

ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցորդ **Զոն Կոստիկի Կարապետյանի «Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար արդիական սեյսմաբանության ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծումներ»** գիտական զեկույցի վերաբերյալ, որը ներկայացվել է ԻԴ.01.08 – «Երկրաֆիզիկա, օգտակար հանածոների որոնման մեթոդներ» մասնագիտությամբ:

Հայաստանի Հանրապետության տարածքը գտնվում է Ալպ-Հիմալայան գոտու կենտրոնում՝ Արաբական և Եվրասիական սալերի մայրցամաքային բախման տիրույթում, ինչը սեյսմիկ վտանգի հավաստի գնահատումը վերաժում է հիմնարար գիտական խնդրի՝ պահանջելով տարածաշրջանի սեյսմիկության, խորքային կառուցվածքի, ժամանակակից երկրադինամիկայի և ինժեներաերկրաբանական միջավայրի միասնական, համակարգային ուսումնասիրություն: Ներկայացված գիտական զեկույցի սկզբունքային արժանիքն այն է, որ հեղինակը միասնական գործիքամեթոդական հենքի վրա լուծում է այս խնդրի ուղիղ և հակադարձ բաղադրիչների փոխկապակցված համախումբը՝ ապահովելով որակական անցում դրվագային դիտարկումներից դեպի համակարգային սեյսմաերկրադինամիկական մշտադիտարկում: Ձևակերպված նոր գիտական դրույթների համախումբը որակվում է որպես Երկրի ֆիզիկայի, երկրաշարժագիտության և երկրադինամիկայի բնագավառներում խոշոր գիտական խնդրի լուծում՝ հիմնարար և ընդգծված կիրառական նշանակությամբ:

Առաջին գլուխը նվիրված է սեյսմաբանական հետազոտությունների գործիքամեթոդական ապահովման և առաջնային տվյալների մշակման հիմնախնդրին: Հեղինակի կենտրոնական ձեռքբերումը Հայաստանի Հանրապետության տարածքում սկզբունքորեն նոր, տարածաշրջանում եզակի սեյսմաերկրադինամիկական դիտարկումների ցանցի ստեղծումն է, որը մեկ գործիքային ձևաչափում միավորում է միջազգային չափագիտական դասի տասը կայան՝ լայնատիրույթ սեյսմաչափեր (սեփական տատանման պարբերությունը՝ 120 վրկ), գրունտների ուժեղ շարժումների արքելերոմետրեր և առաջին դասի GNSS ընդունիչներ: Դրական գնահատականի է արժանի կայանների տեղակայման գիտական հիմնավորումը՝ միջազգային չափագիտական ստանդարտներին (PQLX; McNamara & Buland, 2004) համապատասխան իրականացված ֆոնային սեյսմիկ դաշտի քանակական սպեկտրալ-ժամանակային վերլուծության հիման վրա, ինչը թույլ է տվել կայանները տեղակայել աղմուկների նվազագույն ազդեցության գոտիներում: Արդյունքում ներկայացուցչական մագնիտուդի շեմը հասցվել է մինչև $M_c \approx 1.5$, ինչը զգալիորեն բարձրացնում է հետագա սեյսմաբանական վերլուծությունների հավաստիությունը: Կարևոր է, որ տարածքում առաջին անգամ ներդրվել է տվյալների իրական ժամանակում ստացման արբանյակային կապուղին՝ հինգերորդ սերնդի

շարժական կապով (5G) կրկնօրինակմամբ, ինչը ձևավորում է հեռահաղորդակցության երկմակարդակ կայուն համակարգ: Առանձնահատուկ արժեք ունի տվյալների մշակման մեթոդական մասը. կատալոգների դեկլաստերավորման տարբեր ալգորիթմների (Gardner & Knopoff, 1974; Grünthal, 1985; Reasenber, 1985; Zaliapin & Ben-Zion, 2013) համեմատական վերլուծությամբ ցույց է տրվել դրանց արդյունքների վիճակագրական գույամիտությունը, իսկ դեկլաստերավորման որակի գնահատման համար առաջին անգամ կիրառվել են Վորոնոյի դիագրամները: Այս հիմքի վրա կազմվել է Տավրոս-Կովկասյան տարածաշրջանի միասնական դեկլաստերավորված սեյսմաբանական շտեմարանը՝ հասանելի միջազգային գիտական հանրությանը: Գիտակիրառական տեսանկյունից էական է նաև առաջին գլխում մշակված՝ տեկտոնական և հրաբխատեկտոնական երկրաշարժերի տարբերակման մեթոդաբանությունը (Էգեյան հրաբխային աղեղի օրինակով), որն անմիջականորեն կիրառելի է Հայաստանի Հանրապետության հյուսիսի և հարակից Ջավախքի սեյսմակտիվ լեռնաշխարհի համար, ուր կենտրոնացած է Կովկասի սեյսմիկության ավելի քան 30 %-ը:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է մեքենայական ուսուցման մեթոդների կիրառմամբ Տավրոս-Կովկասյան տարածաշրջանի սեյսմիկության տարածաժամանակային կառուցվածքի ուսումնասիրությանը: Կլաստերավորման K-means և DBSCAN ալգորիթմների համակարգային կիրառմամբ առանձնացվել են տարածաշրջանի սեյսմածին կառուցվածքները և սահմանվել գիտականորեն հիմնավորված կապեր սեյսմիկության ու երկրաբանատեկտոնական կառուցվածքների միջև, իսկ սեյսմավտանգ գոտիների ճանաչման դասական մոտեցման (EPA՝ Գելֆանդ, Կելիս-Բորոկ և այլք) զարգացմամբ մշակվել են ճանաչման նոր մեթոդաբանություններ՝ մեկ դասի ուսուցման սխեման (one-class classification) և FCAZ մեթոդը՝ իրական ժամանակում արդյունքների ճշգրտմամբ: Գլխի կարևորագույն արդյունքներից է 2023 թ. փետրվարի 6-ի արևելաթուրքական երկրաշարժերի ($M_w = 7.8$ և $M_w = 7.5$) դուրբետ բնույթի հիմնավորումը՝ չորս ենթաօջախից կազմված, բազմաակտ, ոչ գծային խզումնագոյացման գործընթացով, ցույց է տրվել, որ առաջին իրադարձությունը հանդիսացել է հարուցման մեխանիզմ 2023 թ. փետրվարի 20-ի երկրաշարժի ($M_w = 6.3$) համար: Random Forest ալգորիթմի կիրառմամբ վիճակագրորեն հիմնավորվել է, որ դուրբետ ռեժիմն արտահայտվում է սեյսմիկության բոլոր էներգետիկ մակարդակներում՝ ոչ միայն ուժեղ, այլև համեմատաբար թույլ իրադարձությունների դեպքում, որոնց հաջորդականությունը դրսևորվում է 15 րոպեից մինչև մեկ ժամ միջակայքում՝ մինչև 20 կմ խորությունների միգրացիոն գործընթացով: Այս արդյունքը էապես ընդլայնում է դուրբետ երկրաշարժերի՝ որպես բացառապես ուժեղ իրադարձություններին բնորոշ հազվադեպ երևույթի դասական պատկերացումը: Սկզբունքային նշանակություն ունի օջախային գոտիներում յարումների ռեյաքսացիայի նոր մեխանիզմի բացահայտումը, հաստատվել է, որ երկրորդ իրադարձությունից հետո առաջին

օջախի շրջանում հետցնցումների թիվը կրճատվում է շուրջ վեց անգամ: Առանձնահատուկ ուշադրության է արժանի հետցնցումային դաշտերի երկրաչափության տարբերությունը՝ 2023 թ. փետրվարի 20-ի եզակի իրադարձության օդակաձև (շրջանաձև) կառուցվածքը՝ ի հակադրություն փետրվարի 6-ի դուբլետի գծային, մագլիստրալային պատկերի, ինչը վկայում է կոլիզիոն պայմաններում դուբլետ և եզակի երկրաշարժերի խզվածքաձևավորման ֆիզիկական մեխանիզմների տարբերության մասին: Այս օրինաչափությունները երկրաբանական տեսանկյունից կարևոր փաստական նյութ են ակտիվ բեկվածքների երկրաչափության և կինեմատիկայի ճշգրտման համար:

Երրորդ գլուխը նվիրված է Արաբական և Եվրասիական սալերի բախման գոտու խորքային կառուցվածքին, ժամանակակից երկրադինամիկային և երկրաշարժերի օջախների մեխանիզմներին: Երկչափ (2D) մակերևույթա-ալիքային տոմոգրաֆիայի մեթոդով՝ Ռեյեյի և Լյավի ալիքների դիսպերսիոն կորերի ինվերսիայով (5–80 վրկ պարբերությունների տիրույթում, մինչև ≈ 200 կմ խորություն, 1999–2018 թթ. 1500-ից ավելի $M \geq 3.5$ իրադարձությունների գրանցումների հիման վրա) վերականգնվել է արագությունների դաշտի եռաստիճան կառուցվածքը (≈ 30 , 100–110 և 180–200 կմ խորությունների համար): Առանձնացվել են վերին երկրակեղևի 15 տաք գոտիներ, 100–110 կմ խորություններում ցածր արագությունների դաշտը մեկնաբանվել է որպես մանթայի նյութի ենթակեղևային ներդրման (underplating) գոտիներ՝ լիթոսֆերա–ասթենոսֆերա սահմանի համեմատաբար ոչ խոր տեղադրմամբ, իսկ 180–200 կմ խորությունների ցածր արագությունների անոմալիաները՝ որպես լիթոսֆերայի շատ փոքր հզորության կամ դրա տեղային բացակայության վկայություն: Բացահայտվել է Արագած հրաբխի հյուսիս-արևմտյան լանջի տակ՝ 7–27 կմ խորություններում ուղղահայաց ձգված ցածր արագությունների գոտի, մինչդեռ Հյուսիս–Հայկական բլուրը բնութագրվում է բարձր արագություններով, ինչը վկայում է դրա տակ կոշտ լիթոսֆերային կառուցվածքի առկայության մասին: Ժամանակակից երկրադինամիկայի համատեքստում շարունակական GNSS դիտարկումների տվյալներով բացահայտվել են 2023 թ. փետրվարի 6-ի Թուրքիայի երկրաշարժերի առաջացրած զգալի կոսեյսմիկ փոփոխությունները Կովկասյան տարածաշրջանի երկրակեղևի կինեմատիկական ռեժիմում: 2002–2022 թթ. $M \geq 3.5$ տիրույթում հաշվարկված 371 երկրաշարժի օջախների մեխանիզմների հիման վրա իրականացվել է սեյսմիկության և տեկտոնական կառուցվածքի համեմատական վերլուծություն, որը բացահայտել է տեկտոնական շարժումների կինեմատիկական բազմազանությունը՝ տարածականորեն համահունչ տարածաշրջանի հիերարխիկ ակտիվ բեկվածքային համակարգերին: Երկրաբանական տեսանկյունից կառուցված խորքային մոդելները ինքնուրույն արժեք ունեցող փաստական նյութ են տարածաշրջանային տեկտոնական և սեյսմատեկտոնական վերակառուցումների համար:

Չորրորդ գլուխը. որ, իմ կարծիքով, աշխատանքի ինժեներաերկրաբանական առանցքն է, նվիրված է լոկալ ինժեներաերկրաբանական պայմանների և սեյսմիկ ազդեցության քանակական պարամետրերի կապին: Շուրջ 250 բնապայմանային գործիքային չափումների հիման վրա առաջին անգամ Հայաստանի Հանրապետության հրաբխային շրջանների համար բացահայտվել է տեղագրական գրադիենտի և Vs30 պարամետրի միջև հակադարձ կոռելյացիոն կապ՝ հիմնարար օրինաչափություն, որը հակասում է ոչ հրաբխային շրջանների դասական կախվածությանը (Wald & Allen, 2007): Այս արդյունքն անկախ կերպով հաստատվել է Հայնան կղզու (Չինաստան) հրաբխային տարածքներում կատարված չափումներով, ինչը թույլ է տալիս այն դիտարկել ոչ թե որպես տեղային առանձնահատկություն, այլ որպես հրաբխային տարածքների ընդհանուր ինժեներաերկրաբանական օրինաչափություն, որի ֆիզիկական հիմքը միջավայրի լիթոլոգիական բնույթն է: Բացահայտված օրինաչափության վրա հենվելով՝ ժամանակակից երկրալիճակագրական կոկրիգինգի (Slope-based CoKriging, SCK) մեթոդով, հրաբխային և ոչ հրաբխային տիրույթների առանձին մոդելավորմամբ, առաջին անգամ կառուցվել է Հայաստանի Հանրապետության Vs30-ի ռեզիոնալ քարտեզը (արժեքների 450–900 մ/վրկ միջակայքով): Ստացված արդյունքները համոզիչ կերպով ցույց են տալիս գլոբալ մոդելների (մասնավորապես՝ USGS ShakeMap) և ստանդարտ դասակարգումների (NEHRP, Eurocode 8) ուղղակի կիրառման անթույլատրելիությունը Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար: Գլխի երկրորդ մասում, սեյսմաերկրադինամիկական ցանցի ալիքային պատկերների վերլուծությամբ, քանակապես բնութագրվել է գոգավորությունների էֆեկտը, ցույց է տրվել, որ արմատական և ոչ արմատական ապարների զրանցումներում ի հայտ են գալիս աստիճանաձև մարմամբ ալիքային փնջեր, ինչը վկայում է ելակետային սեյսմիկ ազդանշանի ֆիզիկամեխանիկական բնույթի վերափոխման մասին և բացատրում Շիրակի գոգավորության դերը 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Գյումրիում (նախկին Լենինական) ավերածությունների անհավասարաչափ բաշխման մեջ: Վերջապես, մշակվել է նորմատիվային հակազդեցության սպեկտրներին և Հայաստանի Հանրապետության ինժեներաերկրաբանական պայմաններին համապատասխանեցված սինթետիկ աքսելերոգրամների կառուցման մեթոդաբանություն ու համապատասխան ծրագրային ապահովում, ինչպես նաև իրականացվել է գրունտների առավելագույն արագացման (PGA) և կոմուլյատիվ բացարձակ արագության (CAV) պարամետրերով դինամիկության $\beta(T, n)$ կորերի համեմատական վերլուծություն՝ դրանց սկզբունքային տարբերությունների բացահայտմամբ:

Աշխատանքի արդյունքներն անցել են փորձաքննություն միջազգային գիտաշափական շտեմարաններում ինդեքսավորվող առաջատար մասնագիտական ամսագրերում և

գեկուցվել են ներկայացուցչական գիտական համաժողովներում, ինչը թույլ է տալիս դրանք դիտարկել որպես հուսալի փաստական հիմք գործնական կիրառությունների համար: Չնվազեցնելով աշխատանքի բարձր գնահատականը՝ ունեմ հետևյալ երեք դիտողությունն ու հարցադրումը.

1. Որքանո՞վ է տեղագրական գրադիենտի և Vs30-ի հակադարձ կապը պահպանվում հրաբխածին ապարների տարբեր պետրոգրաֆիական տիպերի (բազալտ, անդեզիտ, տուֆ, խարամ) դեպքում, և որո՞նք են այն այլ հրաբխային տարածաշրջանների վրա տարածելու երկրաբանական սահմանները:

2. Vs30-ը բնութագրում է գրունտի լայնական ալիքների միջին արագությունը, սակայն գրունտներն ունեն նաև այլ հատկություններ, որոնք կարող են էական ազդեցություն ունենալ սեյսմիկ արձագանքի վրա: Ինչպե՞ս է նախատեսվում Vs30-ով դասակարգումը լրացնել այդ հատկությունների հաշվառմամբ՝ հատկապես սեյսմիկ միկրոշրջանացման ընթացքում:

3. Աշխատանքում գրունտներ տատանումների ինտեգրալ պարամետրերից օգտագործվում է կոմուլյատիվ բացարձակ արագությունը (CAV): Ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն անդրադառնալ այս պարամետրի առավել լայն կիրառելիությանը:

Ներկայացված դիտողություններն ու հարցադրումները հիմնականում վերաբերում են առանձին դրույթների լրացուցիչ պարզաբանման ու հետագա զարգացման հնարավոր ուղղություններին ու որևէ կերպ չեն նվազեցնում հետազոտության ընդհանուր գիտական արժեքն ու ստացված արդյունքների կարևորությունը:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Ջոն Կոստիկի Կարապետյանի «Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար արդիական սեյսմաբանության ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծումներ» գիտական զեկույցը ավարտուն, ինքնուրույն և բարձր գիտամեթոդական մակարդակով կատարված գիտահետազոտական աշխատանք է, որում լուծված է Երկրի ֆիզիկայի, երկրաշարժագիտության և երկրադինամիկայի բնագավառներում խոշոր գիտական խնդիր՝ ինչպես հիմնարար, այնպես էլ ընդգծված կիրառական նշանակությամբ:

Աշխատանքում առաջին անգամ Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար միասնական գործիքամեթոդական հենքի վրա ապահովվել է անցումը դրվագային դիտարկումներից համակարգային սեյսմաերկրադինամիկական մշտադիտարկման: Առանձնահատուկ գիտագործնական արժեք ունեն տարածաշրջանում եզակի սեյսմաերկրադինամիկական ցանցի ստեղծումը, մեքենայական ուսուցման մեթոդներով սեյսմիկության և դուրբետ երկրաշարժերի վերլուծությունը, մակերևույթա-ալիքային տոմոգրաֆիայով խորքային կառուցվածքի վերականգնումը, ինչպես նաև Հայաստանի

Հանրապետության VՏ30-ի առաջին ռեզիոնալ քարտեզի կառուցումը, հրաբխային տարածքների համար տեղագրական գրադիենտի և VՏ30-ի միջև նոր օրինաչափության բացահայտումը, գոգավորության էֆեկտների քանակական բնութագրումը և սինթետիկ արքսերոգրամների գեներացման մեթոդաբանությունը, որոնք անմիջականորեն կիրառելի են սեյսմիկ միկրոշրջանացման, սեյսմիկ վտանգի հավանականային գնահատման (PSHA) և սեյսմակայուն շինարարության նորմատիվային բազայի վերանայման համար:

Վերոգրյալի հիման վրա գտնում եմ, որ Ջոն Կոստիկի Կարապետյանի «Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար արդիական սեյսմաբանության ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծումներ» գիտական զեկույցը լիովին համապատասխանում է հրապարակված գիտական աշխատանքների համախմբով, գիտական զեկույցի ձևով պաշտպանվող դոկտորական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ դրա հեղինակը՝ Ջոն Կոստիկի Կարապետյանը, արժանի է ԻԴ.01.08 – «Երկրաֆիզիկա, օգտակար հանածոների որոնման մեթոդներ» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

Երկրաբանական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր

_____ Երևանի Պետական Համալսարան _____

_____ Ս. Հ. Հայրոյան
(ստորագրություն)

« 01 » _____ հուլիս _____ 2026 թ.

Սարգիս Հրաչիկի Հայրոյանի ստորագրության իսկությունը
հաստատում եմ.

_____ Մերի Հովհաննիսյան _____

_____ (կազմակերպության գլխ. քարտուղար) (ստորագրություն և կնիք)

