբ, այլև մնացորդային դեֆորմացիաների, ֆիլտրացիոն վիճակի, ջրթող կառույցների աշխատունակության և հետերկրաշարժային կառավարման հնարավորության տեսանկյունից:

2. 2023 թ. Քահրամանմարաշի երկրաշարժերը ցույց տվեցին, որ շատ ուժեղ տեղամասային ազդեցությունների պայմաններում պատվարների մեծ մասը կարող է պահպանել ջրապահպանման ունակությունը, սակայն հողային և քարալիցքային կառույցներում հնարավոր են զգալի մնացորդային նստվածքներ, հորիզոնական տեղաշարժեր և երկրատեխնիկական վնասումներ:

3. Erkenek պատվարի օրինակը հաստատում է ակտիվ խզվածքի մակերևութային տեղաշարժի առանձնահատուկ վտանգը: Ակտիվ խզվածքի հատման կամ անմիջական մոտակայքի գործոնը պետք է գնահատվի անկախ PGA-ից:

4. PGA-ն անհրաժեշտ, բայց ոչ բավարար սեյսմիկ ցուցանիշ է: Մանրամասն գնահատման մեջ անհրաժեշտ է ներառել սպեկտրային պահանջները, ուժեղ շարժման տևողությունը, ուղղահայաց բաղադրիչը, հեղուկացումը, սեյսմիկ խտացումը, սողանքային գործընթացները և նյութերի ոչ գծային վարքը:

5. Հայաստանի պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների նախկին դասակարգումները նպատակահարմար է օգտագործել որպես նախնական գնահատման և պատմական հիմք: Վերջնական անվտանգության գնահատումը պետք է իրականացվի գործող ազգային նորմատիվային հիմքի, տեղամասային ուսումնասիրությունների և պատվարներին հատուկ միջազգային մեթոդաբանության համադրմամբ:

6. Առաջարկված 8 գործոնային կառուցվածքը կարող է օգտագործվել 24 պետական հատուկ նշանակության ջրամբարների մանրամասն հետազոտությունների առաջնահերթացման համար: Առաջնահերթ միջոցառումներն են գործիքային մշտադիտարկման արդիականացումը, հետերկրաշարժային արագ զննման ընթացակարգերի մշակումը, արտակարգ գործողությունների պլանների պարբերական փորձարկումը և առավել ռիսկային պատվարների փուլային վերականգնումը կամ ուժեղացումը:

Գրականության ցանկ

- [1] **M. Gevorgyan, A. Karakhanyan, A. Arakelyan, et al.,** Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Armenia Using an Integrated Seismotectonic Framework, *GeoHazards* 7 (2026) 47, <https://doi.org/10.3390/geohazards7020047>.
- [2] **L. Sargsyan, N.E. Toghrumadjian, A.L. Kafka,** Cellular Seismology Analysis of Reservoir-Triggered Seismicity Associated with Armenian Dams, *Bulletin of the Seismological Society of America* 108(5B) (2018) 3126–3140, <https://doi.org/10.1785/0120180014>.
- [3] **A. Gevorgyan, J. Karapetyan,** Comparative Analysis of Seismicity and Tectonics of the Territory of Armenia, in: A. Kostrov, E. Lyskova, I. Mironova, S. Apatenkov, S. Baranov (Eds.), *Problems of Geocosmos—2022*, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Springer, Cham, 2023, pp. 183–194, https://doi.org/10.1007/978-3-031-40728-4_13
- [4] **M. Wieland,** Features of seismic hazard in large dam projects and strong motion monitoring of large dams, *Frontiers of Structural and Civil Engineering* 4(1) (2010) 56–64, <https://doi.org/10.1007/s11709-010-0005-6>.
- [5] **G. Biondi, E. Cascone, D. Aliberti, et al.,** Screening-level analyses for the evaluation of the seismic performance of a zoned earth dam, *Engineering Geology* 280 (2021) 105954, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105954>.
- [6] **L. Masini, S. Rampello, R. Donatelli,** Seismic performance of two classes of earth dams, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 50 (2021) 692–711, <https://doi.org/10.1002/eqe.3352>.
- [7] **L. Masini, S. Rampello,** Influence of Input Assumptions on the Evaluation of the Seismic Performance of Earth Dams, *Journal of Earthquake Engineering* 26(9) (2022) 4471–4495, <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1835747>.
- [8] **E. Cascone, G. Biondi, D. Aliberti, et al.,** Effect of vertical input motion and excess pore pressures on the seismic performance of a zoned dam, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 142 (2021) 106566, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106566>.
- [9] **H. Igityan, E. Elbakyan, H. Hakobyan, et al.,** Methodology of Studies for Construction of Water Reservoir Dams in Countries Prone to Landslide Hazard, *Civil Engineering Journal* 11(1) (2025) 279–289, <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-01-016>.
- [10] **Z. Gülerce, S.T. Shah, A. Menekşe, et al.,** Probabilistic Seismic-Hazard Assessment for East Anatolian Fault Zone Using Planar Fault Source Models, *Bulletin of the Seismological Society of America* 107(5) (2017) 2353–2366, <https://doi.org/10.1785/0120170009>.
- [11] **K.O. Cetin, F. Cuceoglu, B.U. Ayhan, et al.,** Performance of hydraulic structures during 6 February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, earthquake sequence, *Earthquake Spectra* 40(4) (2024) 2231–2267, <https://doi.org/10.1177/87552930241258295>.
- [12] **R.E.S. Moss, K.O. Cetin, B.U. Ayhan,** Performance of Earth Dams and Port Facilities in the 2023 Türkiye Kahramanmaraş Earthquakes, *Japanese Geotechnical Society Special Publication* 10(11) (2024) 300–304, <https://doi.org/10.3208/jgssp.v10.SS-6-07>.

- [13] **R.E.S. Moss, E. Altunel, P. Bassal, et al.**, Geotechnical and geological reconnaissance observations of the 6 February 2023 Türkiye earthquakes, *Earthquake Spectra* (2025), <https://doi.org/10.1177/87552930241281007>.
- [14] **A. Bayraktar, M. Akköse, C.E. Ventura, et al.**, Onsite Seismic Monitoring Behavior of Undamaged Dams During the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (M7.7 and M7.6), *Sensors* 24(21) (2024) 6856, <https://doi.org/10.3390/s24216856>.
- [15] **K.Ö. Çetin, B.U. Ayhan, F. Cüceoğlu, et al.**, Performance of Reyhanlı Dam during February 6, 2023 Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequence, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 194 (2025) 109369, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2025.109369>.
- [16] **С.Ю.Баласанян, С.Н.Назаретян, В.С.Амирбекян**, Сейсмическая защита и ее организация, «Эльдорадо», Гюмри, 2004, 436 с.
- [17] **ICOLD**, Selecting Seismic Parameters for Large Dams – Guidelines, Bulletin 72, International Commission on Large Dams, Paris, 1989.
- [18] **ICOLD**, Selecting Seismic Parameters for Large Dams – Guidelines, Bulletin 148, International Commission on Large Dams, Paris, 2016.
- [19] **ICOLD**, Inspection of Dams Following Earthquake – Guidelines, Bulletin 166, International Commission on Large Dams, Paris, 2016.
- [20] ՀՀ քաղաքաշինության կոմիտեի նախագահի 28.12.2020 թ. N 102-Ն հրաման, ՀՀՀՆ 20.04-2020 «Երկրաշարժադիմացկուն շինարարություն. Նախագծման նորմեր», գործող ինկորպորացված խմբագրություն, <<https://www.arlis.am/hy/acts/208402>> (մուտք՝ 25.08.2026):
- [21] ՀՀ կառավարության 2021–2026 թթ. գործունեության միջոցառումների ծրագիր, «Մեյս-միկ ռիսկի գնահատում և նվազեցում» բաժին, պետական հատուկ նշանակության 24 ջրամբարների պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատման միջոցառում. <<https://www.arlis.am/acts/files/238376/d7ebce8ca5c972c3712b2e4fb5e0b09638af464b8034d7f7355da2c435fb2c5c>> (մուտք՝ 25.08.2026):
- [22] ՀՀ ներքին գործերի նախարարություն, «Նախատեսվում է իրականացնել պետական հատուկ նշանակության 24 ջրամբարի պատվարների սեյսմիկ խոցելիության գնահատում և առաջարկությունների ներկայացում», 27.08.2024. <<https://mia.gov.am/2024/08/27/hexexum/>> (մուտք՝ 25.08.2026):

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОТИН АРМЕНИИ И ТУРЦИИ

Ани Амбарцумовна Геворгян, Ваган Суренович Кобелян, Марианна Погосовна Акопян*

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

** m.hakobyan@nuaca.am*

Выполнен сравнительный анализ сейсмического поведения плотин Армении и Турции с особым учетом документированных последствий землетрясений Кахраманмараш 2023 г. Цель исследования — обосновать направления модернизации оценки сейсмической уязвимости плотин государственных водохранилищ специального назначения Армении. Используются научные публикации, данные пост-сейсмических исследований, исторические сведения и действующие нормативные документы. Показано, что PGA является необходимым, но недостаточным показателем: отдельно должны учитываться поверхностное смещение активных разломов, разжижение и сейсмическое уплотнение грунтов,

фактическое техническое и эксплуатационное состояние, мониторинг и возможные последствия в нижнем бьефе. Предложена восьмифакторная скрининговая структура для определения приоритетов детальных исследований и мероприятий по повышению безопасности.

Ключевые слова: плотина, сейсмическая безопасность, сейсмическая уязвимость, активный разлом, PGA, разжижение, мониторинг, водохранилище

COMPARATIVE SEISMIC SAFETY ASSESSMENT OF DAMS IN ARMENIA AND TURKEY

Ani Gevorgyan, Vahan Kobelyan, Marianna Hakobyan*

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

* m.hakobyan@nuaca.am

The study presents a comparative assessment of the seismic behavior of dams in Armenia and Turkey, with particular emphasis on documented performance during the 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence. The study aims to identify directions for modernizing seismic vulnerability assessment of Armenia's state-owned special-purpose reservoir dams. Scientific publications, post-earthquake reconnaissance data, historical records, and current regulatory documents were synthesized. The results show that PGA is necessary but insufficient as a stand-alone indicator. Surface fault displacement, liquefaction and seismic densification, actual structural and operational condition, monitoring capacity, and potential downstream consequences should be evaluated separately. An eight-factor screening framework is proposed to support prioritization of detailed investigations and safety-upgrading measures. The framework is intended for portfolio-level screening and does not replace site-specific geotechnical and nonlinear dynamic assessment of individual dams.

Keywords: dam, seismic safety, seismic vulnerability, active fault, PGA, liquefaction, monitoring, reservoir

Գևորգյան Անի Համբարձումի, երկ.գ.թ. (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, Ջրային համակարգերի, հիդրոտեխնիկայի և հիդրոէներգետիկայի ամբիոն, դասախոս, (+374)93533523, anigevorgyan19901@gmail.com, **Կոբելյան Վահան Սուրիկի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, Ջրային համակարգերի, հիդրոտեխնիկայի և հիդրոէներգետիկայի ամբիոն, (+374)95585535, vahankobelyan@nuaca.am, **Հակոբյան Մարիաննա Պողոսի, տ.գ.թ., դոցենտ** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, Ջրային համակարգերի, հիդրոտեխնիկայի և հիդրոէներգետիկայի ամբիոն, (+374)98772203, m.hakobyan@nuaca.am

Геворгян Ани Амбарцумовна, канд. геол. наук (РА, г. Ереван) – НУАСА, кафедра Водных систем, гидротехники и гидроэнергетики, преподаватель, (+374) 93533523, anigevorgyan19901@gmail.com, **Кобелян Ваган Суренович, канд. техн. наук** (РА, г. Ереван) – НУАСА, руководитель кафедры Водных систем, гидротехники и гидроэнергетики, (+374)95585535, vahankobelyan@nuaca.am, **Акопян Марианна Погосовна, канд. техн. наук, доцент** (РА, г. Ереван) – НУАСА, кафедра Водных систем, гидротехники и гидроэнергетики, (+374)98772203, m.hakobyan@nuaca.am

Gevorgyan Ani, doctor of Philosophy (Ph.D) in geology (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of Water Systems, Hydraulic Engineering and Hydropower, (+374)93533523, anigevorgyan19901@gmail.com, **Kobelyan Vahan, doctor of Philosophy (Ph.D) in engineering** (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of Water Systems, Hydraulic Engineering and Hydropower, (+374)95585535, vahankobelyan@nuaca.am, **Hakobyan Marianna, doctor of Philosophy (Ph.D) in engineering, Associate Professor** (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of Water Systems, Hydraulic Engineering and Hydropower, (+374)98772203, m.hakobyan@nuaca.am

Ներկայացվել է՝ 10.09.2026թ.

Գրախոսվել է՝ 24.09.2026թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 30.09.2026թ.