

**ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՀՈՂԱԾԱԾԿԻ ՏԱՐԱԾԱԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ
ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

**Տեփանոսյան Գ. Հ., Հովսեփյան Ա.Ա., Մուրադյան Վ.Ա.,
Ասմարյան Շ.Գ.**

*ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Արշակունյաց 68, 0025 Երևան, Հայաստան
E-mail: . garik.tepanosyan@cens.am
Հանձնված է խմբագրություն 08.06.2020*

Աշխատանքում քննարկվում է 1989-2018 թթ-ին Երևան քաղաքի մակերևույթային ծածկի տարածաժամանակային փոփոխության առանձնահատկությունները՝ վերծանված Landsat արբանյակային լուսանկարներից՝ մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառմամբ: Քաղաքի մակերևույթային ծածկի քարտեզագրման համար ընտրվել են մեքենայական ուսուցման ալգորիթմներից առավել լայն կիրառվող բազմաշերտ պերցեպտրոն՝ ԲՇՊ (MLP-multilayer perceptron), աջակցության վեկտորի դասակարգիչ՝ ԱՎԴ (SVC-support vector classifier) և պատահական անտառ՝ ՊԱ (RF-random forest) մեթոդները: Հետազոտություն արդյունքները ցույց են տալիս, որ արբանյակային լուսանկարների մեքենայացված ուսուցման դասակարգիչներից ԲՇՊ մոդելն իր ցուցանիշներով գերազանցում է դասակարգման մյուս ալգորիթմները: Քաղաքի մակերևույթային ծածկի քարտեզների տարածաժամանակային վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ հետազոտվող ժամանակահատվածում զգալիորեն կրճատվել են Երևան քաղաքի տարածքում գտնվող գյուղատնտեսական հողատարածքները, իսկ քաղաքում դիտվող կառուցապատման տարածական զգալի աճը ընթացել է, գլխավորապես, կանաչ տարածքների հաշվին:

Հանգուցային բառեր՝ քաղաքի մակերևույթային ծածկ, տարածաժամանակային փոփոխություն, արբանյակային հեռազննում, մեքենայական ուսուցման մեթոդներ, լուսանկարների դասակարգում

Ներածություն

Քաղաքների էկոլոգիական հետազոտություններում առանձնահատուկ կարևորություն են ներկայացնում մակերևույթային ծածկի (Land cover) ուսումնասիրությունները, քանի որ վերջինս հնարավորություն է ընձեռում պատկերացում կազմել քաղաքային տարածքի ռացիոնալ կազմակերպման, բազմազանության (urban diversity), ինտենսիվության, հողօգտագործման ձևերի, միկրոկլիմայի, մասնավորապես քա-

դաքում ձևավորվող ջերմային կղզիների երևույթի վերաբերյալ: Մակերևութային ծածկն իրականում արտացոլում է քաղաքի գոտեվորման առկա պատկերը, իսկ վերջինիս տարածաժամանակային փոփոխությունների առանձնահատկությունները հնարավորություն են տալիս նախագծել քաղաքի հետագա զարգացման հեռանկարները (Roustaet al, 2018):

Քաղաքային տարածքների մակերևութային ծածկի քարտեզագրման գործում գրեթե անփոխարինելի են հեռազննման տեխնոլոգիաները՝ իրենց տարածաժամանակային բարձր ճշտության, բազմամյա արխիվային լուսանկարների կայուն շարքի առկայության և այլ հատկությունների շնորհիվ, իսկ քարտեզագրման ժամանակ շատ կարևոր է համապատասխան դասակարգիչների ընտրությունը: Լուսանկարների մշակման մեթոդները տարբեր են և, պետք է նշել, որ հեռազննման տվյալների դասակարգման ժամանակ մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառումը ստացված արդյունքները զգալիորեն գերազանցում են պարամետրիկ մեթոդների արդյունքները (Hussam, 2019):

Քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզագրման համար առավել լայն կիրառվող մեքենայական ուսուցման ալգորիթմներից են բազմաշերտ պերցեպտրոն՝ ԲՇՊ (MLP-multilayer perceptron), աջակցության վեկտորի դասակարգիչ՝ ԱՎԴ (SVC-support vector classifier) և պատահական անտառ ՊԱ (RF-random forest) մեթոդները: ՊԱ-ն կարող է դիտարկվել որպես որոշումների ծառերի համախումբ, որը մեքենայական ուսուցման լայն տարածում ունեցող ալգորիթմ է՝ շնորհիվ դասակարգման բարձր կատարողականության, ընդարձակվելիության և դյուրին օգտագործման: Իսկ համախմբման կամ հավաքական ուսուցման գաղափարը կայանում է հետևյալում՝ միավորել թույլ ուսուցվող շարքերը՝ մեկ ուժեղ դասակարգիչ կառուցելու համար: ԱՎԴ մեթոդի նպատակն է տարածության մեջ գտնել օպտիմալ սահմանները, որոնք առավելագույնի կհասցնեն տարբեր դասերի միջև տարանջատումը: ԲՇՊ-ն հանդիսանում է արհեստական նեյրոնային ցանցի (ANN) ուղղակի բաշխման/տարածման դաս, որը օգտագործում է վերահսկվող ուսուցման տեխնիկան՝ հիմնված հետադարձ տարածման ալգորիթմի վրա (Jozdani et al, 2019; Python Machine Learning, 2016):

Աշխատանքի նպատակն է իրականացնել Երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզագրում 1989, 2000, 2010, 2018 թվականներին ստացված Landsat արբանյակային նկարների դասակարգմամբ՝ կիրառելով մեքենայական ուսուցման ալգորիթմները և ուսումնասիրել Երևան քաղաքում մակերևութային ծածկի փոփոխությունները այդ ժամանակահատվածներում: Ժամանակահատվածների ընտրությունը պայմանավորված է խորհրդային (80-ական թվականների վերջից), մինչև մեր օրեր քաղաքի փոփոխման առավել ընդգծված փուլերով և այդ փուլերին համապատասխան որակյալ լուսանկարների առկայությամբ:

Նյութեր և մեթոդներ

Հետազոտման օբյեկտ է հանդիսացել Հայաստանի Հանրապետության մայրաքաղաք Երևանը: Քաղաքը զբաղեցնում է 223կմ² տարածք, բնակչությունը 1,1մլն է, ինչը կազմում է երկրի ամբողջ բնակչության 36%-ը և քաղաքային բնակչության 56%-ը (www.armstat.am/hy/09.07.2020):

Երևանը տեղակայված է 860-1300մ բարձրությունների վրա Արարատյան գոգավորությունում, Հրազդան գետի երկու ափերին՝ րնդ-գրկելով Երևանյան գոգավորությունը, Կոտայքի և Եղվարդի հրաբխային, Շոռաղբյուրի զլաքարային և Նուբարաշենի տեղատարումնային սարավանդները(ՀՍՍՀ Ֆիզիկական Աշխարհագրություն, 1971): Կլիման չոր մայրցամաքային է: Տարեկան միջին ջերմաստիճանը 9,1-ից 12,1°C է, մոտ 27°C տարեկան սեզոնային տատանումներով՝ միջին ամառային և միջին ձմեռային ջերմաստիճանների միջև: Տարեկան անձրևային տեղումների քանակը 286-440մմ է՝ նոյեմբերին առավելագույնով: Ջեռուցման սեզոնը տևում է 137-ից 161 օր (Yerevan Green City Action Plan, 2017):

Երևան քաղաքի մակերևույթի ծածկի դասակարգման համար օգտագործվել են Level-1 ճշտության, տարածականորեն շտկված (L1T) Landsat արբանյակային լուսանկարներ չորս ժամանակահատվածների համար. Landsat 5 TM 1989թ.՝ օգոստոսից (Ժամանակահատված 1), Landsat 7 ETM+ 2000թ.՝ օգոստոսի 13-ից (Ժամանակահատված 2), Landsat 5 TM 2010թ. օգոստոսի 1-ից՝ (Ժամանակահատված 3) և Landsat 8 OLI/TIRS 2018թ. օգոստոսի 7-ից (Ժամանակահատված 4) (<http://glovis.usgs.gov>):

Գրանցված միջին քառակուսային շեղումները (RMSE) (ինչպես նկարահանման ուղղությանը զուգահեռ, այնպես էլ ուղղահայաց) հետազոտության մեջ օգտագործված բոլոր լուսանկարների համար եղել են 7մ-ի սահմաններում: Արբանյակային լուսանկարների որակը բարձրացնելու համար իրականացվել են մթնոլորտային և ռադիոմետրիկ ուղղումներ:

Երևան քաղաքի տարածքում առանձնացվել է մակերևույթային ծածկի վեց տիպ (աղ.1): Դասակարգիչների ուսուցման և ստուգման համար նմուշային տարածքները վերցվել են Google Earth հավելվածի բարձր լուծաչափի արբանյակային լուսանկարներից:

Կայուն տարածքներից, որոնք անփոփոխ են մնացել հետազոտման համար ընտրված բոլոր ժամանակահատվածներում վեց տարբեր մակերևույթային տիպերից, առանձնացվել են ուսուցման հատվածներ՝ ընդհանուր առմամբ 126 տեղամասեր (1877 պիքսել) (Մերկ հող - 12 (139 պիքսել), Խոտային ծածկ -11 (56 պիքսել), Բաց տարածք - 17 (254 պիքսել), Ծառածածկ տարածք - 33 (239 պիքսել), Քաղաքային ցանց - 48 (900 պիքսել), Զրային տարածք - 5 (235 պիքսել)) (աղ.1), և 125 տեղամասեր (2016 տեղամաս)՝ ստուգման համար, իրականացված դա-

սակարգման մեթոդների արդյունավետությունը գնահատելու համար:

Դասակարգման վերոնշյալ բոլոր մոդելներն իրականացվել են ազատ հասանելի «scikit-Learn» գրադարանի կիրառմամբ (Pedregosa et al, 2011), որն առավել հաճախ կիրառվող Python ծրագրավորման լեզվով մեքենայական ուսուցման գրադարանն է: Հիպերպարամետրային օպտիմիզացումը իրականացվել է scikit-learn GridSearchCV մոդուլի կիրառմամբ: Լավագույն գնահատիչները բնութագրվել են՝ հիմնվելով 10-ապատիկ խաչաձև վավերացման (10-fold cross validation) միջին դետերմինացիոն գործակցի (R2) արժեքների վրա:

Օպտիմիզացվել են ՊԱ դասակարգիչի չորս պարամետրեր՝ անտառում ծառերի քանակը, յուրաքանչյուր ծառի մաքսիմալ խորությունը, պահանջվող նմուշների նվազագույն քանակը, որոնք (ա) պետք է լինեն տերևի հանգույցում, (բ) պետք է բաժանեն ներքին հանգույցը:

Աղյուսակ 1

Երևան քաղաքի համար առանձնացված հողածածկի վեց դասերի նկարագրությունը և դասակարգման համար կիրառված ուսուցման տեղամասերի/պիքսելների քանակը

<i>Մակերևութային ծածկի դասեր</i>	<i>Նկարագրություն</i>	<i>Ուսուցման տեղամասերի քանակը</i>
Մերկ հողեր	Տարածքներ, որտեղ հողի վերին շերտը հեռացված կամ խախտված է (այսինքն, շինհրապարակներ, հանքավայրեր)	12
Խոտածածկ տարածքներ	Խոտային բուսականությամբ ծածկված տարածքներ, (սիզամարգեր և ծաղկանոցներ, գյուղատնտեսական տարածքներ, բնական մարգագետիններ)	11
Բաց տարածքներ	Քիչ բուսածածկով կամ բուսազուրկ տարածքներ, քարեր, չոր բուսականություն և այլն	17
Ծառածածկ տարածքներ	Քաղաքային այգիներ, գյուղատնտեսական այգիներ և այլն	33
Քաղաքային կառուցապատում	Քաղաքային կառուցապատման արհեստական ծածկով մակերեսներ (շենքեր, շինություններ, բետոն, ասֆալտ)	48
Ջրային տարածքներ	Լճեր, ջրամբարներ, գետեր	5

Ռադիկալ-բազիսային ֆունկցիայի (RBF-Radial Basis Function) համար երկու հիմնական ԱՎԴ կորիզներն են C-ն և գամման (γ) ($C=100$, $\gamma=100$): C-ն սխալի ժամանակի տուգանային պարամետր է և կիրառվում է սխալ դասակարգման տուգանքը հսկելու համար: Գամ-

ման կարող է ընկալվել/հասկացվել որպես կտրման պարամետր ոչ գծային հիպերհարթությունների համար: Գամմայի փոքրարժեքը բերում է որոշումների ճկուն սահմանների:

ԲՇՊ ալգորիթմի չորս հիմնական կոմպոնենտներն են մուտքային շերտը, թաքնված շերտը, նեյրոնները և ելքային շերտը: ՊԱ-ի հետ համեմատած ԲՇՊ-ի ԱՎԴ մոդելները պահանջում են պարամետրերի ավելի շատ հարմարեցում, ինչը ժամանակատար է և պահանջում է հսկայական հաշվողական ռեսուրսներ (Jozdani et al, 2019, Python Machine Learning, 2016, Maxwell et al, 2018). Մասնավորապես, թաքնված շերտերի թիվը և յուրաքանչյուր շերտում նեյրոնների թիվը օպտիմիզացնելու համար պետք է դիտարկվեն հնարավոր միլիոնավոր համադրումներ:

Այսպիսով, հետազոտության մեջ կիրառվել է ԲՇՊ մոդելի առաջարկված կառուցվածքը (3 թաքնված շերտ և 100 նեյրոն յուրաքանչյուր շերտում), որը ցույց է տալիս լավագույն արդյունքներ և գերազանցում է հեռազննման գերբարձր լուծաչափի լուսանկարներից մակերևույթի ծածկի դասակարգման համար կիրառվող մեքենայական ուսուցման մյուս ալգորիթմները: Կրկնությունների առավելագույն քանակը սահմանվել է 500:

Դասակարգումից հետո իրականացվել է ընդհանրացման վերլուծություն միայնակ պիքսելները հեռացնելու համար, որոնք կարող են հանդիսանալ դասակարգման սխալներ:

Մակերևույթի ծածկի դասակարգման ճշտության գնահատումը իրականացվել է 2018թ-ի համար հաշվարկելով ընդհանուր ճշտությունը (Overall accuracy), ստեղծողի/օգտագործողի ճշտությունները (Producer's/ User's accuracies) և Կապպա գործակիցը (Kappa coefficient) (Choudhury et al, 2019, Dhar et al, 2019, Foody 1992, Ma et al, 1995, Ma et al 1995, Maxwell et al, 2018): Կիրառվել է Կապպա գործակցի հետևյալ դասակարգումը՝ <0.4 արժեքները ներկայացնում են շատ թույլ/թույլ համաձայնություն/համապատասխանություն, $0.4-0.55$ միջակայքում՝ բավարար համաձայնություն, $0.55-0.7$ միջակայքում՝ արժեքները լավ են համաձայնեցված, $0.7-0.85$ միջակայքում՝ շատ լավ, $0.85-0.99$ միջակայքում՝ գերազանց, իսկ >0.99 միջակայքում արժեքները ներկայացնում են կատարյալ համաձայնություն (Monserud et al, 1992):

Արդյունքների քննարկում՝ քաղաքի տարածքի մակերևութային ծածկի դասակարգման ճշտության գնահատում

Մակերևութային ծածկի դասակարգման ճշտության չափանիշները 2018թ. համար ներկայացված են աղ.2-ում: Աղյուսակից երևում է, որ բոլոր մոդելները ցույց են տալիս դասակարգման բարձր ճշտությամբ արդյունքներ: ՊԱ, ԱՎԴ և ԲՇՊ մոդելների կիրառմամբ մակերևութային ծածկի դասակարգման քարտեզները տալիս են դասակարգման համապատասխանաբար շատ լավ և գերազանց ճշտություն

(Monserud et al, 1992): Այդուհանդերձ այս դեպքում լավագույն արդյունք ստացվել է ԲՇՊ մոդելի կիրառմամբ: ԲՇՊ-ի հետ համեմատած ավելի թույլ ճշտությամբ արդյունքներ ստացվել են ԱՎԴ մոդելի դեպքում, իսկ ՊԱ մոդելը ԲՇՊ և ԱՎԴ մոդելների համեմատ տվել է 4%-ով պակաս ճշտություն: Արտադրողի և Օգտագործողի ճշտությունները ցույց են տալիս, որ դասակարգումը մակերևութային ծածկի բոլոր դասերի համար իրականացվել է բարձր ճշտությամբ, բացառությամբ **մերկ հողեր** դասի:

Աղյուսակ 2

Հողածածկի դասակարգման ճշտության ցուցանիշները 2018թ. համար՝
իրականացված ՊԱ, ԱՎԴ և ԲՇՊ ալգորիթմների կիրառմամբ

Հողածածկի դասեր	արտադրողի ճշտություն (%)			կիրառողի ճշտություն (%)			Կապպա գործակից			Ընդհանուր ճշտություն		
	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ
Մերկ հողեր	60.08	70.72	69.96	69.60	67.88	80.00	0.80	0.85	0.86	86.41	89.93	90.28
Խոտածածկ տարածքներ	91.23	93.86	93.86	92.86	96.40	93.86						
Բաց տարածքներ	79.29	88.46	90.83	83.75	91.44	87.22						
Ծառածածկ տարածքներ	96.39	97.99	97.19	95.24	97.21	97.19						
Քաղաքային կառուցապատում	92.13	92.62	93.01	87.56	92.53	91.39						
Ջրային տարածքներ	100	100	97.22	100	100	94.59						

Չնայած ԲՇՊ ալգորիթմը գերազանցում է ՊԱ և ԱՎԴ ալգորիթմներին դասակարգման ճշտությամբ, այն ավելի բարդ է և պահանջում է հսկայական հաշվողական ռեսուրսներ՝ ուսուցման փուլում հիպերպարամետրիկ հարմարեցման համար (Jozdani et al, 2019): Այսպիսով, հաշվի առնելով դասակարգման ճշտությունների աննշան տարբերությունը ԱՎԴ և ԲՇՊ մոդելների միջև, որոշ դեպքերում (օրինակ, համապատասխան հաշվողական ռեսուրսների բացակայության պայմաններում) ԱՎԴ-ն կարող է նախընտրելի լինել ԲՇՊ-ից:

ԲՇՊ մոդելի կրառմամբ 1989, 2000, 2010 և 2018թթ. համար ստացված/գեներացված Երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզները ներկայացված են նկ.1-ում:

Հետազոտվող ժամականահատվածում (1989-2018թթ.) տեղի ունեցած մակերևութային ծածկի փոփոխությունները ներկայացված են Աղյուսակներ 3-5-ում, իսկ առավել փոփոխված տեղամասերը պատկերված են նկ.2-ում: Ստորև կքննարկվեն առավել զգալի փոփոխությունները:

Աղյուսակ 3

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի տարածքում 1989-2000թթ. (կմ²)

		2000թ.					
		Մերկ հողեր	Խոտածածկ տարածքներ	Բաց տա-րածքներ	Ծառածածկ տարածքներ	Քաղաքային կառուցա-պատում	Ջրային տա-րածքներ
1989թ.	Մերկ հողեր	0.00	0.95	4.99	0.17	5.07	0.00
	Խոտածածկ տարածքներ	2.15	0.00	3.16	3.46	2.01	0.01
	Բաց տարածքներ	7.72	6.32	0.00	4.35	4.67	0.01
	Ծառածածկ տարածքներ	0.51	3.77	5.12	0.00	7.00	0.07
	Քաղաքային կառուցապատում	7.14	3.11	6.08	2.05	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00

Աղյուսակ 4

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի տարածքում 2000-2010թթ. (կմ²)

		2010թ.					
		Մերկ հողեր	Խոտածածկ տարածքներ	Բաց տա-րածքներ	Ծառածածկ տա-րածքներ	Քաղաքային կառուցա-պատում	Ջրային տարածքներ
2000թ.	Մերկ հողեր	0.00	2.38	8.91	0.41	5.81	0.01
	Խոտածածկ տարածքներ	1.42	0.00	7.87	3.88	2.06	0.01
	Բաց տարածքներ	5.28	2.16	0.00	2.25	5.26	0.04
	Ծառածածկ տարածքներ	0.51	3.77	5.12	0.00	7.00	0.07
	Քաղաքային կառուցապատում	7.14	3.11	6.08	2.05	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի
տարածքում 2010-2018թթ. (կմ²)

		2018թ.					
		Մերկ կ հող եր	Նոստած ածկ տարածք ներ	Բաց տարածք ներ	Ծառածա ծկ տարածք ներ	Քաղաքային կառուցապա տում	Ջրային տարածք ներ
2010 թ	Մերկ հողեր	0.00	0.99	7.24	0.08	6.89	0.00
	Նոստածածկ տարածքներ	1.39	0.00	4.16	1.07	3.86	0.01
	Բաց տարածքներ	4.61	2.13	0.00	1.09	6.79	0.03
	Ծառածածկ տարածքներ	0.36	2.87	4.26	0.00	6.85	0.04
	Քաղաքային կառուցապա տում	2.98	0.46	3.18	0.87	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.00	0.00	0.01	0.09	0.07	0.00

«Մերկ հողեր - Բաց տարածքներ» և «Բաց տարածքներ - Մերկ հողեր» փոփոխությունները հիմնականում արտահայտվել են քաղաքի հարավ-արևելյան և հյուսիս-արևմտյան հատվածներում (նկ.2): Դրանք հիմնականում արդյունաբերական/հանքարդյունաբերական և ամայի տարածքներ են, որտեղ մակերևութի ծածկի նշված վերափոխումներ անթրոպոգեն գործունեության արդյունք են: Երրորդ ժամանակահատվածում նույնպես «Բաց տարածք-Մերկ հող» փոփոխություններ են տեղի ունեցել քաղաքի գյուղատնտեսական տարածքներում (նկ.2, պոլիգոններ 3,4,8 և 6): (Միլիկյան-Տիշինա թաղամասերի միջև բնկած մշակովի այգիներում, Դալմայի այգիներում, Բսակովի փողոցին հարող հատվածում)՝ կապված շինարարական աշխատանքների հետ:

Մակերևութային ծածկի առանձին դասերի վերափոխումը Քաղաքային կառուցապատման 1989-2000թթ. ժամանակահատվածում արտահայտվում է 2 ձևով՝ (i) մեծ բնակարանային համալիրների կառուցում (≈ 5 կմ²), (ii) մասնավոր տների կառուցում (≈ 7 կմ²): Խորհրդային շրջանում՝ 1980-ական թվականների կեսերին սկսվում է մեծ բնակարանային համալիրների կառուցում, ինչպես օրինակ Դավիթաշեն, Նորաշեն, Նոր Նորքի 9-րդ և 8-րդ միկրոշրջաններ (նկ.2, պոլիգոններ 9, 10/11, 12 համապատասխանաբար), որոնք շահագործման են հանձնվում 1990-ականներին՝ Խորհրդային Միության փլուզուման տարիներին և հետո: Էներգետիկ ճգնաժամով պայմանավորված Ծառածակ տարածքների կորստին 1990-ականների սկզբերին հաջորդեց

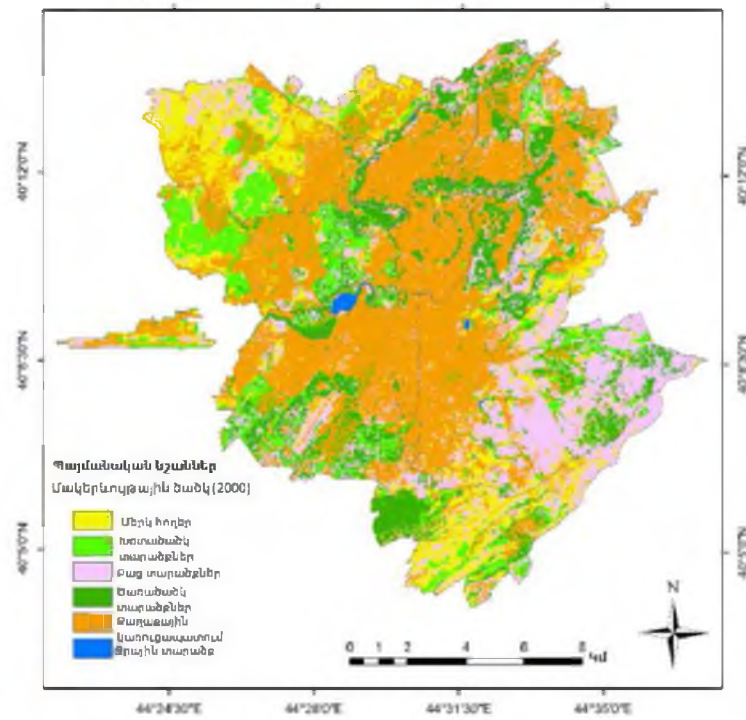
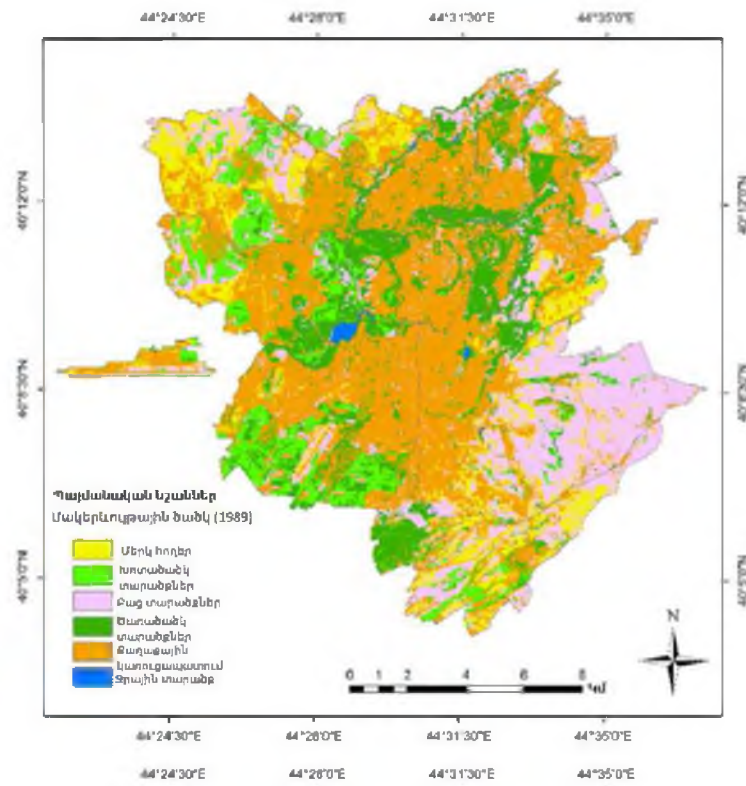
այս տարածքների որոշ մասերում մասնավոր տների կառուցումը: Բացի այդ, Ծառածածկ տարածքներ կրճատվել են նաև շինարարական նպատակներով (<https://www.yerevan.am/en/yerevan-green-city-action-plan/>):

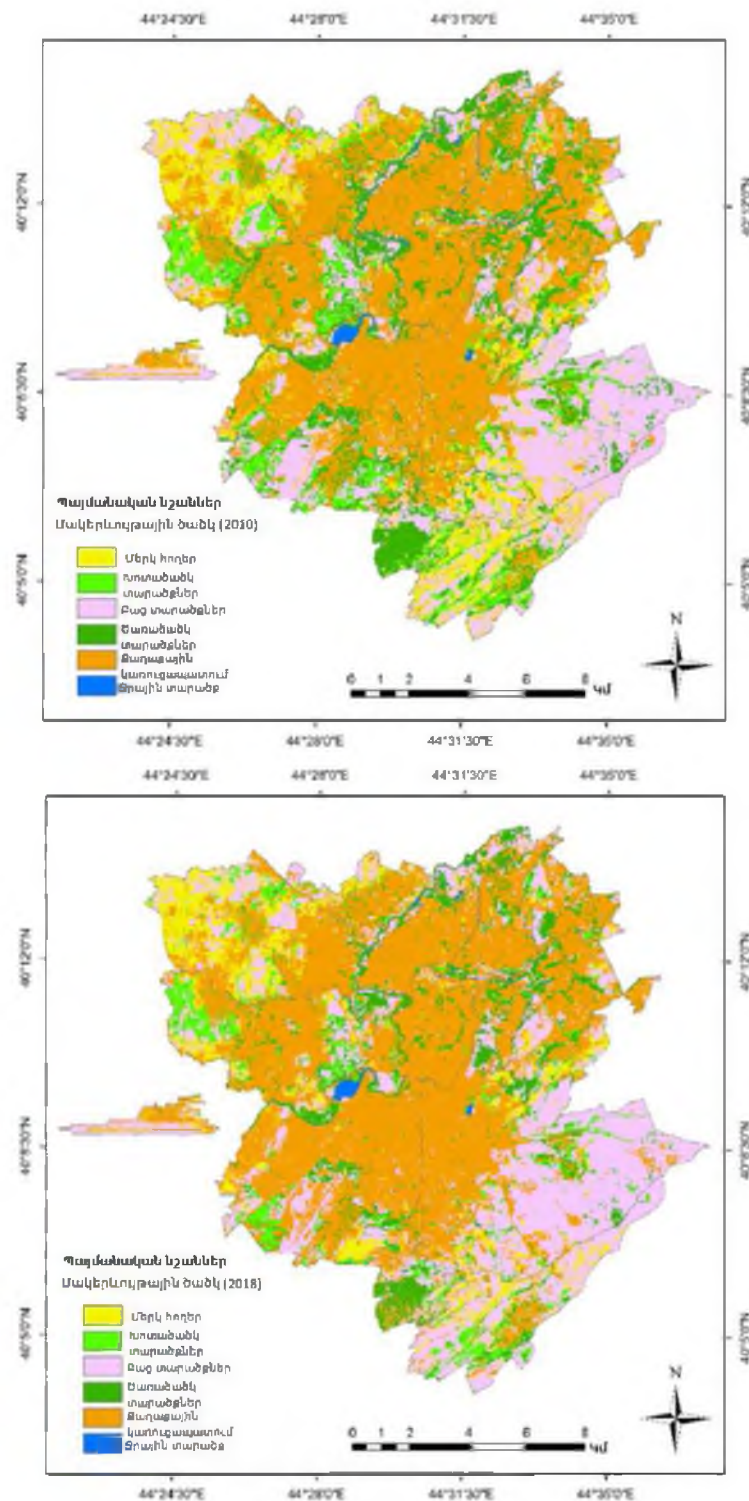
2000-2010թթ. և 2010-2018թթ. ժամանակահատվածներում մակերևութային ծածկի մյուս դասերի վերափոխումը «Քաղաքային կառուցապատման» դասի հիմնականում տեղի է ունեցել «Խոտածածկ տարածքների» և «Ծառածածկ տարածքների» հաշվին: 2000-2010թթ. ժամանակահատվածում «Ծառածածկ տարածքների» վերափոխումը «Քաղաքային կառուցապատման» պակաս ինտենսիվ է ($\approx 2կմ^2$) և հիմնականում դիտվել է Անտառային փողոցին հարող գոտում (նկ.2, պոլիգոն 13) պայմանավորված նոր բնակարանային համալիրի կառուցմամբ, և մասնավոր տների կառուցմամբ՝ ցրված Նորք-Մարաշ և Նոր-Նորք բնակելի հատվածներում (նկ.2, պոլիգոն 14): 2010-2018թթ. ժամանակահատվածի ընթացքում այս տրանսֆորմացիան ցրված է ամբողջ քաղաքում՝ առանձին փոքր տարածքների, հատկապես մասնավոր տների տեսքով: Սա կարող է պայմանավորված լինել այդ տեղամասերում տների (վերա)կառուցմամբ, ինչպես նաև տնամերձ այգիների անխնամ վիճակով, որը բերում է արբանյակային լուսանկարի վրա պիքսելի սպեկտրի փոփոխության: Իսկ լուսանկարից ստացված Քաղաքային կառուցապատման փոփոխությունը մակերևութային ծածկի այլ տիպերի ենթադրվում է, որ սխալ դասակարգման արդյունք է:

Ընդհանուր առմամբ, 1989-2000թթ. ժամանակահատվածում նկատվում է քաղաքում գյուղատնտեսական գործունեության ակտիվացում: Սա կարող է բացատրվել տվյալ ժամանակահատվածի սոցիալ-տնտեսական պայմաններով, երբ տնտեսական ճգնաժամի պատճառով մայրաքաղաքում մարդիկ ստիպված էին զբաղվել գյուղատնտեսությամբ:

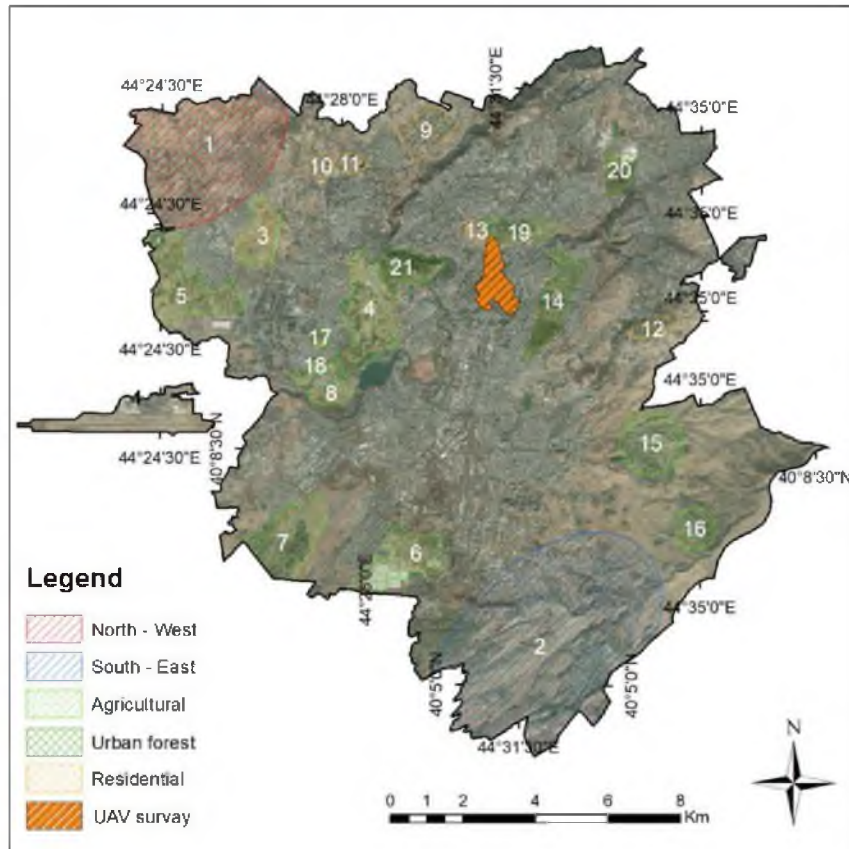
Բաց տարածքներից դեպի Խոտածածկ տարածքներ ինտենսիվ տրանսֆորմացիա տեղի է ունեցել միայն 1989-2000թթ. ($\approx 6կմ^2$) և հիմնականում գյուղատնտեսական տարածքներում է: Պետք է նշել, որ 1989-2000թթ. ժամանակահատվածի ընթացքում Երևան քաղաքի արևելյան հատվածում ի հայտ են եկել գյուղատնտեսական մշակովի տարածքներ (նկ.2, պոլիգոն 15 և 16): Սրանով պայմանավորված, այս հատվածներում Բաց տարածքները վերափոխվել են ոչ միայն Խոտածածկ տարածքների, այլ նաև Ծառածածկ տարածքների ($\approx 4կմ^2$):

«Ծառածածկ տարածքներ - Բաց տարածքներ» վերափոխումը գրեթե նույն ինտենսիվությամբ (աղ.3-5) տեղի է ունեցել հետազոտված ամբողջ ժամանակահատվածում, ինչպես քաղաքային անտառների տարածքներում (նկ.2, պոլիգոններ 14, 17, 18, 19, 20 և 21) (Փարոսի բլուրներ, Քաղաքի հյուսիսում Հաղթանակի զբոսայգուն հարող հատվածից Նորք-Մարաշ, Բուսաբանական այգի, Ծիծեռնակաբերդի բլուր), այնպես էլ գյուղատնտեսական հողերում (նկ.2, պոլիգոններ 4, 8 և 6)





Նկ.1. Երևան քաղաքի 1989, 2000, 2010 և 2018 թթ.մակերևութային ծածկի քարտեզները ստացված Landsat արբանյակային լուսանկարներից ԲՀՊ մոդելի կիրառմամբ:



Նկ. 2. 1989-2018 թթ-երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի առավել փոփոխությունների ենթարկված հատվածները:

(Դալմայի այգիներ, Երևանյան լճից դեպի Արարատյան դաշտ բնկած հատված, Սպայկայի ջերմոցների տարածքներ):

Եզրակացություններ

Հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ.

- Արբանյակային լուսանկարների մեքենայացված ուսուցման դասակարգիչներից ԲՇՊ մոդելն իր ցուցանիշներով գերազանցում է դասակարգման մյուս ալգորիթմները, իսկ ԱՎԴ մոդելը դրսևորում է կիրառման ճշտության աննշան ցածր տարբերություն ԲՇՊ մոդելի հետ համեմատյալ և տալիս է գրեթե նույն արդյունքները: Այդուհանդերձ, որոշ դեպքերում ԱՎԴ դասակարգման ալգորիթմը իր պարզությամբ կարող է երբեմն նախընտրելի լինել ԲՇՊ ալգորիթմից:
- Քաղաքային մակերևութային ծածկի փոփոխության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ 2000-2010 և 2010-2018 ժամանակահատվածներում Երևան քաղաքի տարածքում գտնվող գյուղատնտեսական հողատարածքներ զգալիորեն կրճատվել են: Գյուղատնտեսական գործունեության ինտենսիվացում նկատվել է միայն 1989-2000 ժամանակահատվածում, որը կարող է բացատրվել երկրում առկա սոցիալ տնտեսական ճգնաժամով: 1989-2018թթ ժամանակահատվածներում նկատվում է քաղաքային կառուցապատման տարածական աճ՝ գլխավորապես կանաչ տարածքների հաշվին:
- Մակերևութի ծածկի «Քաղաքային կառուցապատում, Մերկ հող և Բաց տարածք» տիպերն ունեն նմանություններ և դրանով պայմանավորված դասակարգման բոլոր մոդելները “տուժում են” Landsat արբանյակային նկարների վրա դրանք տարբերակելիս:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեի տրամադրած ֆինանսավորմամբ՝ 18T-1E085 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

Գրականություն

- ՀՍՍՀ Ֆիզիկական Աշխարհագրություն. 1971. ՀՍՍՀ Գիտությունների Ակադեմիայի հրատ., Երևան, 469էջ.
- Ang Kean Hua, Ping Owi Wei. 2018. The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 51, Issue 1, 1049-1069, <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1542976>.
- Choudhury D., Das K., Das A. 2019. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol, 22, issue 2, p.203-218, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.004>
- Dhar R.B., Chakraborty S., Chattopadhyay R. et al. 2019. Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Land Surface Temperature Using Satellite Data: A Case Study of Rajarhat Block,

- North 24-Parganas District, West Bengal. *J Indian Soc Remote Sens* 47, p.331–348. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00939-1>
- Foody G.M.** 1992. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, p.1459-1460
- Hussam Al-Bilbisi.** 2019. Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images: A Case Study of Amman City, Jordan, *Sustainability* 11(8):2260, DOI:10.3390/su11082260
- Jozdani Shahab Eddin, Johnson Brian Alan and Chen Dongmei.** 2019. Comparing Deep Neural Networks, Ensemble Classifiers, and Support Vector Machine Algorithms for Object-Based Urban Land Use/Land Cover Classification. *Remote Sens.* 11, 1713; doi:10.3390/rs11141713
- Ma Zhenkui, Redmond Roland L.** 1995. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. *Geography*, DOI:10.1007/s12601-015-0032-2
- Maxwell A., Warner A., Fang F.** 2018. Implementation of machine learning classification in remote sensing an applied review. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, Issue 9, p.2784–2817, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Monserud R.A., Leemans R.** 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic Ecological Modelling. vol. 62, issue 4, 275-293, [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90003-W](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90003-W)
- Pal S., Ziaul Sk.** 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Vol. 20, Issue 1, 125-145, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V.** 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *J. Mach. Learn. Res.*, 12, p.2825–2830.
- Python Machine Learning** 2016. Packt Publishing, 425p.
- Rousta I., Sarif M.O., Gupta R.D., Olafsson H., Ranagalage M., Murayama Y., Zhang H., and Mushore T.D.** 2018. Spatiotemporal Analysis of Land Use/Land Cover and Its Effects on Surface Urban Heat Island Using Landsat Data: A Case Study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10(12), 4433; <https://doi.org/10.3390/su10124433>
- Yerevan Green city action plan** 2017. 203p., <https://www.yerevan.am/en/yerevan-green-city-action-plan/>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА ГОРОДА ЕРЕВАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Тепаносян Г., Овсепян А., Мурадян В., Асмарян Ш.

Резюме

В статье рассматриваются особенности пространственно-временного изменения земельного покрова города Еревана в период 1989-2018 гг., дешифрованные со спутниковых снимков Landsat - с использованием алгоритмов машинного обучения. Для картографирования земельного покрова города были выбраны наиболее широко используемые алгоритмы машинного обучения: методы многослойного перцептрона МСП, (MLP-multilayerperceptron), опорных векторов-МОВ (SVC-supportvectorelassifier) и случайный лес-СЛ (RF-randomforest). Результаты исследования показали, что из классификаторов машинного обучения спутниковых снимков, результаты, полученные методом МСП превосходят результаты других

алгоритмов классификации. Пространственно-временной анализ карт земельного покрова города показывает, что сельскохозяйственные угодья в Ереване были значительно сокращены в течение периода исследования, а пространственный рост городских застроенных территорий в значительной степени произошёл за счёт зон зелёных насаждений.

STUDY OF SPATIO-TEMPORAL CHANGES IN YEREVAN'S LAND COVER USING SATELLITE REMOTE SENSING DATA

Tepanosyan G., Hovsepyan A., Muradyan V., Asmaryan Sh.

Abstract

The article considers specificities of a spatio-temporal change in Yerevan's land cover between 1989 and 2018, classified from Landsat satellite images using machine learning algorithms. To map the city land cover, this research chose the most widely used machine learning algorithms: MLP-multilayer perceptron, SVC- support vector classifier and RF- random forest methods. As established, the results obtained by MLP method outperformed those obtained using other satellite imagery machine learning classifiers. A spatio-temporal analysis of the city land cover maps has indicated that agricultural areas in Yerevan were significantly reduced during the period of the analysis and the spatial growth of urban built-up areas occurred mostly at the expense of green zones.