

ԵՐԿՐԱՏԵՂԵԿԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆ

**ԲԱՐՁՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԹՎԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ (ALOS, ASTER և
SRTM) ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ
ՀՀ ՏԱՐԱԾՔԻ ՀԱՄԱՐ**

DOI:10.54503/0515-961X-2023.76.2-3-149

Ուլոյան Հ.

*ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ
0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պող., 24Ա,
Հայաստանի Հանրապետություն
e-mail: harut_ulyan@yahoo.com
Հանձնված է խմբագրություն 21.08.23*

Բարձրությունների թվային մոդելը (ԲԹՄ), պարունակելով մակերևույթի անընդհատ տվյալներ, թույլ է տալիս ստանալ ռելիեֆի հիմնական ձևաչափական բնութագրիչները: ԲԹՄ-ները համարվում են բավականին ճշգրիտ հիմք տալիս բնագավառներում վերլուծություններ կատարելու և խնդիրներ լուծելու համար:

Հոդվածում, ՀՀ տարածքի համար առաջին անգամ, վերլուծվում և գնահատվում է գլոբալ ծածկույթ ունեցող ALOS World 3D, ASTER GDEM և SRTM ԲԹՄ-ների ուղղահայաց ճշտությունը: Որպես չափանիշ օգտագործվել են GNSS ընդունիչից ստացված և 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված տվյալները: Վերլուծությունն իրականացվել է շեղումներ արտահայտող վիճակագրական պարամետրերի հաշվարկմամբ և վիզուալ եղանակով: Հաշվի են առնվել նաև ՀՀ ռելիեֆի, բուսականության և կառուցապատման առանձնահատկությունները:

Ընդհանրական տվյալների վերլուծության արդյունքներով՝ ՀՀ տարածքի համար որպես առավել ճշգրիտ ԲԹՄ հանդես է գալիս ALOS-ը ($RMSE_{GNSS}=13.67$ մ, $RMSE_{TOPO}=7.4$ մ), որին հաջորդում է SRTM-ը (14.1 մ, 9.5մ), ապա՝ ASTER-ը (16.27 մ, 11.7մ), սակայն անտառապատ և կառուցապատ տարածքներում SRTM-ը (11.5մ) ճշտությամբ գերազանցում է ALOS-ին (12.1մ), ինչը հաստատվում է նաև տեղանքների պրոֆիլների վիզուալ համեմատությամբ:

Սևանա լճի ներկայիս ափը եզրավորող 1900մ հորիզոնականի վիզուալ համեմատության արդյունքներով՝ բնական ափագծին առավել մոտ հորիզոնականներն արտահայտում են SRTM-ը և ASTER-ը:

Հանգուցային բառեր. Բարձրությունների թվային մոդել, ԲԹՄ, երկրաձևաչափություն, ռելիեֆ, ՄՏՀ, տեղագրություն:

Ներածություն

Բարձրությունների թվային մոդելը⁸ ԲԹՄ-ն («digital elevation model», DEM), Երկրի ռելիեֆի թվային արտահայտումն է եռաչափ (x, y, z) տվյալների տեսքով: ԲԹՄ-ներն առանձնացվում են երկու խմբի՝ (1) տեղանքի թվային մոդելներ («digital terrain model», DTM), որոնցում արտահայտված է միայն Երկրի մերկ մակերևույթն՝ առանց բուսականության, շինությունների ու այլ օբյեկտների, և (2) մակերևույթի թվային մոդելներ («digital surface model», DSM), որոնք արտահայտում են Երկրի մակերևույթը՝ բնական և մարդածին օբյեկտների հետ մեկտեղ (Рязанов, Кулагина, 2022; Abdel Aziz, Rashwan, 2022):

ԲԹՄ-ն, պարունակելով մակերևույթի անընդհատ տվյալներ, թույլ է տալիս ստանալ ռելիեֆի հիմնական ձևաչափական (մորֆոմետրիական) բնութագրիչները՝ հարաբերական բարձրություն, լանջերի թեքություն, կողմնադրություն ու կորություն, օբյեկտների խտություն ու հաճախություն և այլն (Kovalchuk et al., 2019): ԲԹՄ-ները կիրառվում են բազմաթիվ բնագավառներում, օրինակ՝ երկրաբանության, երկրաձևաչափության, աշխարհագրության, ջրաբանության, հողերի կառավարման, հնագիտության, ինչպես նաև բուսականության քարտեզագրման, սառցադաշտերի ծավալի և մակերեսի փոփոխության գնահատման, ջրային ավազանների ավիամերձ տարածքների էրոզիայի, նստվածքազոյացման մոնիտորինգի և այլ նպատակներով (Apeh et al., 2019):

ԲԹՄ-ների հիմնական հատկանիշներն են համարվում լուծաչափն ու ճշտությունը: ԲԹՄ-ների տեսակն ու ճշտությունն ազդում են ձևաչափական վերլուծությունների արդյունքների վրա, նույնիսկ դրանց նույն լուծաչափի պարագայում (Tesema, 2021):

Չնայած, որ բարձր լուծաչափի ԲԹՄ-ները համարվում են բավականին ճշգրիտ հիմք տարբեր բնագավառներում վերլուծություններ կատարելու և խնդիրներ լուծելու համար (Apeh et al., 2019; Рязанов, Кулагина, 2022), այնուամենայնիվ դրանք զերծ չեն շեղումներից (անճշտություն, սխալ), որոնք առաջանում են մի շարք պատճառներով. ֆիզիկական՝ սարքի սխալ աշխատանք, տվիչների սահմանափակ կարողություն, բնական՝ եղանակային վատ պայմաններ, տեղանքի ռելիեֆի, կառուցապատման ու բուսականության առանձնահատկություններ, ինչպես նաև մեթոդոլոգիական՝ կապված տեղեկատվության հավաքագրման և դրա մշակման հետ (Ашаткин и др., 2020; Bakiev, Khasanov, 2021; Apeh et al., 2019; Sharma et al., 2021):

⁸ Հայերեն գրականությունում հիմնականում օգտագործվում է ռուսերենից փոխառնված «ռելիեֆի թվային մոդել»՝ «ԲԹՄ» («цифровая модель рельефа», ЦМР) ձևակերպումը, ինչը ոչ միայն բառացի թարգմանության, այլև իմաստաբանական առումներով համարժեք չէ միջազգայնորեն ընդունված («digital elevation model», DEM) տերմինին:

1996 թվականին ԱՄՆ-ում առաջին գլոբալ ծածկույթ ունեցող ԲԹՄ-ի (GTOPO30) թողարկումից հետո, որի լուծաչափը մոտ 1կմ էր (30 անկյունային վայրկյան), մինչ օրս թողարկվող ԲԹՄ-ների որակը գնալով ավելի բարձրացել է (Purinton, Bookhagen, 2017): Ներկայումս հետազոտություններ կատարելիս հիմնականում կիրառվում են անվճար, ազատ հասանելի, մշտապես թարմացվող և մոտ 30մ լուծաչափի (1 անկյունային վայրկյան) ԲԹՄ-ները, որոնք են՝ ALOS World 3D, ASTER GDEM և SRTM (Павлова, Павлов, 2018; Purinton, Bookhagen, 2017; Santillan, Makinano-Santillan, 2016; Bakiev, Khasanov, 2021): Ավելի բարձր ճշտություն ունեցող ԲԹՄ-ները դեռևս գնային բարձր արժեք ունեն, ինչը սահմանափակում է դրանց կիրառումը հետազոտություններում (Kovalchuk et al., 2019):

Չնայած, որ գրեթե բոլոր հետազոտությունների ընդհանրական եզրակացություններով ALOS-ը համարվում է ամենից ճշգրիտ ԲԹՄ-ն (Bakiev, Khasanov, 2021; Apeh et al., 2019; Abdul Hassan, 2018; Kovalchuk et al., 2019, և այլն), այնուամենայնիվ անհերաժեշտ է պարզել դրա փաստացի ճշտությունը կոնկրետ հետազոտվող տարածքներում, քանի որ տարբեր առանձնահատկություններ արտահայտող տարածքներում հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս ճշտության տարբեր ցուցանիշներ (Apeh et al., 2019; Santillan, Makinano-Santillan, 2016; Apeh et al., 2019):

Նկատի ունենալով վերը նշված հանգամանքը, տվյալ հոդվածում, Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար առաջին անգամ, վերլուծվել և գնահատվել է գլոբալ ծածկույթ ունեցող հիմնական ԲԹՄ-ների ուղղահայաց ճշտությունը:

1. Հետազոտության տվյալներ

1.1. Գլոբալ ծածկույթ ունեցող ԲԹՄ-ներ: Ինչպես վերը նշվեց, ներկայումս հետազոտություններ իրականացնելիս գլխավորապես կիրառվում են գլոբալ ծածկույթ ունեցող ALOS World 3D, ASTER GDEM և SRTM ԲԹՄ-ները, որոնց լուծաչափը ՀՀ տարածքում կազմում է մոտ 30,83×23,52մ, ինչը համարժեք է 1:50,000 մասշտաբի քարտեզների (Hengl, Reuter, 2009):

ALOS World 3D (ALOS, Advanced Land Observation Satellite)⁹, թողարկվել է 2015 թվականին: Տվյալները ստացվել են ճապոնական կազմակերպության (JAXA) կողմից հեռակառավարվող զոնդավորման պանխրոմատիկ սարքի միջոցով:

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)¹⁰, թողարկվում է 2000 թվականից և այժմ ընդգրկում է Երկրի մակերևույթի մոտ 80%-ը: Նախնական տվյալները ստացվել են ԱՄՆ-ի, Գերմանիայի և Իտալիայի

⁹ Տվյալները ստացվել են www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm կայքէջից:

¹⁰ Տվյալները ստացվել են <https://dwtkns.com/srtm30m/> կայքէջից:

տիեզերական գործակալությունների համագործակցության արդյունքում:

ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model)¹¹, թողարկվում է 1999 թվականից և այժմ ընդգրկում է Երկրի մակերևույթի մոտ 99 տոկոսը: Տվյալները ստացվել են ճապոնական ջերմաստիճանաչափի միջոցով՝ ամերիկյան ՆԱՍԱ ընկերության հետ համագործակցությամբ (*Ашаткин и др., 2020; Козыб, 2018; Kovalchuk et al., 2019; Abdul Hassan, 2018*):

Երեք ԲԹՄ-ներն էլ կապակցված են «GCS_WGS_1984» աշխարհագրական կոորդինատային համակարգին, իսկ որպես ուղղահայաց կոորդինատային համակարգ ընտրվել է «Baltic 1977 height»-ն:

1.2. Չափանմուշային (էտալոնային) տվյալներ: Համարվում է, որ ԲԹՄ-ների ճշտությունը գնահատելու համար հարկավոր է դրանք համեմատել առնվազն 2 կամ 3 անգամ ավելի ճշգրիտ լուծաչափ կամ մասշտաբ ունեցող չափանմուշային աղբյուրների հետ (Hengl, Reuter, 2009; Olla et al., 2020): ԲԹՄ-ների ուղղահայաց ճշտությունը գնահատելու նպատակով, որպես չափանմուշային տվյալներ, օգտագործվում են GNSS¹² ընդունիչի միջոցով ստացված (Bakiev, Khasanov, 2021; Apeh et al., 2019; Abdul Hassan, 2018; Abdel Aziz., Rashwan, 2022), ինչպես նաև տեղագրական քարտեզներից առանձնացված տվյալները (*Ашаткин и др., 2020; Рязанов, Кулагина, 2022; Kovalchuk et al., 2019*):

1.2.1. Բարձրության նիշերի GNSS տվյալներ: Հետազոտության ընթացքում օգտագործվել են նախկինում տարբեր դաշտային աշխատանքների ընթացքում GNSS ընդունիչի միջոցով ստացված ռելիեֆի բարձրության 112 նիշերի արժեքներ, որոնք տեղաբաշխված են ՀՀ Կոտայքի, Տավուշի և Լոռվա մարզերում:

1.2.2. Տեղագրական քարտեզներ: Քանի որ GNSS ընդունիչի միջոցով ստացված առկա տվյալները տեղաբաշխված չեն ՀՀ ողջ տարածքում և ամբողջովին չեն արտահայտում ռելիեֆի, կառուցապատման ու բուսականության առանձնահատկությունները, նպատակահարմար է գտնվել հետազոտությունում օգտագործել նաև հավելյալ 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված տվյալները:

Նախ, վիզուալ եղանակով, ArcMap ծրագրային համակարգում արբանյակային քարտեզների և 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզների վերադրման արդյունքում առանձնացվել են ՀՀ տարածքում

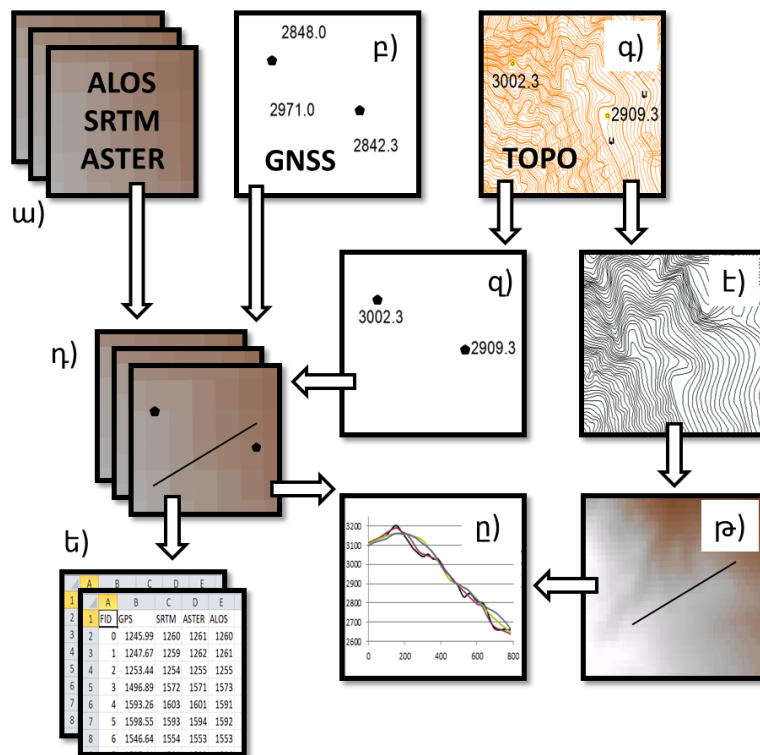
¹¹ Տվյալները ստացվել են https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html կայքէջից:

¹² Global Navigation Satellite System (GNSS), Գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ (ԳՆԱՀ), արբանյակների միջոցով ապահովում է ավտոմատ գեոտեղորոշում: 2023 թվականի դրությամբ գործում են 4 գլոբալ համակարգեր՝ ԱՄՆ-ի գլոբալ տեղորոշման համակարգը (GPS), Ռուսաստանի գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգը (GLONASS), Չինաստանի «BeiDou» նավիգացիոն արբանյակային համակարգը և Եվրամիության «Galileo» համակարգը:

ռելիեֆի, կառուցապատման ու բուսականության առանձնահատկություններն արտահայտող տեղանքներ, որից հետո տվյալ տեղանքներն ընդգրկող տեղագրական քարտեզներից 525-ից 3554մ բարձրությունների միջակայքում առանձնացվել են ՀՀ բոլոր մարզերում տեղաբաշխված բարձրության 1115 նիշեր, ինչպես նաև վերը նշված առանձնահատկություններն արտահայտող 6 տեղանք ընդգրկող և Սևանա լճի ափը եզրավորող 1900 մ հորիզոնականները:

2. Վերլուծության մեթոդներն ու արդյունքները

ԲԹՄ-ների ճշտությունը գնահատելու նպատակով կիրառվում են մի շարք մեթոդներ և իրականացվում որոշ վիճակագրական պարամետրերի վերլուծություններ, այդ թվում՝ շեղումների վիզուալ հայտնաբերում (Kovalchuk et al., 2019; Hengl, Reuter, 2009), ԲԹՄ-ների և չափանմուշային տվյալների վերադրում (Bakiev, Khasanov, 2021; Apeh et al., 2019) և այլն (Ашаткин и др, 2020; Kovalchuk et al., 2019):



Նկ.1. Հետազոտության տվյալներն ու վերլուծական քայլերի հաջորդականությունը. ա) ALOS, SRTM, ASTER ԲԹՄ-ներն են, բ) GNSS ընդունիչից ստացված բարձրության նիշերը, գ) 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզները (TOPO), զ), է) TOPO-ից առանձնացված տեղանքների բարձրության նիշերն ու հորիզոնականները, զ) ԲԹՄ-GNSS և ԲԹՄ-TOPO տվյալների վերադրումները, ե) վերադրումների արդյունքում ստացված բազային աղյուսակները, թ) TOPO-ից առանձնացված հորիզոնականներից

ստացված տեղանքի չափանմուշային մոդելը, ը) տեղանքի չափանմուշային մոդելի և ԲԹՄ-ների ուրվագծերի գրաֆիկական վերադրումը:

2.1. Վիճակագրական պարամետրերի վերլուծություն: Նախ, ArcMap ծրագրային համակարգի «Spatial Join» գործիքի միջոցով GNSS-ից ստացված և 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված բարձրության նիշերի կետավեկտորային տվյալներն առանձին վերադրվել են երեք ԲԹՄ-ների հետ, ինչի արդյունքում ստացվել է չափանմուշային տվյալների աղյուսակային երկու բազա (նկ.1,ա-բ,դ,ե), որոնց պոնտակները պարունակում են բարձրության նույն նիշերում չափանմուշային և երեք ԲԹՄ-ներից ստացված արժեքների շարք (աղ.1, Z_{et} և Z_{DEM}):

Աղյուսակ 1

(Z_{et}) GNSS ընդունիչի միջոցով ստացված 112 բարձրության նիշերի և (Z_{DEM}) երեք ԲԹՄ-ների վերադրմամբ ու (Z_{err}) դրանց տարբերությամբ ստացված տվյալների բազայի կառուցվածքը

Բարձ. նիշեր	Z_{et}	Z_{DEM}			Z_{err} (1)		
	GNSS	SRTM	ASTER	ALOS	SRTM - GNSS	ASTER - GNSS	ALOS - GNSS
1	1246.0	1260	1261	1260	14.0	15.0	14.0
2	1247.7	1259	1262	1261	11.3	14.3	13.3
3	1253.4	1254	1255	1255	0.6	1.6	1.6
4	1496.9	1572	1571	1573	75.1	74.1	76.1
5	1593.3	1603	1601	1591	9.7	7.7	-2.3
...	...	...	...	...	...	...	...
112	504.7	505	515	508	0.3	10.3	3.3

2.1.1. Տվյալների ընդհանրական վերլուծություն: Բարձրության նիշերի արժեքների շեղումները պարզելու համար հարկավոր է հաշվարկել յուրաքանչյուր ԲԹՄ-ից ստացված և չափանմուշային արժեքների տարբերությունը հետևյալ բանաձևի միջոցով՝

$$Z_{err}=Z_{DEM}-Z_{et} \quad (1)$$

, որտեղ « Z_{err} »-ը շեղումներն են, « Z_{DEM} »-ն՝ ԲԹՄ-ից ստացած, իսկ « Z_{et} »՝ չափանմուշային համարվող բարձրության նիշերի արժեքները: « Z_{err} »-ն իրենից ներկայացնում է դրական կամ բացասական, ինչպես նաև «0» արժեքների շարք, որոնցից դրականները նշանակում են, որ բարձրության կոնկրետ նիշերում ԲԹՄ-ի արժեքները գերազանցում են չափանմուշային արժեքներին, իսկ բացասականները՝ հակառակը (Shar-

ma et al., 2021; Santillan, Makinano-Santillan, 2016) (աղ.1, Z_{err}): Երբեմն հանդիպող «0» արժեքը, իր հերթին, նշանակում է, որ շեղում չկա, այսինքն՝ բարձրության տվյալ նիշում ԲԹՄ-ն համարժեք է չափանմուշին:

ԲԹՄ-ների ճշտության գնահատման մեթոդներից են շեղումներ արտահայտող վիճակագրական պարամետրերը, ինչպիսիք են միջին քառակուսային շեղումը (RMSE (2)), միջին բացարձակ շեղումը (ME (3)) և ստանդարտ շեղումը (SD (4)), որոնք օգնում են գնահատել տարբեր աղբյուրներից ստացված տվյալների տարբերությունը (Sharma et al., 2021; Apeh et al., 2019; Abdel Aziz, Rashwan, 2022):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{err}(i))^2}{n}} \quad (2)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{err}(i)}{n} \quad (3)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{err}(i) - (ME))^2}{n-1}} \quad (4)$$

Որքան RMSE-ի արժեքը մոտ է «0»-ին, այնքան ԲԹՄ-ից ստացված տվյալները ճշգրիտ են, և՛ հակառակը (Apeh et al., 2019):

Չափանմուշային և ԲԹՄ-ների տվյալների փոխկապակցվածությունը գնահատելու համար հաշվարկվում են կորելիացիայի և դետերմինացիայի գործակիցները: Որքան այդ գործակիցները մոտ են «1» արժեքին, այնքան համադրվող արժեքներն առավել փոխկապակցված են (Kovalchuk et al., 2019) (աղ.2):

Վերը նկարագրված շեղումների գնահատման վիճակագրական պարամետրերը հաշվարկվել են նաև տեղագրական քարտեզներից առանձնացված բարձրության նիշերի տվյալների հիման վրա (աղ.3):

Աղյուսակ 2

GNSS-ից և ԲԹՄ-ներից ստացված բազային տվյալների վիճակագրական պարամետրերի վերլուծության արդյունքները

Ցուցանիշ	SRTM	ASTER	ALOS
RMSE	14.1	16.29	13.67
MAE	-3.03	-3.57	-3.37
SD	13.83	15.97	13.3
Correl.	0.999519	0.999352	0.999551
Determ.	0.999039	0.998705	0.999102

Max error (+)	75.11	74.11	76.11
Max error (-)	-18.78	-27.52	-21.52

Աղյուսակ 3

1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված և ԲԹՄ-ներից ստացված բազային տվյալների վիճակագրական պարամետրերի վերլուծության արդյունքները

Ցուցանիշ	SRTM	ASTER	ALOS
RMSE	9.5	11.7	7.4
MAE	-0.1	-1.3	2.2
SD	9.5	11.6	7.0
Correl.	0.999901	0.999849	0.999944
Determ.	0.999802	0.999698	0.999889
Max error (+)	43.8	64.2	45.1
Max error (-)	-87.8	-70.2	-73.8

Վիճակագրական պարամետրերի ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ, չափանմուշային՝ ինչպես GNSS-ից ստացված, այնպես էլ 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված, ընդհանրական տվյալներով առավել ճշգրիտ ԲԹՄ-ն հանդիսանում է ALOS-ը, որին հաջորդում է SRTM-ը, ապա ASTER-ը: Հարկ է նշել, որ որքան էլ GNSS-ից ստացված տվյալներն ու տեղագրական քարտեզները նմանատիպ հետազոտություններ կատարելիս համարվեն չափանմուշային, այնուամենայնիվ դրանք նույնպես զերծ չեն շեղումներից (Kovalchuk et al., 2019):

Աղյուսակ 4

RMSE-ի արդյունքներն ըստ տեղանքի բուսականության և կառուցապատման առանձնահատկությունների

RMSE	SRTM	ASTER	ALOS
Անտառ	11.5	12.9	12.1
Կառուցապատ	4.1	5.6	5.2
Մարգագետին	7.9	10.0	5.5
Մերկ	12.7	17.2	7.9
Մշակովի	3.8	6.1	3.8
Նոսրանտառ	15.0	18.6	11.7
Թուփ	16.1	16.1	11.5

2.1.2. Տվյալների վերլուծություն՝ ըստ տեղանքի առանձնահատկությունների: Բացի վիճակագրական պարամետրերի ընդհանրական վերլուծությունից, 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված տվյալների հիման վրա RMSE պարամետրն առանձին հաշվարկվել է նաև ըստ տեղանքի բուսականության և կառուցապատման առանձնահատկությունների՝ պարզելու համար, արդյոք տվյալ առանձնահատկություններն ազդում են ԲԹՄ-ների բարձրության արժեքների վրա, թե ոչ:

RMSE-ի ստացված արժեքները ցույց են տալիս, որ անտառապատ և կառուցապատ տարածքներում SRTM-ի ճշտությունը գերազանցում է ALOS-ին (աղ.4), ինչը ստորև հաստատվում է նաև տվյալ առանձնահատկություններն արտահայտող տեղանքների պրոֆիլների վիզուալ համեմատության արդյունքում:

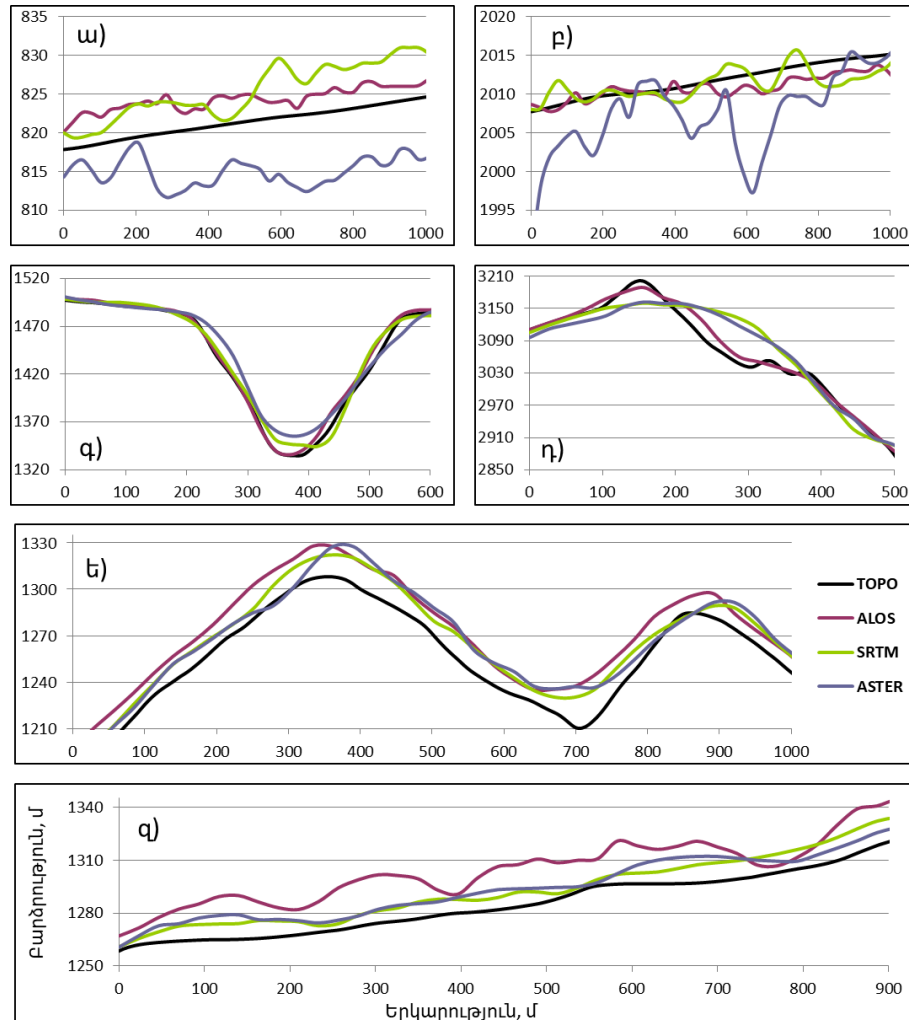
Անտառապատ և կառուցապատ տարածքներում բարձրությունների չափանմուշային արժեքների համեմատ ALOS-ի արժեքների գերազանցումը բացատրվում է այն հանգամանքով, որ տվյալ ԲԹՄ-ն արտահայտում է Երկրի մակերևույթը՝ դրա վրա գտնվող օբյեկտներով հանդերձ (անտառ, շինություններ և այլն) (Рязанов, Кулагина, 2022):

2.2. Տեղանքների պրոֆիլների համեմատություն: ԲԹՄ-ների ճշտության գնահատման մեթոդներից է տեղանքի պրոֆիլների համեմատությունը (Kovalchuk et al., 2019; Abdul Hassan, 2018; Bakiev, Khasanov, 2021): Հաշվի առնելով ռելիեֆի, կառուցապատման և բուսականության առանձնահատկությունները, ՀՀ տարածքում, պատահականության սկզբունքով, առանձնացվել են տվյալ առանձնահատկություններն արտահայտող 6 տեղանք: Տվյալ տեղանքներում 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված հորիզոնականների հիման վրա ArcMap ծրագրային համակարգի «Topo to Raster» գործիքի միջոցով կառուցվել են տեղանքներից յուրաքանչյուրի չափանմուշային մոդելները, որոնց լուծաչափն ընտրվել է 5×5մ, ինչը պայմանավորվում է 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզների հորիզոնական շեղումով (Ашаткин и др, 2020):

Հարթ, մեղմաթեք, գաղիթափ, լեռնային, անտառապատ և կառուցապատ առանձնահատկություններն արտահայտող տեղանքներից յուրաքանչյուրի համար կառուցված չափանմուշային մոդելներից և նույն տեղանքներն ընդգրկող ԲԹՄ-ները ուղիղ գծով ստացվել են տվյալ տեղանքների պրոֆիլները, այնուհետև այդ պրոֆիլները վերադրվել են յուրաքանչյուր տեղանքի համար առանձին գրաֆիկական պատկերի տեսքով (նկ.1 (դ-թ, ը), նկ.2):

Վերադրված պրոֆիլների վիզուալ համեմատության արդյունքում ակնհայտ է դառնում, որ 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից ստացված տեղանքների պրոֆիլներին առավել մոտ պրոֆիլներն արտահայտում է ALOS ԲԹՄ-ն, բացառությամբ անտառապատ և կառուցապատ տեղանքների, որոնց դեպքում, տեղանքի բարձրության

հետ մեկտեղ, ALOS-ն արտահայտում է նաև ծառերի կամ շինությունների բարձրությունները:

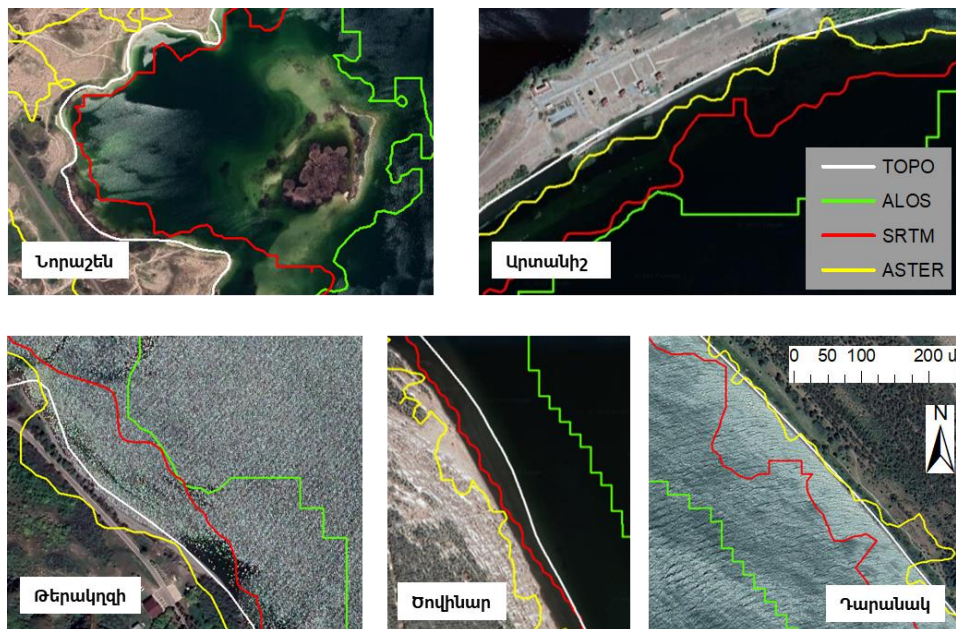


Նկ.2. Ռելիեֆի, բուսականության և կառուցապատման առանձնահատկություններն արտահայտող 6 տեղանքներում չափանմուշային (TOPO) մոդելից և նույն տեղանքներն ընդգրկող ALOS, SRTM, ASTER ԲԹՄ-ներից ստացված պրոֆիլների վերադրումների գրաֆիկները. ա) Արարատյան դաշտ (Ոսկետափ, հվ-արմ-ից հս-արլ), բ) Աշոցքի սարահարթ (Թավշուտ, հվ-արմ-ից հս-արլ), գ) Քասախի կիրճ (Օհանավան, արմ-ից արլ), դ) Խուստուփ լեռ (հվ-արմ-ից հս-արլ), ե) Տավուշյան անտառ (Ծաղկավան, հս-արմ-ից հվ-արլ), զ) Երևան (Նոր Նորքի 9-րդ գ., արմ-ից արլ):

2.3. Սևանա լճի ափը եզրավորող 1900մ հորիզոնականի համեմատություն: Ջրային մեկերևույթ ընդգրկող ԲԹՄ-ների ճշտությունը գնահատելու համար իրականացվում է նաև տվյալ ջրային մակերևույթի ափագիծը պատկերող չափանմուշային տվյալի և ԲԹՄ-ներից

ստացված լիճը եզրավորող հորիզոնականների համեմատություն (Bakiev, Khasanov, 2021):

Նախ, ArcMap ծրագրային համակարգի «Contour» գործիքի միջոցով յուրաքանչյուր ԲԹՄ-ն փոխակերպվել է ռելիեֆի հորիզոնականներն արտահայտող գծավեկտորային ֆորմատի, ապա ստացված տվյալներից առանձնացվել են Սևանա լճի ափը եզրավորող 1900մ հորիզոնականները, որից հետո դրանք վերադրվել են 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված 1900մ բարձրությունն արտահայտող հորիզոնականի և Սևանա լճի ափը պատկերող արբանյակային քարտեզների հետ: Քանի որ լճի ողջ ափագիծն ընդգրկում է մեծ տարածք, վերադրումը, պատահականության սկզբունքով, դիտարկվել է ափամերձ հինգ տարբեր տեղամասերում (նկ.3):



Նկ.3. Հինգ տեղամասերում 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված և երեք ԲԹՄ-ներից ստացված Սևանա լճի ափը եզրավորող 1900մ հորիզոնականների վերադրումն արբանյակային քարտեզների հետ:

Վերադրումների վիզուալ համեմատությունից ակնհայտ է դառնում, որ երեք ԲԹՄ-ներից ստացված հորիզոնականներից Սևանա լճի ափամերձ հինգ տեղամասերից երկուսում (Նորաշեն և Ծովինար) առավել ճշգրիտ ափագիծն արտահայտում է SRTM-ը, երեքում (Արտանիշ, Թերակղզի և Դարանակ)՝ ASTER-ը, իսկ ALOS-ից ստացված հորիզոնականները բոլոր տեղամասերում արտահայտում են մեծ շեղումներ:

Եզրակացություն

Հողվածում, ՀՀ տարածքի համար առաջին անգամ, վերլուծվել և գնահատվել է գլոբալ ծածկույթ ունեցող ALOS World 3D, ASTER GDEM և SRTM ԲԹՄ-ների ուղղահայաց ճշտությունը չափանմուշային տվյալների համեմատ: Որպես չափանմուշային տվյալներ օգտագործվել են GNSS ընդունիչից ստացված և 1:10,000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզներից առանձնացված տվյալները:

Վերլուծությունն իրականացվել է շեղումներ արտահայտող վիճակագրական պարամետրերի հաշվարկմամբ և վիզուալ եղանակով: Առանձին գնահատվել է նաև կոնկրետ տեղանքներում ռելիեֆի, բուսականության և կառուցապատման առանձանահատկությունների ազդեցությունը ԲԹՄ-ների ուղղահայաց ճշտության վրա:

Ընդհանրական տվյալների արդյունքներով որպես առավել ճշգրիտ ԲԹՄ հանդես է գալիս ALOS-ը ($RMSE_{GNSS}=13.67$ մ, $RMSE_{TOPO}=7.4$ մ), որին հաջորդում է SRTM-ը (14.1 մ, 9.5 մ), ապա ASTER-ը (16.27 մ, 11.7մ), սակայն անտառապատ և կառուցապատ տարածքներում SRTM-ը (11.5 մ) ճշտությամբ գերազանցում է ALOS-ին (12.1 մ), ինչը հաստատվում է նաև տեղանքների պրոֆիլների վիզուալ համեմատությամբ:

Վիզուալ եղանակով համեմատվել են նաև ԲԹՄ-ներից ստացված Սևանա լճի ափը եզրավորող 1900մ հորիզոնականները, ինչի արդյունքում հինգ տեղամասերից երկուսում բնական ափագծին առավել մոտ տվյալներ արտահայտում է SRTM-ը, երեքում ASTER-ը, իսկ ALOS-ից ստացված հորիզոնականները բոլոր տեղամասերում ակնհայտորեն արտահայտում են մեծ շեղումներ:

Վերջնարդյունքով կարելի է եզրակացնել, որ ԲԹՄ-ի նախապատվությունը կախված է իրականացվող հետազոտության բնույթից. ՀՀ ողջ տարածքն ընդգրկող հետազոտությունների ժամանակ նախընտրելի է կիրառել ALOS ԲԹՄ-ն, կոնկրետ անտառապատ կամ կառուցապատ տարածքների դեպքում՝ SRTM-ը, իսկ Սևանա լճի ափամերձ տարածքների դեպքում՝ SRTM-ը կամ ASTER-ը:

Գրականություն

- Ашаткин И.А., Мальцев К.А., Гайнутдинова Г.Ф., Усманов Б.М., Гафуров А.М., Ганиева А.Ф., Мальцева Т.С., Гиззатуллина Э.Р. 2020, Анализ морфометрии рельефа по глобальным ЦМР в пределах южной части Европейской территории России, Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. Науки, Т. 162, кн. 4., с. 612–628.
- Козуб Ю.И. 2018, Повышение точности цифровой модели рельефа для целей ландшафтного картографирования на территорию Республики Дагестан, Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, Т. 12, № 3, с. 96-102.
- Павлова А.И., Павлов А.В. 2018, Анализ методов коррекции цифровых моделей рельефа, построенных по спутниковым данным, АВТОМЕТРИЯ, Т. 54, № 5.
- Рязанов С.С., Кулагина В.И. 2022, Сравнительная оценка вертикальной точности цифровых моделей высот – SRTM, ALOS WORLD 3D, ASTER GDEM и MERIT DEM на примере лесной и пойменной зоны национального парка «Нижняя кама», Геосферные исследования, № 1, с. 107–117.

- Abdul Hassan A.A.** 2018, Accuracy Assessment of Open Source Digital Elevation Models, Journal of University of Babylon, Engineering Sciences, Vol.(26), No.(3).
- Abdel Aziz K.M., Rashwan K.S.** 2022, Comparison of different resolutions of six free online DEMs with GPS elevation data on a new 6th of October City, Egypt, Arabian Journal of Geosciences, 15, p. 1585.
- Apeh O.I., Uzodinma V.N., Ebinne E.S., Moka E.C., Onah E.U.** 2019, Accuracy Assessment of Alos W3d30, Aster Gdem and Srtm30 Dem: A Case Study of Nigeria, West Africa, Journal of Geographic Information System, 11, p. 111-123.
- Bakiev M., Khasanov K.** 2021, Comparison of Digital Elevation Models for Determining the Area and Volume of the Water Reservoir, International Journal of Geoinformatics, Volume 17, No. 1.
- Hengl T., Reuter H.I.** 2009, Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Developments in soil science, 33, p. 765.
- Kovalchuk I.P., Lukianchuk K.A., Bogdanets V.A.** 2019, Assessment of open source digital elevation models (SRTM-30, ASTER, ALOS) for erosion processes modeling, Journal of Geology, Geography and Geoecology, 28(1), p. 95-105.
- Olla C. M., Igbokwe J.I., Ojiako J. C. & Igbokwe, Esomchukwu C.** 2020, Investigation and Validation of SRTM v3 and ALOS PALSAR Accuracy Over Landcover/Landuse Types in Federal Capital Territory (FCT), Nigeria, SSRG International Journal of Geo-informatics and Geological Science, Volume 7, Issue 3, p. 31-37.
- Purinton B., Bookhagen B.** 2017, Validation of digital elevation models (DEMs) and comparison of geomorphic metrics on the southern Central Andean Plateau, Earth Surf. Dynam., 5, p. 211–237.
- Santillan J.R., Makinano-Santillan M.** 2016, Vertical accuracy assessment of 30-m resolution ALOS, ASTER, and SRTM global DEMs over northeastern Mindanao, Philippines, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B4.
- Sharma A., Nikam B., Bagri D. S.** 2021, Comparative evaluation of digital elevation model based on elevation data and terrain attributes leading to their validation, Asian Conference of Remote Sensing.
- Tesema T.B.** 2021, Impact of identical digital elevation model resolution and sources on morphometric parameters of Tena watershed, Ethiopia, Heliyon, 7, e08345.

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА (ALOS, ASTER И SRTM) ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РА

Улоян А.

Резюме

Цифровая модель рельефа (высот) (ЦМР), содержащая непрерывные данные о поверхности, позволяет получить основные морфометрические показатели рельефа. ЦМР считаются достаточно точной основой для анализа и решения проблем в различных областях.

В статье анализируется и оценивается точность высот ЦМР с глобальным покрытием ALOS World 3D, ASTER GDEM и SRTM на территории Армении. В качестве эталонной основы использовались данные, полученные устройствами GNSS и топографических карт масштаба 1:10000. Анализ проводился путем расчета статистических параметров, выражающих отклонения, и визуально. Учитывались также особенности территории РА - рельеф, растительность и постройки.

По результатам анализа общих данных ALOS ($RMSE_{GNSS}=13.67$ м, $RMSE_{TOPO}=7.4$ м) является наиболее точным ЦМР для территории РА, затем следует SRTM (14.1 м, 9.5 м), затем ASTER (16.27 м, 11.7 м), но в лесных и населенных пунктах SRTM (11.5 м) точнее, чем ALOS (12.1 м), что подтверждается также путем визуального сравнения профилей местности. По результатам визуального сопоставления горизонтали 1900 м, окаймляющего берег озера Севан, SRTM и ASTER выражают наиболее близкие к естественной береговой линии контуры.

VERTICAL ACCURACY ASSESSMENT OF DIGITAL ELEVATION MODELS (ALOS, ASTER AND SRTM) FOR THE TERRITORY OF RA

Uloyan .

Abstract

Digital elevation model (DEM), containing continuous data on the surface, makes it possible to obtain the main morphometric characteristics of the relief. DEMs are considered to be a fairly accurate basis for analyzing and solving problems in various fields.

The article analyzes and evaluates the elevation accuracy for the ALOS World 3D, ASTER GDEM and SRTM DEMs with global coverage on the territory of Armenia. Data obtained from GNSS devices and topographic maps at a scale of 1:10,000 was used as a reference point. The analysis was carried out by calculating statistical parameters expressing deviations. Visual analysis method was applied as well. The surface features of the territory of the Republic of Armenia - relief, vegetation, and buildings were also taken into account.

According to the results of the analysis of general data, ALOS ($RMSE_{GNSS}=13.67$ м, $RMSE_{TOPO}=7.4$ м) is the most accurate DEM for the territory of the RA, followed by SRTM (14.1 м, 9.5 м), then ASTER (16.27 м, 11.7 м), but in forests and settlements SRTM (11.5 м) is more accurate than ALOS (12.1 м), which is also confirmed by visual comparison of terrain profiles. According to the results of visual comparison of the 1900 m contour bordering the shore of Lake Sevan, SRTM and ASTER express the contours closest to the natural coastline.