

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

დოქტორანტურის საგანმანათლებლო პროგრამა „გეოგრაფია“

ზურაბ ჯიქია

ურბანული ჩამონადენის წყლის ხარისხის შეფასება და პროგნოზი

**გეოგრაფიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი
დისერტაცია**

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. დავით კერესელიძე

თბილისი

2024 წელი

Ivane Javakishvili Tbilisi State University
Faculty of Exact and Natural Sciences

Doctoral Program „Geography“

Zurab Jikia

Assessment of the Urban Stormwater Runoff Quality and Predictions

The thesis work is presented to obtain a PhD - degree- in Geography

Scientific supervisor: Prof. Davit Kereselidze

Tbilisi

2024

აბსტრაქტი

სანიაღვრე წყლები მნიშვნელოვანი გარემოსდაცვითი პრობლემაა ქალაქებსა და დაბებში. როდესაც წვიმა მოდის წყალგაუმტარ ზედაპირზე, იგი გადარეცხავს მათზე დაგროვებულ დამაბინძურებლებს და გადააქვს ადგილობრივ წყალმიმღებ ობიექტებში. დაბინძურებული სანიაღვრე წყალი საფრთხეს უქმნის როგორც ადამიანის ჯანმრთელობას, ასევე ეკოსისტემას.

ურბანულ რაიონებში სანიაღვრე წყლების დაბინძურების ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი სხვადასხვა წყაროდან მათი წყალგაუმტარ ზედაპირზე აკუმულირებაა. წყაროები შეიძლება იყოს (თუმცა, არ შემოისაზღვრება), ავტომობილების ცვეთის მასალები, გაზონები, საგზაო ნიშნები, ნაგავი და სამშენებლო ნარჩენები.

განვითარებად ურბანულ დასახლებებს ხშირად არ გააჩნია წვიმის წყლის მართვის ადეკვატური ინფრასტრუქტურა. არასაკმარისი ან მოძველებული სადრენაჟე სისტემები, შეკავების ავზების ან მწვანე ინფრასტრუქტურის არ არსებობა ხელს უწყობს პიკური ჩამონადენების გაზრდას და დამაბინძურებლების ბუნებრივი ფილტრაციის შემცირებას.

სანიაღვრე წყლების დაბინძურების საკითხის გადასაჭრელად საჭიროა პროაქტიული ზომების მიღება. უპირველეს ყოვლისა, გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება წვიმის წყლის მართვის ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესებას, არსებული სადრენაჟე სისტემების რეკონსტრუქციას და ისეთი ფუნქციების დამატებას როგორცაა, წყალგამტარი/შემკავებელი ტროტუარები, ბიორეტენციის გამწვანებები ან/და ადგილები, შეკავების ავზები.

ნაშრომში წარმოდგენილია რეალური ურბანული ზონიდან მოპოვებული მასალების ანალიზი, მაგალითად აღებულია ესპანეთის ქალაქ ფენეს ავტოსტრადაზე მოწყობილი საკონტროლო სექცია და მის ბაზაზე აგებული სიმულაციურ მოდელი (SWMM). მოდელს შეუძლია დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების სიმულაცია და ამ მოდელის საშუალებით გაანგარიშებულია დამაბინძურებლების მიგრაცია სხვადასხვა რაოდენობის ნალექის დროს. შემდეგ ეტაპზე მოხდა აღნიშნული კალიბრირებული მოდელის თბილისის მაგალითზე მორგება, საკვლევ არეალად შეირჩა სამტრედიის ქუჩის წყალშემკვრები აუზი.

Abstract

Stormwater runoff is a significant environmental concern in small urban areas. When rain falls on impervious surfaces like roads, parking lots, and rooftops, it accumulates pollutants and carries them into local water bodies. The contamination of stormwater poses a threat to both human health and the ecosystem. This text will explore the issue of stormwater contamination in small urban areas, its causes, and potential solutions.

One of the primary causes of stormwater contamination in small urban areas is the accumulation of pollutants from various sources. Oil and grease from vehicles, fertilizers and pesticides from lawns and gardens, pet waste, litter, and construction debris are all common pollutants found in stormwater runoff. These contaminants can have detrimental effects on water quality, harming aquatic life and compromising the health of humans who rely on these water bodies.

Small urban areas often lack adequate stormwater management infrastructure, exacerbating the problem. Insufficient or outdated drainage systems, combined with a lack of retention ponds or green infrastructure, contribute to increased runoff and reduced natural filtration of pollutants. Additionally, limited public awareness and education about the impacts of stormwater contamination can lead to improper disposal of waste and an overall lack of environmental consciousness among residents.

To address the issue of stormwater contamination, proactive measures are necessary. First and foremost, improving stormwater management infrastructure is crucial. Retrofitting existing drainage systems with features such as permeable pavement, rain gardens, and bioretention areas can help to filter pollutants and promote natural infiltration. These green infrastructure solutions not only reduce stormwater runoff but also enhance the aesthetics and livability of urban areas.

This thesis shows analysis of materials taken from a real urban area, using the highway in Spanish city of Fene as an example control section; afterwards the SWMM model was build and calibrated. The Model has capabilities to analyze pollutants' transportation during different rain events. On the next stage calibrated SWMM model was applied to Tbilisi's catchment, using Samtredia street catchment as an example.

სარჩევი

შესავალი -----	7
თავი I ლიტერატურის მიმოხილვა -----	10
თავი II მოდელის აღწერა -----	35
2.1 - ციფრული მოდელები -----	35
2.2 - SWMM მოდელი -----	39
თავი III საპილოტე სექციის მართვა -----	47
3.1 - წყალშემკრები აუზის დახასიათება -----	47
3.2 - წვიმის რეჟიმი -----	52
3.3 - საგზაო ტრაფიკი -----	52
3.4 - გამოყენებული ხელსაწყოები და აღჭურვილობა -----	54
3.5 - შესრულებული სამუშაოები -----	60
3.6 - სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება -----	67
თავი IV ლაბორატორიული სამუშაოები -----	70
4.1 - ქუჩის მოდელის დახასიათება -----	70
4.2 - მშრალი ნალექების გამორეცხვის ტესტი -----	72
4.3 - სინჯების მენეჯმენტი -----	74
4.4 - მიღებული მონაცემები -----	74
4.5 - მიღებული მონაცემების (დამაბინძურებლების მობილიზაციის) ანალიზი -----	86
4.6 - სინჯების სტატისტიკური ანალიზი -----	91
თავი V მოდელის ადაპტაცია თბილისისათვის -----	97
დასკვნა -----	101
გამოყენებული ლიტერატურა -----	103

ედვნება მამაჩემის, ნუგზარ ჯიქიას ხსოვნას.

შესავალი

პრობლემის აქტუალობა: საავტომობილო გზების და ურბანული არელების გაფართოება იწვევს წყალგაუმტარი ზედაპირის ფართობის ზრდას, რომელიც, თავის მხრივ, იწვევს გაურკვეველი წარმოშობის დამაბინძურებლის მატებას. როგორც წესი, საავტომობილო გზების დამაბინძურებლები არის ატმოსფერული ნალექები, ავტომობილების, ასფალტის და სხვა ინფრასტრუქტურის ცვეთის მასალები, დამაბინძურებლები გვხვდება სამივე ფორმაციაში: აერობული, მყარი და თხევადი. აერობული დამაბინძურებლები არ წარმოადგენს ჩვენი თეზისის კვლევის მიზანს.

სანიაღვრე წყლები გადარეცხავს ზედაპირზე მობილიზებულ დამაბინძურებლებს, მილების სისტემის მეშვეობით, ქართულ რეალობაში იგი პირდაპირ ჩაედინება მდინარეებსა თუ სხვა ბუნებრივ წყალმიმღებში. განვითარებულ ქვეყნებში, როგორც წესი, ისინი გაივლიან ჯერ დაყოვნების სალექრებს, წყალგამწმენდს და შემდეგ ჩაედინება ბუნებრივ წყალმიმღებში. სანიაღვრე წყალს გადააქვს სხვადასხვა ტიპის დამაბინძურებლები, როგორებიცაა ზეთი, ჰიდროკარბონები, ნუტრიენტები, ფოსფორი და მძიმე მეტალები, და ა.შ. ასევე, იგი წარმოქმნის დიდი მოცულობის მყარ დანალექებს. მძიმე მეტალები, როგორებიცაა ქრომი, ნიკელი, რკინა, ცინკი, ნიკელი, სპილენძი, მანგანუმი, თუთია, ვოლფრამი, ტიტანი არიან ურბანული არეების პოტენციური დამაბინძურებლები. ურბანული დამაბინძურებლები დიდი რაოდენობით შეიცავს, კადმიუმს, სპილენძს, ცინკს, ნიტროგონებს, ფოსფორს და არომატულ ჰიდროკარბონებს, ამიტომ დღის წესრიგში დგება დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მიგრაციის ანალიზი და მოდელირება.

კვლევის მიზანია დამაბინძურებლების გადაადგილების შესწავლა სანიაღვრე წყლებში და მათი გაწმენდის ძირითადი მეთოდების გამოვლენა, საწყისი დამაბინძურებლების დახასიათება, მათი ზედაპირზე დალექვა და აკუმულირება, წვიმის დროს მისი გადარეცხვა და გადაადგილება, ამ მიზნების მისაღწევად შერჩეული ავტოსტრადის და ლაბორატორიული აქტივობების ჩატარება. თეორიული და პრაქტიკული საქმიანობების ძირითადი ნაწილი ჩატარდა ლა-კორუნიას (ესპანეთის

სამეფო) უნივერსიტეტის გარემოსდაცვითი ინჟინერიის სკოლის ჰიდრაულიკის ლაბორატორიაში.

კვლევის მეთოდოლოგია: სამუშაოები მოიცავდა როგორც საველე მუშაობას, ისე ლაბორატორიულ სამუშაოებს. საველე სამუშაოები მოიცავდა: წყალშემკრებ აუზზე ინფორმაციის შეგროვებას, სანიაღვრე ქსელების, საკონტროლო ჭებისა და ცხაურების მდებარეობების განსაზღვრას, საკონტროლო სექციის მოწყობას, სადაც განუწყვეტელ რეჟიმში ხდებოდა ნალექების და ხარჯის გაზომვა და სინჯების ავტომატური აღება, რომელიც იღებდა სინჯებს ხარჯზე დაყრდნობით. სამუშაოები ასევე მოიცავდა საკონტროლო სექციის მოვლა დასუფთავება.

ლაბორატორიული სამუშაოები მოიცავდა: დამაბინძურებლების კონცენტრაციების განსაზღვრას, ე.წ. პოლუტოგრაფის აგებას და მათ ჰიდროგრაფთან თავსებადობას. იგი ასევე მოიცავდა რეალური ქუჩის სეგმენტზე განთავსებული ხელოვნური დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების შესწავლას. ამისათვის გამოყენებულ იქნა, LISA გარემოს ინჟინერიის ქიმიური ლაბორატორია, CITEEC ცენტრალური საინჟინრო ლაბორატორია და კვლევების მხარდამჭერი ცენტრალური ლაბორატორია SAI.

დასახული მიზნების მისაღწევად სამუშაო პროცესი ძირითადად მოიცავდა შემდეგ ეტაპებს:

- წყალმიმღებში სანიაღვრე წყლის ხარჯის ანალიზი,
- მშრალი დანალექი მასალების ანალიზი,
- სანიაღვრე წყალში გამოვლენილი მასალების ანალიზი,
- დამაბინძურებლების ანალიზი და დახარისხება,
- მიღებული ინფორმაციის სტატისტიკური ანალიზი,
- SWMM მოდელირების პროგრამის გამოყენებით, ხარჯების და დამაბინძურებლების რეპლიკაცია და მათი რეალურ შედეგებთან კალიბრაცია,
- მიღებული კალიბრირებული მოდელის თბილისის მაგალითზე გამოყენება და მიღებული შედეგების შედარება, მოდელის ვალიდაცია.

პირველ რიგში, მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ჩემს ესპანელ პროფესორს ბატონ ხუაკინ სუარეს ლოპესს, ლა კორუნიას უნივერსიტეტის გარემოსდაცვითი ლაბორატორიის ყველა თანამშრომელს, რომელთა მხარდაჭერითაც მოხდა სადისერტაციო ნაშრომში გამოყენებული კვლევების ჩატარება.

ასევე, დიდ მადლობას ვუხდის ჩემს მეუღლეს, თეა გერგედავას, მხარდაჭერისა და ინსპირაციისათვის. დიდი მადლობა დედაჩემს და ჩემი ოჯახის ყველა წევრს თანადგომის, მოთმინებისა და გამძლეობისათვის.

თავი I ლიტერატურის მიმოხილვა

დამაბინძურებლების ძირითადი წყაროები და მათი დახასიათება

სწრაფმა ურბანიზაციამ, წყალგაუმტარი ზედაპირების გაზრდამ შედეგად მოგვცა როგორც ჰიდროგრაფის გაზრდილი პიკები ასევე ტიპური დამაბინძურებლების კონცენტრაციების ზრდა. ეს კომბინაცია იწვევს როგორც სანიაღვრე სისტემების გადავსებას ასევე მიმდები რეცეპტორების მკვეთრ დაბინძურებას (Sartor, J.D.; Boyd, G.B.; Agardy, 1974). დანალექი ნაწილაკები ურბანულ გარემოში შეიძლება იყოს ფიზიკური, ქიმიური ან ბიოლოგიური წარმოშობის და ხასიათდებოდნენ მათვის დამახასიათებელი თვისებებით (Gulson et al., 1995). დამაბინძურებლები იყოფიან შემდეგ ძირითად კატეგორიებად: შეწონილი ნაწილაკები, ჟანგბადის მოხმარება, ნიტრატები, მძიმე მეტალები, ორგანული ნაერთები, ნავთობპროდუქტები და ბაქტერიები. რა თქმა უნდა ყველა ეს დამაბინძურებლები ერთდროულად არ გვხვდება თითოეულ ცალკე ადგილზე მოვლენასა თუ აუზში, არამედ ისინი შეიძლება იცვლებოდეს როგორც სივრცეში ასევე დროში და მათი ეს ცვალებადობა ძალიან ფართეა. ვაშინგტონი შტატის საგზაო დეპარტამენტი აცხადებს, რომ მათ მიერ ყველაზე ხშირად ხდება შეწონილი ნაწილაკების და მძიმე მეტალების მონიტორინგი (Portele, 1981; Yonge, D., A. Hossain, M. Barber, S. Chen, 2002). მძიმე მეტალები და ორგანული ნაერთები ძირითადად ერწყმებიან მცირე ზომის ნაწილაკებს <math>< 63\mu\text{m}</math>, აქედან გამომდინარე შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციები თითქმის ყველა ნაშრომშია განხილული.

ურბანულ გარემოში დამაბინძურებლების სამი წყარო გვხვდება, ატმოსფერული ნალექები, ტრაფიკისგან გამოწვეული ემისიები, პირდაპირი და არა-პირდაპირი დანალექები, თუმცა ძირითადი წყაროების ზედაპირები მოიცავს, გზის საფარს, სახურავებს და გამწვანებულ არეებს (Calveiro, 2012; Pitt, Bannerman, et al., 2004; Pitt, Williamson, et al., 2004).

სანიაღვრე წყლებში დამაბინძურებლების კონცენტრაციაზე ძირითად გავლენას ახდენენ, მათი წყაროები, მიწათსარგებლობის არეები, დანალექი ნაწილაკების ზომები და

წვიმამდე მშრალი დღეების რაოდენობა. ამ ფაქტორების გათვალისწინება ხდება ყოველი აუზის ჩამონადენის შეფასებისას და შედარებისას.

ატმოსფერული დამაბინძურებლები

ატმოსფერული ნალექები შეიცავენ ისეთ დამაბინძურებლებს როგორცაა, ნიტრატები, არომატული ჰიდროკარბონები და მძიმე მეტალები, ისინი ატმოსფეროში ძირითადად ავტომობილის საწვავიდან წიაღისეულ საწვავზე მომუშავე ელექტროსადგურებიდან ხვდებიან (Calveiro, 2012). ატმოსფერული დანალექები შეიძლება იყოს მშრალი და სველი სახის, მშრალი სახით ისინი მიმდებარე ტერიტორიებიდან ატანილი მტვრის ნაწილაკები შეიძლება იყოს ხოლო სველი წვიმის სახით გვევლინება (Winkler, 2005).

მშრალი დანალექები მოიცავს ატმოსფერული სახეობის აირებს (არასტაბილურ ნივთიერებებს) და აეროზოლებს, მათი მიმოქცევა შეიძლება იყოს ცალმხრივი როდესაც ზედაპირი შთანთქავს მათ და შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც შეუქცევადი დანაკარგი და ორმხრივი როდესაც ზედაპირი ასევე წარმოადგენს ერთგვარ რეზერვუარს მათ შესანახად რა დროსაც იგი იძლევა მათი ატმოსფეროში რე-ემისიის საშუალებას (Hvitved-Jacobsen et al., 2010; Jacob, 2006).

ატმოსფერული დამაბინძურებლების დაგროვების სიჩქარე დამოკიდებულია გარემო ფაქტორებზე და მათ ფიზიო-ქიმიურ მდგომარეობაზე. დევისმა (2001) მიანიშნა რომ ატმოსფერული დანალექები რიგი მძიმე მეტალების წყაროს წარმოადგენენ, მაგალითად კადმიუმი, ტყვია და თუთია (Davis et al., 2001). ვერცხლისწყლის კონცენტრაციები აღმოაჩინეს ფულკენსონმა და ჰუბერმა (Fulkerson et al., 2007; Huber et al., 2016). ავტომობილის ემისიები რომლებიც ატმოსფეროში გაფრქვეულ მძიმე მეტალების წყაროს წარმოადგენენ ინდუსტრიულ რაიონებში უფრო მეტია ვიდრე საცხოვრებელ რაიონებში (Goulding et al., 2010; Joshi & Balasubramanian, 2010; Sabin, L.D.; Jeong, H.L.; Stolzenbach, K.D.; Schiff, 2005).

ატმოსფერული ნალექები ასევე ნიტრატების წყაროც შეიძლება იყოს, მაგალითად სანიაღვრე წყლების მოვლენის საშუალო კონცენტრაციებში (მსკ), ნიტრატების დონე 47% აღწევს ხოლო საერთო ფოსფორისა 25%-ს (Charbeneau & Barrett, 1998; Li & Barrett, 2008).

ატმოსფერული დამაბინძურებლების ზუსტი წყაროების დადგენა რთულია, რაც გამოწვეულია ქარის ტურბულენტური ძალის გავლენაზე აიტაცოს და შორ დისტანციაზე გადაადგილოს დამაბინძურებლები. მაგალითად ჰარისონმა და ვილსონმა (1985) ამტკიცებდნენ რომ 240მიკრონამდე ზომის ნაწილაკები თავისუფლად გადაადგილდება ქართან ერთად შორ დისტანციაზე, თუმცა ავტომობილების მიერ წარმოქმნილი ტურბულენცია მათ გადაადგილებაზე მხოლოდ ლოკალურ ზეგავლენას ახდენს, ხელს უწყობს გზის საფარიდან ბორდიურისკენ გადაადგილებას (Ball et al., 1998).

ზედაპირული დამაბინძურებლები

ზედაპირული დამაბინძურებლები ასევე ცნობილია როგორც ტრაფიკის მიერ გამოწვეული ემისიები. მათი დაგროვება ხდება წყალგაუმტარ ზედაპირზე წვიმის მოსვლამდე, მათი ძირითადი წყაროებს წარმოადგენს, ანთროპოგენული აქტივობები რომელიც მოიცავს, საავტომობილო დამაბინძურებლებს, მტვერს, საყოფაცხოვრებო ნარჩენებს და ცხოველთა ექსკრემენტებს (Aryal & Lee, 2009). ზედაპირული დამაბინძურებლები გადაირეცხება წვიმის მიერ და მათი მაქსიმალური კონცენტრაცია სანიაღვრე წყალში მოვლენის დასაწყისში აღწევს, ამას პირველი ტალღის ეფექტს ეძახიან (პტე).

მათი წარმოშობა და ზედაპირზე აკუმულირება სხვადასხვა ანთროპოგენული აქტივობით შეიძლება იყოს გამოწვეული როგორებიცაა, საყოფაცხოვრებო ნარჩენები, ინდუსტრიული პროცესები, მშენებლობა, ნგრევა, ასევე ეროზიის და კოროზიის პროცესები. ავტომობილები წარმოადგენენ დამაბინძურებლების პირდაპირ (ავტომობილის ცვეთის მასალები) და არაპირდაპირ (მათ მიერ ატაცებული და გადაადგილებული ნაწილაკები) წყაროს (Asplund, R.L, Ferguson, J.F, Mar, 1980). საბურავების ცვეთა, რეზინის, თუთიის, ტყვიის, ქრომის, სპილენძის და ნიკელის ძირითად წყაროს წარმოადგენენ, სამუხრუჭე სისტემები წარმოქმნის, ნიკელის, რკინის,

თუთიის, ქრომის დეპოზიტებს (Pitt, Williamson, et al., 2004). გობელმა და სხვებმა (2006) შეადარეს ურბანული და არა ურბანული აუზებში ჩამონადენი და აღმოაჩინეს რომ მათში სრულად შეწონილი ნაწილაკები (სშნ) განისაზღვრება 66 მგ/ლ-დან 937 მგ/ლ-მდე, ხოლო ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება (ჟქმ) გაიზარდა 2 მგ/ლ-დან 36 მგ/ლ-მდე (Gobel, P., Dierkes, C. and Coldewey, 2006) არაურბანულიდან, ურბანულის მიმართულებით. სხვადასხვა მკვლევარები ასევე აღნიშნავენ, რომ ასფალტის ზედაპირი შეიცავს მძიმე მეტალებს როგორცაა, თუთია, კადმიუმი, ტყვია და მათი მასა საშუალოდ 0,7 გრამს გრძივ კილომეტრზე შეადგენს (Gobel, P., Dierkes, C. and Coldewey, 2006; Shaheen, 1975).

მიწათსარგებლობა

დამაბინძურებლების დისტრიბუცია და კონცენტრაცია ცვალებადია მიწათსარგებლობის არელების მიხედვით და ისინი მათი განსაზღვრის ერთ-ერთ მეთოდს წარმოადგენენ. ქალაქები და დასახლებული ადგილები ძირითადად იყოფა, საცხოვრებელ, კომერციულ და ინდუსტრიულ მიწათსარგებლობის ზონებად. მათ განსხვავებული პარამეტრები გააჩნია, როგორცაა წყალგაუმტარი ზედაპირის ფართობი, გამწვანებული არეალის ფართობი, ანთროპოგენული აქტივობები ტიპები, ტრაფიკი და მისი შემადგენელი ავტომობილები, გზებისა და შენობების რაოდენობა. ეს ყველაფერი გავლენას ახდენს დამაბინძურებლების კონცენტრაციის და მათი წვიმის მიერ გადარეცხვის დონეზე. მიწათსარგებლობის ყოველ ტიპს გააჩნია მისთვის დამახასიათებელი დამაბინძურებლები, თუმცადა ყველა მათი ძირითადი მდგენელი წყალგაუმტარი ზედაპირის ფართობია.

გუნავარდანამ (2012) აღნიშნა, რომ ინდუსტრიულ ზონაში სშნ მაღალი კონცენტრაცია აღინიშნება, ასევე ინდუსტრიული და კომერციული ზონები მძიმე მეტალების წყარო წარმოადგენენ (Gunawardana et al., 2012). ჰერნგენმა (2006) წარმოადგინა მყარი დანალექების ჯამური კონცენტრაციები სხვადასხვა მიწათსარგებლობის ზონებისათვის, საცხოვრებელ ზონაში 2449 მგ/მ²-ზე, ინდუსტრიულ ზონაში 6876 მგ/მ²-ზე, და კომერციულ ზონაში 15882 მგ/მ²-ზე (Herngren et al., 2006). დანალექების დაგროვების მექანიზმები ცალკე თავში იქნება განხილული.

ნაწილაკების ზომის განაწილება

ნაწილაკების ფუნდამენტური მახასიათებელია მისი ზომა. იგი განსაზღვრავს და გვადლევს ცნობებს მისი დაგროვებისა და ტრანსპორტირების უნარებზე (Pye & Blott, 2004).

ნაწილაკების ზომის განაწილება (ნზგ) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სანიაღვრე წყლების გაწმენდის პროცესებზე, ამის ორი მიზეზია: 1) ზომა დიდ გავლენას ახდენს ნაწილაკის დალექვის სიჩქარეზე; 2) გრანულომეტრია და დანალექების დაგროვილი მასა გვიჩვენებს დანალექების და მათთან დაკავშირებული დამაბინძურებლების მობილობას. ცხრილში მოყვანილია ნზგ-ს ძირითადი დაყოფა ზომების მიხედვით (United Nations Environment Programme & World Health Organization, 1996). ელისმა და რევიტმა 1982) და ბალმა (1998) სხვადასხვა ავტოსტრადაზე აკუმულირებული დანალექების შესწავლა განახორციელეს. და დაასკვნეს, რომ ნზგ პოზიტიურ ლოგნორმალურ განაწილებს ექვემდებარება, ძირითადი ზომით 500-2000 მიკრონამდე. ბორდიურის გასწვრივ დიდი ზომის დანალექები გვხვდება და მათი ზომა საავტომობილო გზის ცენტრისკენ კლებულობს D50 ნაწილაკების და ცენტრში მათი ზომა ძირითადად 150 მიკრონზე ნაკლებია (Deletic & Orr, 2005; Viklander, 1998; Zafra et al., 2008).

ცხრილი 1. 1 - დანალექების ვენტორდის განაწილების შკალა (Blair & McPherson, 1999).

ტიპი	ზომა (მმ)	შეკავშირების ტიპი
ქვა	256-64	არა შეკავშირებული
ღორღი	64-2	არა შეკავშირებული
ძალიან მსხვილი ქვიშა	2-1	არა შეკავშირებული
მსხვილი ქვიშა	1-0.5	არა შეკავშირებული
საშუალო ქვიშა	0.5-0.25	არა შეკავშირებული
წვრილი ქვიშა	0.25-0.125	არა შეკავშირებული

ძალიან წვრილი ქვიშა	0.125-0.063	არა შეკავშირებული
სილა	0.062-0.004	შეკავშირებული
თიხა	0.004-0.00024	შეკავშირებული

ძირითადად გრანულომეტრიული ანალიზისას შემდეგ ზომათა ინტერვალებს იყენებენ: >500მკ, 500-250მკ, 250-63მკ და <63მკ.

ნაწილაკის ზომა განაპირობებს მის თვისებას შეითავსოს დამაბინძურებლები, საზოგადოდ ცნობილია, რომ მცირე ზომის ნაწილაკებს უფრო მეტად შეუძლიათ შეითვისონ დამაბინძურებლები ვიდრე დიდი ზომისას. გასტალდინიმ და სილვამ (2013) აღმოაჩინეს ნზგ-სთან დაკავშირებული სხვადასხვა დამაბინძურებლები ურბანულ გარემოში. ისინი ასკვნიან „მძიმე მეტალები ყველაზე მეტ კონცენტრაციას < 63მკ ავლენენ. მშრალ დანალექების სინჯებში ქქმ და ფოსფორი > 500მკ. ამონიუმი, ნიტრატები, თუთიის და ტყვიის კონცენტრაციები 63-250მკ ზომასთან არის ასოცირებული“ (Gastaldini et al., 2013).

წვიმის მოვლენის შემდეგ დიდი ზომის ნაწილაკები ბორდიურის გასწვრივ მობილიზდებიან. ზაფრა (2008) აღმოაჩინა, რომ ძირითადად სანიაღვრე წყლის სინჯებში აღმოჩენილი 30% სშნ-სა 31მკ-ზე მეტია და 93% 45მკ-ზე ნაკლები. მისმა კვლევამ აჩვენა, რომ დიდი ზომის ნაწილაკების გადაადგილებას ძირითადად წვიმის წვეთის კინეტიკური ენერგია განაპირობებს, ხოლო შედარებით მცირე ზომის ნაწილაკები ზედაპირული დინებისას გადაირეცხება (Zafra et al., 2008).

ცხრილი 1. 2 - მძიმე მეტალების კონცენტრაცია, ნზგ-ს მიხედვით (Gastaldini et al., 2013).

მძიმე მეტალი	ზომა	დამაბინძურებლების კონცენტრაცია ნაწილაკების ზომების მიხედვით				
		S1/C1	S2/C2	S1/C2	S2/C2	S2/C3
მეტალი	ნაწ. ზომა					
სპილენძი	>500მკ	0.820	0.740	0.820	1.060	0.830

	500-250მკ	0.720	0.980	0.790	0.950	0.690
	250-63მკ	0.670	1.190	0.670	1.520	1.490
	<63მკ	3.010	3.010	3.980	5.510	5.480
თუთია	>500მკ	3.300	5.620	1.720	3.390	2.280
	500-250მკ	3.040	4.600	1.990	3.690	2.230
	250-63მკ	3.800	8.790	1.880	6.220	4.000
	<63მკ	5.220	7.820	5.980	13.600	10.200
ნიკელი	>500მკ	0.015	0.130	0.130	0.110	0.140
	500-250მკ	0.065	0.115	0.185	0.110	0.095
	250-63მკ	0.095	0.135	0.095	0.210	0.175
	<63მკ	0.395	0.250	0.395	0.400	0.445
ტყვია	>500მკ	0.060	0.225	0.105	0.630	0.230
	500-250მკ	0.235	0.295	0.210	0.295	0.320
	250-63მკ	0.420	0.490	0.170	0.535	0.795
	<63მკ	1.480	1.520	1.120	1.300	1.840
S1 = საიტი 1, S2 = საიტი 2						
C1 = კამპანია 1, C2 = კამპანია 2, C3 = კამპანია 3						

წყალგაუმტარ ზედაპირზე ნაწილაკების განთავსებასთან ერთად ნზგ ასევე განაპირობებს მათი მექანიკურად მოშორების ალბათობას. სარტორმა და ბოიდმა (1972), აღმოაჩინეს რომ ქუჩის მექანიკური გაწმენდა 45მკ-ზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების მხოლოდ 15% აშორებს და 246მკ-ზე პატარა ნაწილაკების 48% მოაშორებს, მათი კვლევა

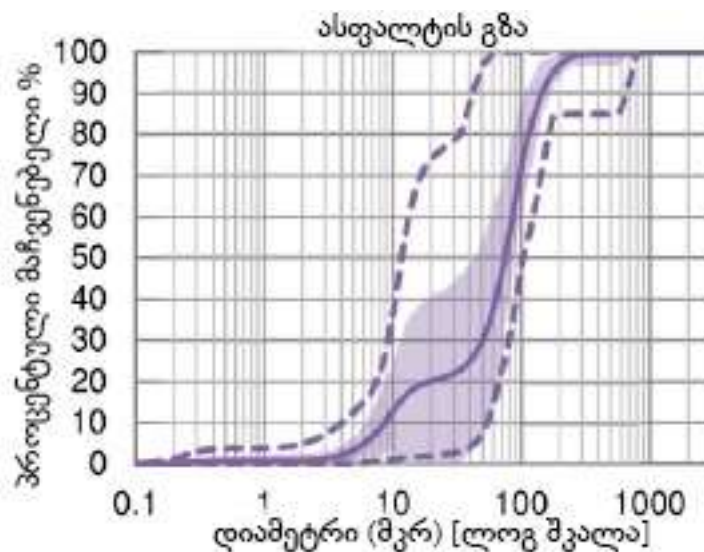
ადგენს რომ ქუჩის მექანიკური გაწმენდა არ არის ეფექტური დასუფთავების მექანიზმი (Ball et al., 1998). ამ იდეას ასევე იზიარებენ და თავიანთ შრომებში ასახავენ სხვადასხვა ავტორები (Calveiro, 2012; Chebbo, 1992; *Update of SuDS construction guidance*, 2014; Saget et al., 1996). ძირითადი დებულებები შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგი სახით:

- ნაწილაკები აკუმულირდება სავალი გზისა და ბორდიურის გასწვრივ, მათი დიამეტრი ძირითადად 200 – 1000 მიკრონამდეა, საშუალო კონცენტრაცია D50, 300-400 მიკრონს შეადგენს (გრავიტაცია: 2,6),
- საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებში D50, 30-40 მიკრონია (გრავიტაცია: 1,5),
- კომბინირებულ ქსელში წვიმის შედეგად გადაადგილებული ნაწილაკები პატარა ზომისაა 30 – 40 მიკრონი და ისინი ძირითადად შეწონილი სახით გადაადგილდებიან (Chebbo, 1992).
- სანიაღვრე ქსელს უფრო დიდი ზომის ნაწილაკების 200 – 1000 მიკრონი ტრანსპორტირება შეუძლია და ისინი ძირითადად გადათრევით ან ზედაპირზე გადახტომით გადაადგილდებიან (Ashley et al., 1999; Crabtree, 2003).

ტრანსპორტირების მხრივ ნზგ დიდი გავლენა აქვს მათი გადარეცხვის შესაძლებლობაზე. ზაფრამ (2008) თავის ნაშრომში აღნიშნავს, ნაწილაკების წვიმის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირების შესაძლებლობა იზრდება ნაწილაკების ზომის შემცირების პარალელურად. იგი აღნიშნავს რომ საკვლევ არეალში ასფალტის ზედაპირზე (დახრა: 0,2% და 0,4%) ნაწილაკები 500 მიკრონზე ნაკლები იყო ავლენდნენ ყველაზე მეტ შესაძლებლობას ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებისა, ხოლო წვიმის შემდეგ დარჩენილი ნაწილაკების ზომა შედარებით დიდი ზომისაა. ასევე ნზგ განაპირობებს ნაწილაკების თვისებას ჩაიჭედოს ზედაპირის ფორებში სხვადასხვა კლიმატოლოგიური ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად ისინი ძირითადად მტვრის ზომისაა, 27% ფიქსირებული ნაწილაკებისა 63 მიკრონზე ნაკლებია. მანდ ასევე დაასკვნა, რომ 125 მიკრონზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებს აკუმულირების უფრო მაღალი შესაძლებლობა გააჩნია (Zafra et al., 2008).

ვაზემ და ჩიუმ (2002) განსაზღვრეს ნუტრიენტების კონცენტრაციები სხვადასხვა ზომის ფრაქციებისათვის. მათ დაადგინეს რომ სინჯებში ყველაზე მეტი კონცენტრაცია 11 – 150 მიკრონამდე ფრაქციებზე მოდიოდა, ხოლო მათი მოშორებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს ნაწილაკების ზომა 11 მიკრონი (Vaze & Chiew, 2002). ამიაკის დატვირთვა დაფიქსირდა დელეტის (2005) საველე კვლევაში, სადაც ნაწილაკების ზომა შედარებით მაღალი იყო, 63 – 250 მიკრონი პირველი კამპანიის დროს და 250 – 500 მიკრონის მეორე კამპანიისას. იგივე კვლევისას მათ გამოავლინეს ნიტრატების ყველაზე მაღალი შემცველობა 63 -250 მიკრონის ფრაქციებში, უფრო დიდი ზომებში მათი შემცველობა უმნიშვნელო იყო, ხოლო საშუალო დატვირთვამ 45,52 მგ/მ² შეადგინა. ფოსფატების შემთხვევაში ისინი ფიქსირდებოდა 63 მიკრონზე ნაკლებ და 500 მიკრონზე მეტ ფრაქციებში, ხოლო მათი საშუალო დატვირთვა 0,419 მგ/მ²-ია. (Deletic & Orr, 2005).

ჩარტერსმა და მკვლევართა ჯგუფმა შეაგროვა და შეადარა სხვადასხვა საერთაშორისო კვლევებში მოყვანილი ურბანული ჩამონადენის ნზგ-ს მონაცემები და შეადარეს ისინი სშნ-ების მნიშვნელობებს, გზის ჩამონადენს ქონდა ყველაზე მეტი სშნ კონცენტრაცია. ნაშრომის ზოგიერთი შედეგი წარმოდგენილია ნახ.1.1. და ცხრ.1.3 (Charters et al., 2015).



ნახაზი 1. 1 - ზომის განაწილების მაგალითი (Charters et al., 2015) მიხედვით.

ცხრილი 1.3 - ჯამური სტატისტიკური მონაცემები, ნზგ-სა და სშნ-თვის სხვადასხვა ზედაპირისათვის.

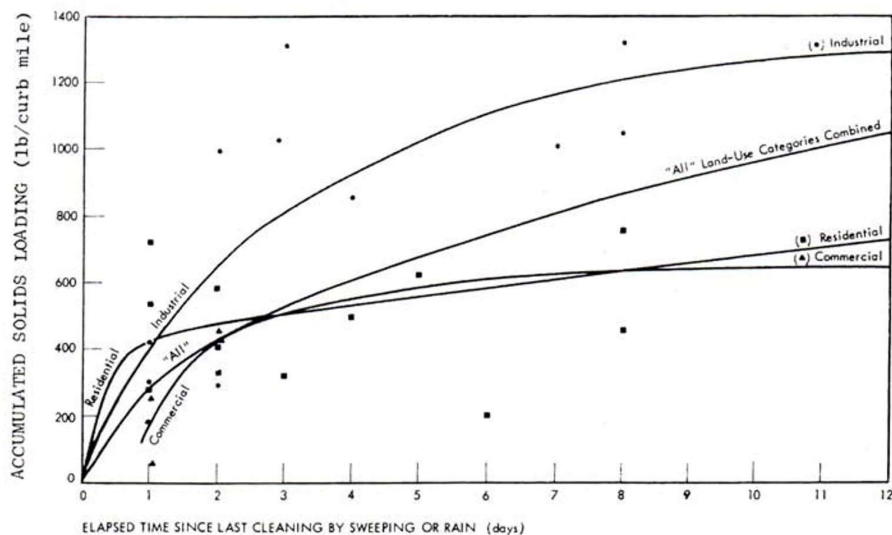
ჩამონადენის ტიპი	სინჯების რაოდენობა	D10 (მკ)	D50 (მკ)	D90 (მკ)	% <63 (მკ) პროცენტი	
ბეტონის ზედაპირი	27	24.7 (10.3-58.1)	71.0 (29.9-96.7)	276.9 (53.2-976.3)	41.8 (14.0-97.7)	
სპილენძის სახურავი	25	18.1 (5.3-33.9)	60.8 (43.2-78.3)	162.2 (61.0-398.7)	53.8 (36.7-91.8)	
გალვანიზირებული სახურავი	23	30.3 (10.9-57.9)	72.1 (52.8-91.5)	164.5 (75.1-683.4)	41.0 (13.87-95.3)	
ასფალტის ზედაპირი	28	23.2 (4.0-53.7)	71.6 (11.7-102.9)	177.2 (42.4-784.5)	38.9 (3.0-99.8)	
ჩამონადენის ტიპი	პირველი ტალღა			სტაბილური დინება		
	საშ. (მგ/ლ)	მინ. (მგ/ლ)	მაქს. (მგ/ლ)	საშ. (მგ/ლ)	მინ. (მგ/ლ)	მაქს. (მგ/ლ)
ბეტონის ზედაპირი	11,9	2,7	30,8	4,1	2,5	7,6
სპილენძის სახურავი	191,5	13,9	453,7	3,3	1,2	11,7
გალვანიზირებული სახურავი	13,4	6,2	22,3	4	1,2	6,8
ასფალტის ზედაპირი	158,2	77,1	327,4	53,5	16,4	157,2

დამაბინძურებლების დაგროვება

დამაბინძურებლების დაგროვება ანუ აკუმულირება, პირველი პროცესია ურბანული დამაბინძურებლების ტრანსპორტირებისა თუ მოდელირების ციკლში. დამაბინძურებლების დაგროვება ვითარდება წრფივად ან ექსპონენციურად და დროთა განმავლობაში ხდება ასიმპტომური. ეს აღწერილია ლიტერატურის მიმოხილვაში, თუმცა ექსპერიმენტული შედეგები არ გვამცხევს მათ შორის ცალსახად არჩევის საშუალებას.

დამაბინძურებლების (ნაწილაკების) დაგროვება დაკავშირებულია რამდენიმე ფაქტორზე, საავტომობილო ტრაფიკი და მიწათსარგებლობა, ქარი, ანთროპოგენული აქტივობა, ქუჩის წმენდა, გადარეცხვა და ა.შ. ეს ფაქტორები მოქმედებენ დამაბინძურებლების დაგროვებაზე, მათ გადანაწილებაზე და გადატანაზეც, აქედან გამომდინარე დაგროვების სრული მასა ძირითადად დამოკიდებულია წინა მშრალ პერიოდზე თუმცა მათი ზრდა ყოველთვის არ მატულობს დღეების მატებასთან ერთად.

ეგოდავატამ და გუნეტიკლემ (2006), აღნიშნეს, რომ ყველაზე მეტი დაგროვების მაჩვენებელი შეინიშნება პირველი ორი დღის განმავლობაში და შედარებით კლებულობს მომდევნო დღეებისას. დაგროვების მაჩვენებელი საწყის პერიოდში შეადგენდა 1–2 გ/მ²/დღეში და დაკვირვების პერიოდში არ ცდებოდა 6 გ/მ²/დღე.



ნახაზი 1. 1 - დამაბინძურებლების დაგროვება სარტორი და ბოიდის მიხედვით (Sartor, J.D.; Boyd, G.B.; Agardy, 1974).

მათ დაადგინეს რომ დამაბინძურებლების კონცენტრაციის მატება ძირითადად პირველი ორი დღის განმავლობაში მატულობს მნიშვნელოვნად ხოლო შემდეგ შედარებით კლებულობს, ხოლო 9-11 დღის შემდეგ კონსტანტას აღწევს. ქვევით ცხრილში მოყვანილია სხვადასხვა ავტორების მიერ გამოკვლეული, დამაბინძურებლების დაგროვების მაჩვენებელი მშრალ დღეებთან მიმართებაში.

ცხრილი 1. 4 - სხვადასხვა კვლევებში დაფიქსირებული დამაბინძურებლების დაგროვების მაჩვენებლები.

ავტორი	მწს	მყარი ნაწილაკები გ/მ ²	მშრალი დღეები
Egodawatta et al. 2007	საცხოვრებელი	3,52	-
Egodawatta et al. 2007	კომერციული	1,74	-
Egodawatta et al. 2007	ინდუსტრიული	4,25	-
Liu, 2011	საცხოვრებელი	3,52	8
Liu, 2011	საცხოვრებელი	1,27	17
Liu, 2011	კომერციული	1,74	4
Liu, 2011	კომერციული	1,18	10
Liu, 2011	ინდუსტრიული	2,99	4
Liu, 2011	ინდუსტრიული	4,25	5
Herngren, 2006	საცხოვრებელი	0,82	2
Herngren, 2006	კომერციული	5,29	1
Herngren, 2006	ინდუსტრიული	2,29	7
Miguntana, 2009	საცხოვრებელი	2,25	8
Miguntana, 2009	კომერციული	4,06	11
Miguntana, 2009	ინდუსტრიული	3,44	9
Miguntana, 2010	საცხოვრებელი	2,25	8

Miguntana, 2010	ინდუსტრიული	3,44	9
Miguntana, 2010	კომერციული	4,06	11

ეს ცხრილი მაგალითია იმისა თუ მიწათსარგებლობა და სხვა გარემოებები როგორ გავლენას ახდენენ დამაბინძურებლების დაგროვებაზე, ყველაზე მაქსიმალური რაოდენობა 4.25გ/მ² დაფიქსირდა 4 დღეს, ხოლო მინიმალური 0.82გ/მ² 2 დღეს.

სხვა მკვლევარმა მიგუტანა (2010) ასევე შეისწავლა სხვადასხვა მიწათსარგებლობის ზონებში დამაბინძურებელთა დაგროვება და ისინი ზომის მიხედვით დაახარისხა, კვლევაში ნაჩვენებია, რომ შეგროვებულ მასალაში 150 მიკრონზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების პროცენტული მაჩვენებლები ყველაზე მაღალია, რაც განაპირობებს ასევე მძიმე მეტალების უფრო მაღალ კონცენტრაციებს (Prasadani, 2010).

ცხრილი 1. 5 - დამაბინძურებლების ზომათა განაწილება მიწათსარგებლობის მიხედვით.

მიწათსარგებლობა	მყარი ნაწილაკები %					მყარი ნაწილაკები (გ/მ ²)	მშრალი დღეები
	<1	1-75	75-150	150-300	>300		
	µm	µm	µm	µm	µm		
საცხოვრებელი	29,33	14,18	42,50	11,82	2,17	2,25	8
ინდუსტრიული	33,01	8,27	48,62	6,60	3,50	3,44	9
კომერციული	26,41	7,36	38,10	19,33	8,81	4,06	11

დამაბინძურებლების აკუმულირების პროცესზე ასევე გავლენას ახდენს ქუჩის გაწმენდითი სამუშაოები, თუმცა მათი ეფექტიანობა მცირე ზომის ნაწილაკებისათვის ნომინალურია, ზაფრამ, ტემპრანომ და ტახერომ (2008) გამოიკვლიეს მათი ეფექტურობა სხვადასხვა ზომის ნაწილაკებისათვის და დაადგინეს, რომ 250 მიკრონზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებზე მათი ეფექტურობა 15% შეადგენს (Zafra et al., 2008).

აკუმულირების პროცესი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით, რომელსაც საფუძვლად უდევს ექსპონენციური ასიმპტომური დაგროვების მოდელი (Alley & Smith, 1981).

$$\frac{\partial M_a}{\partial t} = A_{CCU} - D_{ISP} M_a \quad (1.1)$$

სადაც:

M_a - t დროში აკუმულირებული ნაწილაკების მასა (კგ),

t - დრო (დღე),

A_{CCU} - დღიური დაგროვების ნორმა (კგ/დღე),

D_{ISP} - გაქრობის კოეფიციენტი (დღე⁻¹). ეს არის სხვადასხვა ფაქტორების გამო (ქარი, ქუჩის წმენდა ა.შ.) ნაწილაკების მოშორების კოეფიციენტი.

M_a იზრდება სანამ ზედა ლიმიტი A_{CCU}/D_{ISP} მნიშვნელობის ტოლი არ გახდება, როგორც წესი იგი მიიღწევა 9-10 დღისას მასზე ასევე დიდ გავლენას სხვადასხვა ფაქტორები როგორცაა მიწათსარგებლობა და ამინდი.

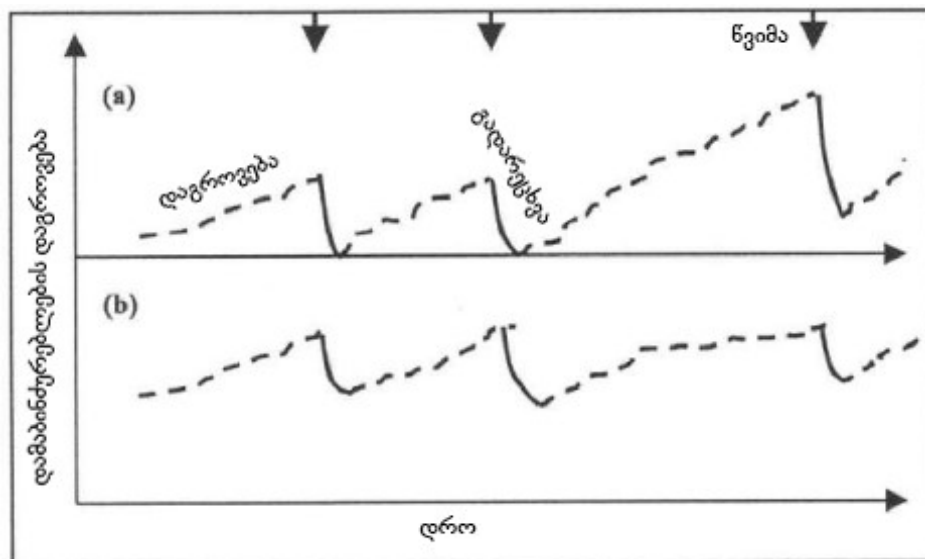
აღნიშნული დაგროვების მოდელი იმპლემენტირებულია სანიაღვრე წყლების მენეჯმენტის მოდელირების პროგრამაში (SWMM). რომელიც ფართოდ გამოიყენება მსოფლიო მასშტაბით, საბოლოო ჯამში დაგროვების მოდელი დაფუძნებულია წინამორბედ მშრალი დღეების რაოდენობაზე და მისი კავშირი აკუმულაციის კოეფიციენტთან შეიძლება იყოს, წრფივი, არა წრფივი და ექსპონენციური.

დამაბინძურებლების გადარეცხვა

გადარეცხვა არის შემდეგი ეტაპი ნაწილაკების ტრანსპორტირებისას. წვიმიანი ამინდის დროს ურბანულ ზედაპირზე დაგროვილი ნაწილაკები ატაცებულ იქნება წვიმის ზედაპირული დინების მიერ და გადატანილ იქნება სანიაღვრე სისტემაში ან სხვა წყალმიმღებში. გადარეცხვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია წვიმის

ინტენსივობა, განსაკუთრებით მაქსიმალური ინტენსივობის კვადრატი (Shivalingaiyah & James, 1984). გადარეცხვის პროცესისას ძირითადი წარმოდგენა მოიაზრებს იმ იდეას, რომ წვიმის დროს დინება გადარეცხავს ზედაპირზე დაგროვებული დამაბინძურებლების მხოლოდ ნაწილს და გადარეცხვის მასა პირდაპირპროპორციულია მანამდე დაგროვებული დამაბინძურებლების მასისა (Soonthornnonda et al., 2008).

ვაზემ და ჩიუმ (2002) ექსპერიმენტის დროს გამოარკვეეს, რომ საგრძნობი წვიმის დროს 39.4მმ, დამაბინძურებლების მხოლოდ 35% იქნა გადარეცხილი. კვლევების შედეგად მათ შემოგვთავაზეს დამაბინძურებლების გადარეცხვის 2 შესაძლო კონცეპცია, რომელიც ნაჩვენებია სურათზე 2-3, (a) გადარეცხვის შეზღუდვა და (b) წყაროს შეზღუდვა. დამაბინძურებლები რომლებიც უფრო ხშირი წვიმის ზეგავლენის ქვეშ არიან უფრო წყაროს შეზღუდვისკენ იხრებიან ვიდრე გადაადგილების შეზღუდვისა (Vaze & Chiew, 2002).



ნახაზი 1. 2 - გადარეცხვის პროცესი (აღებულია Vaze და Chiew, 2002).

გადარეცხვის ძირითადი ფაქტორებია გზის ზედაპირი, წვიმის ინტენსივობა და ნაწილაკების ზომა, თუმცა ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორი მაინც წვიმის ინტენსივობაა. სარტორიმ (1974) წარმოდგენა გადარეცხვის ექსპონენტური განტოლება. შემდგომში დადგინდა რომ ეს განტოლება შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ყველა ტიპის წყალგაუმტარი ზედაპირისათვის, იმის მიუხედავად რომ თავდაპირველად იგი შემუშავდა როგორც გზების ზედაპირისათვის (Sartor, J.D.; Boyd, G.B.; Agardy, 1974).

$$W = W_0(1 - e^{-kt}) \quad (1.2)$$

სადაც,

W_0 = გარკვეული ზომის ნაწილაკების საწყისი წონა;

t = წვიმის ხანგრძლივობა;

I = წვიმის ინტენსივობა;

$W = t$ დროში გადარეცხილი ნაწილაკების წონა;

K = გადარეცხვის კოეფიციენტი.

სხვა მკვლევარები თავის კვლევებში წარმოადგენენ გადარეცხვის პროცესს რომელსაც პირდაპირი კავშირი აქვს აკუმულირებულ დამაბინძურებლებსა და წვიმის ინტენსივობასთან (Alley & Smith, 1981). განტოლება გამოიყურება შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial M_a}{\partial t} = -K_{\text{ფ}} i(t) M_a \quad (1.3)$$

სადაც,

M_a = აკუმულირებული დამაბინძურებლების წონა t დროში (კგ),

$i(t)$ = t დროში წვიმის ინტენსივობა (მმ/სთ),

$K_{\text{ფ}}$ = გადარეცხვის კოეფიციენტი (მმ⁻¹),

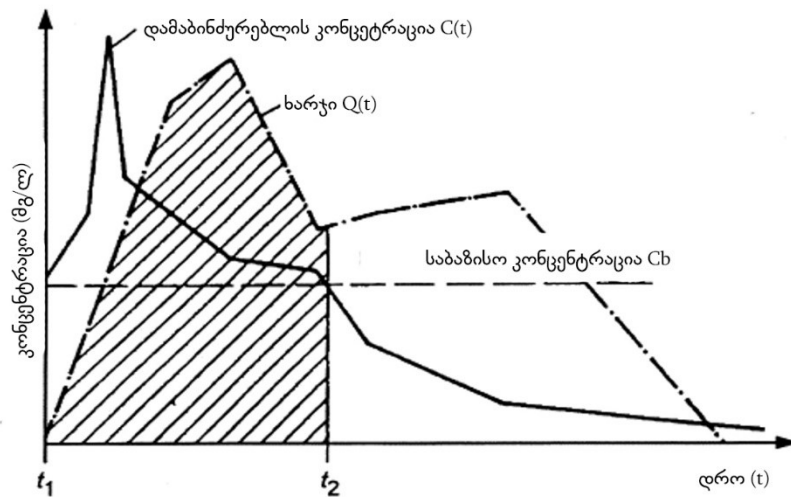
$K_{\text{ფ}}$ -ს ნაგულისხმევი მნიშვნელობაა 0.18 მმ⁻¹, თუმცადა მიჩნეულია რომ მისი კალიბრაცია უნდა მოხდეს ყოველი ცალკე აღებული აუზისათვის.

პირველი ტალღის ეფექტი

დამაბინძურებლების გადარეცხვის დროს პირველი ტალღის ეფექტი მნიშვნელოვანი ფენომენია. ზოგადად იგი დაფუძნებულია იმ მოსაზრებაზე რომ სანიაღვრე წყლების პირველი პორცია ყოველთვის ყველაზე დაბინძურებულია (Stenstrom & Kayhanian, 2005). მისი ვიზუალური გამოსახულებაა პოლუტოგრაფების ადრეული

პიკები (Aryal & Lee, 2009). პირველი ტალღის ეფექტის დასადგენად „მკვლევრები ძირითადად იყენებენ დამაბინძურებლების სრული მასის კუმულაციურ მნიშვნელობის შეფარდებას მოსული ნალექის კუმულაციურ მასასთან“ (Deletic, 1998).

ზოგადად, დადგენილია რომ პირველ ტალღას აქვს ადგილი, მაშინ როდესაც დაგროვილი დამაბინძურებლების 80%-მდე გადაირეცხება წვიმის პირველ მესამედში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ პირველი ტალღის ეფექტი შესაძლოა განვითარდეს როგორც სანიაღვრე ასევე საკანალიზაციო ქსელების რეცხვის დროს. იმდენად რამდენადაც პირველი ტალღის დროს გვხვდება დამაბინძურებლების მაქსიმალური კონცენტრაციები, მის განსაზღვრას მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს კომბინირებული ქსელების გადამღვრელებისა (CSO) და სანიაღვრე ქსელების სხვადასხვა საკონტროლო სტრუქტურების დიზაინისას (Suárez & Puertas, 2005).



ნახაზი 1. 3 - აშშ გარემოს დაცვის სააგენტოს (EPA-1993) შემუშავებული პირველი ტალღის განსაზღვრის სქემა.

კომბინირებულ ქსელებში ასევე შეიძლება განვითარდეს პირველი ტალღა, რა დროსაც მშრალი ამინდის დროს არსებული მცირე ხარჯი ვერ უზრუნველყოფს ნატანის სრულყოფილ ტრანსპორტირებას რა დროსაც იგი აკუმულირდება მილის ძირზე და გადაირეცხება წვიმის დროს წარმოქმნილი მძლავრი ნაკადისას რაც იწვევს შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის მკვეთრ ზრდას (Barco et al., 2008). განასხვავებენ კონცენტრაციაზე დაფუძნებულ (CBFF) პირველ ტალღას და სრულ მასაზე (MBFF)

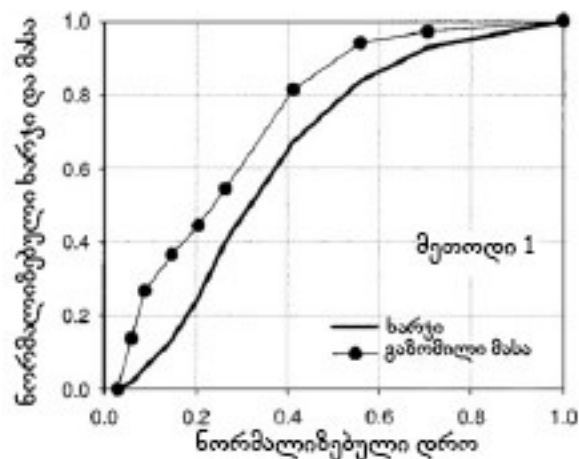
დაფუძნებულ პირველ ტალღას, რა დროსაც ორი დამატებითი პარამეტრი შემოდის $M(t)$ და $V(t)$ (Sansalone & Cristina, 2004).

პირველი ტალღის განსაზღვრის გზები

პირველი ტალღის დასადგენად 3 მეთოდი გამოიყენება. ისინი დაფუძნებულია მასა/მოცულობის $M(V)$ მრუდზე, თუ იგი 45° ბისექტრისის მაღლაა ესე იგი პირველ ტალღას აქვს ადგილი, რაც უფრო დიდია სხვაობა მრუდსა და ბისექტრისას შორის მით უფრო გამოკვეთილია პირველი ტალღა (Gorgoglione, 2016). $M(V)$ მრუდი წარმოადგენს ორი მრუდის ვარიაციას, ჰიდროგრაფი $Q(t)$ და პოლუტოგრაფისა $C(t)$, სადაც Q არის ხარჯი ($m^3/წ$) ხოლო C კონცენტრაცია ($მგ/ლ$).

I მეთოდი:

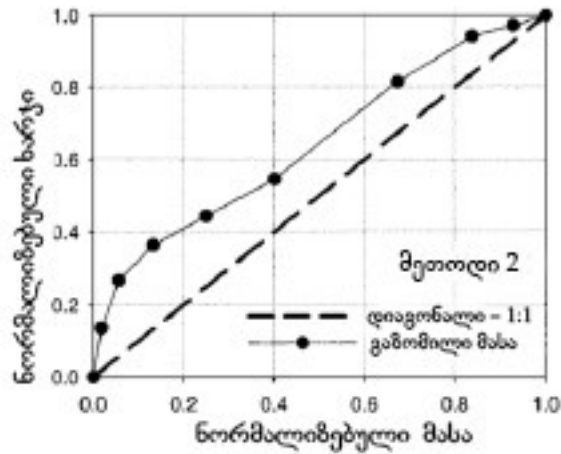
საჭიროა ორი დამატებითი პარამეტრის გამოყენება $V(t)$ მოცულობის ის პროცენტული მაჩვენებელი რომელმაც გაიარა სრული $M(t)$ წვიმის მასის განსაზღვრულ პროცენტულ მაჩვენებელში. $M(t)$ და $V(t)$ შეფარდება გარკვეული დროის პერიოდში გვაძლევს საშუალებას დავადგინოთ პირველი ტალღის არსებობა. თუ $M(t)$ უფრო მაღლაა ვიდრე $V(t)$ ადგილი აქვს პირველ ტალღას (Sansalone & Buchberger, 1997; Sansalone & Cristina, 2004).



ნახაზი 1. 4 - განსაზღვრის I მეთოდი.

II მეთოდი:

ამ მეთოდისას დროს დროის t ცვლადი უგულველყოფილია. 45° ბისექტრისა გამოსახულია ნახაზზე $M(t) - Y$ აბსცისაზე ხოლო $V(t) - X$ აბსცისაზე თუ მრუდი აბსცისაზე მაღლა, მაშინ ფიქსირდება პირველი ტალღა.

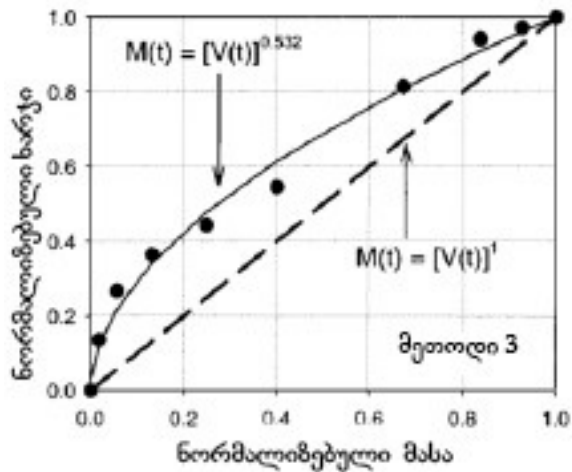


ნახაზი 1.5 - განსაზღვრის II მეთოდი.

III მეთოდი:

ეს მეთოდი არის II მეთოდის ვარიაცია, იგი დაფუძნებულია $M(t)$ -სა და $V(t)$ -ს ურთიერთკავშირზე რა დროსაც $M(t) = V(t)^b$.

როდესაც $b=1$ იგი 45° ბისექტრისას ემთხვევა ხოლო თუ იგი ნაკლებია 1-ზე მაშინ პირველ ტალღას აქვს ადგილი.



ნახაზი 1. 6 - განსაზღვრის III მეთოდი.

საგეტმა (1996) გაანალიზა ჯამში 80 წვიმის მოვლენა, 7 სხვადასხვა აუზისათვის და აღმოაჩინა b პარამეტრის მრავალფეროვნება. ასევე სხვა მკვლევარებმა დაადგინეს b პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობები, ირკვევა რომ ცალკე აღებული აუზისათვის გადარეცხვის მრუდი უპირატესია პირველი ტალღის ეფექტის განსაზღვრისათვის (Anta Alvarez, 2004; Saget et al., 1996).

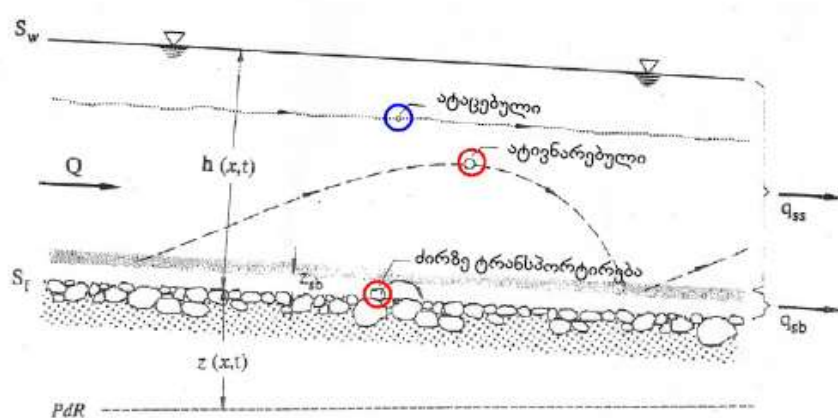
ცხრილი 1. 6 - პარამეტრის მათემატიკური გამოსახულება, მასა-მოცულობა მრუდეებისათვის.

კვლევა	განტოლება	b პარამეტრი
<i>Helsel et al. 1979, Griffin, 1980. Geiger, 1987.</i>	$M(t) \geq V(t)$	< 1
<i>Stahre and Urbonas, 1990</i>	$M(t) \geq 0.8yV(t) \leq 0.20$	< 0.139
<i>Wanielista and Yousef, 1993</i>	$M(t) \geq 0.5yV(t) \leq 0.25$	< 0.5
<i>Saget et al, 1996</i>	$M(t) \geq 0.8yV(t) \leq 0.3$	< 0.185

ნატანის ტრანსპორტირება

ნატანის ტრანსპორტირების მთავარი განმარტებაა, ორგანული და არაორგანული ნაწილაკების გადაადგილება ზედაპირული დინების მიერ. რაც მეტია ხარჯი მიტ მეტი ნატანი იქნება ტრანსპორტირებული (Czuba, J. A., Magirl, C. S., Czuba, C. R., Grossman, E. E., Curran, C. A., Gendaszek, A. S., & Dinicola, 2011). მას გააჩნია ორი ტიპის ეფექტი, მყისიერი რომელიც ზემოქმედებს ნაკადის ჰიდრავლიკაზე და იგი ძირითადად შეზღუდულია დროში და სივრცეში წყალშემკრები აუზის ზომებიდან გამომდინარე და გრძელვადიანი ეფექტი რომლის ეფექტიც უფრო მასშტაბურია და იგი ზემოქმედებს ზედაპირის ეროზიასა და დეპონირების დინამიკაზე. ჩვენს კვლევაში რომელიც დაკავშირებულია ურბანულ გარემოსთან პირველი ეფექტი უფრო გამოხატულ იქნება.

ურბანულ გარემოში დანალექების არსებობის ძირითადი ეტაპებია: როგორ ხვდებიან ისინი წყალშემკრებ აუზში, მათი დაგროვება წყალგაუმტარ ზედაპირზე, მათი გადარეცხვა წვიმის მიერ და მისი ტრანსპორტირება ზედაპირზე მეჩხერი წყლის მიერ და მათი ტრანსპორტირება მიწებში. წყლის დინებაში დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების სამი ტიპი გამოირჩევა: ატაცებული (გახსნილი), რომელიც დინების მიერ არის ატაცებული და მის ზედაპირზე გადაადგილდება ატივანარებული, რომელიც დინების შუა ტანში გადაადგილდება და ძირზე (ზედაპირის ფორმაციის მეთოდით), რომელიც გადახობებით და გადახტომებით გადაადგილება, მათი ჯამი წარმოშობს ე.წ. ჯამურ დატვირთვას (Bertrand-Krajewski, 2006; Coutu et al., 2013; Deletic A, Orr, D, 2005).



ნახაზი 1. 7 - ნატანის ტრანსპორტირების ტიპები.

ნატანის გადატანასთან დაკავშირებული ზედაპირული პროცესები შესაძლებელი შემდეგი ძირითადი პრინციპებით აღიწეროს.

- ურბანულ ზედაპირზე და ავტოსტრადებზე, ზედაპირული დინება ძირითადად წყალგაუმტარ ზედაპირზე ფორმირდება,
- მისი დინება ცხურებისაკენ ძირითადად მეჩხერია,
- წყლის დინების პატარა სიღრმის გამო ისეთი ფაქტორები როგორცაა გრავიტაცია და დალექვის სიჩქარე შესაძლებელია უგულვეყოფილ იქნეს,
- ნალექების ტრანსპორტირებისას, ძირითადი ფაქტორებია, ზედაპირის მქისიანობა, ნაწილაკების ზომა და დინების სიჩქარე,
- ძირითადად ნაწილაკების გადაადგილება ხდება ატაცებულ (შექვივარებულ) ან ძირზე გადაადგილებით (გადახობება, გადახტომით),
- გადარეცხვის ეტაპზე ნალექების დროს, წვიმის წვეთის კინეტიკური ენერგიაც უნდა იქნას გათვალისწინებული,
- მილებში ნაწილაკების გადაადგილებისას მნიშვნელოვანი ფაქტორებია, მილის დიამეტრი, ქანობი, ზედაპირის მქისიანობა, ნაწილაკების ზომა და დინების სიჩქარე,
- დალექვის ჭებში, გათვალისწინებულ უნდა იქნეს სრული მოცულობა, დალექვის სიმაღლე, ნაწილაკების ზომა და დინების თვისება მათი შექვივარებულ მდგომარეობაში ყოფნისა.

არსებული კვლევისათვის აშშ-ს, გარემოს დაცვის სააგენტოს მიერ შემუშავებული (EPA) მოდელირების პროგრამა SWMM იქნა შერჩეული და გამოყენებული, შესაბამისად მოყვანილი ფორმულები მასთან იქნება დაკავშირებული.

SWMM, მოდელში დინების მოძრაობა დაფუძნებულია ცვლადი არა სტაციონარული ზედაპირული დინებაში მასის და იმპულსის შენარჩუნების ფორმულაზე. ამ მიზნით სენ-ვენანის განგრძობითი და იმპულსის 1D ფორმულები გამოიყენება:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 - \text{განგრძობითი ფორმულა,} \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad - \text{იმპულსის ფორმულა,} \quad (1.5)$$

სადაც: $\frac{\partial Q}{\partial t}$ დინების ხარჯის ცვლილებაა დროში, g გრავიტაციაა, t დროა, A კვეთის ფართობია, H ჰიდრავლიკური დაწნევა, x მანძილი, S_f ქანობის ხახუნის ენერჯიაა, ხოლო Q ხარჯია (Rossman, 2017).

ფორმულები გამოიყენება სისტემის ყველა ელემენტისათვის დროის ნებისმიერ მომენტისათვის.

მოვლენის საშუალო კონცენტრაცია (მსკ)

იმისათვის რომ შედარებულ იქნეს, სხვადასხვა წყალშემკრების და სხვადასხვა დროის მოვლენები, საჭიროა დამაბინძურებელთა სართო მასის გამოვლენა, ამისათვის მოვლენის საშუალო კონცენტრაცია (მსკ) და აუზის საშუალო კონცენტრაციები (ასკ) გამოიყენება. ისინი მნიშვნელოვანი ინდექსებია სხვადასხვა მოვლენისათვის და მკვლევარებში და ინჟინრებში მათი ფართო გამოყენება ხდება (Sansalone & Buchberger, 1997).

მსკ-ს გამოიანგარიშება როგორც მოვლენის დროს გადატანილი დამაბინძურებლების სრული მასა (M) გაყოფილი ნაკადის სრულ მოცულობაზე (V) და გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^T C(t)Q(t)dt}{\int_0^T Q(t)dt} \quad (1.6)$$

სადაც: $C(t)$ დროში ცვალებადი კონცენტრაციაა (მგ/ლ), $Q(t)$ დინების ხარჯია მოცემულ მომენტის ($m^3/წთ$). თუმცაღა რეალობაში კონცენტრაციის და ხარჯის გაზომვა წვიმის დროს ხდება დროის ტოლ მონაკვეთებში შესაბამისად მსკ-ს გამოთვლა შეგვიძლია შემდეგი მეთოდით:

$$EMC = \frac{\sum_i c_i q_i}{\sum_i q_i} \quad (1.7)$$

სადაც: q_i და c_i წარმოადგენენ დინების ხარჯსა და დამაბინძურებლების კონცენტრაციას მოცემული i -რი დროისათვის (Gorgoglione, 2016).

აუზის საშუალო კონცენტრაცია (ასშ)

აუზის საშუალო კონცენტრაცია გამოიყენება ერთი წყალშემკრები აუზის დამაბინძურებლების შესაფასებლად. მის გამოსათვლელად იგივე აუზის მსშ-ს გარკვეული რაოდენობის ძირითადად 15 მონაცემებს იყენებენ (Mourad, M., Bertrand-Krajewsky, J.L., and Chebbo, 2005). მის დასათვლელად ასევე 3 მეთოდი გამოიყენება თუმცა ჩვენს შემთხვევაში შეწონილი საშუალოს მეთოდს გამოვიყენებთ რომლის ფორმულაც გამოიყურება შემდეგი სახით:

$$SMC = \frac{\sum_{j=1}^n EMC_j V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (1.8)$$

სადაც: $j=1\dots n$ მოვლენების რიცხი, V_j j -რი მოვლენის სრული მოცულობაა მ³, C_j მოვლენის ჯამური კონცენტრაციაა მგ/ლ.

თავი II მოდელის აღწერა

2.1 ციფრული მოდელები

ურბანული წყლების მოდელირების მთავარი მიზანია არსებული პრობლემების იდენტიფიცირება და ამ პრობლემების გადაჭრის გზების განსაზღვრა და შეთავაზება. ამის მისაღწევად მთავარი მონაცემები უნდა იყოს თუმცა არ არის შემოსაზღვრული, ნალექები, დამაბინძურებლები, ზედაპირის თავისებურებანი, წყლის სისტემები (ზედაპირული და მიწის ქსელი) და მათი კავშირის ფიზიკური და არა-ფიზიკური პარამეტრები (Castro Díaz et al., 2008). მოდელების მთავარი გამოწვევაა იყოს კონცეპტუალურად იოლი და ეფექტური კომპიუტერული გამოთვლების კუთხით, გამოთვლების დრო და ფაილების ზომა (Djordjević et al., 1999). ხოლო მათი გამოყენების მთავარი აზრი ემყარება იმ პრინციპს რომ იგი როგორც მინიმუმ ერთი წყალშემკრები აუზისათვის უნდა კალიბრირებული და ვერიფიცირებული, ხოლო შემდეგ მისი გამოყენება მოხდეს მსგავსი პარამეტრების მქონე აუზებისათვის, მათი გამოყენება შესაძლებელია ჩამონადენის სხვადასხვა პარამეტრების გასაანალიზებლად და სისტემების მეტად მორგებული დიზაინის შესაქმნელად. მოდელების გამოყენებით შესაძლებელია შემდეგი პარამეტრების ანალიზი და წინასწარი განსაზღვრა:

- ჩამონადენის დახასიათება და შეტბორვის არელების განსაზღვრა,
- შეყოვნების ავზების დიზაინი,
- სედიმენტაცია და ნატანის ტრანსპორტირება,
- წყლის სისტემების დიზაინი,
- წყალგამწმენდი ნაგებობების დიზაინი,
- წყლის ხარისხი,
- ეკონომიკური ეფექტურობის ანალიზი.

ურბანული წყლების ჩამონადენის მოდელები წარმოადგენენ ორ ცალკე აღებულ პროცესს, წყლის ზედაპირული დინება და მათი დინება მიწის ქსელში, თავიდან მათი კავშირი ცალმხრივი როდესაც წყალი მხოლოდ ერთი მიმართულებით მიედინებოდა, ზედაპირიდან წყალარინების ქსელისაკენ, თუმცაღა მათმა შემდეგმა განვითარებამ

საშუალება მოგვცა გადავსებულ სისტემების ანალიზისა, ანუ როდესაც წყალარინების სისტემა მიაღწევს მისი წარმადობის მაქსიმუმს იგი ვეღარ იღებს ზედმეტ ხარჯს, წყალი ქსელიდან ამოედინება ზედაპირზე (უკუდინება), იწვევს მის შეტბორვას, წყალი მიემართება სისტემის შემდეგი ელემენტისკენ, ხოლო როდესაც სისტემა დაუბრუნდება თავის გამტარუნარიანობას ზედმეტი წყალი ისევ ბრუნდება სისტემაში (Cadorniga, 2015; Chen et al., 2007). თეორიულად სასურველია ისეთი მოდელების გამოყენება რომლებიც სრულად ასახავს წყალშემკრები აუზის ფიზიკურ პროცესებს და მათ დროში და სივრცეში ცვალებადობას, თუმცა პრაქტიკაში ამ პროცესების უმეტესობა და მათი კავშირები რთული აღსაწერია ან თუ მოხდა მათი აღწერა მათი კომპიუტერული გამოთვლა სხვა სირთულეებთან იქნება დაკავშირებული (Avelleneda et al., 2009). ფიზიკური კუთხით მოდელებში წყალშემკრები აუზი წარმოდგენილია როგორც მცირე ტბორები დაკავშირებული ერთმანეთთან მილები, ჭებით და სისტემის სხვა კომპონენტებით ასეთივე მიდგომაა გამოყენებული ჩვენს მიერ შერჩეულ SWMM მოდელშიც.

ჰიდრავლიკური კუთხით, ზედაპირული წყლის დინების წარმოშობა და მისი დინება ცხურების გავლით სადრენაჟე ქსელში დაფუძნებულია ორ ძირითად მათემატიკურ რეპლიკაციაზე, ერთი მათგანი დაფუძნებულია ე.წ. ერთეული ჰიდროგრაფის მიდგომაზე, დროის ერთეული, წრფივი და არა წრფივი დაგროვების მოდელები, მეორეს მხრივ ისინი ეყრდნობიან სენტ-ვენანის გამარტივებულ ფორმულებს მეჩხერი წყლისათვის, ეს მიდგომა უფრო და უფრო პოპულარული ხდება თანამედროვე ურბანულ მოდელებში.

კალკულაციის კუთხით, დინებისა და ნატანის გადატანა იყოფა ორ ტიპად 1D და 2D, დაფუძნებულია მათ ფიზიკური მოძრაობაზე და შესაბამისად მათ მათემატიკურ რეპლიკაციებზე. მათ შორის სხვაობას წარმოადგენს მოძრაობის ვექტორი, 1D-ს შემთხვევაში დინება მხოლოდ 1 მიმართულებით გადაადგილდება, ხოლო 2D-ს შემთხვევაში იგი გადაადგილდება X და Y მიმართულებებით ერთდროულად, ასე რომ 2D-ს შემთხვევაში ფორმულების სირთულე ასევე მათი კომპიუტერული გამოთვლის დრო მნიშვნელოვნად იზრდება (Gómez & Martínez-Gomariz, 2015; Leandro et al., 2009). ბოლო პერიოდში დაიწყო ე.წ. შეჯვარებული მოდელების გამოყენება 1D/2D მოდელები,

რა დროსაც 1D მოდელი გამოიყენება წყლის დინებისათვის არხებში და მილებში ხოლო 2D მოდელი გამოიყენება ზედაპირული დინების აღსაწერად, ძირითადად ორივე მათგანი სენტ-ვენანის 1D და 2D გამარტივებულ განტოლებებს ეფუძნება. ამ ტიპის მოდელებს ბევრად ზუსტი და გამოყენებადი მონაცემების მოცემა შეუძლია, დღეისათვის მათი გამოყენება ლიმიტირებულია ძვირი და რთული კომპიუტერული სისტემების გამოყენების აუცილებლობით, თუმცა კომპიუტერული და გამოთვლითი ინდუსტრიის სულ უფრო და უფრო სწრაფი ზრდა საშუალებას მოგვცემს მათი გამოყენება მოხდეს შედარებით დაბალი კომპიუტერული რესურსების დანახარჯით (Fraga et al., 2015; Vacondio et al., 2014).

ყველა ტიპის მოდელებს აქვს სუსტი წერტილები, რომლებიც შესაძლებელია იყოს შემავალი პარამეტრები, მოდელის სტრუქტურა და გამოთვლების შეცდომა, მათ შეიძლება გავლენა იქონიონ საბოლოო მონაცემებზე, იმის გასარკვევად თუ რა გავლენა შეიძლება იქონიოს შემავალმა პარამეტრებმა საბოლოო მონაცემებზე, მოდელების მგრძობელობის ანალიზი გამოიყენება რა დროსაც რეალური აუზის ჩვენებები ედრება მოდელით მიღებულ მაჩვენებლებს. ჩვენს შემთხვევაში 3 პარამეტრის შემოწმება მოხდა, ჩამონადენის ჰიდროგრაფის, პიკური ხარჯის და ჯამური მოცულობა. ჰიდროგრაფების შესადარებლად ნაშ-სეტკლიფის ინდექსი (NSE) გამოიყენება, იგი გავრცელებული მიდგომაა რეალური და მოდელირებული მონაცემების შესადარებლად. ინდექსი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^n (Q_i - Q_i^*)^2}{\sum_1^n (Q_i - Q_m^*)^2} \quad (2.1)$$

სადაც n ექსპერიმენტული რეზულტატების ნომერია, Q_i^* და Q_i ხარჯის i -ური გაზომვის და მოდელირების მონაცემია და Q_m^* არის საშუალო ხარჯი. ინდექსის მნიშვნელობა მერყეობს $-\infty$ -დან 1-მდე, რა დროსაც 1 მნიშვნელობა მიუთითებს იდეალურ შესაბამისობას, 0-დან 1-მდე მნიშვნელობა მიიჩნევა მოდელირების მისაღებს შესაბამისობას, ხოლო 0-ზე ნაკლები მნიშვნელობა მიუთითებს მოდელის მიუღებლობას რეალურ გაზომვებთან. ნეშ-სეტკლიფის ინდექსის გამოყენება მოდელირების

შესაფასებლად მიღებული პრაქტიკაა და მრავალი მაგალითი გვაქვს ურბანული ჩამონადენის მოდელებში მისი გამოყენებისა (Fraga et al., 2009; Manning et al., 2011).

2.2. SWMM მოდელის აღწერა

ამერიკის შეერთებული შტატების გარემოს დაცვის სააგენტოს (EPA) მიერ 1971 წელს შეიქმნა ურბანული წყლების მენეჯმენტის მოდელი სვიმ (SWMM) და იგი ერთ ერთი პირველი მოდელი იყო ამ დარგში. დროთა განმავლობაში ხდებოდა მისი სრულყოფა და ახალი მოდულების დამატება, ბოლო მე-5 ვერსია დაწერილია C++ დაპროგრამების ენაზე და ვრცელდება უფასოდ ღია კოდის ლიცენზიით. მოდელს შეუძლია თითქმის ყველა პროცესის რეპლიკაცია რომლებიც შედის აუზის ჰიდროლოგიურ ციკლში, რაოდენობრივი და ხარისხობრივი თვალსაზრისით (Rossman & Huber, 2016b).

სვიმი წარმოადგენს ნალექები-ზედაპირული დინების დინამიურ სიმულაციურ მოდელს ძირითადად ურბანული არეებისათვის. მოდელის მთავარი შემავალი კომპონენტი არის ნალექი და მას შეუძლია დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების სიმულაცია როგორც ზედაპირული დინებისას ასევე მიწების სისტემაში, იგი ითვალისწინებს ევაპორტრანსპირაციას და წყლის გაცვლას მიწისზედა და მიწისქვეშა სისტემებს შორის. მოდელის ყველა პარამეტრი წარმოადგენს დროისა და სივრცის ფუნქციას.

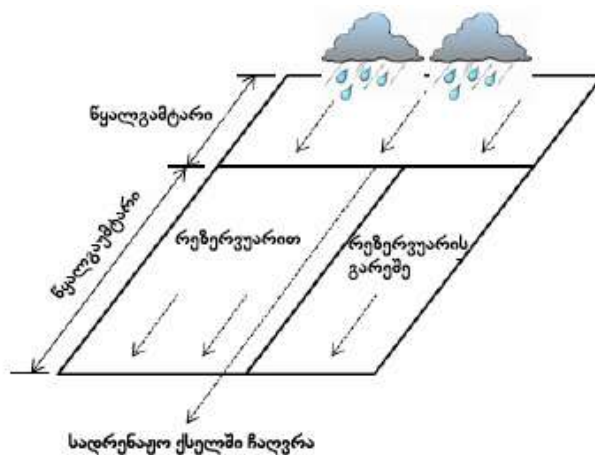
მოდელის გამოყენება შესაძლებელია სისტემების დიზაინისთვის, ურბანული დაგეგმარებისათვის და ასევე ოპერატიული მიზნებისათვის. დაგეგმარებისათვის მოდელი საშუალებას გვაძლევს თვეების და წლების ან უწყვეტი სიმულაციის წარმოებისა, რაც განპირობებულია შედარებით იოლი მათემატიკური სირთულით.

დიზაინის კუთხით მოდელი საშუალებას გვაძლევს სპეციფიური ამოცანების გადაჭრის გზებს, სადაც შესაძლებელია თითოეული ცალკე აღებული წვიმის მოვლენის ანალიზი, სადაც მიღწეულია ფიზიკური პროცესების მაქსიმალური რეპლიკაცია, ჩამონადენის და დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების სრული ციკლის ასახვა ზედაპირული დინებიდან ჩაღვრის წერტილამდე და იგი გამოიყენება ჰიდროგრაფებისა და პოლუტოგრაფების განსაზღვრისათვის, ასევე ხარჯისა და დამაბინძურებლების კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის სისტემის ნებისმიერ წერტილში და საბოლოოდ საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ნებისმიერი ტიპის დიზაინის ზემოქმედება ნებისმიერ

შერჩეულ კომპონენტებზე. იგი ძირითადად გამოიყენება ურბანულ აუზებში შეტბორვებისა და დამაბინძურებლებთან ბრძოლისათვის, ასევე სხვადასხვა მეთოდების შესაფასებლად. ამ ტიპის სიმულაციის დრო ძირითადად წუთებით და საათებით განისაზღვრება.

სვიმის გამოყენება ასევე შესაძლებელია როგორც ოპერატიული მოდელი რა დროსაც მოდელში ხდება რეალურ დროში მონაცემების შეტანა და სწრაფი გადაწყვეტილებების მიღება. ამ დროს მოდელი იღებს მონაცემებს მეტეო სადგურიდან და მოკლე დროში გვაძლევს სწრაფ ჰიდროლოგიურ პროგნოზს. ჩვენი კვლევის შემთხვევაში დიზაინის მოდელია გამოყენებული და ყოველი წვიმის მოვლენა ცალკე არის გაანალიზებული და შეფასებული.

ზედაპირული დინების დაწყება დაკავშირებულია ნიადაგის გაჯერებასთან და მის ინფილტრაციულ შესაძლებლობებზე, როდესაც ინფილტრაცია მიაღწევს თავის მაქსიმუმ ამ დროს იწყება ზედაპირული დინება. აუზის საწყისი კონდიციები ფასდება სისტემის ყოველი ელემენტი კონტურული (მოსაზღვრე) პირობებით.



ნახაზი 2. 1 - მოდელის საწყისი დიაგრამა.

მოდელში გამოყენებული ყველა ჰიდროლოგიური პროცესი აღწერილია მოდელის სახელმძღვანელოში (Rossman & Huber, 2016a) და მასში მიმდინარე პროცესები შეიძლება დახასიათდეს როგორც:

- დროში ცვალებადი ნალექი

- ზედაპირული წყლის აორთქლება
- თოვლის დაგროვება და დნობა
- ნალექის შეკავება დაყოვნების ავზიდან
- ნალექის შეღწევა ნიადაგის ფენებში
- ინფილტრირებული წყლის შეღწევა მიწისქვეშა წყლებში
- მიწისქვეშა წყლებსა და სადრენაჟე სისტემას შორის კავშირი
- ზედაპირული ჩამონადენის გააგნარიშება ერთეულ ფართობზე, მანიგის განტოლების ფუნქცია
- ნალექის/ჩამონადენის აღება და შეკავება სხვადასხვა ტიპის LID პრაქტიკით

პროცესები აღწერისა და კონცეპტუალიზაციისათვის სვიმში ყველა პროცესზე პასუხისმგებელია შესაბამისი მოდული. ხოლო მის მთავარ ობიექტებს წარმოადგენენ მეტეო სადგური (ნალექები), წყალშემკრები აუზი და წვიმა/ჩამონადენის პროცესი.

ნალექები პირველი შემავალი მოდულია მოდელში და იგი განისაზღვრება მომხმარებლის მიერ, როგორც ხანგრძლივობით ასევე აზომვის ტიპით. შესაძლებელი ინტენსივობის გამოყენება (მმ/სთ), მოცულობის (მმ), ან კუმულაციური მოცულობის (მმ) გამოყენება. ევაპორაცია წარმოადგენილია როგორც მუდმივი მნიშვნელობა აუზისათვის (მმ/დღე), რომელიც განისაზღვრება დღიური მაქსიმალურ და მინიმალურ ტემპერატურებს შორის სხვაობით ან საშუალო თვიური მაჩვენებლით.

აუზი (ქვეაუზები) წარმოადგენს ზედაპირის ძირეულ ელემენტს და განისაზღვრება მისი ფართობით, დახრილობით, წყალგაუმტარი ზედაპირის პროცენტული მაჩვენებლით, მანიგის კოეფიციენტით ორივე ტიპის ზედაპირისათვის (წყალგამტარი, წყალგაუმტარი), წყლის შეკავების მაჩვენებლით და ინფილტრაციის პარამეტრით. როდესაც ზედაპირზე იწყება ნალექების წარმოშობა ყველა ამ პროცესის გამოთვლები აქტიურდება.

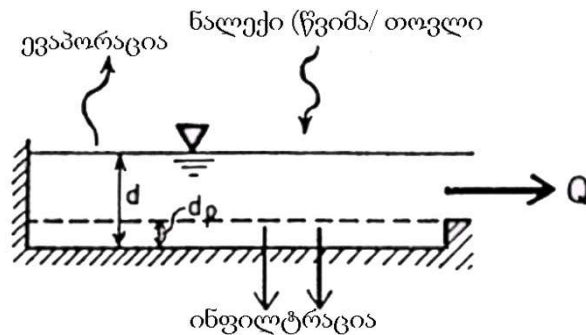
აუზის ზედაპირის ყოველი ელემენტი წარმოადგენილია როგორც წყალშემკრები რეზერვუარი და ზედაპირული დინება იწყება მაშინ როდესაც რეზერვუარის წყლის

შეკავების უნარი მიაღწევს თავის მაქსიმუმს და იგი განისაზღვრება მანინგის ფორმულით.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{(2/3)} S^{(1/2)} \quad (2.2)$$

სადაც: Q = ნაკადის სიჩქარე, n = ზედაპირის მქსიანობის კოეფიციენტი, A = კვეთის ფართობი, R = ჰიდრაულიკური რადიუსი და S = ქანობი.

ზედაპირული დინების კონცეპტი ნაჩვენებია ნახაზზე # 2. 2.



ნახაზი 2. 2 - ზედაპირული დინების კონცეპტი.

ინფილტრაცია გამოითვლება ჰორტონის, მწვანე-ამპლიტუდის და მრუდეების მეთოდებით, ჩვენს კვლევაში გამოყენებულია ჰორტონის მეთოდი.

ჰორტონის მეთოდი ეყრდნობა იმ იდეას, რომ ინფილტრაციის სიჩქარე ექსპონენტურად მცირდება საწყისი მაქსიმალური სიჩქარიდან გარკვეულ მინიმალურ სიჩქარემდე. საწყისი პარამეტრები მოიცავს ინფილტრაციის მაქსიმალურ და მინიმალურ მაჩვენებელს, გაჟღენთვის კოეფიციენტს და დროს, რომელიც საჭიროა გაჯერებული ნიადაგის სრული გაშრობისათვის. ჰორტონის მოდელის განტოლებაა:

$$f_p = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty})e^{-kat} \quad (2.3)$$

სადაც: f_p ინფილტრაციის სიჩქარეა (მმ/სთ), f_0 ინფილტრაციის საწყისი მაჩვენებელი (მმ/სთ), f_{∞} ინფილტრაციის მინიმალური მაჩვენებელი, k_d გაჟღენთვის კოეფიციენტი (სთ^{-1}) და t დრო წმ.

ინფილტრაციის პროცესებისთვის შემდეგი ნაბიჯი ყოველთვის არის ნიადაგის მიერ ინფილტრაციის უნარის აღდგენა (დაშრობა - გადანაწილება). აორთქლება, მიწისქვეშა დრენაჟი და ნიადაგის ფენებს შორის ტენიანობის გადანაწილება, ამცირებს რელიეფის და ნიადაგის ზედა ფენების გაჯერების დონეს და შესაბამისად ზრდის ნიადაგის ინფილტრაციის შესაძლებლობებს. ეს პროცესები მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული და ისინი ძაან კომპლექსურია რეპლიკაციისათვის, ამიტომ სვიმში გამოიყენება მარტივი ემპირიული მიდგომა (William James, Lewis A. Rossman And James, 2010).

მიწათსარგებლობა მოდელის ერთ ერთი მთავარი კომპონენტია, იგი გამოიყენება აუზის ყოველი ზედაპირისათვის და მისი ძირითადი გრადაცია მოიცავს, საცხოვრებელ, კომერციულ, ინდუსტრიულ, განუვითარებელ ან შერეულ მიწათსარგებლობის ზონებს და იგი გამოიყენება წინასწარი დათქმებისათვის (სხვადასხვა პარამეტრებისათვის წინასწარ განსაზღვრული მაჩვენებლები). აუზის ზედაპირები მოიცავენ ისეთ ელემენტებს როგორცაა, სახურავები, ნარგავები, საფეხმავლო გზები, ღია ნიადაგები, გზები და ა.შ. ასევე გამოიყენება სხვადასხვა პარამეტრები როგორცაა წყალგამტარი თუ წყალგაუმტარი ზედაპირების თანაფარდობა, ქუჩის დასუფთავება, დამაბინძურებლების დაგროვების და გადარეცხვის კოეფიციენტები და დამაბინძურებლების სივრცითი განაწილება.

ტრანსპორტირების მოდული პასუხისმგებელია ჩამონადენის საკუთხებზე იგი მოიცავს ზედაპირული დინების პროცესებს (ძირითადად მეჩხერი წყალი), მილებში დინებას, სატუმბ სადგურებს, რეგულატორებს და სარქველებს, ასევე ნატანის გადატანის პროცესებს. სვიმში დინების სამი ტიპია რეალიზებული, სტაბილური ნაკადი, კინემატიკური ტალღის ნაკადი და დინამიური ტალღის ნაკადი, ყველა მათგანი რეგულირდება მასის და იმპულსის შენარჩუნების სენტ-ვენანის განტოლებით თანდათან ცვალებადი ნაკადისათვის.

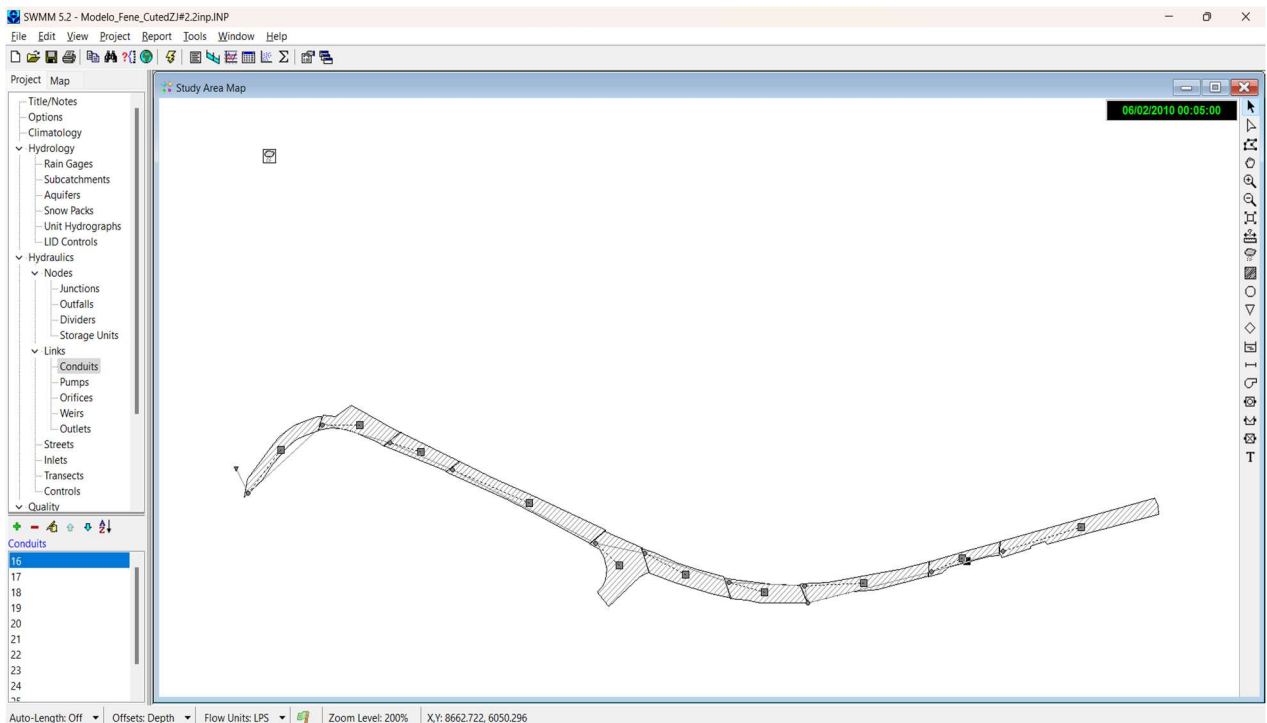
წყლის მარშრუტიზაციისას, სტაბილური ნაკადი (ლამინარული დინება) ყველაზე მარტივი ტიპია, იგი ეფუძნება იდეას რომ, გამოთვლის ყოველ ეტაპზე დინება ერთგვაროვანი და მდგრადია. ამ დროს წყლის მასა ყოველგვარი შეფერხების გარეშე გადაეცემა სისტემის ზედა ელემენტებიდან ქვედა ელემენტებს, იგი არ ითვალისწინებს ისეთ პროცესებს როგორცაა, წყლის ნადაკარგები, გრუნტის წყალთან ინტერაქცია, წნევიან ნაკადი, წყლის შეგროვება და იგი ძირითადად გამოიყენება გრძელვადიანი მოდელირებისას.

კინემატიკური ტალღის დინებისას, ნაკადის მარშრუტიზაცია ეყრდნობა უწყვეტობის უტოლობას და იმპულსის შენარჩუნების გამარტივებულ განტოლებას, რა დროსაც დინების ქანობი არ განსხვავდება სისტემის ელემენტის ქანობისაგან. ამ მეთოდისას თუ სისტემის რომელიმე ელემენტში შემავალი წყლის ნაკადი აღემატება მისი მიღების შესაძლებლობას იგი შეიძლება დაიკარგოს ან დროებით მოხდეს მისი დაყოვნება სისტემის ზედა ელემენტებში და როდესაც მისი მიღება შესაძლებელი გახდება ხელახლა გადავიდეს შესაბამის კვანძში. ამ მეთოდის დროს დროის ბიჯი შეზღუდულია 5-დან 15-წუთამდე, თუ აღნიშნული შეზღუდვები არ არის გადამწყვეტი შესასრულებელი პროექტისათვის, იგი შეიძლება იყოს ზუსტი და ეფექტური გრძელვადიანი სიმულაციებისათვის.

დინამიურ ტალღის დინების მეთოდისას, იგი მთლიანად ეყრდნობა სენტ-ვენანის ერთგანზომილებიანი ნაკადის განტოლებებს და შესაბამისად იძლევა ყველაზე ზუსტ შედეგებს. ბლუმებისათვის (მილსადენებისათვის) იმპულსის და დაკადის უწყვეტობის განტოლებები გამოიყენება, ხოლო კვანძებისათვის (ჭებისათვის) მოცულობის იმპულსის განტოლება გამოიყენება. იგი ითვალისწინებს ყველა იმ პროცესს რომლებიც შეზღუდულია იყო წინა ორი მარშრუტირების მეთოდისას, როგორცაა წყლის შენახვა და დანაკარგები, დაწნევით დინება, იგი შეიძლება შეიცავდეს სხვადასხვა რეგულატორებს გადამღვრელების ან რეგულატორებით, ასევე სატუმბ სადგურებს, მარშრუტირების ამ მეთოდისას შესაძლებელია 1 წუთიანი დროის ბიჯის გამოყენება და იგი საუკეთესოა ცალკე აღებული მოვლენების მოდელირებისათვის და/ან შესაფასებლად.

სადრენაჟე სისტემის (მილების) სატრანსპორტო ნაწილი მოცემულია ჭებისა (კვანძები) და მილების (ბმულების) ქსელით. კვანძები არის წერტილები, რომლებიც წარმოადგენენ ბმულების შეერთების წერტილებს, ნაკადის გამყოფებს, წყლის შესანახ რეზერვუარებს ან წყალმიმღებებში ჩამღვრელებს. ბმულები (მილები და არხები) თავის მხრივ ერთმანეთთან აკავშირებს კვანძებს, ასევე გვხვდება სხვა ელემენტებიც როგორცაა ტუმბოები ან ნაკადის რეგულატორები. მიწათსარგებლობის ელემენტი და დამაბინძურებლების პარამეტრები გამოიყენება წყლის ხარისხის აღსაწერად. და ბოლოს, მონაცემთა ობიექტების ჯგუფი, რომელიც მოიცავს მრუდებს, დროთა სერიებს, და კონტროლის წესებს, გამოიყენება სვიმ მოდელში სხვადასხვა ფიზიკური ობიექტების დასახასიათებლად (Rossman and Huber 2016).

მოდელის ვიზუალური მხარე შემდეგ ნაირად გამოიყურება:



ნახაზი 2. 3 - სვიმ პროგრამის ძირითადი ფანჯარა

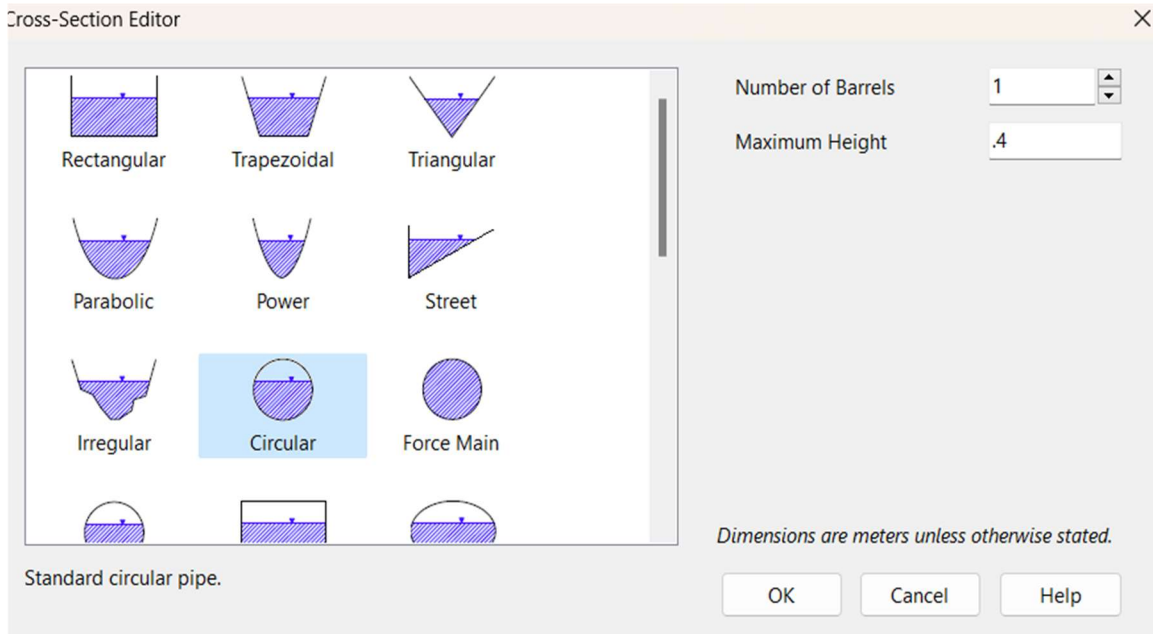
ხოლო ცალკე აღებული ელემენტების პარამეტრები შემდეგ მახასიათებლებს მოიცავენ.

Subcatchment 021		Conduit 22	
Property	Value	Property	Value
Name	021	Name	22
X-Coordinate	5634.850	Inlet Node	23
Y-Coordinate	3506.375	Outlet Node	24
Description		Description	
Tag		Tag	
Rain Gage	Fene	Shape	CIRCULAR
Outlet	23	Max. Depth	.4
Area	0.066549	Length	89.05
Width	26.59	Roughness	0.010
% Slope	12.11	Inlet Offset	0
% Imperv	85	Outlet Offset	0
N-Imperv	0.010	Initial Flow	0
N-Perv	0.2	Maximum Flow	0
Dstore-Imperv	2.0	Entry Loss Coeff.	0.5
Dstore-Perv	5	Exit Loss Coeff.	1
%Zero-Imperv	25	Avg. Loss Coeff.	0
Subarea Routing	OUTLET	Seepage Loss Rate	0
Percent Routed	100	Flap Gate	NO
Infiltration Data	HORTON	Culvert Code	
Groundwater	NO	Inlets	NO
Snow Pack			
LID Controls	0		
Land Uses	0		
Initial Buildup	NONE		
Curb Length	0		
N-Perv Pattern			
Dstore Pattern			
Infil. Pattern			

Rain gage assigned to subcatchment

Click to edit the conduit's cross section geometry

ნახაზი 2. 4 - პროგრამის პარამეტრების ფანჯრები (ზედაპირი, მილი).



ნახაზი 2. 5 - მილის მახასიათებლების ფანჯარა

პარამეტრები განსხვავდება ყოველი ცალკე აღებული ელემენტისათვის. ხოლო მათ შორის კავშირები სხვა და სხვა ფიზიკური პროცესების მათემატიკურ რეპლიკაციებს ეფუძნება.



ნახაზი 3. 2 - საპილოტე აუზის აეროფოტო.

აუზის ზომა შეადგენს 48,532 კმ²-ს, იგი შედგება უშუალოდ ავტოსტრადისგან და მიმდებარე ზონებისგან, პარკინგი, გამწვანება, საფეხმავლო სივრცე, უშუალოდ ავტოსტრადის ფართობი 17,060 კმ²-ს შეადგენს რაც საერთო ფართობის 35,15%-ია.



ნახაზი 3. 3 - ავტოსტრადა და მიმდებარე ტერიტორიები.

წყალგაუმტარი ზედაპირის ფართობი შეადგენს ავტოსტრადა 17,060 კმ²-ს, მიმდებარე არეა 17,478 კმ²-ს, ხოლო წყალგამტარი ზონა შეადგენს გამწვანებულ არეალს 13,994 კმ² ფართობის.

ცხრილი 3. 1 - ზედაპირის განაწილება.

აუზის სრული ზომა	48.532 კმ ²
წყალგამტარი (ბალახი და წყალგაუმტარი	13.994 კმ ²
ლას პაისის	17.060 კმ ²
მიმდებარე არეალები	17.478 კმ ²

სანიაღვრე ქსელი შედგება ძირითადად 400 მმ ბეტონის მილებისაგან, (ქსელის ბოლო მონაკვეთში მაქსიმალური დიამეტრი 600 მმ-ს შეადგენს), ცხაურებისაგან რომელიც გადაიჭერს სანიაღვრე წყლებს, საკონტროლო ჭებისგან, გამწვანებული ნაგებობისგან და ჩაშვების წერტილისაგან რომელიც წყალს ფეროლის ყურეში უშვებს.

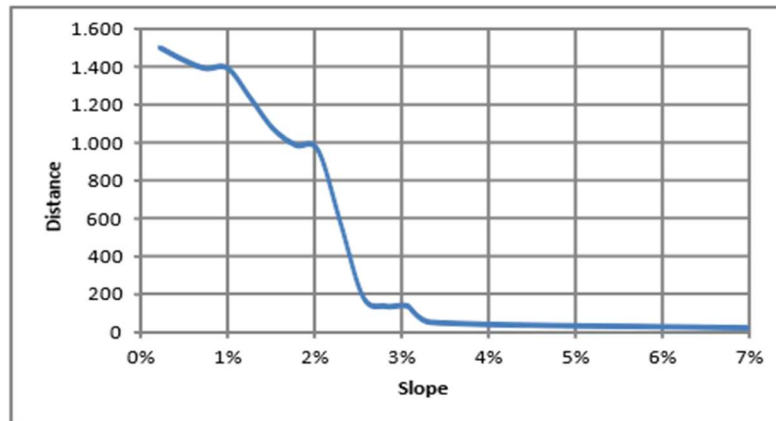
სანიაღვრე ქსელის საშუალო დახრა 3,49%-ია, რომელიც უზრუნველყოს საკმარის წყალგამტარობას ისე რომ სისტემის გადავსება მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი. აუზის ზომის და წყალგაუმტარი ზედაპირის თანაფარდობას, მინიმუმამდე დაყავს ნალექის დაკავების დრო, ანუ წვიმის წამოსვლისას, მყისიერად მიიღება დინება სანიაღვრე სისტემაში.



ნახაზი 3. 4 - სანიაღვრე ქსელის სქემა.

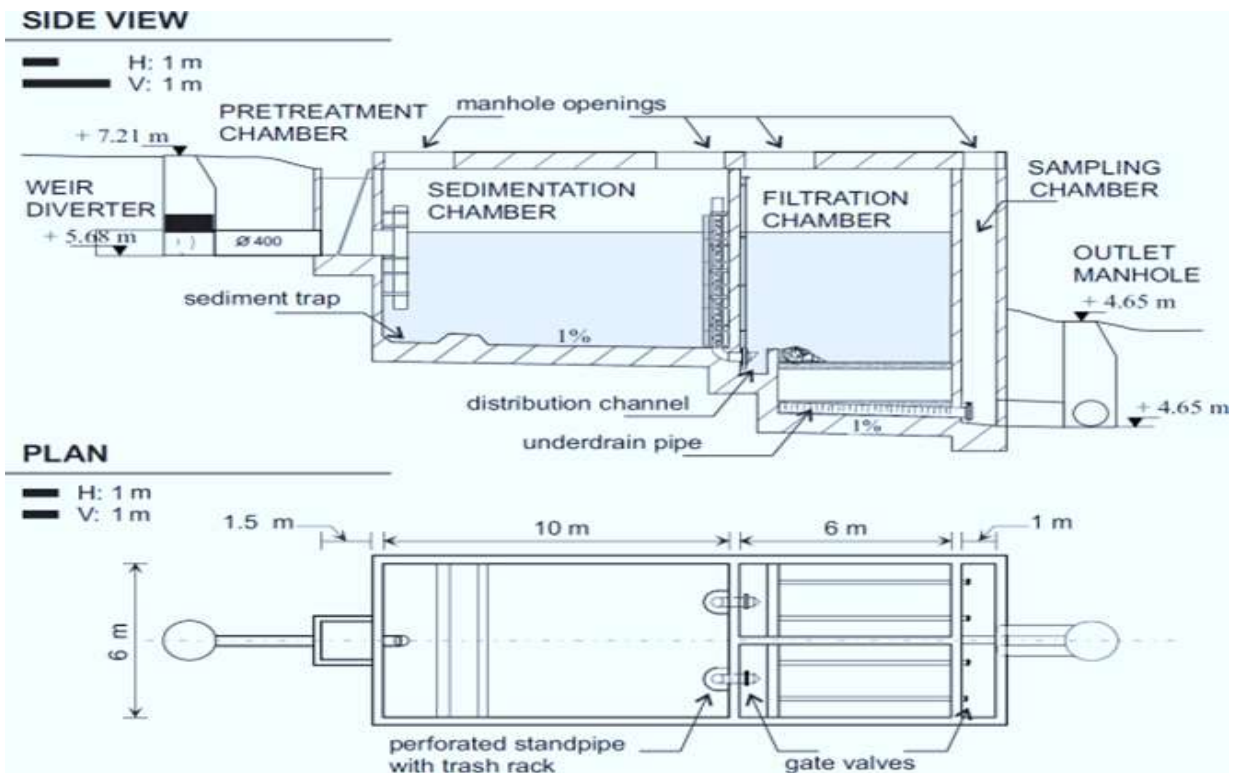
ცხრილი 3. 2 - სანიაღვრე ქსელის მახასიათებლები.

მასალა და	(მ)	(%)	დახრა
მილი Ø 315	72,62	3,91	3,24%
მილი Ø 400	1.714,08	92,4	3,62%
მილი Ø 500	18,08	0,97	0,39%
მილი Ø 600	50,32	2,71	0,54%
ბეტონის მილი	1.782,48	96,09	3,50%
პვე მილი	72,62	3,91	3,24%
სულ	1.855,10	100	3,49%



ნახაზი 3. 5 - ქსელის დახრისა და სიგრძის შესაბამისობა.

აღნიშნული საკვლევითი პროექტის დაწყებამდე ცოტა ხნით ადრე აუზში დამონტაჟებულ იქნა საფილტრი სადგური, რომელიც მიწაში დამარხულ ბეტონი ავზებს წარმოადგენს, ფილტრაცია დაფუძნებულია დალექვა-გაფილტვრის მეთოდზე ე.წ „ოსტინის ფილტრი“ საერთო მოცულობით 124 მ³.



ნახაზი 3. 6 - ოსტინის (ქვიშის) ფილტრის სქემატური ნახაზი.



ნახაზი 3. 7 - ფილტრის შიდა ხედი, სადაც აკუმულირებული დანალექი შეინიშნება.

3.2 წვიმის რეჟიმი

გალისიის კლიმატი ფორმირებულია მისი გეოგრაფიული მდებარეობით მორფოლოგიით. ატლანტიკის სანაპირო ძირითადად ცხელი და ტენიანია. საკვლევ რეგიონი ხასიათდება ზომიერი კლიმატით, 1300 მმ წლიური ნალექით და საშუალოდ 130 წვიმიანი დღით წელიწადში.

3.3 საგზაო ტრაფიკი

ინფორმაცია საგზაო ტრაფიკთან დაკავშირებით აღებულია ესპანეთის სახელმწიფო საგზაო დეპარტამენტიდან.

ცხრილი 3. 3 - წლიური საშუალო დღიური ტრაფიკი.

წელი	ტრაფიკი	% სატვირთო ავტომობილი
2005	19,145	
2006	21,714	
2007	30,417	
2008	29,678	
2009	28,837	
2010	27,809	
2011	23,958	2.83
2012	23,958	2.83
2013	21,549	2.10
2014	20,177	1.94
2015	20,575	2.10
2016	19, 876	1.9
2017	19,516	2.0
2018	15,723	2.3
2019	19.139	2.4

საკვლევ ავტოსტრადაზე საშუალო ტრაფიკია 17,431 ავტომობილი/დღეში აქედან საშუალოდ 351 მძიმე სატვირთო ავტომობილზე მოდის. ასფალტის საფარი წყალგაუმტარია კარგი ხარისხის, 8 ქულა ასფალტის საფარის შეფასების სისტემის მიხედვით, „ფაზერის ასფალტის სახელმძღვანელო“ (დ. ვოკერი 2002). წყალშემკრების ქვედა ნაწილში ასფალტის საფარი შედარებით დაზიანებულია. საფეხმავლო გზა დამზადებულია კვადრატული ბეტონის ფილებით და ბეტონის ბორდიურებით. დანალექი აკუმულირება ზედაპირზე დეტალურად არის აღწერილი ლიტერატურის მიმოხილვაში. საავტომობილო გზის მონაკვეთზე დანალექის გასაშუალოებული ზომა შედარებით მცირეა ვიდრე ბორდიურის გასწვრივ. ბორდიურის გასწვრივ ბუნებრივად მცირე არხია მოწყობილი რომელიც სადრენაჟე წყლის ბუნებრივ კალაპოტს წარმოადგენს, მისი ბუნებრივი არსიდან არაერთგვაროვანი ფორმებით ხასიათდება და იგი ახლოს მდებარე ცხაურასთან მთავრდება. მოზრდილი ზომის დანალექები რომელებიც გვხვდება ბორდიურის გასწვრივ ძირითადად წარმოადგენს ასფალტის ცვეთის მასალას, იგივე ტიპის დანალექები გვხვდებოდა საკონტროლო სექციის ძირზე.



ნახაზი 3. 8 - ბუნებრივი არხი და წყალმიმღები ცხაურა.

საბოლოოდ მონიტორინგისათვის ფენეს წყალშემკრების მხოლოდ მარცხენა მხარე შეირჩა, რომელიც მსგავსი მიწათსარგებლობის ზონებით ხასიათდება. ზედაპირის ფართობი 5728 კმ²-ს შეადგენს, მილების სრული სიგრძე 520 მეტრი, 9 წყალმიმღები ცხურით, და საკონტროლო ჭებით, ყველაზე ქვედა საკონტროლო ჭაში რომელიც წყალგამწენდამდეა მოეწყო საკონტროლო სექცია.

3.4 გამოყენებული ხელსაწყოები და აღჭურვილობა

3.4.1. ნალექის გაზომვა

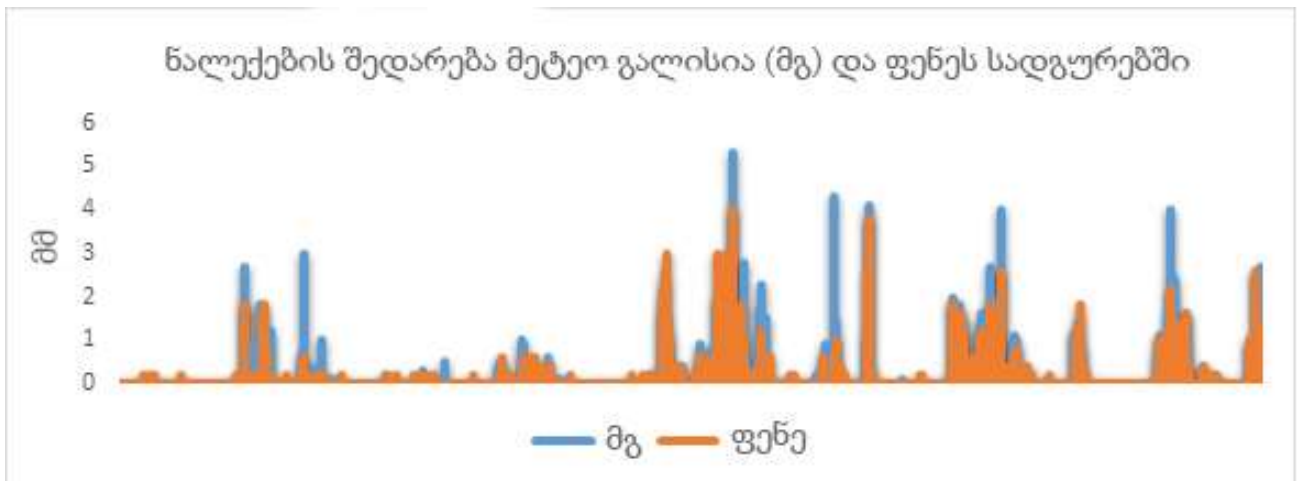
ინფორმაცია ნალექის შესახებ უნდა მოიცავდეს წვიმის ინტენსივობას და მის დროში განაწილებას (ჰიეტოგრაფი) რათა განისაზღვროს წყალშემკრები აუზის წვიმიანი და მშრალი პერიოდები. ინფორმაციის უფრო ზუსტად მოსაპოვებლად საკვლევ აუზში წვიმის სენსორი მოეწყო და დაკავშირებულ იქნა ლოგერთან, რომელიც იწერდა მონაცემს 1 წუთის ინტერვალით.



ნახაზი 3. 9 - წვიმის სენსორი და დატა ლოგერი.

წვიმის სენსორი დამონტაჟებულ იქნა 3 მეტრის სიმაღლეზე, ლოგერს გააჩნია 16092 ჩანაწერის დამახსოვრების საშუალება რაც ჩვენ რეჟიმის მიხედვით 56 დღეს შეადგენს.

მიღებული ინფორმაციის სიზუსტის დასადგენად აღებული მონაცემები ედრებოდა მეტეო გალისიის სადგურის მონაცემებს, რომლის ზონდიც განთავსებული იყო 6,5 კმ-ში საკვლევი ზონიდან და მონაცემებს 10 წუთიანი ინტერვალით იწერდა, მონაცემთა რიგი 2001 წლიდან არის ხელმისაწვდომი. 4 თვიანი დაკვირვების შემდეგ მეტეო გალისიის ჯამურმა ნალექმა 478ლ/მ² შეადგინა ხოლო ჩვენს მიერ დაყენებულმა ზონდმა 418 ლ/მ², რაც მეტეო გალისიის საშუალო გადახრის ნორმაში ჯდება.



ნახაზი 3. 10 - მეტეო გალისიის და ლოკალური ნალექების შედარება.

წვიმის მოვლენათა შორის დროის დასადგენად გრძელვადიანი ნალექების მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება გახდა საჭირო (ადამსი და პაპა, 2002; ჯო 2014). ჩვენს შემთხვევაში 4 საათი შეადგინა.

3.4.2 ხარჯის გაზომვა

HACH SIGMA 950 ხარჯ მზომი გამოიყენებოდა აღნიშნული კვლევისას, იგი ე.წ. დოპლერის და ბაზლერის ზონდების დახმარების ზომავდა ხარჯის სიჩქარეს და სიღრმეს, ხოლო მიკროპროცესორი წინასწარ შეყვანილი სექციის მახასიათებლების გამოყენებით ავტომატურად ანგარიშობდა ხარჯს.



ნახაზი 3. 11 - SIGMA-950 ხარჯმზომი.

იგი აღჭურვილი 128კბ მეხსიერებით რომელიც საკმარისია 42 დღის მონაცემების შესანახად.

წყლის ნაკადიდან სინჯების ასაღებად HACH SIGMA-SD900 ავტოსემპლერი გამოიყენებოდა, იგი შედგებოდა 24, 1 ლიტრიანი კონტეინერისგან და სინჯების განაწილება 1 სინჯი 1 ბოთლში, სინჯის ამღები ზონდი დამაგრებული იყო ხარჯმზომის ზონდებთან ერთად შემომავალ 400მმ, მილში. იგი დაკავშირებული იყო ხარჯმზომთან და სინჯების აღებას შემდეგი მეთოდით ახორციელებდა. თავიდან სინჯის აღება ხდებოდა ყოველ 10 წუთში როდესაც დინების სიღრმე 3 სმ-ს მიაღწევდა და სანამ 1 სმ-დე არ დაეცემოდა, შემდგომში სინჯების უკეთესი ხარისხის მისაღებად ინტერვალის დრო ჯერ 5 წთ-მდე ხოლო ბოლოს 3 წთ-მდე შემცირდა, ამან მოგვცა საშუალება უკეთ დაგვეჭირა დამაბინძურებლები პიკური ხარჯისას.

საკონტროლო სექცია მოითხოვდა ყოველკვირეულ მოვლას, რაც მოიცავდა აკუმულატორების შეცვლას, სინჯების ამოღებას, მოწყობილობებიდან მონაცემების ჩამოწერას და საკონტროლო სექციის და ზონდების ნატანისგან გაწმენდას. ჭიდან ამოღებული ნატანი მასალა მოგვექონდა ლაბორატორიაში და გამოიყენებოდა როგორც ანალიზებისათვის ასევე სხვადასხვა ლაბორატორიული აქტივობებისათვის.



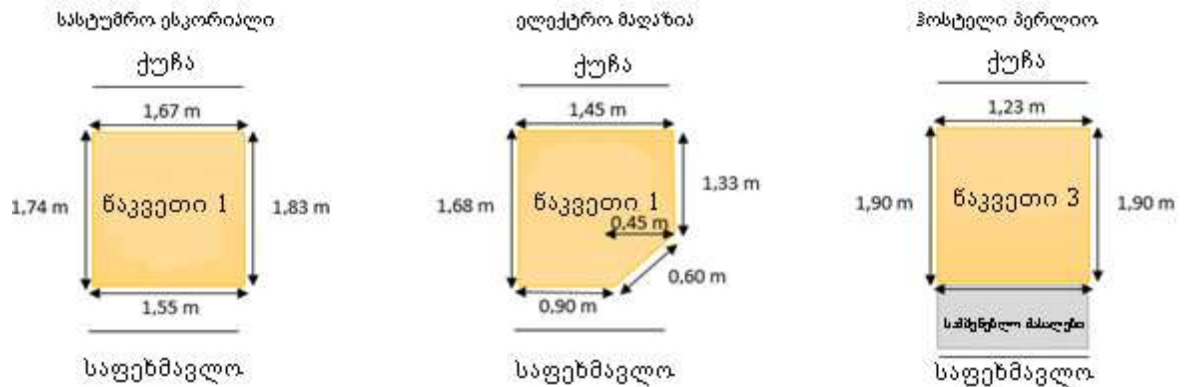
ნახაზი 3. 12 - ზონდების განთავსება შემომავალ მილში.



ნახაზი 3. 13 - საკონტროლო სექცია.

მშრალი, მყარი დანალექი მასალის შესაგროვებლად საჭიროა წინასწარ შერჩეული ზედაპირების მონიშვნა ძირითადად კვადრატული ან მართკუთხა ფორმის, თუმცა ტრაფიკისა და უსაფრთხოების გათვალისწინებით ფორმა შესაძლებელია შეიცვალოს, ისინი განთავსებული უნდა იყოს ბორდიურის გასწვრივ სადაც რათა ტრაფიკისა და ქარის ზეგავლენა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი. მსგავსი პრაქტიკები აღწერილია შემდეგ ნაშრომებში (ეგოდავატა, 2007; მიგუნტანა, 2009; ვანგი, ჩენი და ლინი, 2013). ჩვენს

შემთხვევაში ზედაპირის ფართობი მიახლოებით 1მX1მ შეადგენდა, ისინი გზის გასწვრივ ისე იქნა შერჩეული რომ მთელი წყალშემკრების წარმოჩენა შეეძლოს, სინჯების აღება ხორციელდებოდა 1,2,3,5,7,10 და 15 დღეს ნალექის შემდეგ. ყველა სინჯი ცალკეულ პაკეტებში ინახებოდა შესაბამისი ნუმერაციით. შემდეგ მშრალი მასალა ლაბორატორიაში იფილტრებოდა სხვადასხვა ზომის ფილტრებში “Falter Screening FT-97” რათა ნაწილაკების ზომის განაწილების აღწერა ყოფილიყო შესაძლებელი.



ნახაზი 3. 14 - მშრალი სინჯების ზედაპირთა მახასიათებლები.

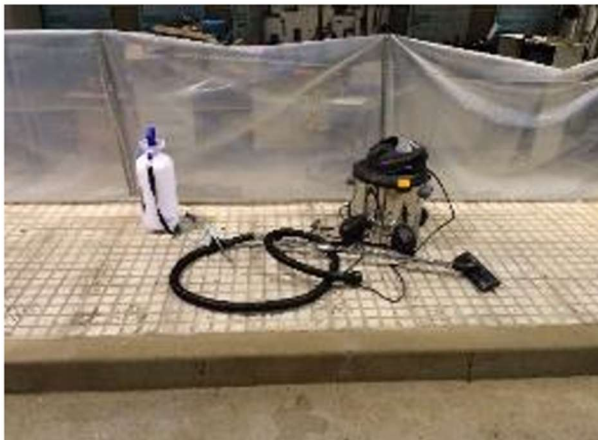
3.4.3 ვაკუუმური შეგროვების სისტემა

მრავალი მეცნიერი აღნიშნავს რომ აუზის ზედაპირიდან მშრალი დანალექის შესაგროვებლად ვაკუუმური სისტემა მიღებულ პრაქტიკას წარმოადგენს, სადაც როგორც ინდუსტრიული ასევე სახლის მტვერსასრუტების გამოიყენება შესაძლებელია სხვადასხვა ჯაგრისებთან ერთად (გულსონი, 1995; ვაზე და ჩიუ, 2002). ჯაგრისების გამოყენებით დიდი ზომის ნაწილაკების შეგროვებაა შესაძლებელი, ხოლო მტვერსასრუტი და მათი კომბინაცია უფრო წვრილი ნაწილაკების შესაგროვებლად გამოიყენება (თევენოტი, 1999; ვაზე და ჩიუ 2002). ვაზე და ჩიუ (2002) თავისი კვლევისათვის იყენებდნენ 1500 ვტ სიმძლავრის ინდუსტრიულ მტვერსასრუტს. მიგუტანა (2009) თავის ნაშრომში აღნიშნავს, რომ ტაი (1991) იყენებდა სახლის მტვერსასრუტს და მისი მიხედვით მტვერსასრუტის წარმადობა 96,4% იყო 75 მიკრონზე ნაკლები ნაწილაკებისათვის (მიგუტანა, 2009; ტაი, 1991). თუმცა ეგოდავატა (2007) მიიჩნევს, რომ მტვერსასრუტი ჯაგრისებრი პირით და

დამატებითი ჯაგრისის დახმარებით უკეთეს შედეგს იძლევა. მტვერსასრუტის ჯაგრისებრი პირი დამატებით შემწვავ ძალას წარმოქმნის პატარა არეზე რაც ასფალტის ფორებში ჩაჭედილი ნაწილაკების ამოსაღებად უკეთეს შედეგს იძლევა.

ამ ტიპის კვლევებისათვის ძირითადად დელონგის ფირმის აქუალენდის მოდელის 1500 ვტ-იანი მტვერსასრუტი გამოიყენება, იგი შედარებით კომპაქტურია და იოლი გამოსაყენებელია, იგი საშუალებას გვაძლევს მთელი კვლევის პერიოდში მოხდეს სინჯების აღება. მტვერსასრუტი უნდა აღიჭურვოს მაღალი ეფექტურობის სინჯების შესანახი ჩანთებით (High Efficiency Particulate Air HEPA), რომელთა ეფექტურობა 99,97% 63 მიკრონზე ნაკლები ნაწილაკებისათვის (ეგოდავატა, 2007; ჰენგრენი, გუნეტიკლე და აიკო, 2005; მიგუნტანა, 2009).

ჩვენი კვლევისათვის მსგავსი მახასიათებლების ინდუსტრიული მტვერსასრუტი (TITAN TTB351VAC), HEPA-ს 25 ლიტრიანი ფილტრები და 1500 ვატის გენერატორი იქნა შერჩეული.



ნახაზი 3. 15 - გამოყენებული მტვერსასრუტი, ლაბორატორიაში და ქუჩის სექციში გამოყენებისას.

რეალურ სიტუაციებში გამოყენებამდე მოხდა მტვერსასრუტის წარმადობის შემოწმება ლაბორატორიულ პირობებში 2 სხვადასხვა ტიპის ზედაპირისთვის, ამისათვის საკონტროლო სექციიდან წინასწარ აღებული სინჯები გამოვიყენეთ, მოვახდინეთ მათი გრანულომეტრიული დახარისხება და წინასწარ გაწმენდილ ზედაპირზე მათი განთავსება, გამოყენებულ იქნა 1 – 1000 მიკრონამდე ზომის ნაწილაკები, რადგან ისინი ყველაზე ხშირად გვხვდებოდა საკვლევ არეალში. საბოლოო ჯამში მტვერსასრუტმა

ლაბორატორიულ პირობებში 97% ეფექტურობა აჩვენა, ხოლო საველე სამუშაოებისას 92%, რაც 10% გადახრის ზღვარში ჯდება. (ჯაგრისებზე დარჩენილი ნაწილაკები და სხვა დანაკარგები).

3.5 შესრულებული სამუშაოები

ჩვენი კვლევისათვის ხარჯის გაზომვისა და სინჯების აღების სამუშაოები დაიწყო 2016 წლის ნოემბერში, პირველი მოვლენა დაფიქსირდა 17 ნოემბერს, სულ ხარჯისა და თხევადი სინჯების აღება გაგრძელდა 1 წელი, 1 თვე და 10 დღე, ბოლო მოვლენა 2017 წლის 25 დეკემბრით თარიღდება. თითო მოვლენისას საშუალოდ 10, 1 ლიტრიანი სინჯის აღება ხდებოდა საიდანაც ლაბორატორიული ანალიზები საშუალოდ 5 შერჩეულ სინჯს უტარდებოდა.

ცხრილი 3. 4 - სინჯების აღების და ლაბორატორიული აქტივობების ჟურნალი.

№ მოვლენა	აღებული სინჯები	სინჯების ანალიზი	ინტერვალი (წთ.)	გარემოსდაცვითი ლაბორატორია												
				ძირითადი პარამეტრები												
				TSS სშნ	TDS სგნ	TS სნ	TSSV სშმვ	TDSV სგმვ	TDS სგმ	COD ცოდ	COD Settled ცოდ დალექილი	TP სფ	TN სნ	pH პჰ	Turb. გამჭვ.	Cond. გამტ.
1	4	1 კომპოზიტურ ი	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
2	4	1 კომპოზიტურ ი	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
3	14	7	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
4	9	7	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
5	11	6	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
6	6	6	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
7	3	3	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
8	5	5	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
9	7	1 კომპოზიტურ ი	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
10	4	4	10	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი

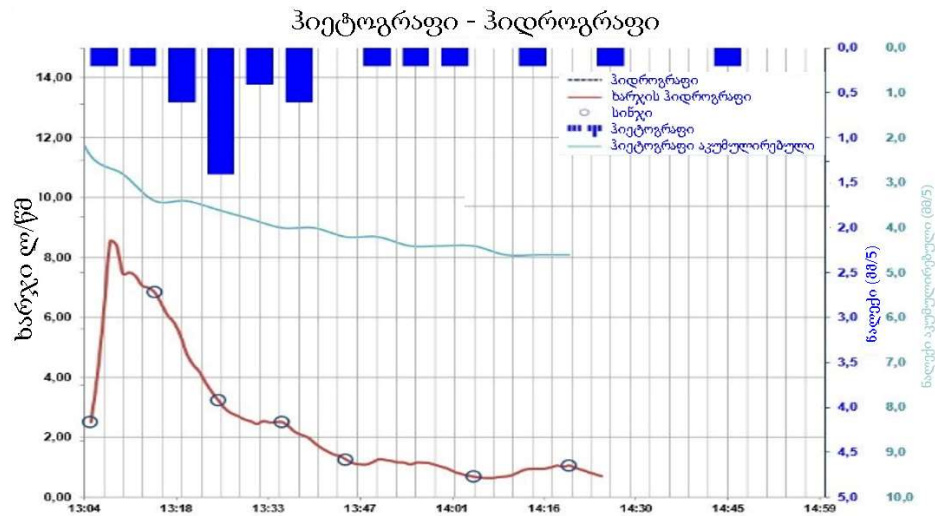
11	5	5	10	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
12	8	4	5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
13	9	5	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
14	24	7	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
15	7	6	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
16	7	5	3	30	30	30	30	30	30	30	არს	30	30	30	30	30
17	17	6	3	30	30	30	30	30	30	30	არს	30	30	30	30	30
18	2	2	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
19	12	7	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20	10	6	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
21	24	8	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
22	24	7	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ცხრილი 3. 5 - მძიმე მეტალების სინჯების ჟურნალი.

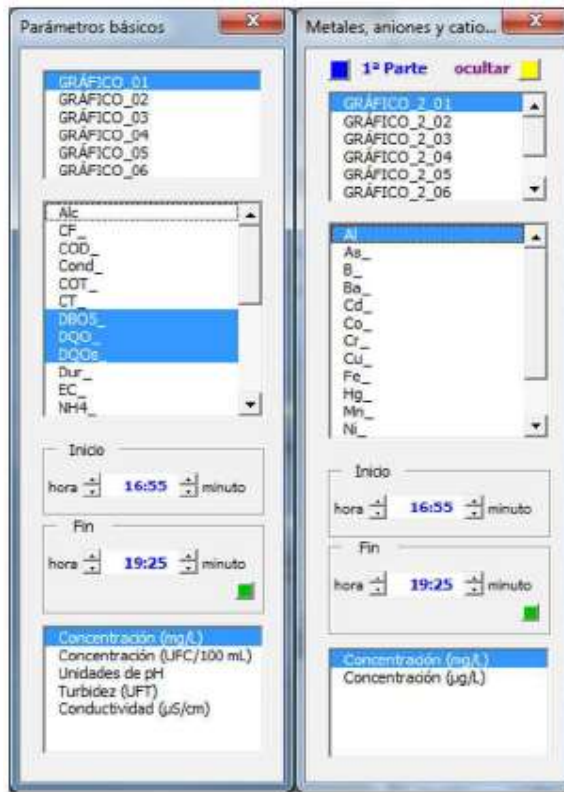
№ მოვლენა	აღებული სინჯები	სინჯების ანალიზი	ინტერვალი (წთ)	ძირითადი ლაბორატორია								
				№ გაგზავნილი სინჯები	მძიმე მეტალები							
					Cr	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
1	4	1 კომპოზიტური	10	1	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
2	4	1 კომპოზიტური	10	1	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
3	14	7	10	7	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
4	9	7	10	7	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
5	11	6	10	6	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
6	6	6	10	9	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
7	3	3	10	9	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
8	5	5	10		არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა
9	7	1 კომპოზიტური	10	-	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა
10	4	4	10	-	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა
11	5	5	10	-	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა
12	8	4	5	4	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი	კი
13	9	5	3	-	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა	არა

14	24	7	3	5	30	30	30	30	30	30	30
15	7	6	3	5	30	30	30	30	30	30	30
16	7	5	3	4	30	30	30	30	30	30	30
17	17	6	3	4	30	30	30	30	30	30	30
18	2	2	3	2	30	30	30	30	30	30	30
19	12	7	3	7	30	30	30	30	30	30	30
20	10	6	3	6	30	30	30	30	30	30	30
21	24	8	3	8	30	30	30	30	30	30	30
22	24	7	3	6	30	30	30	30	30	30	30

სინჯების აღრიცხვიანობისათვის და მისი ვიზუალიზაციისათვის MS Excel-ზე დაფუძნებული GEAMA-ს ლაბორატორიაში შემუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფით ხდებოდა. იგი მოიცავდა სრულ ინფორმაციას თითოეული მოვლენის შესახებ, როგორცა წვიმის ინტენსივობა, ხარჯი, აღებული სინჯები, ჰიდროგრაფისა და პოლუტოგრაფის შეთავსება, ასევე ლაბორატორიული დამუშავების შედეგად მიღებული მონაცემების კორელაციას არსებულ ხარჯთან, თავისი გრაფიკებით და მონაცემებით.



ნახაზი 3. 16 - ჰიდროლოგიური მახასიათებლების ველი.



ნახაზი 3. 17 - პოლუტოგრაფის ასაწყობი ინტერფეისი.

ფაილი დაყოფილია რამდენიმე ჩანართად და ისინი მოიცავენ შემდეგ ინფორმაციას.

ჩანართი 1, ძირითადი ინფორმაცია, აუზის ზომები, მოვლენის თარიღი და ხანგრძლივობა, ინფორმაცია ნალექებზე, ხარჯებზე, სინჯის აღების დროზე და წინსწრებულ მშრალ პერიოდზე.

ჩანართი 2, აქ დამაბინძურებლების პოლუტოგრაფებია წარმოდგენილი ყოველი ცალკე აღებული სუბსტანციისათვის. (ცოდ, ცოდ დალექილი, სრული ნიტრატი, სრული ფოსფორი, სრული შეწონილი მასალა (სშმ), სწმ გამომწვარი, სრული გახსნილი მასალა (სგმ), სგმ გამომწვარი, გამჟღავნება და დენის გამტარიანობა, პეაში) ისინი წარმოჩენილი იყო მათთან ასოცირებული ჰიდროგრაფით, ჰიდროგრაფის და პოლუტოგრაფის კავშირი მთავარი ანალიზის საშუალებაა. თითოეულ დამაბინძურებელზე შემდეგი ინფორმაცია იყო წარმოდგენილი.

- კონცენტრაციის მაქსიმალური დრო (კმაქს)
- მოვლენის მინიმალური კონცენტრაცია
- მოვლენის საშუალო კონცენტრაცია

- მოვლენებს შორის გასაშუალოებული კონცენტრაცია (მგკ)
- დამაბინძურებლების სრული მასა
- ხარჯის მიერ მობილიზებული დამაბინძურებლების მაქსიმალური მასა (ხმდმმ)

ჩანართი 3, დამაბინძურებლების მასის მობილიზაციის ძირითადი ინფორმაცია, იგი წარმოადგენს მობილიზაციის გრაფიკულ წარმოსახვას „ა“ ტიპის კოეფიციენტის გამოყენებით თითოეული პარამეტრისათვის.

ჩანართი 4, აქ წარმოდგენილია მძიმე მეტალების პოლუტოგრაფები როგორც სრული ისე გახსნილ მდგომარეობაში, მასთან ასოცირებული ჰიდროგრაფით, ინფორმაცია განაწილებულია 2 ჩანართის იდენტურად.

ასევე იგი შეიცავს სხვადასხვა დამხმარე ჩანართებს რომლებიც კალკულაციებისათვის გამოიყენება.

3.6 - სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება

სტატისტიკური ანალიზი მნიშვნელოვანი ასპექტია სინჯების დამუშავებისას, იგი გვაძლევს საშუალებას გამოვავლინოთ და გავანალიზოთ პარამეტრებს შორის ცდომილების დონე, მისი გამოყენებით შესაძლებელია დამყარდეს კავშირი პარამეტრებს შორის და გამოიკვეთოს მათი ქცევის ტენდენცია, რათა უკეთესად გავიგოთ ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური მოვლენები, რომლებიც წარმოიშობა მოვლენის დროს.

3.6.1 კორელაციური ანალიზი

მონაცემებს შორის კორელაციის ცოდნა მნიშვნელოვანი ასპექტია ლაბორატორიულ ანალიზებსა და ხარჯის დამოკიდებულების შედარებისას. კორელაციური მატრიცები სასარგებლო ინსტრუმენტს წარმოადგენს სტოქასტური მოდელების გენერირებისას, რადგან მას შეუძლია სხვადასხვა ცვლადებს შორის დამოკიდებულების ანალიზი.

3.6.2 ძირითადი კომპონენტების ანალიზი

ძირითადი კომპონენტების ანალიზი (ძკა) არის ინფორმაციის სინთეზის ან განზომილების (ცვლადების რაოდენობის) შემცირების სტატისტიკური ტექნიკა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, როდესაც გვაქვს მრავალი ცვლადის მქონე მონაცემების ბაზა, და გვინდა მათი რაოდენობრივი შემცირება რაც შეიძლება ნაკლები ინფორმაციის დანაკარგებით.

ძკა-ში მთავარი ასპექტია ფაქტორების ინტერპრეტაცია; ვინაიდან ეს არ არის თავიდანვე ცნობილი, არამედ გამოიკვეთება საწყის ცვლადებთან ურთიერთკავშირის დაკვირვების შედეგად. ყველა ძკა ანალიზი გაკეთდა MINITAB პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით.

3.6.3 რეგრესიული ანალიზი

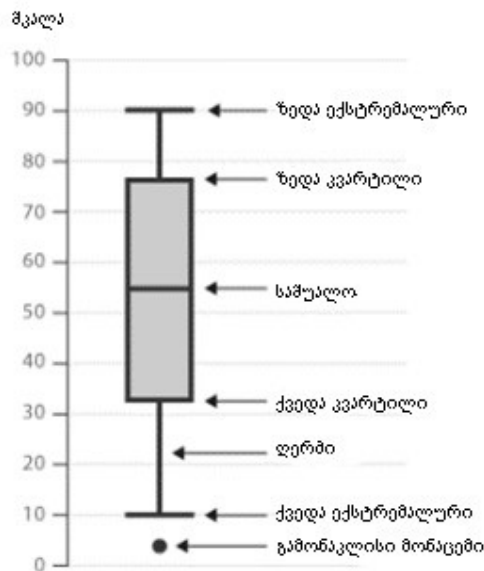
რეგრესიული ანალიზი ძალიან პოპულარული სტატისტიკური ინსტრუმენტია. თუმცა, მნიშვნელოვანია ხაზი გავუსვა იმ ფაქტს, რომ სტატისტიკური რეგრესიის ანალიზი არასოდეს გულისხმობს თავისთავად მიზეზ-შედეგობრივ დამოკიდებულებას რამდენიმე პარამეტრს შორის, არამედ მხოლოდ გვთავაზობს კორელაციებს ან ქცევის ტენდენციებს.

3.6.4 საძიებო მონაცემთა ანალიზი

საძიებო მონაცემთა ანალიზი არის სწრაფი ინსტრუმენტი ტენდენციების ან ქცევის შაბლონების მოსაძიებლად მონაცემთა სერიაში. ამ ტიპის ანალიზის ჩასატარებლად ძირითადად გამოიყენება მონაცემთა გრაფიკული წარმოდგენის ინსტრუმენტები, თუმცა ეს ტექნიკა შეიძლება დაემატოს რაოდენობრივ სტატისტიკურ ტესტებს.

ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებული ტექნიკაა „Box-whisker“ გრაფიკული ან მონაცემთა განაწილების დიაგრამები, ალბათობის მანძილის გრაფიკების მომზადება ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებული ინსტრუმენტია მონაცემთა სერიის გასაანალიზებლად. ამ ტიპის წარმოდგენა ასახავს პარამეტრის ცვალებადობის დიაპაზონს, განაწილების ფუნქციას, რომელიც საუკეთესოდ ერგება მონაცემთა ნაკრებს, ასევე მოცემული მნიშვნელობის გაჩენის ალბათობას. ნორმალური, ლოგნორმალური ან ვეიბულის განაწილება მორგებულია სხვადასხვა მნიშვნელობებსა და პარამეტრებზე.

„Box-whisker” ფიგურა 3-18 არის გრაფიკული წარმოდგენის ტიპი, რომელიც გვაწვდის ინფორმაციას მონაცემთა განაწილების მედიანაზე, აგრეთვე მონაცემთა სერიის დისპერსიასა და სიმეტრიაზე ამ მნიშვნელობის მიმართ. ამ ტიპის წარმოდგენები შეიძლება გამოყენებულ იქნას კონცენტრაციების ან მობილიზებული დამაბინძურებლების შედარებისთვის, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვა დამაბინძურების პარამეტრებისთვის, ან ერთი და იგივე დამაბინძურებლებისთვის სხვადასხვა სეზონის განმავლობაში აუზში ან თუნდაც სხვადასხვა აუზში მიღებული შედეგების შესადარებლად.



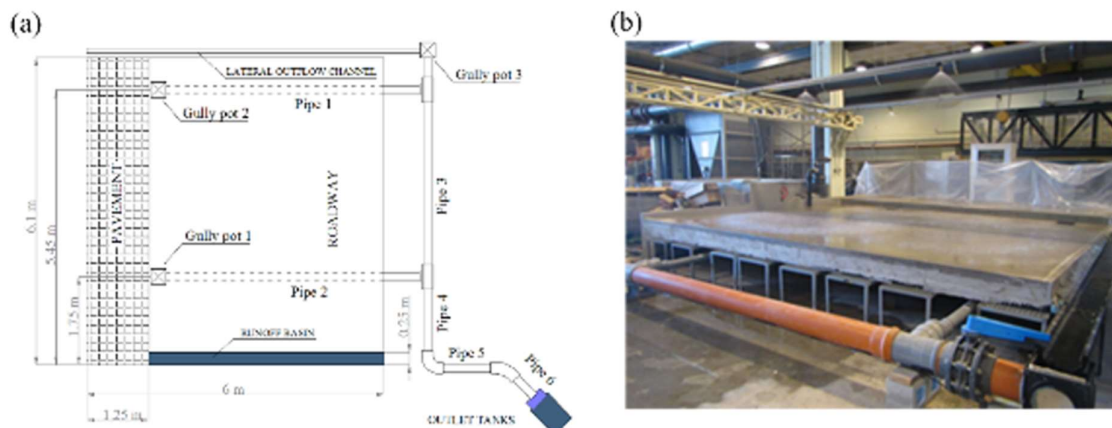
ნახაზი 3. 18 - „Box-whisker” აღწერილობა.

როგორც ნაჩვენებია ნახ. 3-18-ზე, ეს ტექნიკა გრაფიკულად წარმოადგენს ძირითად სტატისტიკას, რომელიც სწრაფ და მარტივ ვიზუალიზაციის საშუალებას იძლევა, მაგალითად, შერჩევისას მიღებული მონაცემთა განაწილების შესახებ. ცენტრალური მართკუთხედი განისაზღვრება განაწილების პირველი და მესამე კვარტლებით, რომლებიც შეესაბამება 25% და 75% პროცენტებს შესაბამისად. მართკუთხედის შიგნით ვერტიკალური ხაზი წარმოადგენს განაწილების მედიანას.

თავი IV. ლაბორატორიული სამუშაოები

4.1 ქუჩის მოდელის დახასიათება

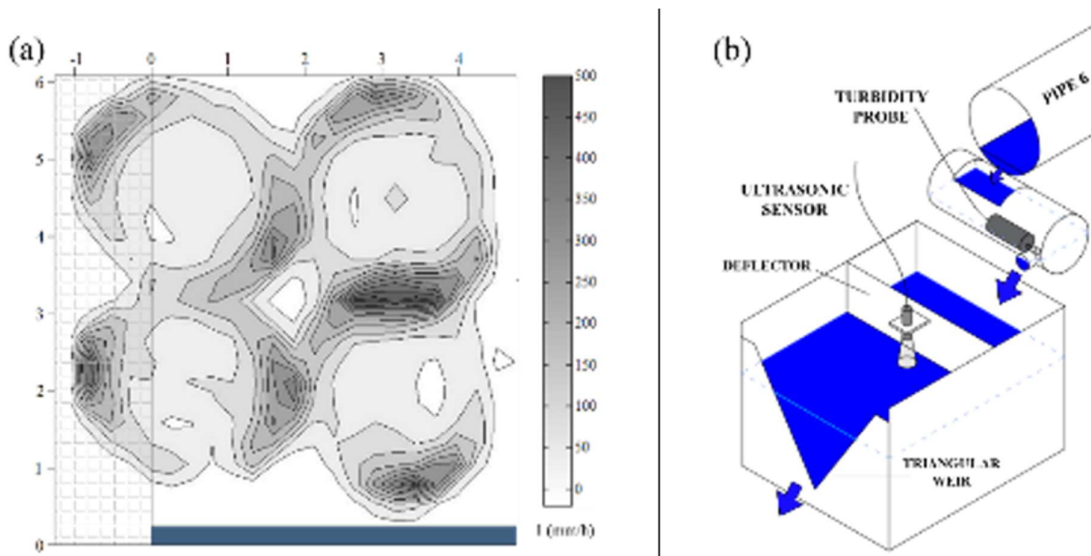
ლაბორატორიული სამუშაოები შესრულდა CITEEC ლაბორატორიაში. ლაბორატორიული ინსტალაცია შედგება სრულმასშტაბიანი ქუჩის მონაკვეთისგან, რომელიც აშენებულია კორუნის უნივერსიტეტის სამშენებლო და სამოქალაქო ინჟინერიის ტექნოლოგიური ინოვაციების ცენტრის (CITEEC) ჰიდრავლიკურ ლაბორატორიაში. ფიზიკური მოდელის გეომეტრია და მიმოხილვა ნაჩვენებია ნახ 4-1. მოდელი შედგება ბეტონის საფეხმავლო ზონისა და გზისგან, რომელიც დაკავშირებულია სანიაღვრე ქსელთან. სამი წყალმიმღებით, ორი მათგანი (ცხაურა) გზის სავალ ნაწილზე და მესამე გვერდითი დაცლის არხი. იგი აგროვებს ჩამონადენს სანიაღვრე ქსელში, რომელიც მოიცავს ექვს წრიულ მილს ორი განსხვავებული დიამეტრით: 85 მმ (მილი 1 და მილი 2) და 190 მმ (მილები 3, 4, 5 და 6) და გვერდითი დაცლის არხი მართკუთხა კვეთით. ზედაპირს აქვს საშუალო განივი დახრილობა 2% 15 სმ სიმაღლის ბეტონის ბორდიურამდე და 0.5% გრძივი დახრილობა დაცლის არხთან.



ნახაზი 4. 1 - ლაბორატორიული ქუჩის სექცია, გრაფიკული ნახაზი და სურათი.

მოდელში ნალექს წარმოქმნის ზედაპირიდან 2 მეტრის სიმაღლეზე მდებარე ოთხი დიფუზორი. წვიმის ინტენსივობის განაწილება გზის სავალი ნაწილისა და ტროტუარის ზედაპირზე გაზომილი იყო წყლის მოცულობით, რომელიც შეგროვდა 25×25 სმ საცდელი მილების ქსელში 3 წუთიანი ნალექის დროს. წვიმის ინტენსივობის რუკა (ფიგურა 3-20) გვიჩვენებს, რომ ინტენსივობა უფრო მაღალია ორ საპირისპირო ზონაში თითოეული დიფუზორისთვის სადაც ისინი ერთმანეთს ემთხვევა. ნალექების

საშუალო ინტენსივობა (101,44 მმ/სთ) შეესაბამება რეალური წვიმის მაღალ ინტენსივობას. მწარმოებლის მონაცემების მიხედვით, წვეთების ზომა 3 მმ-ს უდრის, ხოლო ვარდნის სიჩქარე 7,62 მ/წმ-ს.



ნახაზი 4. 2 - წვიმის განაწილება და ხარჯის და სიმღვრიის გაზომვა.

მოგვიანებით წვიმის სიმულატორის კონფიგურაცია შეიცვალა და გაუმჯობესდა. წვიმის ახალი სიმულატორი წარმოდგენილია წვეთოვანი ქსელის სახით, რომელსაც აქვს მეტალის ბადე და მდებარეობს ზედაპირიდან 2 მეტრში. წვიმის გენერატორი წარმოადგენს წნევით კომპენსირებადი წვეთების მილებს დაჯგუფებული ორ 0,2X0,2 მ² ბადეში. მეტალის ბადე არის 3 მმ ზომის და წარმოქმნის დაახლოებით 4 მმ დიამეტრის წვიმის წვეთებს. ბადე საჭიროა წვიმის წვეთების გატეხვისა და თანაბარი გავრცელების მიზნით. წვიმის გენერატორს ინტენსივობის 3 ტიპის წარმოქმნა შეუძლია, 30 მმ/სთ, 50 მმ/სთ და 80 მმ/სთ, რომლებიც შეესაბამება წვიმის ყველა ძირითად რეალურ ინტენსივობას.



ნახაზი 4. 3 - განახლებული ქუჩის მოდელი.

სანიაღვრე ქსელის გამოსასვლელთან მდებარე ორი ავზი გამოიყენებოდა ჩაშვებული წყლის სხვადასხვა პარამეტრის გასაზომად, პირველ ავზში ხდება ნაკადის დაყოვნება, 160მმ სიგანე და 400მმ სიგრძე, რაც იძლევა საკმარის სიღრმეს სხვადასხვა ზონდების დასამონტაჟებლად. გაზომვის შემდეგ წყალი მიედინება უფრო დიდ ავზებში (50 X 60 სმ), სადაც ხარჯი იზომებოდა სამკუთხა გადამღვრელის გამოყენებით. გარდა ამისა, ხარჯი წინასწარ იზომებოდა მიმწოდებელ სისტემაში დამონტაჟებული მრიცხველით. ხარჯებს შორის სხვაობა არის 2%-ზე ნაკლები.

ლაბორატორიული სამუშაოების სრული აღწერა განთავსებული ჩვენს მიერ გამოცემულ სტატიაში: Pollutant wash-off phenomenon in real scale laboratory street section. IWA publishing DOI: 10.2166/WST.2017.345.

ასევე ჩატარდა ე.წ. მარილიანი წყლის ტესტირება რომლის მიზანი იყო წყალში გახსნილი დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების ფენომენის შესწავლა ლაბორატორიულ პირობებში.

4.2 მშრალი ნალექის გამორეცხვის ტესტი

ზედაპირზე დაგროვებულ მასალაში მძიმე მეტალების გასაანალიზებლად ჩატარდა ე.წ. გამორეცხვის (ლიქსივიაციის) ტესტები. ასევე გაანალიზდა საკონტროლო

სექციის ძირზე დალექილი მასალა. ტესტის სტანდარტად შეირჩა მეთოდი DIN 38414-S4.

აღნიშნულ მეთოდით გამოვიყენეთ დეიონიზებული წყალი, როგორც გამომრეცხვის აგენტი და რომელიც შეიძლება წარმოიქმნას წვიმის დროს გზაზე დაგროვილი ნაწილაკების წყალთან შეხებისას. სწორედ მაშინ წარმოიქმნება მისგან გაჟღენთილი ხსნარი. თავდაპირველად განისაზღვრა და დაფიქსირდა სუფთა და მშრალი ნიმუშის კაფსულის წონა. ყველა კაფსულა იყო სათანადოდ იდენტიფიცირებული და დარეგისტრირებული შესაბამის ლაბორატორიულ ფორმებში.

ნიმუშები იყო გაცრილი და დაყოფილი იყო ზომის სამ კატეგორიად, <80მკ, 80-800მკ და 800-2000მკ. ნიმუშები შრებოდა ღუმელში 12-14 საათის განმავლობაში 110 გრადუს ტემპერატურაზე, სინჯები იწონებოდა ღუმელამდე და შემდეგ.

შემდეგი ტესტისთვის ნიმუშები დაიყო 5 ზომის კატეგორიად, <63მკ, 63-125მკ, 125-250მკ, 250-500მკ და 500-1000მკ.



ნახაზი 4. 4 - ლიქსივიაციის აპარატი, სინჯებით.

თითო 100 გრ ნიმუში შერეული იყო 1000 მლ დეიონიზებულ წყალში სპეციალურ პლასტმასის ჭურჭელში მოთავსებულ იყო ტრიალა მიქსერზე, ოთახის ტემპერატურაზე

24 საათის განმავლობაში 10 rpm ბრუნვის სიჩქარით, დამატებით ერთი ცარიელი კონტეინერი ემატებოდა მიქსერს კომპენსაციისთვის. ამ ტესტისთვის გამოყენებული იქნა Rotax 6.8 ოვერჰედის მიქსერი. არევის შემდეგ მყარი და თხევადი ფაზები იყოფა ფილტრით 0,45მიკრონის ფორების ზომის.

მიღებული თხევადი სინჯები ანალიზდებოდა შერჩეულ მძიმე მეტალების კონცენტრაციებზე (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), პეაშსა და ელექტრულ გამტარიანობაზე.

4.3 სინჯების მენეჯმენტი

ექსპერიმენტული სამუშაოების დროს შეგროვებული ნიმუშების გასაანალიზებლად გამოყენებულია სხვადასხვა მეთოდის ანალიზი. უპირველეს ყოვლისა, ნიმუშები გაანალიზდა მოვლენის სხვადასხვა პარამეტრებში (EMC, SMC, CMAX, CMIN, CMOV), მოვლენების ჰიდროგრაფებითა და პოლუტოგრაფებით მასის მობილიზაციის გრაფიკებით.

ჩვენს გარემოსდაცვით ლაბორატორიაში ჩატარდა ძირითადი პარამეტრების ლაბორატორიული ანალიზები, გაანალიზდა ყველა დამაბინძურებელი: COD, COD დალექილი, საერთო N, საერთო P, TSS, SSV, TDS, DSV, TS, TSV, სიმღვრივე, გამტარობა და pH. უნივერსიტეტის ცენტრალურ ლაბორატორიებში ნიმუშები გაანალიზებულია მძიმე ლითონებზე (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) და ასევე ფრაქციების გრანულომეტრიული ანალიზი.

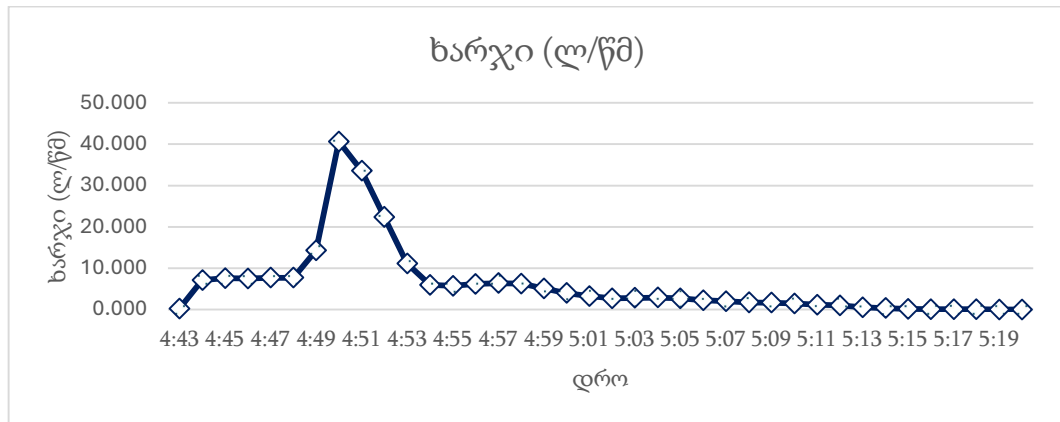
გრანულომეტრიული ანალიზი ჩატარდა ყველა ნიმუშისთვის, რათა გამოვლენილი ყოფილიყო მათი თავისებურება ზომის მიხედვით შეითავსოს მძიმე მეტალების სხვადასხვა კონცენტრაცია.

4.4 მიღებული მონაცემები

საველე სამუშაოები ჩატარებულია ესპანეთის ქალაქ ფენეს ავტოსტრადის წყალშემკრებ აუზზე. სულ გაანალიზებული იქნა 22 წვიმის მოვლენა, 2016 წლის 11 ნოემბრიდან 2017 წლის 27 დეკემბრამდე.

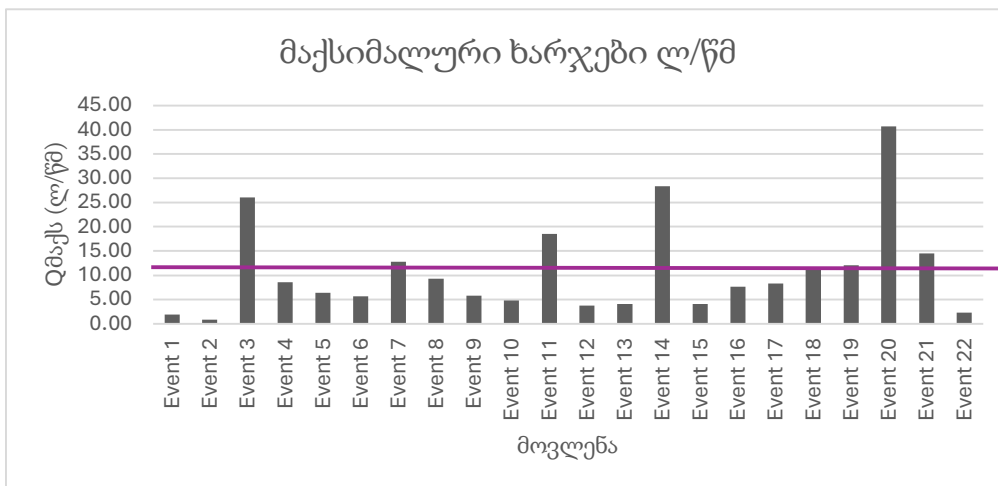
მოვლენების დროს მაქსიმალური წყლის ხარჯი გამოვლენილ იქნა მე-20 მოვლენის დროს 24.11.2017-ში და შეადგინა 40 ლ/წმ, რამაც გამოიწვია ხარჯის 14.02მ^3 მოცულობა და წვიმის მაქსიმალური ინტენსივობა 9.6 მმ/სთ.

კვლევების დროს გამოვლენილი ჰიდროლოგიური პარამეტრების საშუალო მაჩვენებლები შემდეგია, ხარჯი 1,67 ლ/წმ, მოცულობა 10.21მ³, ნალექების ინტენსივობა 6,82 მმ/სთ, წინა მშრალი დღეები 12 დღე.



ნახაზი 4. 5 - მოვლენა 20 რომლის დროსაც მაქსიმალური ხარჯი დაფიქსირდა.

შემდეგი ფიგურა გვიჩვენებს თითოეული მოვლენის მაქსიმალურ ხარჯებს, როგორც ჩანს საშუალო მაქსიმალური ხარჯი შეადგენს 10,08 ლ/წმ-ს.



ნახაზი 4. 6 - მოვლენების მაქსიმალური ხარჯები და გასაშუალოებულის ხაზი.

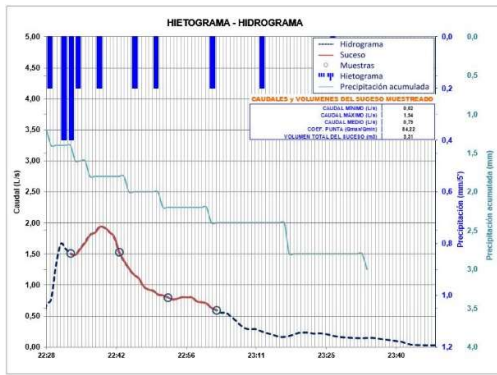
შემდეგი ცხრილი გვიჩვენებს ნალექის შემდეგ პარამეტრებს (ჯამური, საშუალო ინტენსივობა, მაქსიმალური 5 წუთიანი ინტერვალში და წინა მშრალი დღეების რაოდენობა), ხარჯისათვის (მაქსიმალური, მინიმალური, საშუალო, ფარდობითობის კოეფიციენტი), ასევე მოცემულია სინჯების აღების დროს არსებული ხარჯები.

ცხრილი 4. 1 მოვლენების ჰიდროლოგიური პარამეტრები.

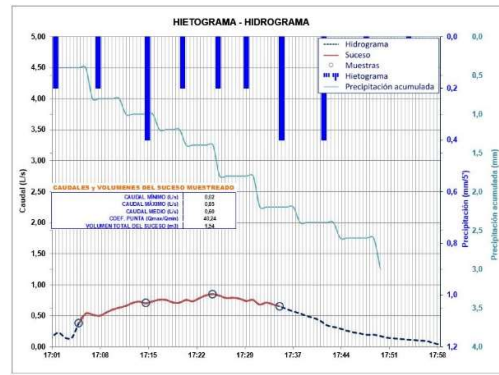
	თარიღი	წინა მშრალი დრე	ნალექების მაჩვენებლები				ჩამონადენი ხარჯების მაჩვენებლები				მოცულობა (მ ³)
			ჩამონადენი (მმ)	საშუალო ინტენსივობა (მმ/სთ)	საათობრივი მაქსიმალური ინტენსივობა (მმ/სთ)	5 წუთიანი ინტენსივობა	მინ (ღმინ) ლ/წმ	მაქს (ღმქს) ლ/წმ	საშუალო (ღსაშ) ლ/წმ	კოეფიციენტი (ღმქს/ღსაშ)	მოცულობა (მ ³)
მოვლენა 1	2016.11.17	15 ^ა 10 ^ა 45 ^მ	3,00	2,50	4,80	0,40	0,02	1,94	0,79	2,45	3,31
მოვლენა 2	2016.11.19	1 ^ა 16 ^ა 11 ^მ	3,00	3,21	4,8	0,40	0,02	0,85	0,60	1,41	1,54
მოვლენა 3	2016.11.20	0 ^ა 13 ^ა 15 ^მ	17,60	8,73	4,80	0,40	0,05	26,03	4,36	5,96	54,98
მოვლენა 4	2017.01.27	8 ^ა 3 ^ა 6 ^მ	4,60	3,07	16,80	1,40	0,00	8,53	1,18	7,23	11,91
მოვლენა 5	2017.02.14	18 ^ა 2 ^ა 0 ^მ	5,00	2,22	2,40	0,20	0,00	6,37	0,85	7,47	16,73
მოვლენა 6	2017.02.27	12 ^ა 11 ^ა 28 ^მ	5,40	7,36	14,40	1,20	0,00	5,66	0,91	6,23	6,34
მოვლენა 7	2017.02.27	0 ^ა 9 ^ა 4 ^მ	2,20	11,00	7,20	0,60	0,01	12,78	1,12	11,46	4,16
მოვლენა 8	2017.02.28	0 ^ა 9 ^ა 36 ^მ	9,60	3,24	4,80	0,40	0,00	9,30	1,18	7,86	9,31
მოვლენა 9	2017.03.12	12 ^ა 19 ^ა 5 ^მ	4,40	4,19	4,80	0,40	0,00	5,84	0,65	8,91	5,81
მოვლენა 10	2017.03.12	0 ^ა 9 ^ა 21 ^მ	3,20	3,56	12,00	1,00	0,00	4,84	0,63	7,62	5,00
მოვლენა 11	2017.03.31	18 ^ა 18 ^ა 56 ^მ	5,60	12,44	7,20	0,60	0,00	18,56	1,58	11,75	11,88
მოვლენა 12	2017.05.09	8 ^ა 1 ^ა 20 ^მ	2,00	24,00	9,60	0,80	0,00	3,77	0,67	5,66	0,85
მოვლენა 13	2017.09.03	6 ^ა 10 ^ა 49 ^მ	1,40	4,67	2,40	0,20	0,06	4,07	1,44	2,82	2,51
მოვლენა 14	2017.09.14	10 ^ა 5 ^ა 39 ^მ	7,20	5,08	14,40	1,20	0,00	28,30	1,62	17,44	19,73
მოვლენა 15	2017.10.17	1 ^ა 22 ^ა 0 ^მ	2,80	5,60	2,40	0,20	0,02	4,07	1,10	3,71	3,30
მოვლენა 16	2017.11.02	15 ^ა 23 ^ა 52 ^მ	5,00	7,89	4,80	0,40	0,15	7,59	1,95	3,90	5,44
მოვლენა 17	2017.11.02	0 ^ა 5 ^ა 31 ^მ	9,00	6,07	4,80	0,40	0,00	8,29	1,76	4,70	13,75
მოვლენა 18	2017.11.24	20 ^ა 7 ^ა 7 ^მ	2,00	15,00	7,20	0,60	0,27	11,45	2,33	4,92	3,31
მოვლენა 19	2017.11.24	1 ^ა 21 ^ა 5 ^მ	3,40	4,08	2,40	0,20	0,00	12,05	3,35	3,60	19,54
მოვლენა 20	2017.11.24	4 ^ა 11 ^ა 55 ^მ	1,60	9,60	4,80	0,40	0,01	40,65	3,16	12,85	14,02
მოვლენა 21	2017.12.25	25 ^ა 22 ^ა 22 ^მ	4,60	4,12	2,40	0,20	0,20	14,47	4,67	3,10	9,88
მოვლენა 22	2017.12.27	2 ^ა 1 ^ა 0 ^მ	3,00	2,34	4,80	0,40	0,01	2,25	0,94	2,40	1,41

ცხრილში საყურადღებოა მოვლენის მაქსიმალური ხარჯებისა და საშუალო ხარჯების ფარდობა, რაც მოვლენის ჰიდროგრაფის მიმართულების მაჩვენებელია.

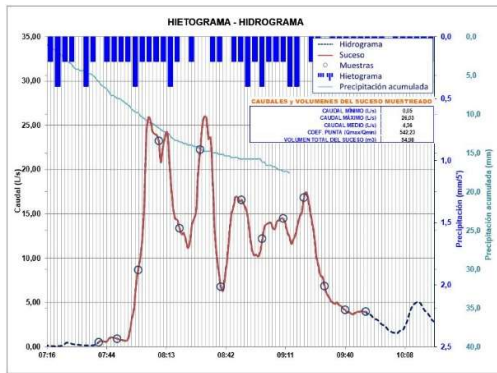
მომდევნო ფიგურებში მოყვანილია ფენეს წყალშემკრები აუზის მონიტორინგის მონაცემები, კერძოდ, ჰიდროგრაფი (ხარჯი), ჰიეტოგრაფი (ატმოსფერული ნალექები), აკუმულირებული ატმოსფერული ნალექები, სინჯების ადების მომენტები, წინა მორბედი მშრალი დღეების რაოდენობა, ჯამური ატმოსფერული ნალექები, მაქსიმალური ხარჯი, წყლის ჯამური მოცულობა.



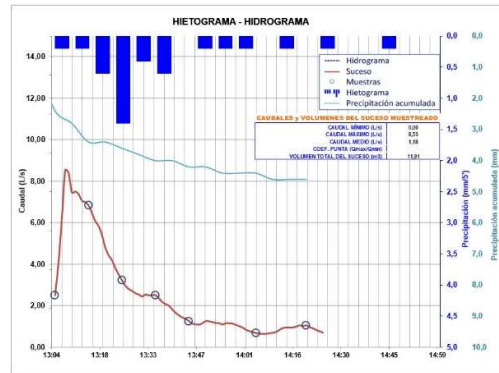
ნახაზი 4. 7 - მოვლენა 1.



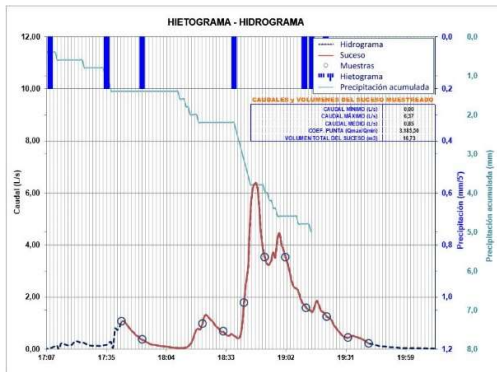
ნახაზი 4. 13 მოვლენა 2.



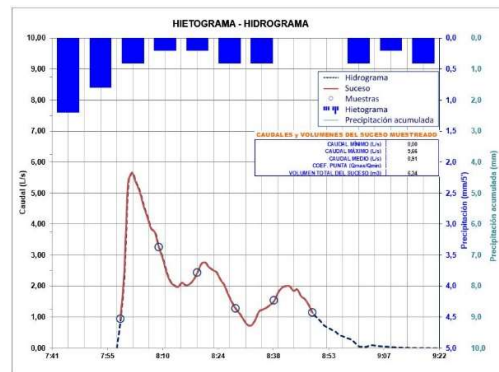
ნახაზი 4. 8 - მოვლენა 3.



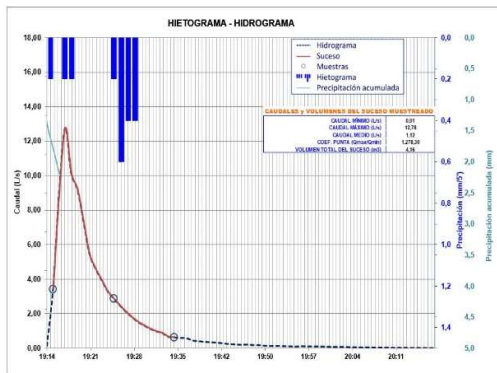
ნახაზი 4. 14 - მოვლენა 4.



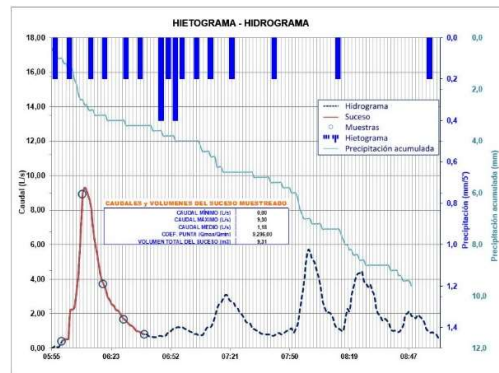
ნახაზი 4. 9 - მოვლენა 5.



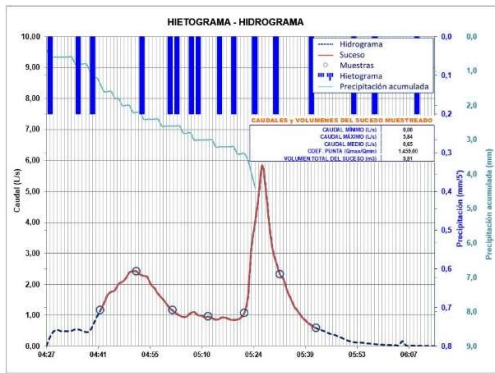
ნახაზი 4. 15 - 6.



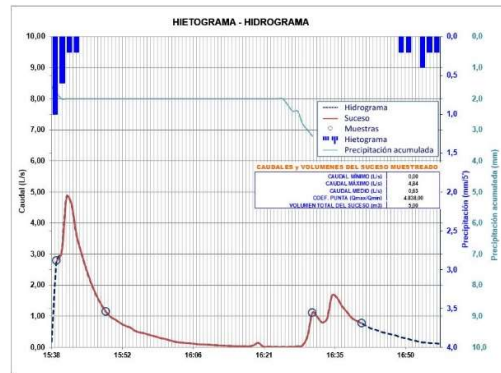
ნახაზი 4. 10 - მოვლენა 7.



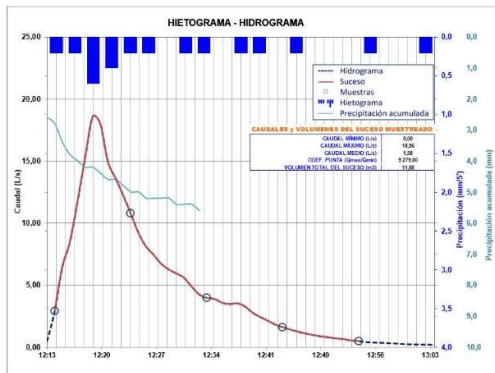
ნახაზი 4. 16 - მოვლენა 8.



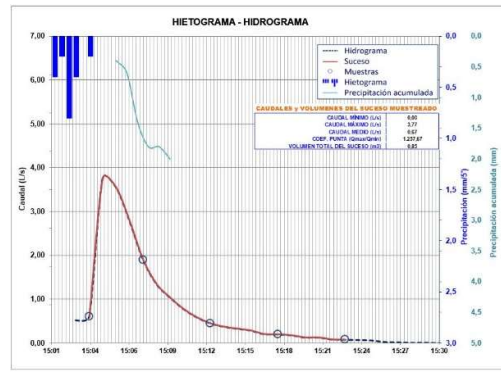
ნახაზი 4. 11 - მოვლენა 9.



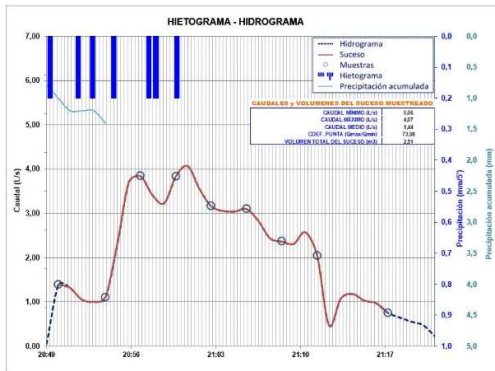
ნახაზი 4. 17 - მოვლენა 10.



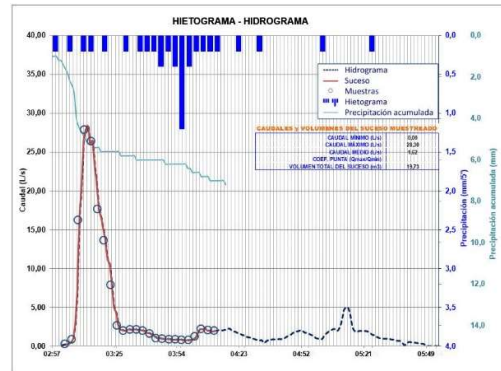
ნახაზი 4. 12 - მოვლენა 11.



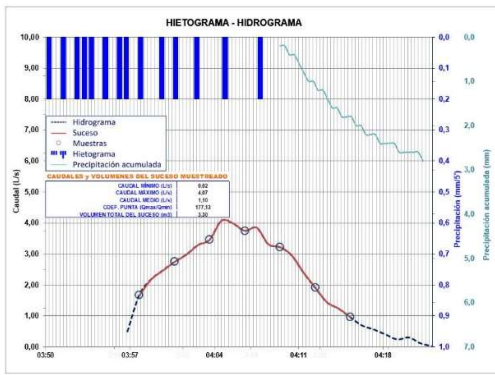
ნახაზი 4. 18 - მოვლენა 12.



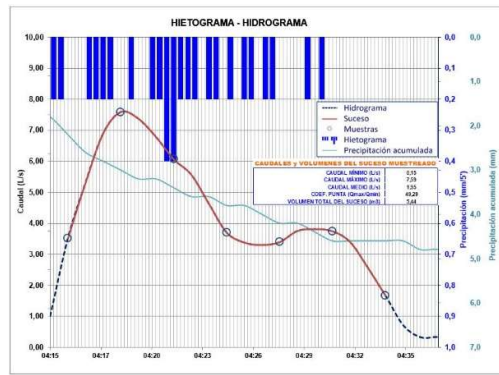
ნახაზი 4. 19 - მოვლენა 13.



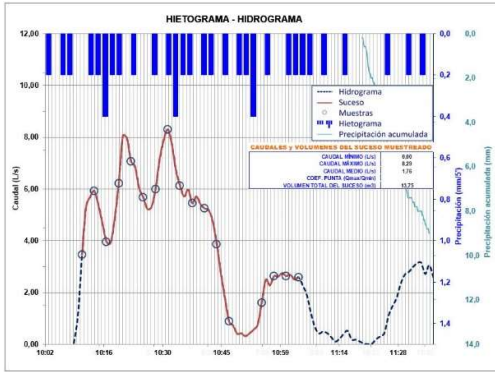
ნახაზი 4. 20 - მოვლენა 14.



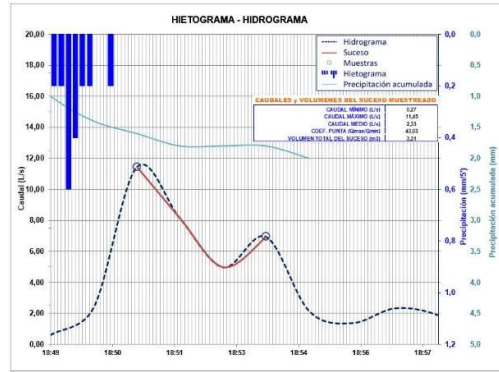
ნახაზი 4. 21 - მოვლენა 15



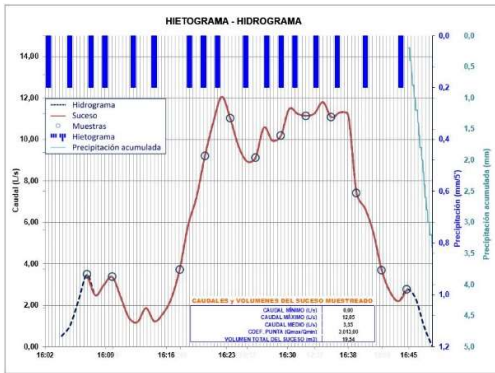
ნახაზი 4. 22 - მოვლენა 16.



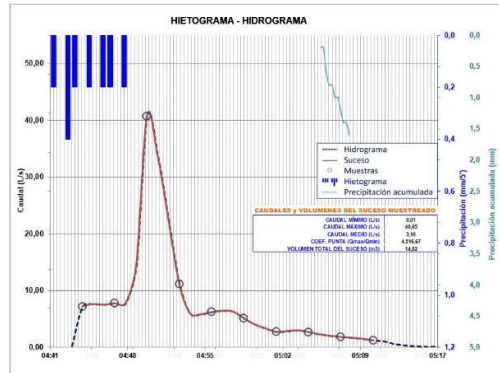
ნახაზი 4. 23 - მოვლენა 17.



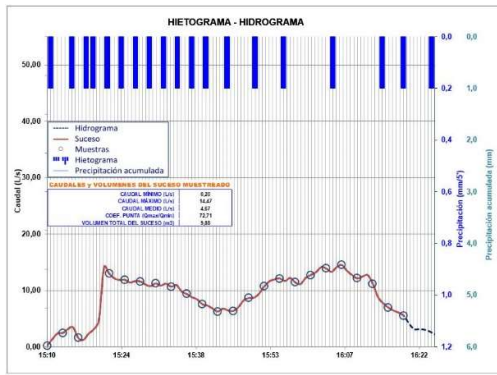
ნახაზი 4. 24 - მოვლენა 18.



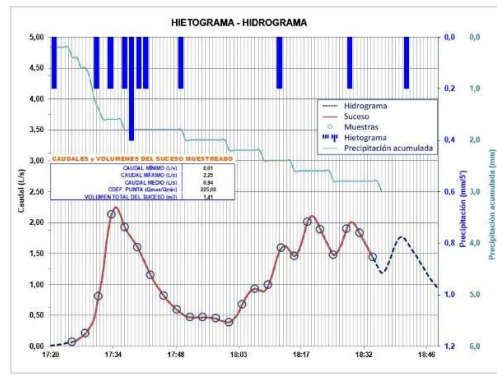
ნახაზი 4. 25 - მოვლენა 19.



ნახაზი 4. 26 - მოვლენა 20.



ნახაზი 4. 27 - მოვლენა 21.



მოვლენა 19	216,00	54,00	1,87	0,29	83,60	32,80	36	30	109,60	50,56	54,50	48,60	7,59
მოვლენა 20	191,00	46,00	3,40	0,39	200,88	53,07	76	44	258,88	81,07	183,00	107,30	7,72
მოვლენა 21	236,00	72,00	4,84	0,56	248,10	82,93	94	46	340,95	115,75	269,00	122,50	7,35
მოვლენა 22	343,00	122,00	11,90	1,84	437,32	144,37	152	48	589,32	192,37	238,50	221,00	7,81

მძიმე მეტალებისათვის აღსანიშნავია, რომ გამომდინარე რიგი მიზეზებისა, ზოგ შემთხვევაში დაირღვა სინჯების შენახვის მეთოდოლოგია და ყველა მოვლენისათვის არ მოხდა მათი ანალიზი.

ცხრილი 4. 3 - მძიმე მეტალების კონცენტრაციები მყარ ფაზაში.

მოვლენა	მძიმე მეტალები (სრული)						
	კადმიუმი Ca (µg/L)	ქრომი Cr (µg/L)	სპილენძი Cu (µg/L)	მერკური Hg (µg/L)	ნიკელი Ni (µg/L)	ტყვია Pb (µg/L)	თუთია Zn (µg/L)
მოვლენა 1	0,25	1,40	84,00	0,12	2,50	2,50	48,00
მოვლენა 2	0,25	1,30	90,00	0,12	2,50	2,00	47,00
მოვლენა 3	0,25	14,00	77,00	0,11	14,00	25,00	190,00
მოვლენა 4	0,34	26,79	98,39	0,08	24,64	46,46	582,62
მოვლენა 5	0,25	15,05	61,37	0,05	13,16	17,82	167,68
მოვლენა 6	0,25	19,06	76,97	0,06	18,46	27,74	223,05
მოვლენა 7	0,25	6,93	43,02	0,05	7,57	15,73	229,69
მოვლენა 12	0,53	61,00	169,00	3,00	56,00	95,00	686,00
მოვლენა 14	0,60	64,00	179,00	7,60	57,00	115,00	668,00
მოვლენა 15	0,25	5,20	53,00	0,15	5,70	9,00	106,00
მოვლენა 16	0,25	2,90	59,00	0,06	3,90	4,10	58,00
მოვლენა 17	0,93	5,50	64,00	1,58	6,20	7,20	103,00
მოვლენა 18	0,25	27,00	73,00	0,12	25,00	34,00	252,00
მოვლენა 19	0,25	5,46	36,08	0,05	5,09	7,49	83,93
მოვლენა 20	0,25	21,26	60,13	0,05	20,52	20,25	229,71
მოვლენა 21	0,25	34,58	73,00	0,05	39,86	24,48	248,42
მოვლენა 22	1,07	28,73	91,99	0,09	32,56	24,77	307,61

როგორც მეთოდოლოგიაში იქნა განხილული მოვლენის საშუალო კონცენტრაცია და საიტის საშუალო კონცენტრაცია მნიშვნელოვანი პარამეტრებია აუზისა და მოვლენების შესადარებლად. აქ წარმოდგენილია აუზის საშუალო კონცენტრაციები, ძირითადი პარამეტრებისათვის და მძიმე მეტალებისათვის.

ცხრილი 4. 4 - ძირითადი დამაზინებლების მსკ კონცენტრაციები.

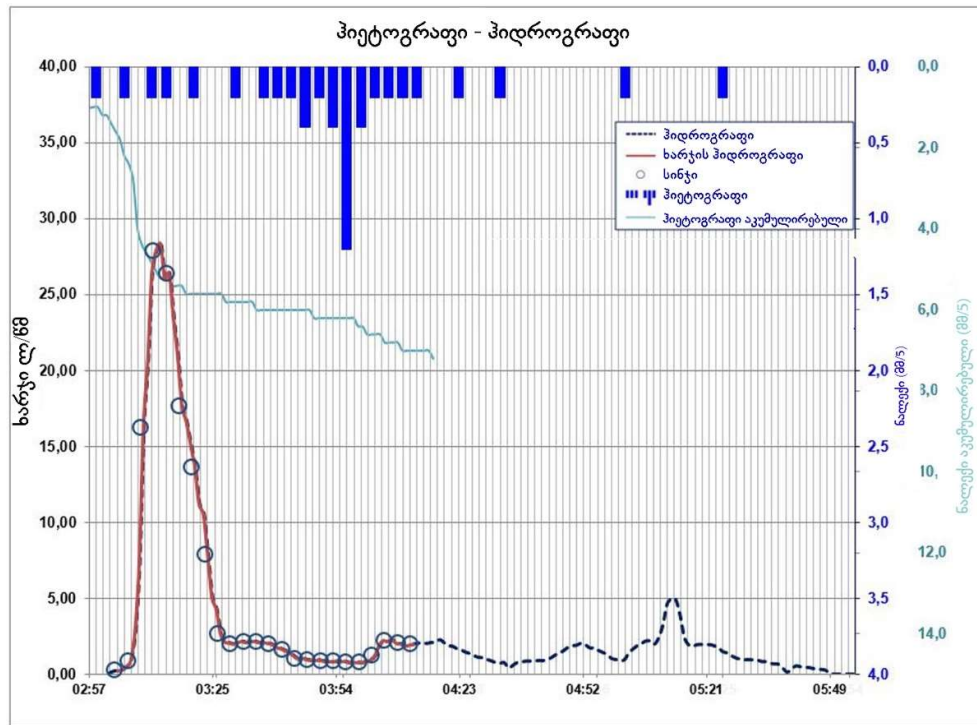
ძირითადი პარამეტრები													
მოვლენა	ჟქმ (მგ/ლ)	ჟქმ დალექილი (მგ/ლ)	N სრული (მგ/ლ)	P სრული (მგ/ლ)	შეწონილი ნაწილაკები (მგ/ლ)	შნ აერობული (მგ/ლ)	გახსნილი ნაწილაკები (მგ/ლ)	გნ აერობული (მგ/ლ)	სრული ნაწილაკები (მგ/ლ)	სრნ აერობადი (მგ/ლ)	სიმღვრე (NTU)	ელ.გამტარობა (μს/სმ)	pH
მოვლენა 1	50,00	24,00	2,33	0,23	22,84	19,14	62,00	26,00	84,84	45,14	19,02	61,20	6,98
მოვლენა 2	60,00	20,00	2,43	0,15	26,25	25,60	84,00	46,00	110,25	71,62	19,42	90,60	7,01
მოვლენა 3	84,69	2,53	1,99	0,51	99,77	58,50	48,09	22,54	147,86	57,02	55,42	28,26	7,30
მოვლენა 4	150,82	51,49	3,94	0,71	229,24	75,95	62,02	32,32	291,26	108,27	145,10	90,82	7,43
მოვლენა 5	115,05	29,27	2,13	0,41	138,47	45,53	105,06	57,93	243,53	103,46	101,57	154,78	9,10
მოვლენა 6	48,39	15,31	1,94	0,29	60,91	22,05	49,51	34,47	110,42	56,51	46,44	58,20	6,66
მოვლენა 7	109,35	12,86	3,37	0,60	223,71	62,49	104,41	67,52	328,11	130,00	106,51	144,51	7,08
მოვლენა 8	75,78	8,64	2,30	0,33	130,39	39,98	75,04	42,33	205,43	82,30	54,28	113,44	6,98
მოვლენა 9	15,00	4,00	1,39	0,16	35,90	1,20	2,80	1,90	38,70	3,10	26,60	56,70	7,35
მოვლენა 10	131,77	34,17	3,99	0,63	348,00	13,05	5,34	2,80	353,34	15,85	156,44	163,79	7,57
მოვლენა 11	119,44	28,17	3,31	0,47	288,02	12,05	2,66	0,96	290,68	13,00	119,70	64,90	7,15
მოვლენა 12	117,57	31,38	3,46	0,64	261,99	14,66	3,67	0,85	366,16	15,52	175,11	117,25	7,10
მოვლენა 13	26,96	15,35	1,92	0,15	26,59	12,18	83,73	62,89	110,32	75,07	20,84	86,58	7,39
მოვლენა 14	191,08	174,16	6,42	1,01	595,94	27,95	2,68	1,75	598,63	29,69	191,55	79,62	7,34
მოვლენა 15	110,02	106,16	3,77	0,43	153,68	10,22	3,24	3,44	156,92	13,66	85,78	79,25	7,53
მოვლენა 16	104,74	4,96	3,36	0,55	119,13	39,71	55,93	33,18	123,58	33,18	61,69	78,26	7,52
მოვლენა 17	136,74	2,55	2,86	0,37	140,44	8,78	2,56	1,80	142,99	27,79	69,34	62,07	7,31
მოვლენა 18	168,19	55,24	3,55	0,65	246,61	70,69	62,53	20,53	309,15	91,22	150,82	101,48	7,06
მოვლენა 19	118,84	38,73	1,49	0,25	68,52	23,99	26,27	17,81	94,78	41,81	49,10	44,84	7,51
მოვლენა 20	142,54	37,60	2,51	0,32	127,88	39,33	66,07	36,01	193,94	75,35	105,84	78,09	7,59
მოვლენა 21	94,15	56,40	3,07	0,32	77,10	28,80	67,82	28,49	144,92	57,30	84,67	90,41	7,30
მოვლენა 22	128,32	45,09	3,00	0,47	162,55	56,20	95,52	29,81	258,07	86,01	117,30	144,67	7,60

ცხრილი 4. 5 - მძიმე მეტალების მსკ კონცენტრაციები.

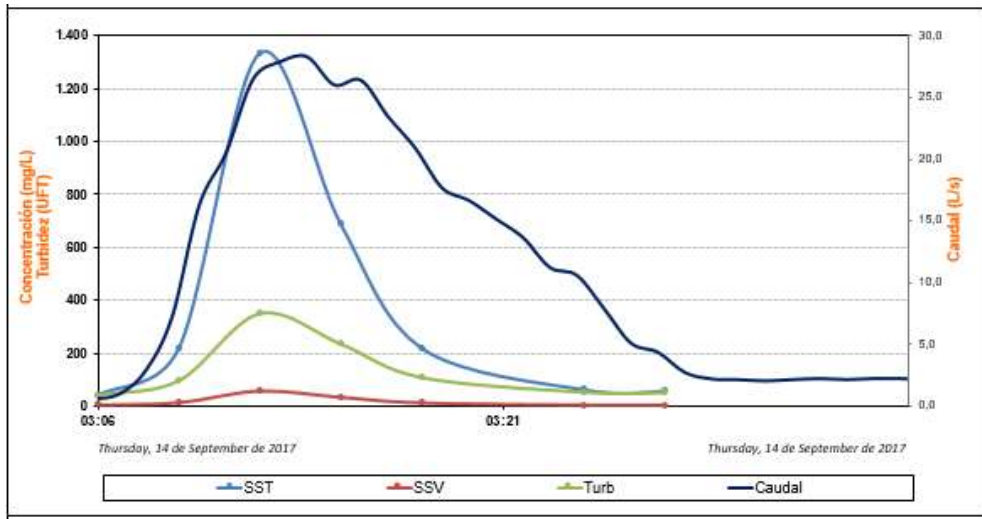
მძიმე მეტალები (სრული)							
მოვლენა	კადმიუმი Ca (μg/L)	ქრომი Cr (μg/L)	სპილენძი Cu (μg/L)	მერკური Hg (μg/L)	ნიკელი Ni (μg/L)	ტყვია Pb (μg/L)	თუთია Zn (μg/L)
მოვლენა 1	0,25	1,40	84,00	0,12	2,50	2,50	48,00
მოვლენა 2	0,25	1,30	90,00	0,12	2,50	2,00	47,00
მოვლენა 3	0,25	5,12	50,68	0,07	6,26	9,18	65,79
მოვლენა 4	0,26	11,02	61,99	0,05	11,06	18,79	215,48
მოვლენა 5	0,25	9,09	38,94	0,05	7,62	10,68	101,48
მოვლენა 6	0,25	3,55	32,24	0,05	4,48	4,87	59,14
მოვლენა 7	0,25	3,92	32,99	0,05	5,00	11,11	149,19
მოვლენა 12	0,30	21,29	94,71	0,34	20,80	33,26	272,48
მოვლენა 14	0,30	20,20	77,31	1,95	18,70	39,50	224,32
მოვლენა 15	0,19	2,50	38,30	0,06	3,21	4,20	46,16
მოვლენა 16	0,14	1,56	28,91	0,04	2,30	2,12	37,15

მოვლენა 17	0,24	2,79	31,05	0,11	2,99	3,66	49,84
მოვლენა 18	0,25	20,58	63,18	0,09	18,66	24,94	196,11
მოვლენა 19	0,25	4,43	29,37	0,05	4,21	5,55	71,41
მოვლენა 20	0,25	11,29	39,98	0,05	10,97	12,87	132,10
მოვლენა 21	0,25	6,55	34,99	0,00	7,91	5,03	63,92
მოვლენა 22	0,27	11,28	52,36	0,05	11,09	11,80	139,89

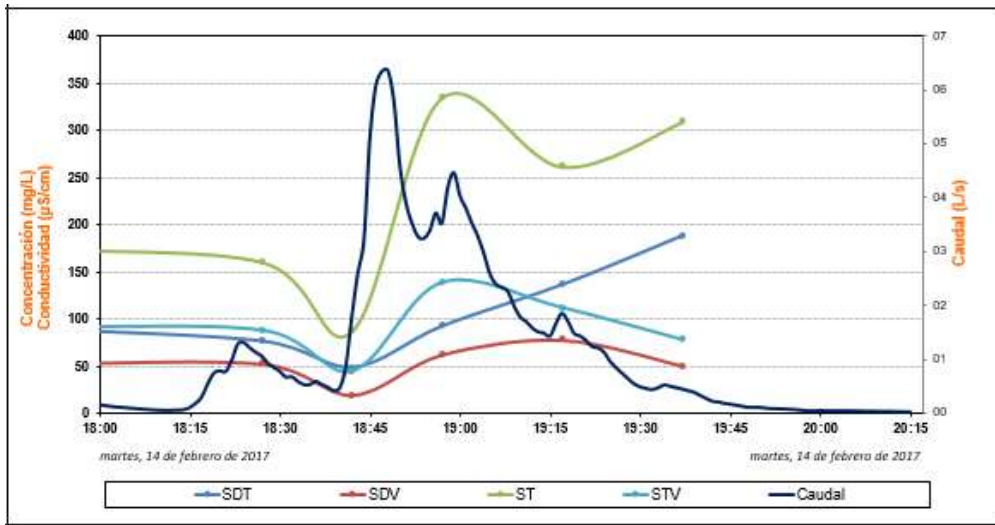
ქვევით მოყვანილია სხვადასხვა მოვლენების, ატმოსფერული ნალექების, ჰიდროგრაფების და პოლუტოგრაფების ფიგურები რა დროსაც სხვა და სხვა დამაბინძურებლების მაქსიმალური კონცენტრაციები გამოვლინდა, მათი ანალიზი და პრეზენტაცია უფრო მნიშვნელოვანი და უკეთ წარმოაჩენს წამოჭრილ პრობლემას.



ნახაზი 4. 29 - მოვლენის ნალექები, ხარჯი და სინჯების აღების მომენტები.

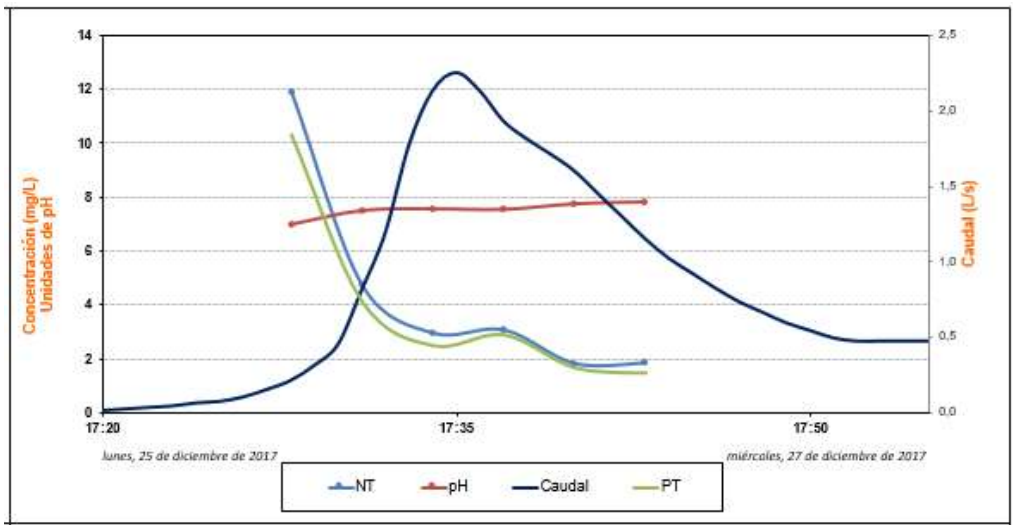


ნახაზი 4. 30 - მოვლენის ჰიდროგრაფი და პოლუტოგრაფი ძირითადი პარამეტრებისათვის.



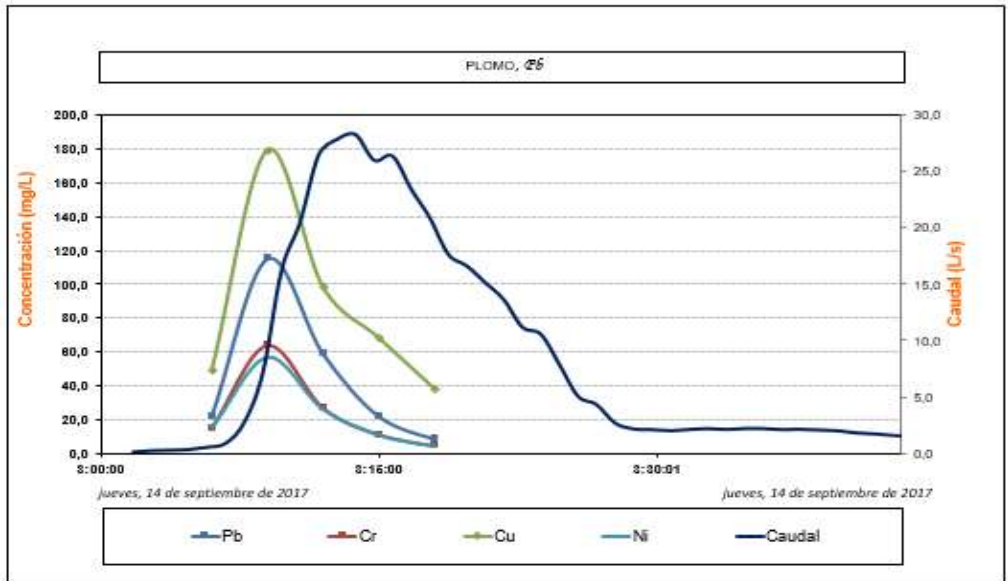
ნახაზი 4. 31 - მოვლენის ჰიდროგრაფი და პოლუტოგრაფი.

5 მოვლენის წყალში გახსნილი ნაწილაკების მაქსიმალური კონცენტრაციები დაფიქსირდა, სრული გახსნილი ნაწილაკების 188 (მგ/ლ) და გახსნილი ნაწილაკები აერობული 78 (მგ/ლ). რაც ორგანული დამაბინძურებლების მაღალ კონცენტრაციაზე მიუთითებს.



ნახაზი 4. 32 - მოვლენის ჰიდროგრაფი და პოლუტოგრაფი N სრული და P სრული.

22 მოვლენა ხასიათდება ნიტრატების და ფოსფორის მაქსიმალური კონცენტრაციით, N სრული 11.9 (მგ/ლ) და P სრული 1.84 (მგ/ლ).



ნახაზი 4. 33 - მოვლენის ჰიდროგრაფი და მძიმე მეტალების პოლუტოგრაფი.

14 მოვლენის დროს სრულად შეწონილი ნაწილაკების მაქსიმალური 1333.2 (მგ/ლ) დაფიქსირდა, როგორც ცნობილია სუზ დამაბინძურებლების განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრია, რამეთუ მისი გავლენა სისტემაზე მნიშვნელოვანია და მძიმე მეტალების აბსორბცია სწორად შეწონილ ნაწილაკებთან ხდება. მნიშვნელოვანია ნაწილაკების ზომის წარმოჩენაც რაც მთავარი ფაქტორია მძიმე მეტალების აბსორბირებისათვის, იმის მიუხედავად რომ აღნიშნული კვლევა ჩატარდა მიმდინარე

კვლევის ფარგლებში მისი გრაფიკული წარმოდგენა დიდ ადგილს დაიჭერს და მისი ხილვა შესაძლებელი იქნება ცალკე დანართში.

14 მოვლენა ასევე ხასიათდება მძიმე მეტალების მაქსიმალური კონცენტრაციებით, 7 გასაანალიზებელი მეტალებიდან 5 მათგანში დაფიქსირდა მაქსიმალური კონცენტრაციები, ეს გვაჩვენებს მაგალითის სახეზე მძიმე მეტალებისა და სზნ-ს ურთიერთ კავშირს. ქრომი (Cr) 64 $\mu\text{g}/\text{L}$; სპილენძი (Cu) 179 $\mu\text{g}/\text{L}$; მერკური (Hg) 7.6 $\mu\text{g}/\text{L}$, ნიკელი (Ni) 57 $\mu\text{g}/\text{L}$ და ტყვია (Pb) 115 $\mu\text{g}/\text{L}$.

4.5 მიღებული მონაცემების (დამაბინძურებლების მობილიზაციის) ანალიზი

წარმოდგენილია ფენეს წყალშემკრები აუზზე შეგროვებული დამაბინძურებლების მონაცემების სტატისტიკურ ანალიზი. იგი დაგვეხმარება დავადგინოთ ქონდა თუ არა ადგილი პირველი ტალღის ეფექტს, ასევე რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია დავადგინოთ დამაბინძურებლებს შორის ურთიერთკავშირი.

კვლევისას გამოვლინდა რომ ორ დამაბინძურებლებს შორის წრფივი კავშირით შეგვიძლია დავადგინოთ მათი კავშირი სხვა დამაბინძურებლებთან, თუმცა იმ შემთხვევაში თუ წრფივი კავშირი დამაკმაყოფილებელ რეზულტატს არ გვადლევს მრავალმხრივი რეგრესიის ანალიზი გამოიყენება.

იმისათვის რომ დავადგინოთ ცალკეული მოვლენის დროს ადგილი ქონდა თუ არა პირველი ტალღის ეფექტს ფორმა „b“ პარამეტრზე იქნა შემოწმებული ყველა მოვლენის ყველა საანალიზო დამაბინძურებელი. იგი წარმოადგენს დამაბინძურებლების მასის მობილიზაციის შეფარდებას ხარჯის საერთო მასასთან, შეფარდებისას $b < 1$ და რაც უფრო მცირეა იგი უფრო მეტად არის ამ დამაბინძურებლის პირველი ტალღის ეფექტი წარმოდგენილი. შემდეგ ცხრილებში წარმოდგენილია ფორმა b კოეფიციენტი ძირითადი დამაბინძურებლებისთვის და მძიმე მეტალებისათვის.

ცხრილი 4. 6 - ფორმა b პარამეტრი ძირითადი დამაბინძურებლებისთვის.

მოვლენა	ძირითადი დამაბინძურებლები									
	ქქმ	ქქმ დალეკილი	N სრული	P სრული	სრული ნაწილაკები	სწ აერობა	შეწონილი ნაწილაკები	შწ აერობა	გახსნილი ნაწილაკები	გწ აერობა
მოვლენა 1	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675
მოვლენა 2	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734
მოვლენა 3	0.595	0.398	0.566	1.178	0.558	0.691	0.445	1.036	1.003	1.297
მოვლენა 4	0.505	0.601	0.71	0.655	0.557	0.702	0.465	0.52	1.165	1.486
მოვლენა 5	0.993	1.191	0.995	1.129	1.307	1.126	1.284	1.061	1.346	1.186
მოვლენა 6	0.356	0.805	0.644	0.579	0.497	0.733	0.25	0.358	1.158	1.179
მოვლენა 7	0.692	1.167	0.848	0.92	0.717	0.794	0.619	0.7	0.95	0.886
მოვლენა 8	0.554	0.668	1.051	0.66	0.623	0.648	0.536	0.541	0.963	0.835
მოვლენა 9	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973
მოვლენა 10	0.472	0.69	0.562	0.402	0.313	0.472	0.307	0.388	0.829	0.978
მოვლენა 11	0.575	0.731	0.655	0.51	0.618	0.599	0.616	0.585	0.966	0.802
მოვლენა 12	0.395	0.761	0.651	0.593	0.544	0.69	0.411	0.686	1.013	0.781
მოვლენა 13	0.984	1.073	0.979	1.043	0.873	0.833	0.593	0.751	0.988	0.849
მოვლენა 14	0.712	0.72	0.879	0.989	0.721	0.736	0.721	0.731	0.939	0.836
მოვლენა 15	0.778	0.803	0.667	0.84	0.738	0.88	0.735	0.797	0.928	1.227
მოვლენა 16	0.643	0.395	0.727	0.672	0.646	0.703	0.551	0.622	0.829	0.703
მოვლენა 17	1.055	0.279	0.85	0.989	0.897	1.495	0.896	0.895	1.003	0.989
მოვლენა 18	0.688	0.971	0.821	0.783	0.676	0.792	0.569	0.619	1.159	1.526
მოვლენა 19	1.152	0.72	1.136	0.975	1.084	1.034	1.189	1.239	0.859	0.823
მოვლენა 20	0.772	0.965	0.901	0.939	0.816	0.918	0.749	0.776	1.002	1.134
მოვლენა 21	0.741	0.989	0.826	0.896	0.738	0.788	0.614	0.693	0.913	0.895
მოვლენა 22	0.612	0.735	0.64	0.649	0.627	0.661	0.506	0.54	0.975	1.061

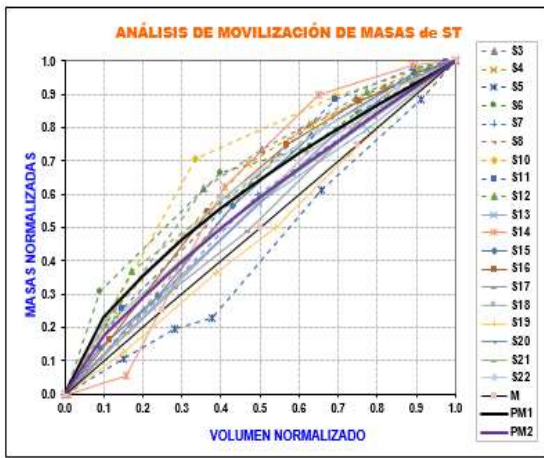
ცხრილი 4. 7 - ფორმა b პარამეტრი მძიმე მეტალებისთვის.

მოვლენა	მძიმე მეტალები						
	კადმიუმი (Cd)	ქრომი (Cr)	სპილენძი (Cu)	მერკური (Hg)	ნიკელი (Ni)	ტყვია (Pb)	თუთია (Zn)
Event 1	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675	2.675
Event 2	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734	1.734
Event 3	1	0.941	0.668	1	0.505	0.445	0.476
Event 4	0.923	0.941	0.705	1	0.415	0.438	0.428
Event 5	1	0.941	0.97	1	1.027	1.142	0.977
Event 6	1	0.941	1.161	1	0.438	0.262	0.44

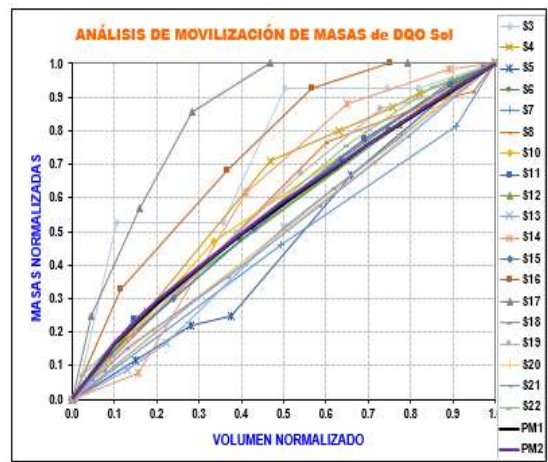
Event 7	1	0.941	2.093	1	0.416	0.513	0.389
Event 8	-	-	-	-	-	-	-
Event 9	-	-	-	-	-	-	-
Event 10	-	-	-	-	-	-	-
Event 11	-	-	-	-	-	-	-
Event 12	0.697	0.941	0.706	1	0.445	0.409	0.483
Event 13	-	-	-	-	-	-	-
Event 14	0.609	0.941	0.517	1	0.4	0.409	0.418
Event 15	1.302	0.941	1.274	1	1.019	1.08	0.916
Event 16	0.992	0.941	2.422	1	1.213	0.971	1.502
Event 17	2.226	0.941	1.531	1	1.338	1.509	1.637
Event 18	1	0.941	0.695	1	0.383	0.346	0.471
Event 19	1	0.941	1.125	1	1.203	1.302	1.184
Event 20	1	0.941	0.903	1	0.743	0.727	0.682
Event 21	1	0.941	0.925	1	0.588	0.598	0.687
Event 22	0.829	0.941	0.745	1	0.558	0.579	0.612

მოცემულ ცხრილებში 1,2 და 9 მოვლენა მონიშნულია წითლად რაც ნიშნავს, რომ ამ დროს მოხდა აღებული სინჯების ერთმანეთში არევა და კომპოზიტური სინჯის მომზადება, აქედან გამომდინარე მათი ისინი არ იქნენ გაანალიზებული ხოლო დანარჩენი მოვლენებისათვის ხ პარამეტრი დაყოფილ იქნა სამ ტიპად, <0,5, 0,5 – 0,8 და 0,8 – 1 რათა წარმოჩენილ იქნეს პირველი ტალღის ეფექტურობა კონკრეტული სინჯების დამაბინძურებისათვის. ცხრილებიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ რომ ძირითადი დამაბინძურებლებისთვის პირველი ტალღის ეფექტი გამოხატულ იყო მოვლენების უმრავლესობაში, თუმცა მძიმე მეტალების შემთხვევაში იგი შედარებით ნაკლებად იყო წარმოჩენილი.

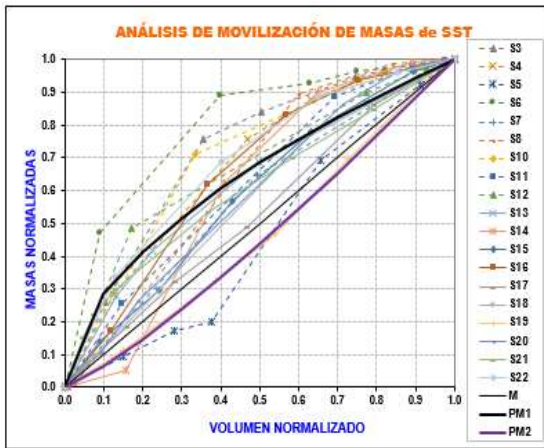
მასის მობილიზაციის მრუდებში ორი გასაშუალოებული მრუდია წარმოდგენილი PM1, 1-12 მოვლენებისათვის (1 კამპანია) და PM2, 13-22 მოვლენისათვის (2 კამპანია).



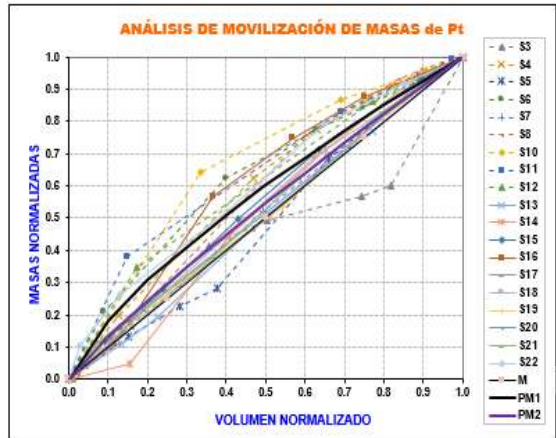
ნახაზი 4. 34 - მასის მობილიზაციის მრული შეწონილი ნაწილაკებისათვის



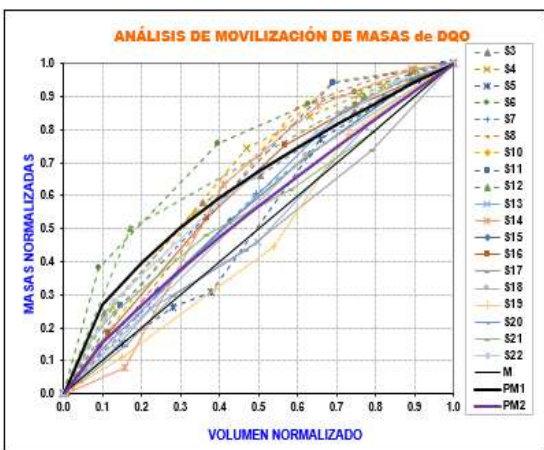
ნახაზი 4. 37 - მასის მობილიზაციის მრული დალუქილი ქვბ-თვის



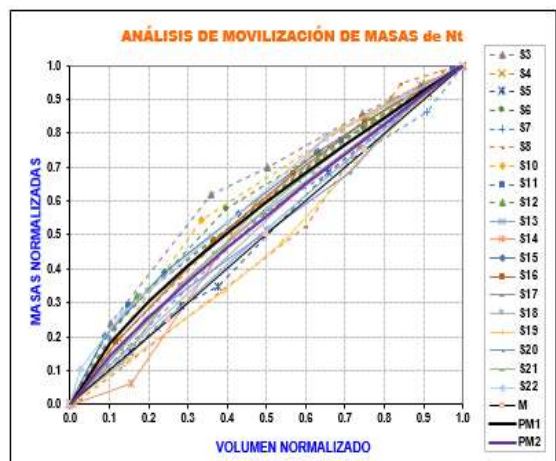
ნახაზი 4. 35 - მასის მობილიზაციის მრული სშნ-თვის.



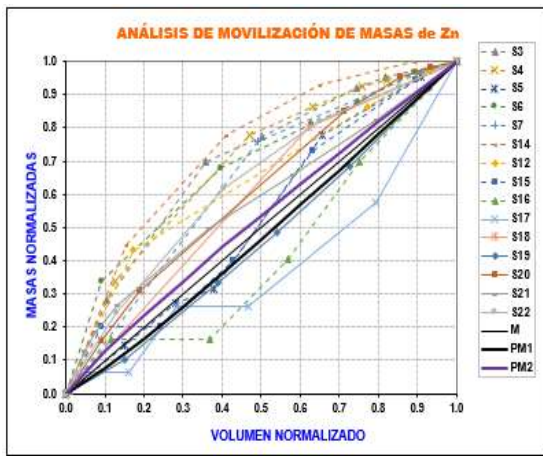
ნახაზი 4. 38 - მასის მობილიზაციის მრული სრული ფოსფორითვის.



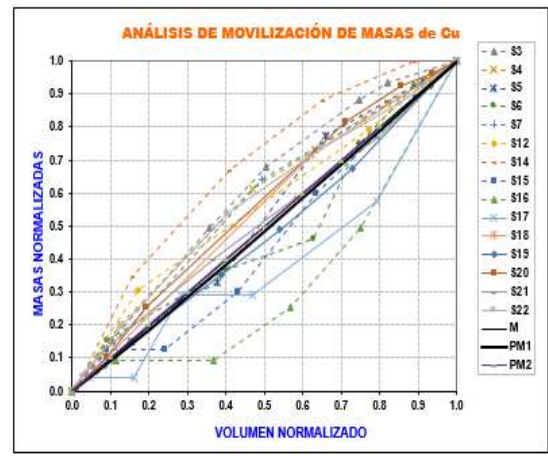
ნახაზი 4. 36 - მასის მობილიზაცია ქვბ-თვის.



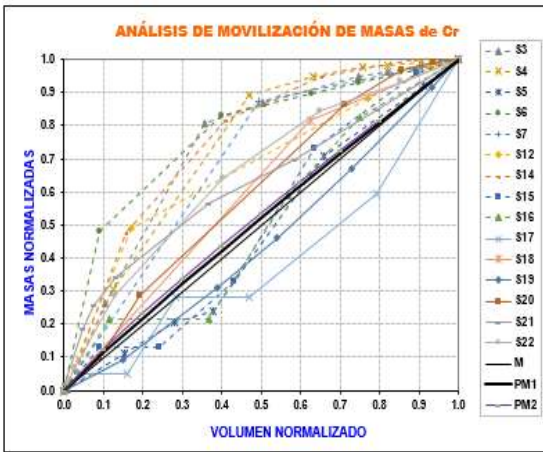
ნახაზი 4. 39 - მასის მობილიზაციის მრული სრული ნიტრატისთვის.



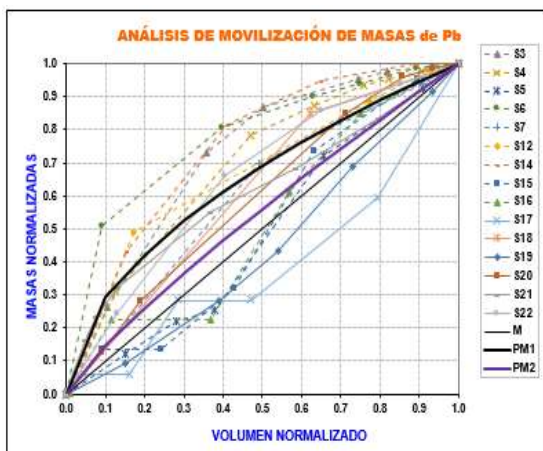
ნახაზი 4. 40 - მასის მობილიზაციის მრული თუთიისთვის.



ნახაზი 4. 42 - მასის მობილიზაციის მრული სპილენძისთვის.



ნახაზი 4. 41 - მასის მობილიზაციის მრული ქრომისთვის.



ნახაზი 4. 42 - მასის მობილიზაციის მრული ტყვიისთვის.

მოცემულ ფიგურებში რაც უფრო მაღლაა 45° ხაზთან შედარებით მრუდი მით მეტად არის გამოხატული პირველი ტალღის ეფექტი აღნიშნული დამაბინძურებლისათვის. ზოგადად PM1 უფრო მიდრეკილია პირველი ტალღისაკენ ვიდრე PM2. ამ შემთხვევაშიც იგივე ტრენდს აქვს ადგილი რა დროსაც ძირითადი დამაბინძურებლები უფრო მეტად არიან წარმოდგენილი პირველი ტალღისას ვიდრე მძიმე მეტალები.

4.6 სინჯების სტატისტიკური ანალიზი

სტატისტიკური ანალიზის მიზანია მიღებული სინჯების სინთეზირება და იმის ნათლად წარმოჩენა თუ წყალშემკრები აუზი (ჰიდროგრაფი) როგორ ურთიერთკავშირშია დამაბინძურებლებთან. ასევე დამაბინძურებლებს შორის კორელაციური და ჰიდროლოგიურ - ჰიდრაულიკურ კავშირი როგორც ცალკე აღებული მოვლენისას და ასევე მოვლენებს შორის. იგი საშუალებას მოგვცემს უფრო იოლად დავადგინოთ ამა თუ იმ დამაბინძურებლის კონცენტრაცია სხვა დამაბინძურებლიდან გამომდინარე.

ანალიზისათვის შემდეგი პარამეტრები იქნა გამოყენებული წინა მშრალი დღეები, მაქსიმალური ხარჯი Q_{max} (ლ/წმ), საშუალო ხარჯი $Q_{საშ}$ (ლ/წმ), მასა (m^3), პირველი ტალღის მასა (m^3), ატმოსფერული ნალექები (მმ), ძირითადი დამაბინძურებლების და შერჩეული მძიმე მეტალების კონცენტრაციები ნაწილაკებით და გახსნილ მდგომარეობაში.

შეიქმნა პირსონის კორელაციის მატრიცა სადაც დამაბინძურებლები ურთიერთკვეთაში არიან და თითოეული კვეთა წარმოადგენს მათ შორის კავშირს. კავშირის მაქსიმალური ინდექსია 1 რა დროსაც დამაბინძურებლებს შორის აბსოლუტური ურთიერთკავშირია, როდესაც ინდექსი $<0,9$ -ზე იგი მონიშნულია წითლად (საუკეთესო კავშირი), $0,7 - 0,9$ მწვანე (კარგი კავშირი), $0,5 - 0,7$ ლურჯი (მისაღები კავშირი) და $< 0,5$ ნაცრისფერი (არა დაკავშირებული).

სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა 109 სინჯზე რომლებიც 22 წვიმის მოვლენის დროს იქნა შეგროვებული.

პირსონის კორელაციის მატრიცა კარგი მეთოდია სწრაფი და თვალსაჩინო შეფასებისათვის, თუმცა სინჯების მიღებული ანალიზისას გამოიკვეთა რიგი შეუსაბამობები. ამ შეუსაბამობების გასარკვევად დამაბინძურებლები დამატებით დეტერმინაციის R^2 კოეფიციენტით გავანალიზეთ, რომელიც წრფივი რეგრესიის განტოლებას წარმოადგენს შერჩეული დამაბინძურებლებისთვის.

ცხრილი 4. 8 - პირსონოს განაწილების ცხრილი ყველა დამაბინძურებლისათვის.

დამაბინძურებელი	ქქმ	ქქმ დალ	N სრული	P სრული	სშნ	სსა	სგნ	გნა	სნ	სნა	სიმღვრიე	ელ. გამტარობა	pH	კადმიუმი	ქრომი	სპილენძი	მერკური	ნიკელი	ტყვია	თუთია
ქქმ	1.00																			
ქქმ დალ	0.65	1.00																		
N სრული	0.76	0.72	1.00																	
P სრული	0.83	0.51	0.86	1.00																
სშნ	0.81	0.74	0.74	0.79	1.00															
სსა	0.85	0.67	0.81	0.88	0.95	1.00														
სგნ	0.12	0.02	0.22	0.27	0.08	0.21	1.00													
გნა	0.04	0.04	0.10	0.05	0.05	0.04	0.54	1.00												
სნ	0.81	0.74	0.76	0.80	0.99	0.96	0.15	0.08	1.00											
სნა	0.73	0.67	0.80	0.76	0.89	0.93	0.38	0.30	0.92	1.00										
სიმღვრიე	0.88	0.57	0.70	0.77	0.86	0.90	0.22	0.08	0.87	0.82	1.00									
ელ. გამტარობა	0.21	0.04	0.19	0.25	0.16	0.26	0.94	0.46	0.22	0.38	0.27	1.00								
pH	0.13	0.07	0.03	0.06	0.04	0.06	0.68	0.40	0.05	0.14	0.07	0.79	1.00							
კადმიუმი	0.50	0.29	0.61	0.55	0.37	0.43	0.18	0.02	0.40	0.45	0.33	0.18	0.00	1.00						
ქრომი	0.85	0.61	0.56	0.67	0.88	0.87	0.05	0.06	0.89	0.76	0.94	0.13	0.02	0.32	1.00					
სპილენძი	0.66	0.58	0.52	0.62	0.85	0.78	0.06	0.01	0.84	0.67	0.69	0.02	0.15	0.36	0.85	1.00				
მერკური	0.62	0.79	0.51	0.48	0.89	0.74	0.22	0.01	0.86	0.68	0.58	0.09	0.03	0.37	0.73	0.81	1.00			
ნიკელი	0.85	0.59	0.58	0.68	0.84	0.85	0.08	0.05	0.86	0.74	0.95	0.14	0.05	0.35	0.99	0.82	0.67	1.00		
ტყვია	0.82	0.67	0.54	0.66	0.96	0.90	0.06	0.09	0.95	0.79	0.85	0.04	0.04	0.26	0.95	0.90	0.84	0.90	1.00	
თუთია	0.85	0.55	0.56	0.69	0.89	0.90	0.06	0.17	0.90	0.80	0.89	0.14	0.05	0.29	0.91	0.82	0.66	0.88	0.94	1.00

აქ შეგვიძლია დავადგინოთ რომ ჟქმ-ს გააჩნია საუკეთესო კორელაცია შემდეგ დამაბინძურებლებთან, N სრული, P სრული, სზნ, სიმღვრიე, ქრომი, ნიკელი, ტყვია და თუთია.

თავის მხრივ სზნ-ს გააჩნია საუკეთესო კორელაცია თითქმის ყველა მძიმე მეტალთან გარდა კადმიუმისა, ისევე როგორც N სრული, P სრული, ჟქნ, ჟქნ დალექილი და სიმღვრიესთან.

N სრულს და P სრულს აქვს კარგი კორელაცია ყველა მძიმე მეტალთან მერკურის გარდა და ძალიან კარგი კორელაცია ჟქმ-სთან.

თავის მხრივ მძიმე მეტალები ერთმანეთთან ძალიან კარგ კავშირში იმყოფებიან, ინდექსი ძირითადად < 0.9-ზე.

ასევე წარმოდგენილი ჟქმ-ს, სზნ-ს სხვა დამაბინძურებლებთან წრფივი რეგრესიული განტოლების კავშირი, იგივე კავშირი წარმოდგენილი მძიმე მეტალებს შორის.

ცხრილი 4. 9 - ჟქმ კორელაცია სხვა დამაბინძურებლებთან.

დამაბინძურებელი	პარამეტრი	რეგრესიის განტოლება	R-კვადრატი
ჟქმ	სიმღვრიე	$y = 0.8598x - 12.029$	$R^2 = 0.777$
ჟქმ	ქრომი	$y = 0.1697x - 16.177$	$R^2 = 0.7289$
ჟქმ	ტყვია	$y = 1.821x - 139.55$	$R^2 = 0.7246$
ჟქმ	ნიკელი	$y = 0.1557x - 13.518$	$R^2 = 0.7209$
ჟქმ	P სრული	$y = 0.004x - 0.0161$	$R^2 = 0.6969$
ჟქმ	სნ	$y = 2.4091x - 84.105$	$R^2 = 0.6875$
ჟქმ	ტყვია	$y = 0.2676x - 28.937$	$R^2 = 0.6692$
ჟქმ	სზნ	$y = 2.3972x - 131.8$	$R^2 = 0.6557$
ჟქმ	N სრული	$y = 0.0205x + 1.0398$	$R^2 = 0.5817$
ჟქმ	სპილენძი	$y = 0.2637x + 25.451$	$R^2 = 0.433$
ჟქმ	მერკური	$y = 0.0123x - 1.8483$	$R^2 = 0.3838$
ჟქმ	კადმიუმი	$y = 0.0013x + 0.0984$	$R^2 = 0.2465$

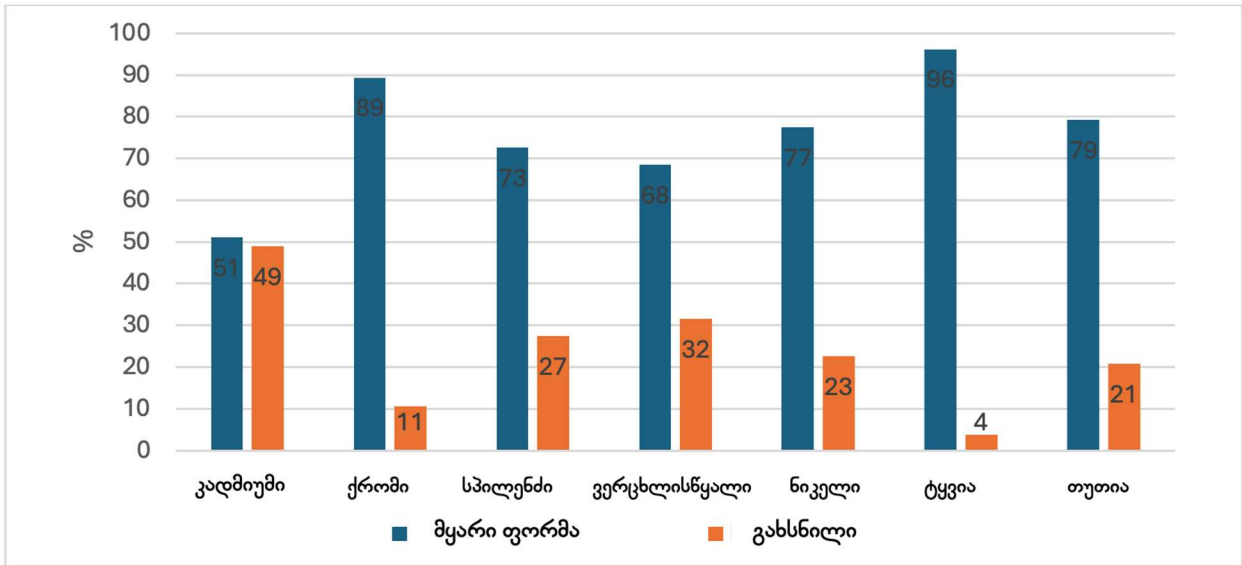
ცხრილი 4. 10 - სშნ კორელაცია სხვა დამაბინძურებლებთან.

დამაბინძურებელი	პარამეტრი	რეგრესიის განტოლება	R-კვადრატი
სშნ	ტყვია	$y = 0.0962x - 3.9711$	$R^2 = 0.9011$
სშნ	მერკური	$y = 0.0055x - 1.0436$	$R^2 = 0.7868$
სშნ	თუთია	$y = 0.5831x + 54.146$	$R^2 = 0.7745$
სშნ	ქრომი	$y = 0.0539x + 2.0238$	$R^2 = 0.7658$
სშნ	სიმღვრიე	$y = 0.2827x + 60.133$	$R^2 = 0.7361$
სშნ	სპილენძი	$y = 0.1039x + 46.994$	$R^2 = 0.7011$
სშნ	ნიკელი	$y = 0.0474x + 3.869$	$R^2 = 0.6957$
სშნ	ჟქმ	$y = 0.2735x + 102.03$	$R^2 = 0.6557$
სშნ	P სრული	$y = 0.0013x + 0.3275$	$R^2 = 0.6246$
სშნ	N სრული	$y = 0.0067x + 2.7695$	$R^2 = 0.5454$
სშნ	კადმიუმი	$y = 0.0003x + 0.2803$	$R^2 = 0.1332$

ცხრილი 4. 11 - ქრომი კორელაცია სხვა მძიმე მეტალებთან.

დამაბინძურებელი	პარამეტრი	რეგრესიის განტოლება	R-კვადრატი
ქრომი	ნიკელი	$y = 0.9143x + 1.3909$	$R^2 = 0.982$
ქრომი	თუთია	$y = 1.5575x - 3.0147$	$R^2 = 0.895$
ქრომი	ტყვია	$y = 9.8179x + 52.415$	$R^2 = 0.8318$
ქრომი	სპილენძი	$y = 1.7093x + 47.501$	$R^2 = 0.7182$
ქრომი	მერკური	$y = 0.0729x - 0.6739$	$R^2 = 0.5283$
ქრომი	კადმიუმი	$y = 0.0042x + 0.2963$	$R^2 = 0.0993$

მძიმე მეტალებისათვის დამატებით შესწავლილ იქნა მათი ფრაქციული წარმომადგენლობა სინჯებში, მყარი და გახსნილი მდგომარეობის პროპორციები.



ნახაზი 4. 43 - მძიმე მეტალების პროპორცია მყარ და გახსნილ ფაზაში.

აღნიშნული ტიპის ანალიზი, ასევე დამაბინძურებლების კონცენტრაციების და მობილიზაციის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ იგივე პარამეტრების პროგნოზი მსგავსი ტიპის წყალშემკრები აუზებისათვის. რაც შეეხება ხარჯების (ჰიდროგრაფების) პროგნოზირებას იგი შესაძლებელია სხვა და სხვა კალიბრირებული მოდელების გამოყენებით ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულ იქნას სვიმ მოდელი.

თავი V მოდელის ადაპტაცია თბილისისათვის

თბილისში მოდელირების რეპლიკაციის ობიექტად შერჩა სამტრედიის ქუჩა, რომელიც იწყება წერეთლის გამზირიდან და მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე მთავრდება და იგი შესაძლებელია განხილულ იქნეს როგორც ცალკე აღებული წყალშემკრები აუზი.

განსაზღვრული აუზის პარამეტრებია, საერთო ფართობია 51194 მ² (5.1194ჰა), მინიმალური დახრა 1,2% შეადგენს, საშუალო 4,3% ხოლო მაქსიმალური 15,5%-ია, მთლიანი სიგრძე 650 მეტრს შეადგენს ხოლო წყალგაუმტარი და წყალგამტარი ზედაპირების ფართობების შეფარდება 80%-20%-ზეა.



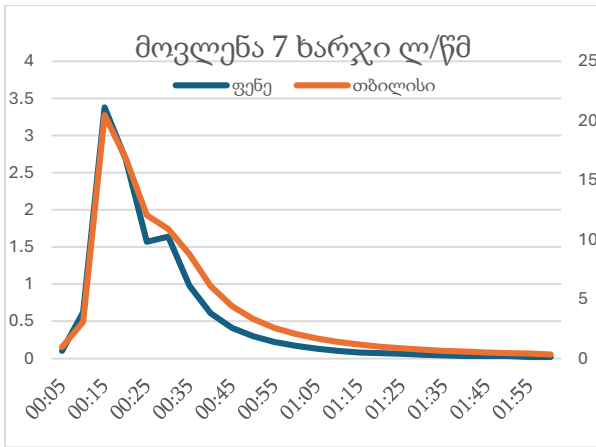
ნახაზი 5. 1 - თბილისის მაგალითზე შერჩეული სამტრედიის ქუჩის აუზი.

წყალშემკრები აუზი მოიცავს როგორც უშუალოდ საავტომობილო გზას, მწვანე ნარგავებს და კერძო დასახლებას, ასევე აუზში შეტანილია გამოფენის ავტოსადგომი.

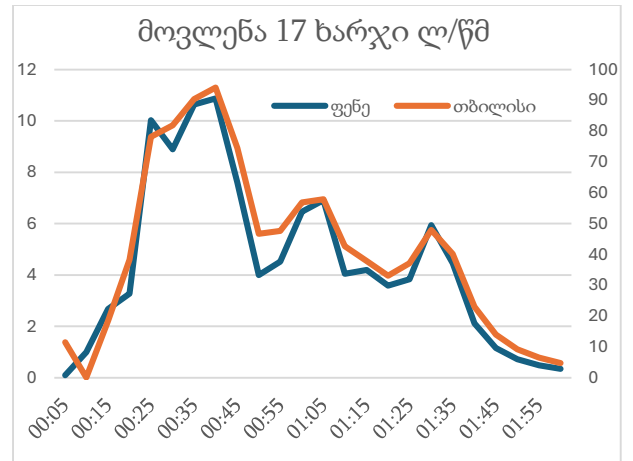
სვიმ მოდელის ვალიდაციისათვის გამოყენებულ იქნა ესპანეთში აღებული ატმოსფერული ნალექების მონაცემები, რომლებიც კალიბრირებული იყო სვიმ მოდელში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მოდელის პარამეტრები ძირითადად იგივე იყო რაც კალიბრირებულ ფენეს მოდელში, ახალ მოდელში ხდებოდა მანინგის სიმქისის კოეფიციენტის ცვლილება, ინფილტრაციისათვის ჰორტონის მეთოდის

პარამეტრების ცვლილება (მაქსიმალური და მინიმალური ინფილტრაციის სიჩქარე). ესპანეთის ქალაქ ფენეში გაანალიზებული 21 მოვლენიდან სამტრედიის ქუჩისათვის შეირჩა 7, 11, 14, 17 და 20 მოვლენები, აქედან მათი უმრავლესობა გამოკვეთილი პირველი ტალღის ეფექტით ხასიათდებოდა ხოლო 17 მოვლენა შედარებით რთული ფორმის ჰიდროგრაფით.

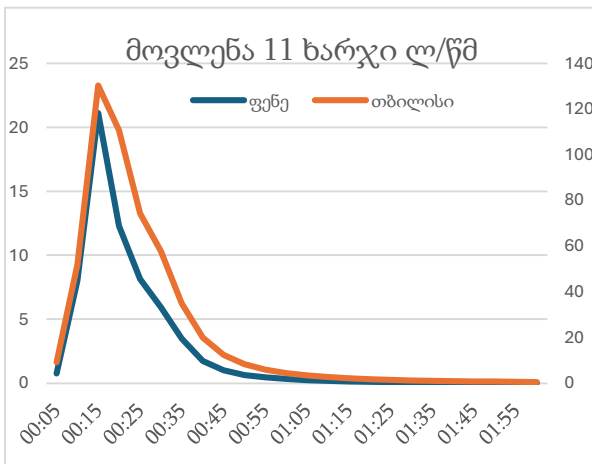
სამტრედიის ქუჩისათვის ყველა შერჩეულმა მოვლენამ მსგავსი ფორმის ჰიდროგრაფები აჩვენა ხარჯები განსხვავებულია თუმცა ეს გამოწვეულია აუზების ზედაპირის ფართობის სხვაობით.



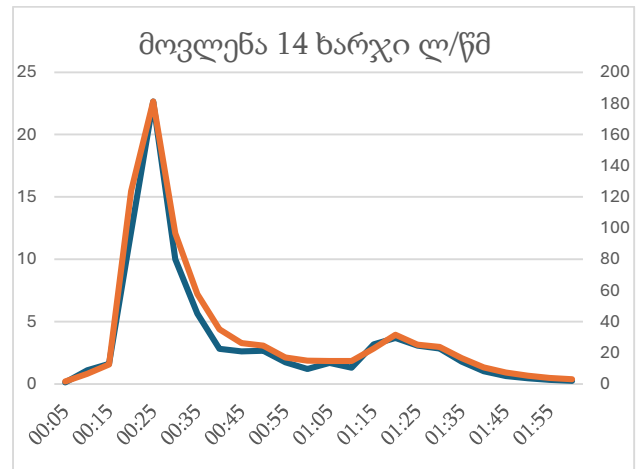
ნახაზი 5. 2 - მე-7 მოვლენის სიმულაცია.



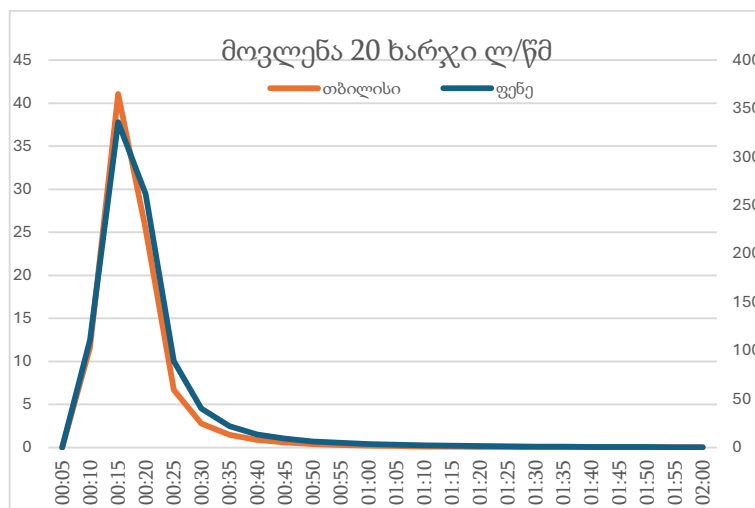
ნახაზი 5. 4 - მე-17 მოვლენის სიმულაცია.



ნახაზი 5. 3 - მე-11 მოვლენის სიმულაცია.



ნახაზი 5. 5 - მე-14 მოვლენის სიმულაცია.



ნახაზი 5. 6 მე-20 მოვლენის სიმულაცია.

აღსანიშნავია, რომ მე-7 მოვლენისას პიკური ხარჯები დაფიქსირდა 3,38 ლ/წმ და 20,47 ლ/წმ ფენესა და თბილისში შესაბამისად, მე-20 მოვლენისას 41,09 ლ/წმ და 336,1 ლ/წმ თბილისისათვის.

აღსანიშნავია რომ ამ ეტაპზე სამტრედიის ქუჩაზე სანიაღვრე ქსელი არ გაედინება, აქედან გამომდინარე შერჩეული მოდელი სისტემის დიზაინისათვის შესაძლებელია იქნეს გამოყენებული, ამისათვის დამატებით თბილისის საშუალო და მაქსიმალური წვიმის ინტენსივობები იქნა გამოყენებული, საშუალოდ აღებულ იქნა 10 მმ/სთ ინტენსივობის წვიმა ხოლო მაქსიმალურ წვიმად 35 მმ/სთ ინტენსივობა.

დასკვნა

დამაბინძურებლების გადაადგილების შესწავლა სანიაღვრე წყლებში და ურბანული წყლების მოდელირების მთავარი მიზანია დამაბინძურებლების კონცენტრაციების განსაზღვრა და მათ ჰიდროგრაფებთან თავსებადობის ანალიზი. ამისთვის გამოყენებულია სპეციალური მოდელი - სვიმი, რომელიც წარმოადგენს ნალექები-ზედაპირული დინების დინამიურ სიმულაციურ მოდელს ძირითადი ურბანული არეებისათვის. მთავარი შემავალი კომპონენტი არის ნალექი და შეუძლია დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების სიმულაცია. მოდელის ყველა პარამეტრი წარმოადგენს დროისა და სივრცის ფუნქციას. იგი ასევე მოიცავს ქუჩის რეალურ სეგმენტზე განთავსებული ხელოვნური დამაბინძურებლების ტრანსპორტირების შესწავლას. მოდელის კალიბრაცია განხორციელდა ლა კორუნიას უნივერსიტეტის ჰიდრაულიკის ლაბორატორიაში.

თბილისში მოდელირების რეპლიკაციის ობიექტად შეირჩა სამტრედიის ქუჩა. მოდელში იდენტური საწყისი მონაცემების შეტანით, ხოლო შემდეგ მოვლენათა ანალიზის შედეგად გამოიკვეთა რომ, დამაბინძურებელი ნივთიერებათა უმრავლესობა (გარდა მძიმე მეტალებისა) წვიმის დროს გამოკვეთილი პირველი ტალღის ეფექტით ხასიათდებოდა ასევე აღსანიშნავია რომ წარმოდგენილი პოლუტოგრაფები და ჰიდროგრაფები შედარებით რთული ფორმით ხასიათდებიან.

თბილისისთვის შერჩეულმა მოვლენამ მსგავსი ფორმის ჰიდროგრაფები აჩვენა, როგორც ფენეს შემთხვევაში. ხარჯები განსხვავებულია თუმცა ეს გამოწვეული იყო აუზების ზედაპირის ფართობების სხვაობით. ასე რომ შეძლება ითქვას არსებული შედეგები შეიძლება ექსტრაპოლირებული იყოს ზედაპირის დატვირთვის სხვადასხვა კონცენტრაციებისთვის.

არსებული ფიზიკური პარამეტრების აუზისათვის 10 მმ/სთ ინტენსივობის წვიმის ზედაპირიდან მოცილება 800 მმ-იანი მილების გამოყენებით შესაძლებელია ზედაპირის შეტბორვის გარეშე, თუმცა სხვადასხვა ზედაპირული დინების დაყოვნებების გამოყენებით შესაძლებელია წყლის ზედაპირზე

დაყოვნება და მილების დიამეტრის შემცირება, ასევე ავტოსადგომის ზედაპირისათვის ე.წ. ნაკლები ზეგავლენის ტექნიკების (Low Impact Development) გამოყენება.

რაც შეეხება მაქსიმალურ 35 მმ/სთ ინტენსივობას, ნებისმიერი პარამეტრებით სიმულაციისას ზედაპირულ დატბორვას ქონდა ადგილი. თუმცა ურბანული წყლების მენეჯმენტის მიდგომებიდან გამომდინარე ეს ფაქტი სტიქიური მოვლენების ფაზაში გადადის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Alley, W. M., & Smith, P. E. (1981). Estimation of accumulation parameters for urban runoff quality modeling. *Water Resources Research*, 17(6), 1657–1664. <https://doi.org/10.1029/WR017i006p01657>
2. Anta Alvarez, J. (2004). ESTUDIO DE LAS CARGAS MOVILIZADAS DE SÓLIDOS POR LA ESCORRENTÍA EN UNA CUENCA URBANA SEPARATIVA. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE ACUMULACIÓN, LAVADO Y ARRASTRE.
3. Aryal, R. K., & Lee, B. K. (2009). Characteristics of suspended solids and micropollutants in first-flush highway runoff. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 9(5–6), 339–346. <https://doi.org/10.1007/s11267-009-9243-9>
4. Ashley, R., Nalluri, C., Tait, S., & Arthur, S. (1999). Sediment Transport in Sewers - a Step Towards the Design of Sewers To Control Sediment Problems. *Proceedings of the ICE - Water Maritime and Energy*, 136, 9–19. <https://doi.org/10.1680/iwtme.1999.31264>
5. Asplund, R.L, Ferguson, J.F, Mar, B. W. (1980). Characterization of Highway Runoff in Washington State.
6. Avelleneda, P., Ballester, T., Roseen, R., & Houle, J. (2009). On Parameter Estimation of Urban Storm-Water Runoff Model. *Journal of Environmental Engineering*, 135(8), 595–608. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000028)
7. Ball, J. E., Jenks, R., & Aubourg, D. (1998). An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Science of the Total Environment*, 209, 243–254. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00319-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00319-7)
8. Barco, J., Papiri, S., & Stenstrom, M. K. (2008). First flush in a combined sewer system. *Chemosphere*, 71(5), 827–833. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.049>
9. Bertrand-Krajewski, J.-L. (2006). Modelling of Sewer Solids Production and Transport. *Cours de DEA “Hydrologie Urbaine.”* Transport, 39.
10. Blair, T. C., & McPherson, J. G. (1999). Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69(1), 6–19. <https://doi.org/10.2110/jsr.69.6>
11. Bolle, A., Demuyneck, A., Willems, P., Bouteligier, R., Bosch, M. S., Verwey, A., and Berlamont, J. (2006). Hydraulic modelling of the two-directional interaction between sewer and river systems.
12. Cadórniga, I. F. (2015). Desarrollo de un modelo dual 1D/2D para el cálculo del drenaje urbano: modelo numérico y validación experimental.

13. Calveiro, R. H. (2012). Suspended solids modelling in combined sewer systems . Sensitivity analysis and comparison of lumped and (Issue December).
14. Castro Díaz, M. J., Fernández-Nieto, E. D., & Ferreiro, A. M. (2008). Sediment transport models in Shallow Water equations and numerical approach by high order finite volume methods. *Computers & Fluids*, 37(3), 299–316. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2007.07.017>
15. Charbeneau, R. J., & Barrett, M. E. (1998). Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *Water Environment Research*, 70(7), 1295–1302. <https://doi.org/10.2307/25045155>
16. Charters, F. J., Cochrane, T. A., & O’Sullivan, A. D. (2015). Particle size distribution variance in untreated urban runoff and its implication on treatment selection. *Water Research*, 85, 337–345. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.029>
17. Chebbo, G. (1992). Solids in Urban Wet-weather Discharges: Characterization and Potential of Treatment. In *Ecole nationale des ponts et chaussees. Ecole nationale des ponts et chaussees.*
18. Chen, A. S., Djordjević, S., Leandro, J., & Savić, D. (2007). The urban inundation model with bidirectional flow interaction between 2D overland surface and 1D sewer networks. *Novatech 2007*, 465–472. <https://doi.org/2042/25250>
19. Update of SuDS construction guidance, (2014).
20. Coutu, S., Kramer, S., Bates, B., & Roudier, P. (2013). Assessing dominant uncertainties in urban buildup/washoff processes under climate change: A case study in Western Switzerland. *Urban Climate*, 5, 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.06.002>
21. Crabtree, M. and. (2003). The Long Term Monitoring of Pollution from Highway Runoff (p. 148).
22. Czuba, J. A., Magirl, C. S., Czuba, C. R., Grossman, E. E., Curran, C. A., Gendaszek, A. S., & Dinicola, R. S. (2011). Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data Sediment Load from Major Rivers into Puget Sound and its Adjacent Waters.
23. Davis, A. P., Shokouhian, M., & Ni, S. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, 44(5), 997–1009. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00561-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00561-0)

24. Deletic, A. (1998). The first flush load of urban surface runoff. *Water Research*, 32(8), 2462–2470. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00470-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00470-3)
25. Deletic A, Orr, D, . (2005). Pollution buildup on road surfaces. *Journal of Environmental Engineering*, 131, 49–59.
26. Deletic, A., & Orr, D. W. (2005). Pollution Buildup on Road Surfaces. *Journal of Environmental Engineering*, 131(1), 49–59. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:1\(49\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(49))
27. Djordjević, S., Prodanović, D., & Maksimović, Č. (1999). An approach to simulation of dual drainage. *Water Science and Technology*, 39(9), 95–103. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00221-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00221-8)
28. Fraga, I., Cea, L., & Puertas, J. (2015). Validation of a 1D-2D dual drainage model under unsteady part-full and surcharged sewer conditions. *Urban Water Journal*, 9006(August), 1–11. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1057180>
29. Fraga, I., Ph, D., Cea, L., & Ph, D. (2009). Global Sensitivity and GLUE-Based Uncertainty Analysis of a 2D-1D Dual Urban Drainage Model. 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001335](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001335).
30. Fulkerson, M., Nnadi, F. N., & Chasar, L. S. (2007). Characterizing Dry Deposition of Mercury in Urban Runoff. *Water, Air, and Soil Pollution*, 185(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9396-y>
31. Gastaldini, M. D. C., Silva, A. R. V, Cauduro, C., Roberta, A., & Silva, V. (2013). Pollutant Distribution on Urban Surfaces: Case Study in Southern Brazil. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 139(2), 269–276. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000617](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000617).
32. Gobel, P., Dierkes, C. and Coldewey, W. G. (2006). Stormwater runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*.
33. Gómez, M., & Martínez-Gomariz, E. (2015). 1D, 2D, and 3D Modeling of a PAC-UPC Laboratory Canal Bend. *Advances in Hydroinformatics. SIMHYDRO 2014*, 00(June), 423–438. https://doi.org/10.1007/978-981-287-615-7_29
34. Gorgoglione, A. (2016). Control and Modeling Non-Point Source Pollution in Mediterranean Urban Basins. April, 202. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4883.7520>
35. Goulding, G., Barrack, B., Jaligoma, G., Muneer, A., Narayanaswamy, K., & Radhakrishnan, V. (2010). Urban Wet-Weather Flows. *Water Environment Research*, 82(10), 941–996. <https://doi.org/10.2175/106143010X12756668800816>

36. Gulson, B. L., Davis, J. J., Mizon, K. J., Korsch, M. J., & Bawden-Smith, J. (1995). Sources of lead in soil and dust and the use of dust fallout as a sampling medium. *Science of the Total Environment*, 166(1–3), 245–262. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04505-U](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04505-U)
37. Gunawardana, C., Goonetilleke, A., Egodawatta, P., Dawes, L., & Kokot, S. (2012). Role of Solids in Heavy Metals Buildup on Urban Road Surfaces. *Journal of Environmental Engineering*, 138(April), 490–498. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000487](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000487)
38. Hergren, L., Goonetilleke, A., & Ayoko, G. A. (2006). Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chimica Acta*, 571(2), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.04.064>
39. Huber, M., Welker, A., & Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment*, 541, 895–919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.033>
40. Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., & Nielsen, A. H. (2010). *Urban and Highway Stormwater Pollution: Concepts and Engineering*.
41. Jacob, D. J. (2006). *Atmospheric Models of Transport and Chemistry*. *Atmospheric Models of Transport and Chemistry*, 1–7.
42. Joshi, U. M., & Balasubramanian, R. (2010). Characteristics and environmental mobility of trace elements in urban runoff. *Chemosphere*, 80(3), 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.03.059>
43. Leandro, J., Chen, A. S., Djordjević, S., & Savić, D. a. (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 495–504. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000037](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000037)
44. Li, M.-H., & Barrett, M. E. (2008). Relationship Between Antecedent Dry Period and Highway Pollutant: Conceptual Models of Buildup and Removal Processes. *Water Environment Research*, 80(8), 740–747. <https://doi.org/10.2175/106143008x296451>
45. Manning, a. J., Baugh, J. V., Soulsby, R. L., Spearman, J. R., & Whitehouse, R. J. S. (2011). Cohesive Sediment Flocculation and the Application to Settling Flux Modelling. *Sediment Transport*, 91–116. <https://doi.org/10.5772/16055>

46. Mourad, M., Bertrand-Krajewsky, J.L., and Chebbo, G. (2005). Sensitivity to experimental data of pollutant site mean concentration in stormwater runoff. *Water Science & Technology*, 51, 155–162.
47. Pitt, R., Bannerman, R., Clark, S., & Williamson, D. (2004). Sources of Pollutants in Urban Areas (Part 2) - Recent Sheetflow Monitoring. *Effective Modeling of Urban Water Systems, Monograph 13, Part 2*, 485–506.
48. Pitt, R., Williamson, D., Bannerman, R., & Clark, S. (2004). Sources of pollutants in urban areas. *Effective Modeling of Urban Water Systems*.
49. Portele, G. J. (1981). *The Effects of Highway Runoff on Aquatic Biota in the Metropolitan Seattle Area*. University of Washington.
50. Prasadani, N. (2010). *QUT Digital Repository* : 22, 806–812.
51. Pye, K., & Blott, S. J. (2004). Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry. *Forensic Science International*, 144(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.02.028>
52. Rossman, L. A. (2017). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics*. II(May).
53. Sabin, L.D.; Jeong, H.L.; Stolzenbach, K.D.; Schiff, K. C. (2005). Contribution of trace metals from atmospheric deposition to stormwater runoff in a small impervious urban catchment. *Water Research*, 39(16), 3929–3937.
54. Saget, A., Chebbo, G., & Bertrand-Krajewski, J. L. (1996). The first flush in sewer systems. *Water Science and Technology*, 33(9), 101–108. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00375-7](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00375-7)
55. Sansalone, J. J., & Buchberger, S. G. (1997). Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water. *Journal of Environmental Engineering*, 123(2), 134–143. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(1997\)123:2\(134\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(1997)123:2(134))
56. Sansalone, J. J., & Cristina, C. M. (2004). First Flush Concepts for Suspended and Dissolved Solids in Small Impervious Watersheds. *Journal of Environmental Engineering*, 130(11), 1301–1314. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:11\(1301\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:11(1301))
57. Sartor, J.D.; Boyd, G.B.; Agardy, F. J. (1974). Water pollution aspects of street surface contaminants. *Water Pollution Control*, 46(458–667).
- Shaheen, D. G. (1975). Contributions of urban roadways to water pollution.

58. Shivalingaiah, B., & James, W. (1984). Algorithms for build-up and wash-off and routing pollutants in urban runoff. *Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage*, 1445–1456.
59. Soonthornnonda, P., Christensen, E. R., Liu, Y., & Li, J. (2008). A washoff model for stormwater pollutants. *Science of the Total Environment*, 402, 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.036>
60. Stenstrom, M. K., & Kayhanian, M. (2005). First Flush Phenomenon Characterization. Report CTSWRT0573, 2(August), 81. http://cs07wwwace.dot.ca.gov/hq/env/stormwater/pdf/CTSW-RT-05-073-02-6_First_Flush_Final_9-30-05.pdf
61. Suárez, J., & Puertas, J. (2005). Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchments in Spain. *Ecological Engineering*, 24(3), 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.005>
62. United Nations Environment Programme, & World Health Organization. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
63. Vacondio, R., Dal Palù, A., & Mignosa, P. (2014). GPU-enhanced finite volume shallow water solver for fast flood simulations. *Environmental Modelling and Software*, 57, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.003>
64. Vaze, J., & Chiew, F. H. S. (2002). Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water*, 4(4), 379–389. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00027-4)
65. Viklander, M. (1998). Particle size distribution and metal content in street sediments. *Journal of Environmental Engineering*, 124, 761–766.
66. Winkler, M. (2005). THE CHARACTERIZATION OF HIGHWAY RUNOFF WATER QUALITY. April, 331–345.
67. Yonge, D., A. Hossain, M. Barber, S. Chen, and D. Griffin. (2002). Wet Detention Pond Design for Highway Runoff Pollutant Control. National Cooperative Highway Research Program.
68. Zafra, C. A., Temprano, J., & Tejero, I. (2008). Particle size distribution of accumulated sediments on an urban road in rainy weather. *Environmental Technology*, 29(5), 571–582. <https://doi.org/10.1080/09593330801983532>

დოქტორანტის მიერ დისერტაციის ირგვლივ გამოქვეყნებული პუბლიკაციები

1. Naves Juan, **Jikia Zurab**, Anta Jose, Puertas Jeronimo, Suarez Joaquin, Regueiro-Regueiro-Picallo Manuel; Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model // WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY, Volume 76 Issue 10 Page 2821-2829, DOI 10.2166/wst.2017.345, 2017
2. Suárez, J., Jiménez, V., Anta, J., Jácome, A., Puertas J, Recarey M, **Jikia, Z.**, Fernández I, CONTAMINACIÓN EN LAS ESCORRENTÍAS PLUVIALES DE AUTOPISTAS Y VIALES CON ALTA INTENSIDAD DE TRÁFICO REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (მაღალი ტრაფიკის ავტოსტადების წვიმის ჩამონადენის დამაბინძურებლების ანალიზი) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, Vol. 3607 Núm. 166 (págs. 58 a 63), Vol. 3607 Núm. 166 (págs. 58 a 63), 2019
3. Juan Naves, **Zurab Jikia**, Jose Anta, Jerónimo Puertas, Joaquín Suárez, Manuel Regueiro, Análisis experimental en laboratorio del arrastre de sólidos en un prototipo de sección viaria// (შეწონილი ნაწილაკების ლაბორატორიული ანალიზი შერჩეული ურბანული სექციის ჩამონადენში), Univesitat polutecnica de valencia, *RLHE.*, 2016
4. Tynan, N., Suárez, J., Anta, J., Ures, P., M Recarey, Regueiro-Picallo, M., Hryshkevich, A., **Jikia, Z.** PROGRAMA DE EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LAS ESCORRENTÍAS PLUVIALES CONTAMINADAS EN UN TRAMO DEL SEGUNDO CINTURÓN DE DONOSTIA-SAN SEBASTIÁ (წვიმის წყლის ჩამონადენის მონიტორინგი და გამწმენდის შეფასება დონოსტია-სან სებასტიანის მეორე შემოვლით გზაზე) Experiencias iberoamericanas en la gestion de escorrentias contaminadas de vials, pp.77-110, <http://Doi.org/10.17979/spudc.9788497498104>, 2021