



სივრცული საფუძვლის მომზადების ავტომატიზაცია საკადასტრო რუკათშედგენისათვის დრონებისა და ღრმა სწავლების გამოყენებით

ტყეშელაშვილი ნიკა

დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, tkeshelashvili.nika@gtu.ge,
<https://orcid.org/0009-0008-9353-6897>

აბსტრაქტი

მიწის ნაკვეთების ხილული საზღვრების ავტომატური დეშიფრირება და საკადასტრო რუკების შედგენისათვის საჭირო საბაზისო სივრცული მონაცემების შექმნა დრონებით მიღებული ძალიან მაღალი გარჩევადობის გამოსახულებებისა და ღრმა სწავლების მეთოდების გამოყენებით მნიშვნელოვანი ამოცანაა მიწის ადმინისტრირების სისტემათა გაუმჯობესების, პროცესის დაჩაქრების და მათი წარმოებისათვის საჭირო ხარჯების შემცირების თვალსაზრისით. ამ მეთოდებით მიღებული მონაცემები წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული ე.წ. მიზანმიმართული (Fit-For-Purpose) მიწის ადმინისტრირების სივრცული საფუძვლის მოსამზადებლად.

წინამდებარე კვლევაში, ცაგერის მუნიციპალიტეტის 4 სოფლის ტერიტორიაზე უპილოტო საფრენი აპრატით განხორციელებული ფრენების შედეგად მიღებული აეროფოტოსურათების გამოყენებით გენერირებული ორთოფოტოგეგმებიდან ნაკვეთების ხილული საზღვრების დეშიფრირება განხორციელდა U-Net ღრმა სწავლების მოდელით. საზღვრების ამსახველი რასტრული გამოსახულებები დამუშავდა სხვადასხვა ალგორითმების გამოყენებით, რის შედეგადაც მივიღეთ მიწის ნაკვეთების საზღვრების შესაბამისი ვექტორული მონაცემები, რომლებიც საკადასტრო რუკების მომზადების ან არსებული რუკების განახლებისთვის შეიძლება იქნას გამოყენებული.

საკვანძო სიტყვები: კადასტრი, ღრმა სწავლება, დრონები, ცაგერის მუნიციპალიტეტი

შესავალი

მიწის რესურსების ეფექტური მართვის, მიწის ბაზრის შექმნისა და განვითარების, მიწაზე უფლებათა აღრიცხვის და სტატისტიკური მონაცემების წარმოებისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მაღალი სიზუსტით შედგენილ საკადასტრო რუკებს. საკადასტრო რუკების ძირითადი დანიშნულება მიწის ნაკვეთების ზუსტი აღწერა და იდენტიფიკაციაა, რაც მნიშვნელოვანია მიწაზე უფლებების უწყვეტი და მდგრადი აღრიცხვისათვის (Williamson et al., 2010). ამ სფეროში დისტანციური ზონდირების მეთოდების, განსაკუთრებით კი უპილოტო

საფრენი აპარატებიდან (UAV) მიღებული გამოსახულებების გამოყენება წარმოადგენს ახალ მიმართულებას სივრცითი მონაცემების შედარებით იაფად და სწრაფად მოპოვებისათვის. კადასტრში ასეთი ტექნოლოგიების გამოყენება ხელს უწყობს მიწის ადმინისტრირებისა და მიწაზე უფლებათა უზრუნველყოფის პროცესს.

ლიტერატურაში კადასტრის სხვადასხვა დეფინიცია არსებობს. გაეროს ევროპის ეკონომიკური კომისიის (UNECE) განმარტებით კადასტრი არის რუკების ან გეგმების სერია, რომელიც ასახავს მიწის ნაკვეთების ზომას, კონფიგურაციას, ურთიერთგანლაგებას და ატრიბუტულ ტექსტურ ჩანაწერებს მათი მახასიათებლების შესახებ. გეოდეზისტთა საერთაშორისო ფედერაციის (FIG) მიხედვით კადასტრი არის მიწის ნაკვეთებზე (პარსელებზე) დაფუძნებული მიწის საინფორმაციო სისტემა, რომელიც ასევე მოიცავს სამართლებრივ ჩანაწერებსაც (მაგ.: უფლებები, შეზღუდვები, პასუხისმგებლობები და ა.შ.). მოტანილი ორივე განმარტების მიხედვით, მიწის ნაკვეთების გეომეტრია, საზღვრები და მათი მდებარეობა კადასტრის ფუნდამენტური სივრცული ელემენტებია.

საკადასტრო რუკა, სხვა ტიპის კარტოგრაფიული პროდუქტებისგან (მაგ.: ტოპოგრაფიული რუკები) განსხვავებით მაღალი დინამიურობით ხასიათდება. საკადასტრო სისტემის გამართულად ფუნქციონირებისათვის გადამწყვეტია, რომ საკადასტრო რუკების განახლება ხდებოდეს მუდმივად, რათა ზუსტად და დროულად მოხდეს მიწასთან დაკავშირებული ცვლილებების ასახვა და დამუშავება, რომლებიც თან ახლავს ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებას, სწრაფ ცვლილებებს ურბანული დაგეგმარების და სოფლის მეურნეობის სფეროებში და სხვა.

მსოფლიო ბანკის მიხედვით, მსოფლიოს მოსახლეობის მხოლოდ მეოთხედს აქვს მიწაზე ოფიციალურად აღიარებული უფლება საკადასტრო ან მიწის აღრიცხვის სხვა სისტემებით. პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია განვითარებადი ქვეყნებისათვის, სადაც საკადასტრო დაფარულობა უმეტესად ძალიან დაბალია, ხოლო განვითარებული ქვეყნებისათვის - არსებული მონაცემების განახლების კონტექსტში. აქვე აღსანიშნავია, რომ მიწის ნაკვეთების აღრიცხვის ტრადიციული სავლელე აზომვითი სამუშაოები ხშირ შემთხვევაში შრომატევადი პროცესია, რომელიც საჭიროებს დიდ დროს, ადამიანურ რესურსს და ფინანსურ ხარჯებს. აღნიშნული გარემოებების გათვალისწინებით, აშკარაა ალტერნატიული მიდგომებისა და მეთოდოლოგიის შემუშავების საჭიროება კადასტრის წარმოების დასაჩქარებლად, ამ მეთოდებით მოპოვებული მონაცემების სიზუსტის გაზრდისა და დანახარჯების შემცირებისათვის.

ცალკეული მიწის ნაკვეთების სივრცეში მდებარეობა ხასიათდება საკადასტრო საზღვრებით. ნაკვეთის საზღვარი არის სემანტიკური საზღვარი, რომელიც შეიძლება განსაზღვრული იყოს სხვადასხვა ფიზიკური (ხილული) ანთროპოგენური ან ბუნებრივი ობიექტებით, მაგალითად ღობეებით, გზებით, თხრილებითა და არხებით, მცენარეულობით და ა.შ. რომელთაც ხშირად კომპლექსური თავისებურებანი გააჩნიათ. თუმცა, საკადასტრო საზღვრების ნაწილი ფიზიკური ობიექტებით არ არის წარმოდგენილი და უხილავია.

თანამედროვე საკადასტრო რუკების შედგენის კონტექსტში უპილოტო საფრენი აპარატებით გენერირებული მაღალი გარჩევადობის გეორეფერენსირებული გამოსახულებებიდან ხშირ შემთხვევაში ხდება საკადასტრო საზღვრების ვიზუალური გამოვლენა და მექანიკურად

აციფვრა. მექანიკური დიგიტალიზაციის პროცედურების გამარტივებისათვის შესაძლებელია საკადასტრო საზღვრების ავტომატური დემიფრირების მეთოდების შემუშავება და არსებული ალგორითმების გაუმჯობესება გეოინფორმაციულ სისტემებსა და ღრმა სწავლებაზე დაფუძნებული მიდგომების გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად დააჩქარებს საკადასტრო რუკების შედგენის პროცესს. მიუხედავად იმისა, რომ ამ მეთოდების გამოყენებას დიდი პოტენციალი გააჩნია საკადასტრო რუკების შედგენისათვის, როგორც ურბანული, ისე სასოფლო დასახლებებისათვის, შესაბამისი სამეცნიერო კვლევები საქართველოში არ მიმდინარეობს, რაც შემდგომ უნდა გახდეს პრაქტიკაში გამოყენების საფუძველიც.

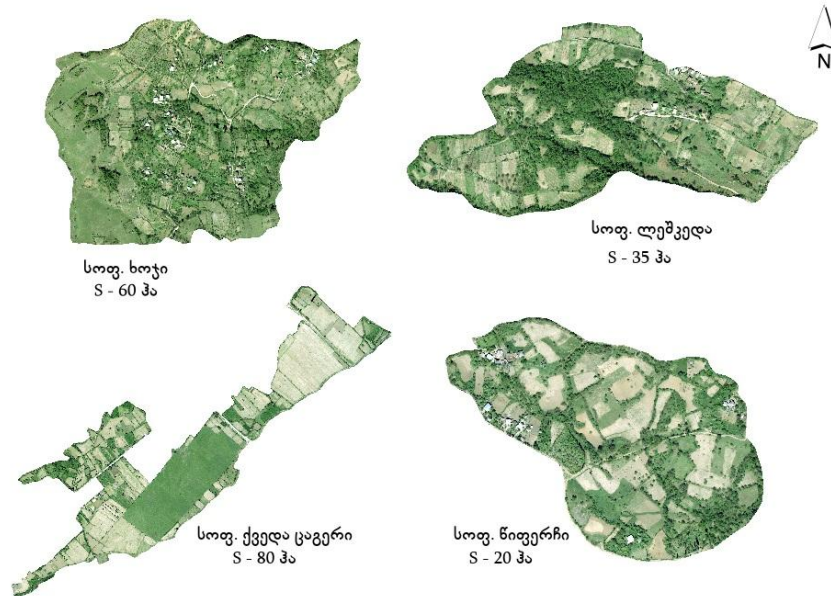
წინამდებარე კვლევის ფოკუსს წარმოადგენს უპილოტო საფრენ აპარატებზე განთავსებული მაღალი რეზოლუციის ოპტიკური სენსორებით მიღებული გამოსახულებებიდან ხილული საკადასტრო საზღვრების ავტომატური დემიფრირება ღრმა სწავლების მეთოდებისა და გეოინფორმაციული სისტემების გამოყენებით საქართველოში, რაჭა-ლეჩხუმისა და ქვემო სვანეთის რეგიონის ცაგერის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე.

კვლევის მეთოდები და მასალები

განხორციელებული კვლევა რამდენიმე ძირითადი ეტაპისგან შედგება: 1. მაღალი გარჩევადობის აეროფოტოსურათების მოპოვება და ორთომოზაიკების გენერაცია; 2. ღრმა სწავლების მოდელის შერჩევა, გაწვრთნა, ხილული საკადასტრო საზღვრების ამოცნობა და მოდელის სიზუსტის შეფასება; 3. მიღებული საზღვრების დამუშავება GIS-ში და საბოლოო საზღვრის რუკების შედგენა.

ცაგერის მუნიციპალიტეტში აეროგადაღებებისათვის შეირჩა 4 სოფლის ტერიტორია: წიფერჩი, ქვედა ცაგერი, ლეშკედა და ხოჯი. შესაბამისი ტერიტორიების შერჩევა განხორციელდა აქ წარმოდგენილი ხილული საზღვრების შედარებით დიდი რაოდენობიდან გამომდინარე, რაც აუცილებელი პირობაა კვლევის მიზნების განსახორციელებლად. საკვლევი ტერიტორია, მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები, ხშირად დაფარულია მცენარეული საფარით, რაც დამაბრკოლებელი გარემოებაა ნაკვეთების საზღვრების გარჩევისათვის. ფრენები განხორციელდა 2023 წლის მაისში, dji Mavic 3 უპილოტო საფრენი აპარატით. მიღებული აეროფოტოსურათების გამოყენებით ჩამოთვლილი ოთხი სოფლის, ჯამურად 195 ჰექტარი ტერიტორიისათვის მომზადდა ძალიან მაღალი გარჩევადობის (პიქსელის ზომა - 5 სმ) ორთომოზაიკები (ნახაზი 1).

საკადასტრო საზღვრების ამოცნობისათვის ღრმა სწავლების მოდელის შერჩევასას გასათვალისწინებელია ნაკვეთის საზღვრის როგორც გამოსახულებაზე არსებული ობიექტის გარკვეული სპეციფიკაციები. ნაკვეთების საზღვრები აეროგამოსახულებებზე ძირითადად წარმოდგენილია მცირე გეომეტრიის ხაზების სახით, რომლებიც გარემომცველ ობიექტებთან შედარებით პიქსელების ნაკლები რაოდენობისაგან შედგებიან. შესაბამისად, ამ მიზნისათვის მნიშვნელოვანია ისეთი მოდელის შერჩევა, რომელიც ნაკლები მოცულობის საწვრთნელ მონაცემებს საჭიროებს.



ნახაზი 1. გენერირებული ორთოფოტოგეგმები

აღნიშნული თავისებურებებიდან გამომდინარე, საზღვრების ამოცნობსათვის შეირჩა U-Net ღრმა სწავლების მოდელი, რომელიც წარმოადგენს კონვოლუციური ნეირონული ქსელის (CNN) არქიტექტურას. კონვოლუციური ნეირონული ქსელი ღრმა სწავლების ალგორითმია მრავალშრიანი სტრუქტურით, სადაც მინიმუმ ერთ შრეზე გამოყენებულია კონვოლუციის ქმედება. კონვოლუცია არის ორ ნამდვილნიშნა ფუნქციაზე განხორციელებული ოპერაცია. CNN-ების არსებითი მახასიათებელია ტრანსლაციის ინვარიანტულობა ფრაგმენტებზე დაფუძნებული პროცედურის გამოყენებით, რომლის საშუალებითაც მაღალი დონის ობიექტების ამოცნობა შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიც კი თუ მისი შემადგენელი პიქსელები გადაადგილებული ან დეფორმირებულია.

U-Net ღრმა სწავლების მოდელი თავდაპირველად შეიქმნა ბიოსამედიცინო გამოსახულებების სეგმენტაციისთვის (Ronneberger et al., 2015), თუმცა მას შემდეგ მიმდინარეობს მისი ადაპტაცია სხვადასხვა ამოცანებისათვის. მოდელს გააჩნია სიმეტრიული გადამწოდის (ენკოდერი) და მშიფრავისგან (დეკოდერი) შედგენილი U ფორმის სიმეტრიული სტრუქტურა, საიდანაც გამომდინარეობს მისი სახელწოდებაც.

მოდელის არქიტექტურა იწყება გადამწოდი ტოტით, სადაც ხდება შემავალი გამოსახულების კონტექსტის აღბეჭდვა. ეს ნაწილი ჰგავს ტიპიურ კონვოლუციურ ნეირონულ ქსელს და შედგება განმეორებადი კონვოლუციის შრეებისაგან, რასაც მოჰყვება ReLU (რექტიფიცირებული წრფივი ბლოკის) აქტივაცია. თითოეულ კონვოლუციის შრეს ახლავს მაქსიმალური გაერთიანების ოპერაცია, რომელიც ამცირებს გამოსახულების სივრცულ რეზოლუციას და ზრდის მახასიათებლების (ობიექტების) არხების რაოდენობას. ეს ოპერაცია ქსელს საშუალებას აძლევს დასამუშავებელი გამოსახულებიდან დაიჭიროს მაღალი დონის სემანტიკური ობიექტები. U ფორმის სტრუქტურის ცენტრი არის მისი ყველაზე ვიწრო სეგმენტი, რომელიც წარმოადგენს გარდამავალ წერტილს გადამწოდისა და მშიფრავ ტოტებს შორის. ქსელის ამ ნაწილში აღიბეჭდება ყველაზე მაღალი აბსტრაქტული დონის მახასიათებლები, ვიდრე გადაეწოდება მშიფრავ ტოტს. დეკოდერში ხდება გამოსახულების

სივრცული რეზოლუციის აღდგენა და ობიექტების თავდაპირველ განზომილებაში დაბრუნება, რაც ხორციელდება დეკონვოლუციის ოპერაციით. U-Net მოდელის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს ე.წ. ნახტომი გადაცემები. ასეთი კავშირისას გამოსახულების ორიგინალი მახასიათებლები ზემოთ აღწერილი ეტაპების გავლის გარეშე, პირდაპირ გადაეცემა ენკოდერიდან შესაბამის შრეებს მშობრავ ნაწილში, რაც მოდელს საშუალებას აძლევს დაიჭიროს მცირე დეტალები, რომლებიც სხვა შემთხვევაში შეიძლება დაკარგულიყო გამოსახულების რეზოლუციის შემცირებისას. ეს უზრუნველყოფს, რომ სეგმენტაციის პროცესში გამოყენებულ იქნას როგორც მაღალი, ისე დაბალი დონის ინფორმაცია, რაც თავის მხრივ ზრდის მოდელის სიზუსტეს. არქიტექტურის ბოლო ფენას ქმნის 1x1 კონვოლუციური შრე, რომელიც თითოეულ პიქსელს განუსაზღვრავს შესაბამის კლასს. ვიანიდან, საკადასტრო საზღვრების დემიფრირება მიეკუთვნება ორობით სეგმენტაციას, მოდელირების საბოლოო შედეგზე ვრცელდება სიგმოიდის აქტივაციის ფუნქცია, რაც იძლევა ბინარულ რასტრს ორთოგოტოგეგმის სივრცული რეზოლუციით.

U-Net არქიტექტურის აღწერილი სპეციფიკაციები განსაკუთრებით ხელსაყრელია ჩვენი კვლევის მიზნებისათვის, რადგან მოდელს გააჩნია შესაძლებლობა გააანალიზოს გამოსახულების როგორც ლოკალური, ისე გლობალური მახასიათებლები სხვადასხვა მასშტაბით. მაქსიმალური გაერთიანებისა და ნახტომი კავშირების კომბინაცია მოდელს აძლევს ნაკვეთების საზღვრის დეტალების აღდგენის საშუალებას ფართო სივრცული კონტექსტის აღქმასთან ერთად, რაც გადამწყვეტია კომპლექსური გამოსახულებებიდან საზღვრების სეგმენტაციისათვის.

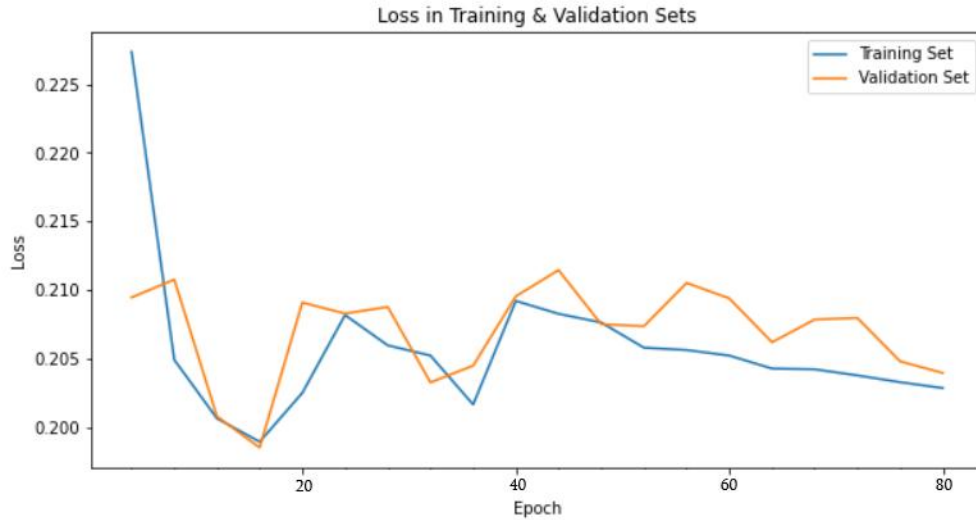
მოდელის ასაწყობად, გასაწვრთნელად და სიზუსტის შესაფასებლად გამოვიყენეთ Python 3 პროგრამული ენის PyTorch მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკა Windows 11 პლატფორმისათვის, Nvidia GeForce RTX 3060 გრაფიკული პროცესორით აღჭურვილ კომპიუტერზე.

მოდელის გაწვრთნა განხორციელდა ტრანსფერული სწავლების მეთოდით, BSDS500 მონაცემთა ნაკრებისა და ბენჩმარკის (Arbeláez et al.) გამოყენებით. მონაცემთა ნაკრები შედგება 500 სხვადასხვა სცენისა თუ ობიექტის ფოტოსურათისაგან. თითოეულ სურათს ახლავს ხელით შექმნილი საზღვრის ანოტაცია, ჯამში 2500 ნიმუშით, რომელთა გადატანა შესაძლებელია სხვა სცენებისა და კონტექსტისათვის - ამ შემთხვევაში ჩვენს მიერ მომზადებულ ორთოგოტოგეგმებზე. დამატებით, მოდელის საწვრთნელად და შედეგების ვალიდაციისათვის გამოყენებულია სოფ. ხოჯის, ლეშკედასა და წიფერჩის ორთოგოტოგეგმები და მათზე ხელით აციფრული ხილული საზღვრები, ხოლო სოფ. ქვედა ცაგერის ორთოგოტოგეგმა გამოვიყენეთ მოდელის დასატესტად.

კვლევის შედეგები

მიღებული მოდელისა და ორთოგოტოგეგმებიდან ხილული საზღვრების აღმოჩენის ხარისხის შესაფასებლად გაწვრთნისა და ვალიდაციის პროცესში განხორციელდა მოდელირების საერთო სიზუსტისა და დანაკარგის მონიტორინგი (ნახაზი 2). დანაკარგი ასახავს სხვაობას მოდელის მიერ პროგნოზირებულ და ეტალონ (ამ შემთხვევაში ხელით

აციფრულ) საზღვრებს შორის. საერთო სიზუსტე კი აჩვენებს სწორად აღმოჩენილი საზღვრების რაოდენობის ფარდობას ჯამურად აღმოჩენილი საზღვრების რაოდენობასთან.

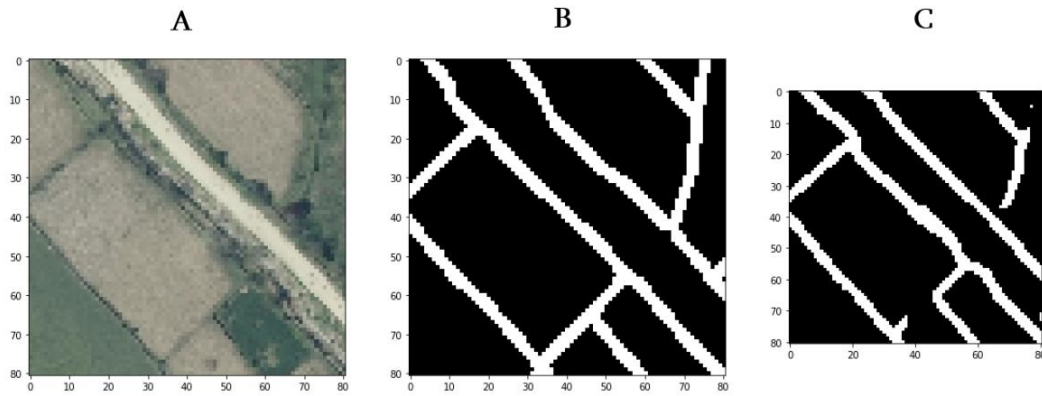


ნახაზი 2. დანაკარგის მაჩვენებლები საწვრთნელი და ვალიდაციის ნაკრებებისათვის

ნახაზი 2-დან ჩანს, რომ როგორც წვრთნის ისე ვალიდაციის დანაკარგში შეინიშნება გარკვეული ფლუქტუაციები, რაც მიუთითებს მოდელის სწავლების რამდენადმე არასტაბილურობაზე. აღნიშნული ფლუქტუაციები და წვრთნისა და ვალიდაციის მრუდებს შორის არსებული სივრცე აჩვენებს, რომ მოდელი სწავლობს მითითებული მონაცემებიდან, თუმცა შედარებით უჭირს განზოგადება ვალიდაციის მონაცემთა ნაკრებზე. მიღებული დანაკარგის მაჩვენებლები მოსალოდნელი იყო, რადგან როგორც ზემოთ აღინიშნა, პრაქტიკულად შეუძლებელია დაბალანსებული პიქსელების რაოდენობის მოპოვება როგორც კლასისთვის „საზღვარი“, ისე კლასისთვის - „არა საზღვარი“, რასაც წარმოადგენს სხვა დანარჩენი ობიექტები გამოსახულებაზე და შესაბამისად ამ უკანასკნელისთვის პიქსელების რაოდენობა ყოველთვის გაცილებით მეტია საზღვრის პიქსელების რაოდენობაზე, რაც თავისთავად ქმნის დაუბალანსებელ მონაცემთა ნაკრებს. აღსანიშნავია ისიც, რომ ბოლო ეპოქებისაკენ მრუდებს შორის სივრცე მცირდება, რაც დადებითი ტენდენციაა.

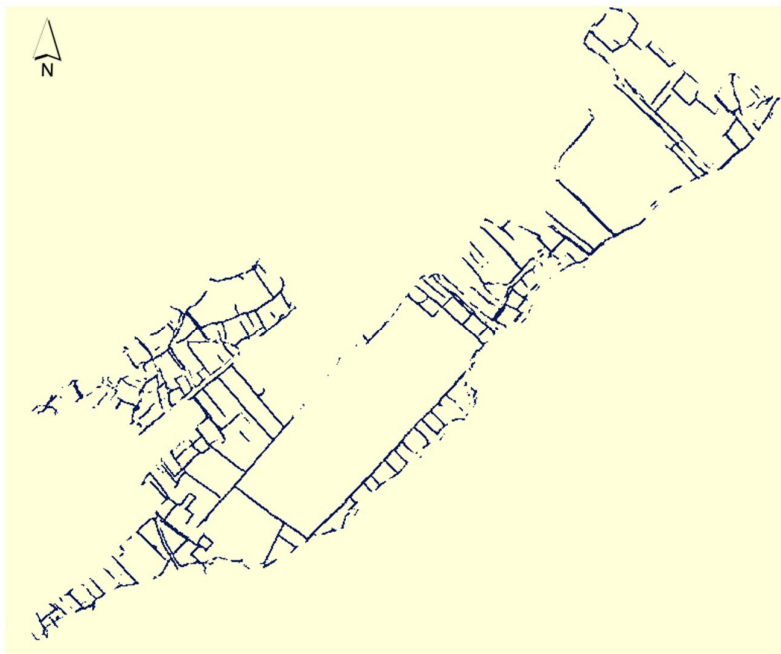
ვალიდაციის მონაცემთან ნაკრების შემთხვევით შერჩეული ერთ-ერთი ფრაგმენტისათვის სიზუსტის, ჭეშმარიტი დადებითი და ჭეშმარიტი უარყოფითი მაჩვენებლები მოცემულია ნახაზი 3-ზე. ეს საზომები უფრო შესაფერისია დაუბალანსებელი კლასებისათვის.

Accuracy: 0.8998628257887518
True positives: 0.7233523189585028
True negatives: 0.9405476369092273



ნახაზი 3. A. სოფ. ხოჯის ორთოფოტოგეგმის ფრაგმენტი; B. ეტალონი საზღვრები; C. პროგნოზირებული საზღვრები

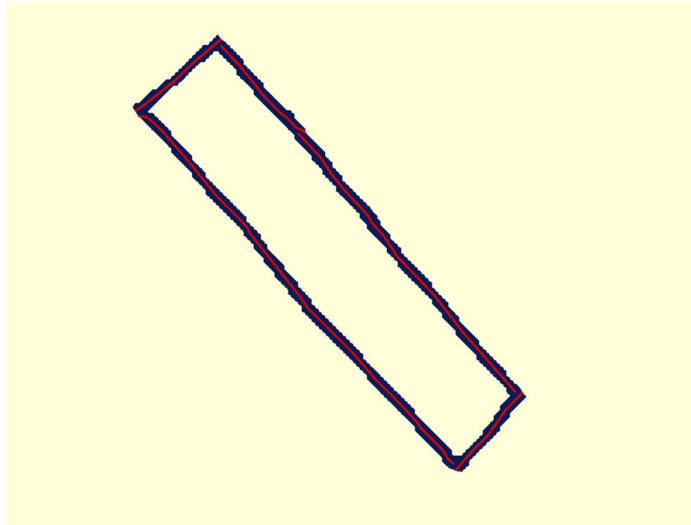
U-Net მოდელი გაწვრთნის შემდეგ დაიტესტა სოფ. ქვედა ცაგერის ორთომოზაიკაზე, რომლისთვისაც განხორციელდა ნაკვეთის საზღვრების ამსახველი ბინარული რასტრის გენერაცია (ნახაზი 4).



ნახაზი 4. U-Net მოდელის პროგნოზირებული ნაკვეთების ხილული საზღვრები (სოფ. ქვედა ცაგერი)

მიღებული რასტრული ფაილი საჭიროა დაკონვერტირდეს ვექტორულ ფორმატში, რადგან საკადასტრო სისტემათა უმეტესობა, მათ შორის საქართველოშიც, სივრცული ინფორმაციის შენახვისა და დამუშავებისათვის ვექტორულ მონაცემებს იყენებს. ვექტორიზაციისათვის დაიტესტა ორი განსხვავებული მეთოდი. პირველ შემთხვევაში, რასტრული ფენა

გარდავექმნით საზღვრების ამსახველ პოლიგონებად, რომლებიც ქმნის ერთგვარ ბუფერს ორთოგოტოზე ამოცნობილი ხილული საზღვრების გარშემო, ისე რომ პოლიგონის ცენტრალური ხაზი შეესაბამება საზვარს. ამიტომ, პოლიგონებიდან განხორციელდა აღნიშნული ცენტრალური ხაზების ამოღება და მათი დამუშავება: 1. ხაზების გაგლუვება PAEK (The Polynomial Approximation with Exponential Kernel) ალგორითმით; 2. გლუვი ხაზების გამარტივება დუგლას-პეუკერის (Ramer-Douglas-Peucker) ალგორითმით. დამუშავების შედეგი მოცემულია ნახაზი 5-ზე, სადაც წითელი ხაზები შეესაბამება მიღებულ ვექტორებს.



ნახაზი 5. საზღვრის მოხაზულობა ვექტორულ და რასტრულ ფორმატებში

მეორე შემთხვევაში, საზღვრების შესაბამისი ხაზების რასტრიდან ამოღება განხორციელდა კლასტერიზაციის ტექნიკით. კერძოდ, Hough2 ტრანსფორმაციით, GRASS ღია კოდის გეოინფორმაციული სისტემის შესაბამისი მოდულის გამოყენებით. ეს მეთოდი გაცილებით სწორხაზოვანია პირველთან შედარებით და ხარისხობრივად უკეთეს შედეგსაც იძლევა, თუმცა მისი ძირითადი მინუსი ოპერატიული მეხსიერების მაღალი მოხმარება და გამოთვლებისათვის საჭირო შედარებით დიდი დროა. Hough ტრანსფორმაციით მიღებული ნაკვეთის საზღვრების ხაზოვანი ფენის შედარება ხელით აციფრულ ე.წ. ეტალონ საზღვრებთან ნაჩვენებია **Error! Reference source not found.**-ზე, ქვედა ცაგერის ორთოგოტოგეგმის ფრაგმენტზე გადაფარვით.



ნახაზი 6. A. სოფ. ქვედა ცაგერის ორთოფოტოგეგმის ფრაგმენტი; B. U-Net პროგნოზირებული საზღვრები; C. ეტალონი საზღვრები

დასკვნა

აღწერილი მეთოდის და მიღებული შედეგების გამოყენებისას საჭიროა რამდენიმე ფაქტორის გათვალისწინება. პირველ რიგში, ყველა საკადასტრო საზღვარი არ არის ხილული ან ფიზიკური ობიექტებით ფიქსირებული, ამიტომ მნიშვნელოვანია ტერიტორიის წინასწარი შეფასება, რათა გაირკვეს რამდენად შესაფერისია ამ მეთოდის გამოყენება კონკრეტულ არეალზე. ჩვენს მიერ მიღებული მოდელი გამოიცადა ამ მიზნისათვის საკმაოდ რთულ პირობებში. საქართველოს სხვა რეგიონებისათვის, განსაკუთრებით ეს ეხება მთათაშორისი ბარის ტერიტორიებს, მოდელის წარმადობა თეორიულად უნდა იყოს გაცილებით უკეთესი, რაც სამომავლო კვლევების საგანია. მოცემულ შემთხვევაში,

ნახაზი 6-ზე წარმოდგენილ რასტრულ გამოსახულებაზეც ნათლად ჩანს „ხმაური“, რომელიც თან ახლავს პროგნოზირებულ შედეგებს და ვლინდება წყვეტილ ხაზებში, არასწორად კლასიფიცირებულ საზღვრებში (ხშირად მცენარეული საფარის გავლენით) და სხვა. ამიტომ ოპერატორის მექანიკური ჩარევა მაინც საჭიროა შემდგომი დამუშავების ეტაპზე. ამასთან, მიღებული მონაცემები თავისთავად არ წარმადგენს საბოლოო საკადასტრო საზღვრებს, არამედ პირველად მონაცემს, რომელიც იძლევა საბაზისო წყაროს შესაბამისი ანალიზის საფუძველზე საკადასტრო რუკების შესადგენად.

განხილული მიდგომა, მიუხედავად ზემოთ აღნიშნული ლიმიტაციებისა, ეკონომიკური და დროის თვალსაზრისით შეიძლება ეფექტურად ჩაითვალოს საკადასტრო რუკებისათვის სივრცული მონაცემების როგორც შექმნის, ისე განახლების ეტაპზე, რაც უმნიშვნელოვანესია მიწის ადმინისტრირების პროცესში არსებული გამოწვევების დასაძლევად.

გამოყენებული ლიტერატურა

Arbeláez, P., Fowlkes, C., & Martin, D. (n.d.). The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark.

Ronneberger, o., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

Williamson, I. P., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). *Land Administration for Sustainable Development*. ESRI Press Academic.

Automation of Spatial Framework Creation for Cadastral Mapping Using Drones and Deep Learning

Automatic detection of land parcel visible boundaries and creation of basic spatial data necessary for cadastral mapping using very high resolution images obtained by drones and deep learning methods is an important task in terms of improving land administration systems, streamlining the process and reducing the costs required for their production. The data obtained through these methods can be successfully used as a spatial framework for Fit-For-Purpose land administration.

In this article, the U-Net deep learning model was used to delineate the visible boundaries of land parcels from orthomosaics generated using aerial photographs taken by a drone over four villages in Tsageri municipality. The raster layer depicting the boundaries was processed using various algorithms, resulting in vector data that corresponds to parcel boundaries. This data can be used for the preparation new cadastral maps or for updating existing ones.

Keywords: Cadastre, Deep Learning, Drones, Tsageri Municipality