

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-38

**ՕՂԱՏԻՋԵՐԱԿԱՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՀՀ ՈՐՈՇ
ԳՅՈՒՂԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀՈՂԱՀԱՆԴԱԿՆԵՐԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՎԻՃԱԿԻ ԵՎ ՏԱՐԱԾԱԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ**

**Այվազյան Գրիգոր, Խլղաթյան Անահիտ, Մուրադյան Վահագն,
Ասմարյան Շուշանիկ**

*ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Արուլյան 68, 0025 Երևան, ՀՀ
e-mail: grigor.ayvazyan@cens.am
Հանձնված է խմբագրություն 25.11.2024*

Հետազոտության նպատակն է գնահատել հեռազննման տեխնոլոգիաների ներուժը ՀՀ գյուղատնտեսական տարբեր հողատեսքերի էկոլոգիական վիճակի գնահատման գործում, որի համար ընտրվել են գյուղատնտեսական երկու հողատեսքեր՝ բնական կերահանդակներ և խաղողի այգիներ:

Բնական կերահանդակների համար իրականացվել է Landsat սերիայի արբանյակային պատկերների 22 տարվա ժամանակային շարքի վերլուծություն ՆՏԲԻ հիման վրա, իսկ խաղողի այգիներում իրականացվել են խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության չափումներ, անօդաչու թռչող սարքով բազմասպեկտրալ նկարահանում և ստացված տվյալների համադրում՝ Մեքենայական ուսուցման մոդելների կիրառմամբ: Ըստ ստացված արդյունքների, կերահանդակներում բուսականության վիճակի վատթարացում չի դիտվում, իսկ Մասնակի նվազագույն քառակուսիների ռեգրեսիոն մեթոդը գոհացուցիչ արդյունքներ է տալիս խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության կանխատեսման համար ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$):

Բանալի բառեր՝ օդատիեզերական հեռազննում, ԱԹՍ, բնական կերահանդակ, խաղողի այգի, քլորոֆիլ, մեքենայական ուսուցում:

Ներածություն

Հեռազննման մեթոդների (ՀՄ) և աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերի (ՄՏՀ) շարունակական զարգացումը վերջիններս

դարձրել է գյուղատնտեսության ոլորտում տարբեր օբյեկտների և երևույթների տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատման կարևոր գործիքներ (Nascimento et al., 2021): Հեռազննման մեթոդներով՝ սպեկտրալ հայտանիշների հիման վրա, հնարավոր է տարբերակել առողջ բույսերը վնասված և սթրեսի ենթարկված բույսերից (Metternicht et al., 2010): Վերջինիս հիմքում բույսերում քլորոֆիլի պարունակությունն է, որը տարբեր գործոնների՝ ջրի և սննդանյութերի անբավարարության, հարուցիչների, ջերմային էքստրեմումների և այլնի նկատմամբ զգայուն կարևոր կենսաֆիզիկական ցուցանիշ է և ցուցիչ՝ բույսի ամբողջական ֆիզիոլոգիական վիճակի, առողջության, բերքի կանխատեսման և այլնի համար (Cabello-Pasini and Macías-Carranza, 2011; Elarab et al., 2015; Singhal et al., 2019): Վերջինիս փոփոխությունը արտահայտվում է էլեկտրամագնիսական սպեկտրի տարբեր տիրույթներում, մասնավորապես տեսանելի և մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթներում անդրադարձման առանձնահատկություններով (Carter and Knapp, 2001; Singhal et al., 2019): Վերոնշյալը ցույց է տալիս, որ օդատիեզերական հեռազննումը ունի ներուժ գյուղատնտեսության մեջ, որպես մոնիթորինգի և կառավարման գործիք, մշակման և ներդրման համար:

Հայաստանում գյուղատնտեսական հողահադակների ուսումնասիրություններում օդատիեզերական հեռազննման մեթոդների կիրառման փորձերը շատ չեն: Այսպես, հետաքրքրական են, բնական կերահանդակների ուսումնասիրման գործում, 2011, 2012 և 2014 թվականներին Համաշխարհային բանկի աջակցությամբ իրականացված «Գյուղատնտեսական ռեսուրսների կառավարման և մրցունակության ծրագրի» (CARMAC CS-11/103) շրջանակում հեռազննումը որպես գործիք կիրառվել է միայն արբանյակային պատկերների վիզուալ վերծանման և տարածքների քարտեզագրման համար (Tepanosyan et al., 2017) : Հեռազննման համատեքստում, առաջին անգամ մեկ գյուղի օրինակով, Գ. Տեփանոսյանի կողմից իրականացվել է կերահանդակների դեգրադացիայի գնահատման մեթոդի մշակում և գնահատում՝ արբանյակային պատկերների սպեկտրալ վերծանմամբ (Տեփանոսյան, 2017): Այդուհանդերձ, բոլոր հետազոտական փորձերը ունեն վիճակագրական մեթոդներով, մեքենայական ուսուցման մոդելներով գիտական խորը վերլուծության և ստուգաչափման կարիք: Ի տարբերություն բնական կերահանդակների, ՀՀ-ում խաղողի այգիների հետազոտություններում օդատիեզերական հեռազննման տեխնոլոգիաների կիրառման փորձն ավելի քիչ է (Efendyan et al., 2021): Այդ առումով, ներկայացվող աշխատանքն առաջին փորձն է հասկանալու Հայաստանում խաղողի այգիների ուսումնասիրման գործում հեռազննման տեխնոլոգիաների կիրառման հնարավորությունները:

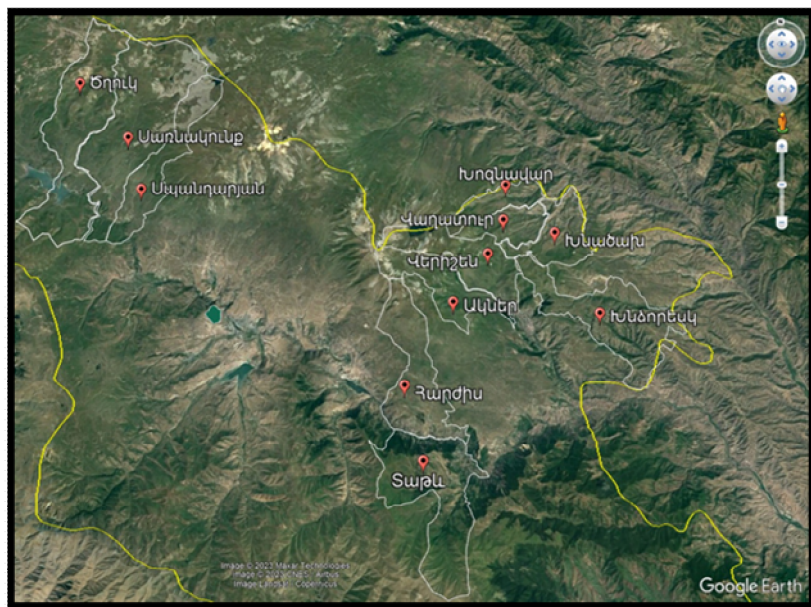
Այսպիսով, ներկայացվող հետազոտության նպատակը ՀՀ-ում երկու տարբեր գյուղատնտեսական հողահանդակների՝ բնական կերպահադակներ (արոտավայրեր ու խոտհարքեր) և խաղողի այգիներ, էկոլոգիական վիճակի ուսումնասիրություններում օդատիեզերական հեռազննման տեխնոլոգիաների ներուժի գնահատումն է: Այդ ուղղությամբ առաջադրվել են ներքոհիշյալ խնդիրները՝

ա) ՀՄ և ԱՏՀ կիրառմամբ գնահատել արոտավայրերի և խոտհարքերի էկոլոգիական վիճակի տարածամասնակային փոփոխությունները,

բ) ուսումնասիրել գերբարձր տարածական լուծաչափի (ԱԹՄ) պատկերների ներուժը՝ խաղողի այգիներում տերևում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման գործում:

Նյութեր և մեթոդներ

Առաջադրված խնդիրներից *արոտավայրերի և խոտհարքերի էկոլոգիական վիճակի տարածամասնակային փոփոխությունների գնահատման* նպատակով ընտրվել են Սյունիքի մարզի երկու շրջանների՝ Սիսիանի և Գորիսի մի շարք գյուղական բնակավայրերի, համապատասխանաբար Ծղուկ, Մառնակունք, Մպանդարյան և Ակներ, Խնածախ, Խնձորենկ, Խոզնավար, Վաղատուր, Վերիշեն, Սպեր, Խնձորենկ, Հարժիս, Տաթև, Զարժիս, արոտավայրերը և խոտհարքերը (նկ.1.):



Նկ. 1. Հետազոտվող տարածքների աշխարհագրական տեղադիրքը

Գյուղատնտեսական հողահանդակների՝ հատկապես արոտների և խոտհարքերի ուսումնասիրությունների ժամանակ կենսունակություն-

նը որոշելու համար օգտագործվում են բուսականության ինդեքսներ (Symeonakis and Drake, 2004): Ամենատարածված ինդեքսը Նորմալացված տարբերության բուսականության ինդեքսն է (ՆՏԲԻ/NDVI), որն ընդհանուր առմամբ, առողջ բուսականության հեռագնմամբ բացահայտման ստանդարտացված միջոց է (Wessels et al., 2004): NDVI-ը համեմատում է էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կարմիր և մոտակա ինֆրակարմիր շրջանների անդրադարձման արժեքները և ստացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Որտեղ NIR-ը մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեքն է,

RED-ը կարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեքը:

NDVI-ն օգտագործվում է բուսականության մոնիթորինգի և գնահատման համար, որի արժեքները տատանվում են -1 - 1 միջակայքում (աղ.1) (Symeonakis and Drake, 2004; Wessels et al., 2004):

Աղյուսակ 1.

Գյուղատնտեսական հեղահանդակների NDVI արժեքների դասակարգում

NDVI	ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ
< 0,1	Մերկ հող
0,1-0,2	Բուսածածկը գրեթե բացակայում է
0,2-0,3	Շատ ցածր բուսածածկ
0,3-0,4	Ցածր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ շատ ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,4-0,5	Միջինից ցածր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,5-0,6	Միջին բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ միջինից ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,6-0,7	Միջինից բարձր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ միջին բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,7-0,8	Բարձր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,8-0,9	Շատ բարձր բուսածածկ, շատ բարձր կենսունակություն
0,9-1	Ամբողջական բուսածածկ, շատ բարձր կենսունակություն

Google Earth Engine հեռագնման տվյալների խորանարդում, Javascript ծրագրավորման լեզվի կոդերի ադապտացման միջոցով վերծանվել են նշված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհար-

քերի Landsat 5, 7, 8 արբանյակային սենսորներից 2000-2021 թթ-ի ապրիլ-հոկտեմբեր ժամանակահատվածի պատկերները, և որոշվել են NDVI արժեքները: Վերծանման գործընթացում ներառվել են 30%-ից ցածր ամպային ծածկույթով պատկերները: Բացի այդ, Google Earth Engine-ում ընտրվել են 2000, 2005, 2010, 2015 և 2021 թթ. պատկերները և դրանց վերծանման արդյունքում ArcGIS 10.6 ծրագրային միջավայրում կազմվել են նշված տարածքների NDVI քարտեզները: Վերջինիս նպատակն էր արձանագրել կերահանդակների վիճակը վերը նշված 5 տարիներին: Աշխատանքում առկա են սահմանափակումներ պայմանավորված 2005թ-ին Landsat 7-ի սենսորում անդրադարձիչի հավանական խափանումով, որի պատճառով որոշ լուսանկարներում առկա են թերություններ, որոնք կարող են ազդել վերծանման գործընթացի և դրա արդյունքի վիզուալիզացման վրա: Այնուհանդերձ այն չի ստիպում հրաժարվել լուսանկարներից, քանի որ կարող ենք կորցնել արժեքավոր տվյալներ:

Ընդհանուր առմամբ, վերծանման գործընթացը ներառել է 1087 արբանյակային պատկեր: Հատկանշական են 2005թ-ի Landsat 7-ի սենսորում անդրադարձիչի հավանական խափանման պատճառով որոշ լուսանկարներում առկա թերությունները, որոնք կարող են ազդել վերծանման գործընթացի և դրա արդյունքի վիզուալիզացման վրա: Այնուհանդերձ, այն չի ստիպել հետազոտական խմբին հրաժարվել պատկերներից, քանի որ այն կարող էր հանգեցնել արժեքավոր տվյալների կորստի:

Google Earth Engine-ում տվյալների վերծանման արդյունքները ստուգաչափելու համար, Jupyter ծրագրային միջավայրում, Python ծրագրավորման լեզվի համապատասխան կոդերով իրականացվել է Seasonal Mann-Kendall վիճակագրական թեստավորում (Mavromatis and Stathis, 2011; Shadmani et al., 2012): Mann Kendall Test-ի արդյունքները, բնութագրվում են հետևյալ նկարագրական պարամետրերով (Shourov, 2022)՝

Trend – Նկարագրում է թրենդի վիճակը (աճող, նվազող և բացակայող): Աճող կամ նվազող միտումը նկատվում է, երբ շարքի ρ արժեքը փոքր է նշանակալիության մակարդակից (α):

H – հիպոթեզը ճիշտ է, երբ թրենդ կա և սխալ՝ երբ բացակայում է: Ըստ 0-ական հիպոթեզի (H_0) թրենդը բացակայում է, իսկ ըստ այլընտրանքային (ալտերնատիվ) (H_A) հիպոթեզի՝ թրենդ գոյություն ունի (դրական կամ բացասական) (Buhairi, 2010):

P – նշանակալիության թեստի արժեք: Եթե $P \leq \alpha$ ($\alpha = 0.05$; 5% է հավանականությունը, որ H_0 -ի մերժումը սխալ կլինի), ապա H_0 վարկածը մերժված է՝ արդյունքը վիճակագրորեն նշանակալի է, հետևաբար

թրենդ գոյություն ունի, իսկ $P > \alpha$ հաստատվում է H_0 վարկածը (“Mann-Kendall Test,” n.d.):

Z – նորմավորված թեստային վիճակագրություն: Վիճակագրորեն նշանակալի թրենդների առկայությունը գնահատվում է Z արժեքի օգտագործմամբ: Դրական Z-ը ցույց է տալիս աճող միտումը, իսկ բացասական Z-ը՝ նվազողը. P-ի նշանակալիության մակարդակի բարձրացման կամ նվազեցման մոնոտոն թրենդի առկայությունը ստուգելու համար զրոյական վարկածը մերժվում է, եթե $|Z| > Z \times (1-\alpha/2)$ (Buhairi, 2010): 5% նշանակալիության մակարդակում միտում ունենալու զրոյական վարկածը մերժվում է, եթե $|Z| > 1,96$ (Z-ի կրիտիկական արժեքը P-ի 0,05 արժեքի դեպքում) (Gocic and Trajkovic, 2013):

Թեստավորման ընթացքում առաջադրվել է 0-ական հիպոթեզ՝ ըստ որի, **հետազոտվող գյուղական բնակավայրերի արտոններում և խոտհարքերում բուսազանգվածի վիճակի փոփոխություն չկա**: Seasonal Mann-Kendall թեստը միտված է ժխտելու կամ հաստատելու 0-ական հիպոթեզը, որով և ստուգաչափվել են NDVI քարտեզների շարքում ներկայացված էկոլոգիական վիճակի տարածաժամանակային փոփոխությունները:

Ըստ առաջադրված երկրորդ խնդրի՝ **խաղողի այգիներում տերևներում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման գործում ԱԹՄ պատկերների ներուժի ուսումնասիրության** հետազոտության օբյեկտ է հանդիսանում «Տրինիտի կանյոն այգիներ»-ը: Օբյեկտը տեղակայված է ՀՀ Վայոց ձորի մարզում՝ տարածաշրջանում գինու արտադրության հնագույն (մոտ 6100 տարեկան) վայրերից մեկում՝ Արենի համայնքի Աղավնաձոր գյուղական բնակավայրում և զբաղեցնում է մոտավորապես 4,4հա տարածք (“ՏՐԻՆԻՏԻ ԿԱՆՅՈՆ ԱՅԳԻՆԵՐ,” 2014):

Դաշտային in situ չափումներ

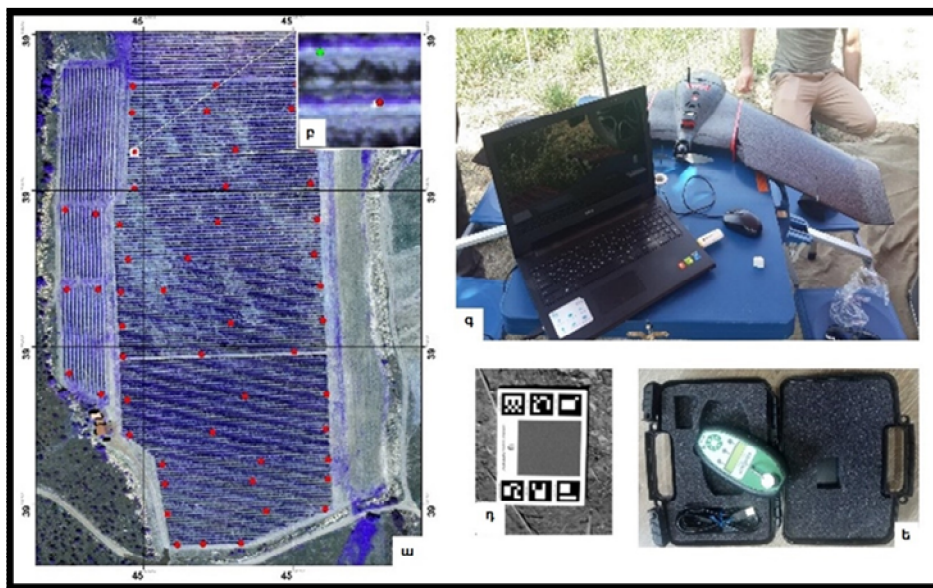
2019 թվականի սեպտեմբերի 19-ին շարժական MC-100 Chlorophyll Concentration Meter-ի օգտագործմամբ խաղողի տերևներում չափվել է քլորոֆիլի պարունակությունը, որն իրականացվել է ԱԹՄ նկարահանման հետ միաժամանակ: Ընդհանուր առմամբ, հետազոտական տարածքում կատարվել է 51 չափում, որոնցից յուրաքանչյուրը ներկայացնում է մեկ խաղողի վազից վերցված 5 ենթաչափումների միջին արժեք: Չափման կետերի կոորդինատները ստացվել են Garmin Oregon 650 GPS ընդունիչի միջոցով, որի ճշտությունը ± 3 մ է:

ԱԹՄ նկարահանում և պատկերների մշակում

ԱԹՄ նկարահանումն իրականացվել է Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորով համալրված ֆիքսված թևերով senseFly eBee SQ ԱԹՄ-ով: Հետազոտվող տարածքի համար ստացվել են գերբարձր լուծաչափի բազմասպեկտրալ (կանաչ - 550նմ, կարմիր – 660նմ, կարմիր եզրային (red edge) – 735նմ, մոտակա ինֆրակարմիր – 790նմ), ինչպես նաև

RGB պատկերներ՝ 3.5սմ տարածական լուծաչափով, որոնք ենթարկվել են նախնական մշակման Agisoft Metashape Professional ծրագրային միջավայրում՝ ռադիոմետրիկ, տեղագրական ուղղումների իրականացմամբ: Այնուհետև հաշվարկվել են Նորմավորված տարբերությունների բուսականության ինդեքսը (1) և Նորմավորված Տարբերությունների Red Edge ինդեքսը (NDRE) (2)

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge} \quad (2)$$



Նկ. 2. ԱԹՄ նկարահանումը Տրինիտի խաղողի այգիների տարածքում՝ ա) ԱԹՄ նկարահանված տարածքը և խաղողի վազերի տերևներում քլորոֆիլի չափման կետերի բաշխումը, բ) քլորոֆիլի չափման կետ, գ) senseFly eBee SQ ԱԹՄ, դ) ԱԹՄ տրամաչափարկման վահանակ, ե) Քլորոֆիլի չափման գործիք՝ շարժական MC-100 Chlorophyll Concentration Meter

Դաշտային չափումների ժամանակ, յուրաքանչյուր կետի համար 3x3 պիքսել մակերեսով հատվածի մաքուր պիքսելներից հանվել են սպեկտրալ անդրադարձման, NDVI, NDRE միջին արժեքները՝ հետագա վիճակագրական վերլուծության աշխատանքներում օգտագործելու համար:

Վիճակագրական վերլուծություն

Քլորոֆիլի չափված արժեքների շարքում հնարավոր եզրային կետերը (outliers) որոշելու համար օգտագործվել է տուփ-դիագրամ (box-

plot) մոտեցումը: Խաղողի տերևում in-situ չափված և ԱԹՄ հեռազնված քլորոֆիլի պարունակությունների միջև կապի ուսումնասիրության նպատակով կիրառվել է Պիրսոնի կոռելյացիոն վերլուծության մեթոդը: Վիճակագրական բոլոր վերլուծությունները կատարվել են Python ծրագրավորման լեզվի կիրառմամբ: ԱԹՄ տվյալների միջոցով, խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության մոդելավորման համար օգտագործվել է մեքենայական ուսուցման մեթոդներից Մասնակի նվազագույն քառակուսիների ռեգրեսիոն մեթոդը (PLSR), որի համար կիրառվել է Python-ի “scikit-learn” ազատ հասանելի գրադարանը (Pedregosa et al., 2011): PLSR մոդելի համար ներմուծվող տվյալների բազան պատահականորեն բաժանվել է վարժեցման (80%) և թեստավորման (20%) բազմությունների: Վարժեցման բազմությունը օգտագործվել է մոդելի ստուգաչափման և Leave-One-Out խաչաձև վավերացման միջոցով PLSR-ի բաղադրիչների օպտիմալ քանակի որոշման համար, իսկ թեստավորման բազմությունը՝ չօգտագործված տվյալներով մոդելի վերջնական վավերացման համար: Մոդելի գնահատման նպատակով հաշվարկվել են Արմատ միջին քառակուսային շեղումը (RMSE), և դետերմինացիայի գործակիցը (R^2)՝ թեստավորման բազմության և խաչաձև վավերացման համար:

Արդյունքների քննարկում

Բնական կերահանդակների էկոլոգիական վիճակի տարածաժամանակային փոփոխության գնահատում ըստ NDVI ինդեքսի

NDVI սպեկտրալ ինդեքսներով քարտեզների վերծանման արդյունքում ստացվում է հետևյալը՝ Սիսիանի շրջանի գյուղական բնակավայրերի կլաստերում 2000, 2005 և 2021 թթ-ին դիտվում է բուսականության ավելի վատ վիճակ ($< 0,4$), քան 2010 և 2015 թվականներին ($< 0,7$) (նկ.4): 2000-2021թթ. ժամանակային շարքի վերծանված պատկերների վիճակագրական ստուգաչափումը Seasonal Mann-Kendall թեստի արդյունքում ցույց է տալիս, որ Սիսիանի շրջանի Ծղուկ, Մառնակունք և Սպանդարյան գյուղական բնակավայրերի ոչ արոտներում և ոչ խոտհարքերում թրենդ չկա: Օ-ական հիպոթեզը, առ այն, որ հետազոտվող գյուղական բնակավայրերի արոտներում և խոտհարքերում 2000-2021թթ. ժամանակահատվածում բուսազանգվածի վիճակի փոփոխություն չկա՝ հաստատվում է՝ պայմանավորված P-ի ($P > \alpha$) և Z-ի ($|Z| < 1,96$) արժեքներով (աղ.2): Ստացվում է, որ համաձայն արբանյակային պատկերների, 22 տարվա ընթացքում հետազոտվող տարածքում բուսականության վիճակի փոփոխություն չի դիտվել:

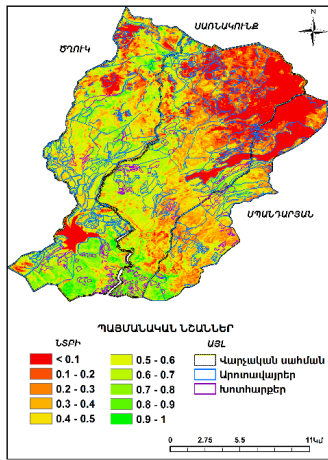
Աղյուսակ 2.

Սեզոնային Մանն-Կենդալլ թեստի արդյունքները Գորիսի շրջանի ընտրված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհարքերի համար

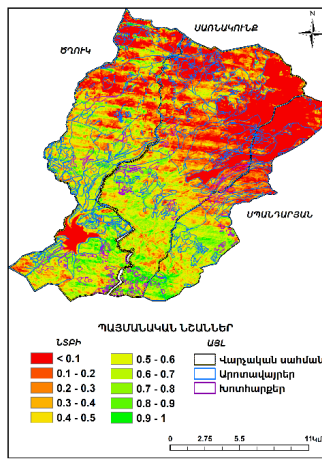
		<i>Trend</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>α</i>
Ծղուկ	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,238	1,179	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,392	0,854	0,05
Սառնակունք	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,206	1,262	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,193	1,300	0,05
Սպանդարյան	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,131	1,507	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,057	1,897	0,05

Գորիսի շրջանի գյուղական բնակավայրերի կլաստերում արոտավայրերի և խոտհարքերի դեպքում, ըստ պատկերների վերծանման, 2000 և 2021 թվականներին դիտվում է բուսականության ավելի վատ վիճակ ($< 0,4$), քան 2005, 2010 և 2015 թվականներին ($< 0,8$): Սակայն 22 տարվա համար իրականացված Seasonal Mann-Kendall թեստի արդյունքները ցույց են տալիս հետևյալ պատկերը՝ Վադատուր և Խոզնավար գյուղական բնակավայրերի և՛ արոտներում, և՛ խոտհարքերում, իսկ Խնածախ գյուղի միայն արոտներում թրենդ չկա, պայմանավորված P-ի և Z-ի արժեքներով: Տաթև, Հարժիս, Ակներ, Վերիշեն, Խնձորենակ գյուղերի և՛ արոտներում, և՛ խոտհարքերում, և Խնածախ գյուղի միայն խոտհարքերում դիտվում է NDVI արժեքների աճող թրենդ, համաձայն որի՝ 0-ական հիպոթեզը ժխտվում է, քանի որ $P < \alpha$ և $|Z| > 1,96$:

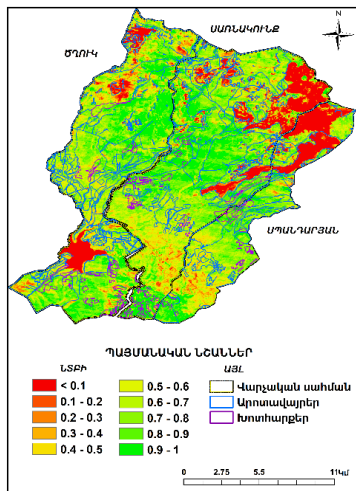
Հատկանշական է, որ Z-ի արժեքները դրական են, ինչն էլ վկայում է 22 տարվա ժամանակային շարքում բուսականության լավ վիճակի մասին:



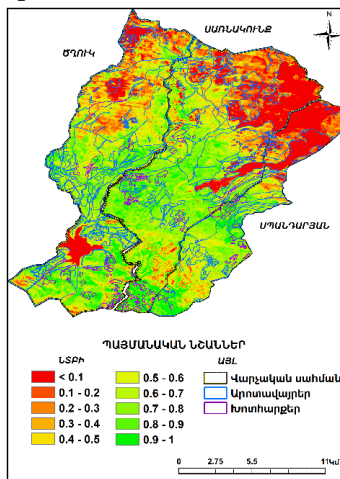
ա)



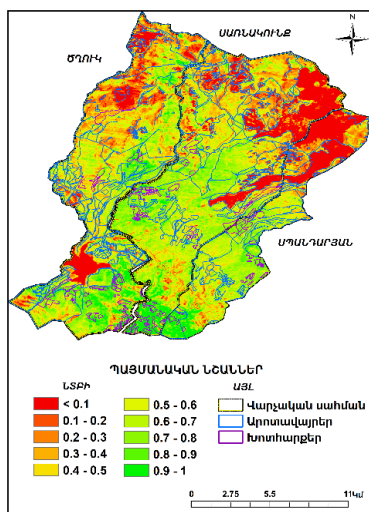
բ)



գ)



դ)



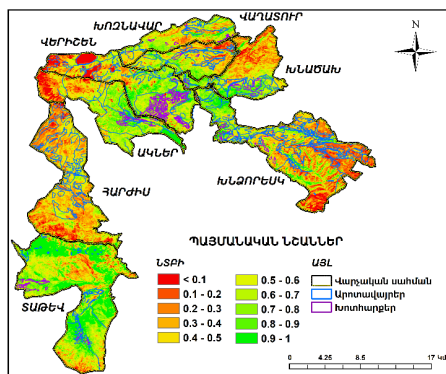
ե)

Նկ. 3. Միսիանի շրջանի Ծղուկ, Սպանդարյան և Սառնակունք գյուղական բնակավայրերի արտոնների և խոտհարքերի բուսականության վիճակն ըստ նշված տարիների՝ ա) 2000, բ) 2005, գ) 2010, դ) 2015, ե) 2021

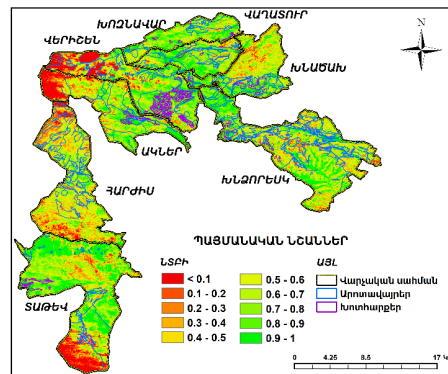
Աղյուսակ 3

Սեզոնային Մանն-Կենդալլ թեստի արդյունքները Գորիսի շրջանի ընտրված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհարքերի համար

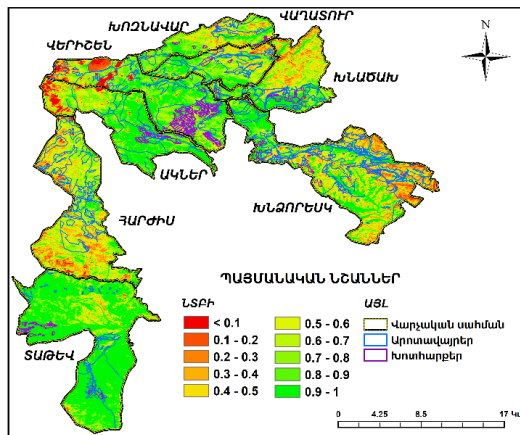
		<i>Trend</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	α
Տաթև	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,024	2,244	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,002	3,060	0,05
Հաքժիս	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,014	2,451	0,05
Ակներ	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,006	2,739	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,0002	3,635	0,05
Վերիշեն	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,037	2,082	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,010	2,549	0,05
Վաղատուր	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,130	1,512	0,05
	խոտհարք	Չկա	Միսալ է	0,138	1,483	0,05
Խնածախ	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,154	1,422	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,002	3,035	0,05
Խոզնավար	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,072	1,794	0,05
	խոտհարք	Չկա	Միսալ է	0,080	1,745	0,05
Խնձորեսկ	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,002	2,968	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,001	3,210	0,05



ա)

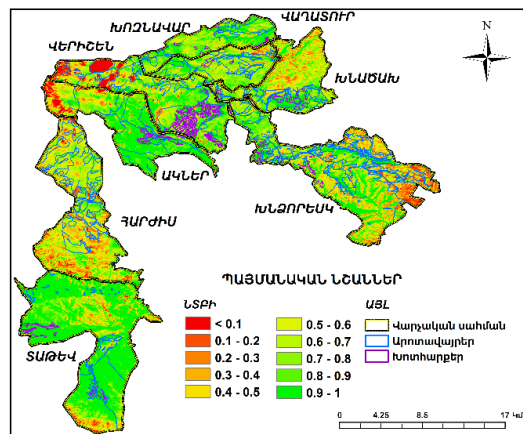


բ)

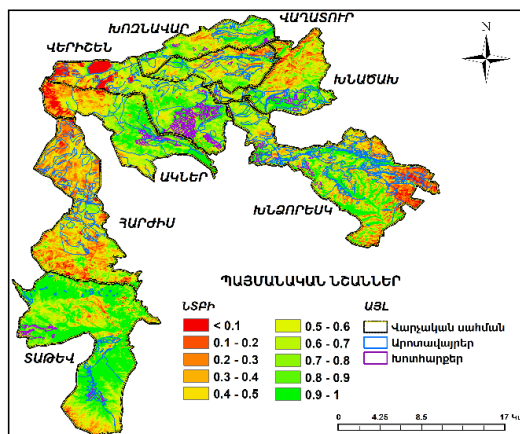


գ)

դ)



ե)



Նկ. 4. Գոգթանի շրջանի Տաթև, Զարմիս, Ալան, Վերին Սյունիք, Կոջաբաշի, Վարդգեսավան, Խնածախ, Խնածախ, Խնածախ գյուղական բնակավայրերի արտոնների և խոտհարքերի բուսականության վիճակն ըստ նշված տարիների՝ ա) 2000, բ) 2005, գ) 2010, դ) 2015, ե) 2021

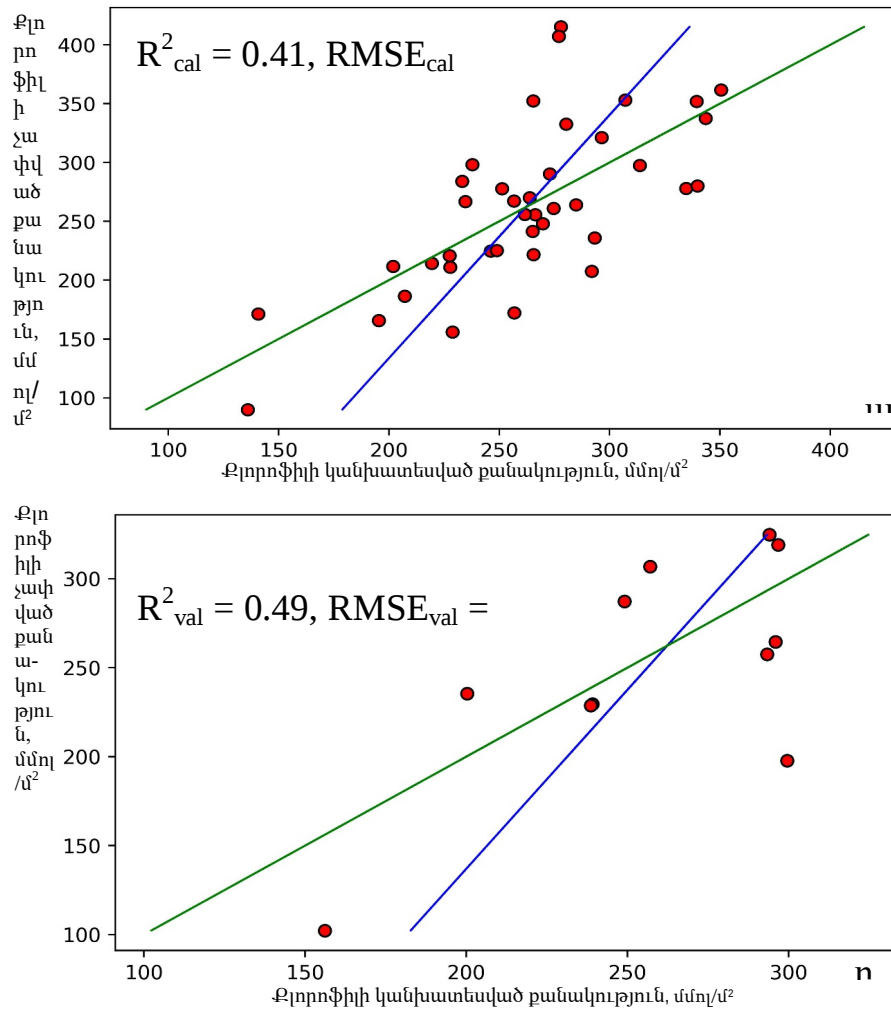
Խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության գնահատում

ԱԹՍ պատկերներից ստացված *վեգետացիոն ինդեքսների և in-situ* չափումներից ստացված տվյալների միջև կոռելյացիոն վերլուծության արդյունքում արձանագրվել է նշանակալի դրական կոռելյացիա՝ խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության և NDVI ($r=0.67$), այնուհետև NDRE ($r=0.57$) ինդեքսների միջև ($p < 0.01$ նշանակալիության գործակցով): NDVI և NDRE-ի համար նմանատիպ արդյունք, մի փոքր ավելի ցածր կոռելյացիոն գործակցով ($r \approx 0.5$), արձանագրվել է (Kopačková-Strnadová et al., 2021)-ի կողմից, որտեղ Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորի միջոցով ստացված ԱԹՍ պատկերները օգտագործվել են եղևնու մոնոկուլտուրաներում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման համար: Բացասական նշանակալի կոռելյացիա ($r=0.46$) է դիտվել քլորոֆիլի պարունակության և էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կարմիր տիրույթում ստացված արժեքների միջև, ինչը սպասելի էր, քանի որ քլորոֆիլը կլանում է լույսը կարմիր տիրույթում: Ընդ որում, Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորը գրանցում է կարմիր տիրույթի 660նմ երկարությամբ ալիքները, ինչը մոտ է քլորոֆիլի պարունակության գնահատման նախորդ հետազոտությունների ընթացքում օգտագործված սպեկտրալ տիրույթներին (680-690նմ) (Singhal et al., 2019): Նշանակալի կոռելյացիա չի հայտնաբերվել քլորոֆիլի պարունակության և էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կանաչ ($r=0.04$), եզրային կարմիր (red edge) ($r=-0.12$) ու մոտակա ինֆրակարմիր ($r=0.11$) տիրույթների միջև: Սակայն, ավելի վաղ կատարված հետազոտությունները ցույց էին տվել նշանակալի կոռելյացիա եզրային կարմիր (red edge) տիրույթում լույսի անդրադարձման և տերևում քլորոֆիլի պարունակության արժեքների միջև (Carter and Knapp, 2001; Elarab et al., 2015):

Խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման ուղղությամբ LOO խաչաձև վավերացման ամենացածր Արմատ միջին քառակուսային շեղման (RMSE) արժեքի համաձայն, PLSR-ի 5 բաղադրիչներից (փոփոխականներից) օպտիմալ քանակ է ընտրվել 2-ը: Ինչպես երևում է նկար 5-ից, մեքենայական ուսուցման PLSR մոդելը գոհացուցիչ արդյունքներ է տալիս թե՛ ստուգաչափման ($R^2_{cal} = 0.41$, $RMSE_{cal} = 52.80$), թե՛ վավերացման ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$) համար:

Արդյունքները միանգամայն լավատեսական են և կարող են բարելավվել նմուշառման կետերի ավելացմամբ ու մեքենայական ուսուցման առավել բարդ մոդելների կիրառմամբ, (Kernel-Ridge ռեգրեսիոն, Պատահական Անտառ (Random Forest), Subtractive clustering և այլ), որոնք արդեն հաջող կերպով կիրառվել են ԱԹՍ բազմասպեկտրալ

պատկերների միջոցով բուսականության մեջ քլորոֆիլի պարունակությունը գնատահելու համար (Singhal et al., 2019; Vanbrabant et al., 2019):



Նկ. 5. Քլորոֆիլի կանխատեսված և չափված քանակների ցրվածության դիագրամը (scatter plot) PLSR մոդելի ա) ստուգաչափման տվյալների բ) վավերացման տվյալների դեպքում

Եզրակացություններ

➤ Գորիսի և Սիսիանի շրջանների հետազոտված գյուղական բնակավայրերի կլաստերներում կենսազանգվածի վիճակի վատթարացում չի դիտվել, սակայն լավացում այդուհանդերձ դիտվել է միայն Գորիսի շրջանում՝ համաձայն Seasonal Mann-Kendall վիճակագրական թեստավորման:

➤ Սպեկտրալ անդրադարձման արժեքների շարքում կարմիր տիրույթում անդրադարձված արժեքները ամենազգայունն են քլորոֆիլի փոփոխությունների նկատմամբ: Նշանակալի դրական կոռելյացիա է դիտվում նաև տերևներում քլորոֆիլի պարունակության և NDVI, NDRE արժեքների միջև:

➤ Մեքենայական ուսուցման PLSR մոդելի արդյունքների համաձայն, բազմասպեկտրալ ԱԹՄ պատկերները մեծ ներուժ ունեն խաղողի տերևներում քլորոֆիլի քանակական գնահատման և հետևապես այգիների վիճակի մշտադիտարկման իրականացման համար: Այդուհանդերձ, քլորոֆիլի սեզոնային վարքագծի սպեկտրալ անդրադարձման առանձնահատկությունների բացահայտման համար արդյունքները պետք է բարելավվեն ըստ վեգետացիոն սեզոնների՝ դաշտային insitu տվյալների քանակի և ԱԹՄ պատկերների ավելացմամբ, և մեքենայական ուսուցման այլ մոդելների կիրառմամբ:

➤ Իրականացված հետազոտությունները թեև հատվածական են, բայց թույլ են տալիս եզրակացնել, որ օդատիեզերական հեռազննումն ունի ներուժ ՀՀ-ում գյուղատնտեսական հողահանդակների տարբեր էկոլոգիական խնդիրների բացահայտման և տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատման գործում:

Աշխատանքն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՄՄՆ ԲԿԳԿ-ի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 22AA-1E021 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակում, բազային ֆինանսավորմամբ և ՀՀ ԳԱԱ ֆինանսական աջակցությամբ՝ «Երիտասարդ գիտնականների աջակցության ծրագրի» շրջանակներում, ծածկագիր՝ 23YSSPS-13:

Գրականություն

Տեփանոսյան Գ. Հ. 2017 ՀԵՌԱԶՆԵՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՈՐՈՇ ԱՐՈՏԱՎԱՅՐԵՐԻ ԴԵԳՐԱԴԱՑԻԱՅԻ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ԴՐԱՆՅ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԿԵՆՍԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ, Կենս.գիտ. թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր, Երևան, ՀՀ ԳԱԱ ՀԱՅԿԵՆՍԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ ԳԱՀ ՊՈԱԿ, 22

ՏՐԻՆԻՏԻ ԿԱՆՈՆ ԱՅԳԻՆԵՐ [WWW Document], 2014. URL <http://trinitycv.com/>(accessed 15.11.2024)

Buhairi, M.H. Al 2010. Analysis of Monthly, Seasonal and Annual Air Temperature Variability and Trends in Taiz City - Republic of Yemen. Journal of Environmental Protection, 01, 401–409. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.14046>

- Cabello-Pasini, A., Macías-Carranza, V.** 2011. Optical properties of grapevine leaves: reflectance, transmittance, absorptance and chlorophyll concentration. *Agrociencia*.
- Carter, G.A., Knapp, A.K.** 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, p. 677–684. <https://doi.org/10.2307/2657068>
- Efendyan, P.S., Hovhannisyan, T.A., Hakobyan, T.M.** 2021. Determination of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) by Applying Disco-Pro AG Drones in Vineyards. *AgriScience and Technology*, 2, p. 123-126.
- Elarab, M., Ticlavilca, A.M., Torres-Rua, A.F., Maslova, I., McKee, M.** 2015. Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 43, p. 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.017>
- Gocic, M., Trajkovic, S.** 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, p. 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Kopačková-Strnadová, V., Koucká, L., Jelének, J., Lhotáková, Z., Oulehle, F.** 2021. Canopy Top, Height and Photosynthetic Pigment Estimation Using Parrot Sequoia Multispectral Imagery and the Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 13, p. 705. <https://doi.org/10.3390/rs13040705>
- Mann-Kendall Test** [WWW Document], n.d. StatsTest.com. URL <https://www.statstest.com/kendalls-tau/>
- Mavromatis, T., Stathis, D.** 2011. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, p. 13–24. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0320-9>
- Metternicht, G., Zinck, J.A., Blanco, P.D., del Valle, H.F.** 2010. Remote Sensing of Land Degradation: Experiences from Latin America and the Caribbean. *Journal of Environmental Quality*, 39, p. 42–61. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0127>
- Nascimento, C.M., de Sousa Mendes, W., Quiñonez Silvero, N.E., Poppiel, R.R., Sayão, V.M., Dotto, A.C., Valadares dos Santos, N., Accorsi Amorim, M.T., Demattê, J.A.M.** 2021. Soil degradation index developed by multitemporal remote sensing images, climate variables, terrain and soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111316>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D.** 2011. Scikit-learn: machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, p. 2825–2830.
- Shadmani, M., Marofi, S., Roknian, M.** 2012. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, 26, p. 211–224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>

- Shourov, Md.M.H. 2022. What is the Mann-Kendall Test ? [WWW Document]. GitHub. URL <https://github.com/mmhs013/pyMannKendall/tree/c2be737a199a694e481d98677e0e2c2c5d21b89d#function-details>
- Singhal, G., Bansod, B., Mathew, L., Goswami, J., Choudhury, B.U., Raju, P.L.N.** 2019. Chlorophyll estimation using multi-spectral unmanned aerial system based on machine learning techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100235>
- Symeonakis, E., Drake, N.** 2004. Monitoring desertification and land degradation over sub-saharan africa. *International Journal of Remote Sensing* 25, p. 573–592. <https://doi.org/10.1080/0143116031000095998>
- Tepanosyan, G.H., Asmaryan, Sh.G., Muradyan, V.S., Saghatelyan, A.K.** 2017. Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: A case study. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, p. 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.006>
- Vanbrabant, Y., Tits, L., Delalieux, S., Pauly, K., Verjans, W., Somers, B.** 2019. Multitemporal chlorophyll mapping in pome fruit orchards from remotely piloted aircraft systems. *Remote Sensing*, 11. <https://doi.org/10.3390/rs11121468>
- Wessels, K.J., Prince, S.D., Frost, P.E., Van Zyl, D.** 2004. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 91, p. 47–67. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.005>

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УГОДИЙ РА

**Айвазян Григор, Хлгатян Анаит, Мурадян Ваагн,
Асмарян Шушаник**

Резюме

Применение аэрокосмических методов дистанционного зондирования в области сельского хозяйства постоянно развивается. В особенности это относится к оценке пространственно-временных изменений экологического состояния сельскохозяйственных земель (пастбища, пашня, садовые участки и т.д.), становясь обязательной частью систем мониторинга.

Потенциал технологий дистанционного зондирования для оценки экологического состояния различных сельскохозяйственных земель был исследован на примере двух типов угодий: естественных пастбищ и виноградников.

На основе снимков, полученных на основе Landsat-5, 7, 8 по данным 2000–2021 гг., были рассчитаны значения NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс), анализ и валидация пространственно-временных изменений, которые были проведены с помощью статистического теста Манна-Кендалла. Полученные результаты показывают, что на исследованных естественных пастбищах ухудшения состояния не наблюдаются.

На участках с виноградом были проведены измерения содержания хлорофилла в листьях и мультиспектральная съемка участка беспилотным летательным аппаратом. Результаты рассчитанных индексов и измерений хлорофилла были сопоставлены, используя корреляционный анализ и метод машинного обучения частично наименьших квадратов, который показал удовлетворительные результаты для прогнозирования содержания хлорофилла в листьях винограда ($R^2_{\text{val}} = 0.49$, $\text{RMSE}_{\text{val}} = 43.68$):

Полученные результаты свидетельствуют о потенциале технологий аэрокосмического мониторинга в вопросе выявления различных экологических проблем сельскохозяйственных угодий и оценки пространственно-временных изменений. Этим обосновывается необходимость продолжения исследований по усовершенствованию разработанных методов.

APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR ASSESSING SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOME AGRICULTURAL LANDS IN RA

**Ayvazyan Grigor, Khlgatyan Anahit, Muradyan Vahagn,
Asmaryan Shushanik**

Abstract

The application of remote sensing methods in the field of agriculture is constantly developing. This is especially true for the assessment of spatial and temporal changes in the ecological state of agricultural lands (pastures, arable land, garden plots, etc.), becoming an obligatory part of monitoring systems.

The potential of remote sensing technologies for assessing the ecological state of different agricultural lands was investigated on the example of two types of lands: natural pastures and vineyards.

NDVI (normalized difference vegetation index) values were calculated on the basis of Landsat-5, 7, 8 images from 2000–2021 data, analysis and

validation of spatial and temporal changes of which were carried out using the Mann-Kendall statistical test. The results obtained show that no deterioration is observed in the studied natural pastures.

In the plots with grapes, measurements of chlorophyll content in leaves and multispectral imaging of the plot by an unmanned aerial vehicle were carried out. The results of the calculated indices and chlorophyll measurements were compared using correlation analysis and partial least squares machine learning method, which showed satisfactory results for predicting chlorophyll content in grape leaves ($R^2_{\text{val}} = 0.49$, $\text{RMSE}_{\text{val}} = 43.68$).

The results obtained show the potential of aerospace monitoring technologies in identifying various ecological problems of agricultural lands and assessing spatial and temporal changes. This justifies the need to continue research to improve the developed methods.