კოსმოსიდან დანახული ჰაერის დაბინძურება საქართველოში

ხელოვნური თანამგზავრის დაკვირვებისა და კოპერნიკის პროგრამის მონაცემთა ბაზის საფუძველზე მომზადებული კვლევა

პრაღა–თბილისი
2023

ARNIKA

WORLD FROM SPACE

TRANSITION
Ministry of Foreign Affairs of the Czech Republic

კოსმოსიდან დანახული ჰაერის დაბინძურება საქართველოში
© სამყარო კოსმოსიდან 2023
© არნიკა 2023
Published: 2023

მთავარი რედაქტორი: მაგისტრი სიმონა ბოჩკოვა;
ავტორები: მაგისტრი, ბაკალავრი მატუშ ჰრნჩიარ, მაგისტრი იან ხიტრი, მაგისტრი იან ლაბოჰი, მაგისტრი, ბაკალავრი რომან ბოჰოვიც, დოქტორი მარტინ სკალსკი, ინჟინერი მარცელა ჩერნოხოვა, ნინო თოიძე.

აღნიშნული კვლევა გამოქვეყნებულია ინგლისურ და ქართულ ენებზე.
ინგლისური ტექსტის გამართულობა: საიმონ გილი
გრაფიკული დიზაინი: იაკუბ ნემეჩეკ, www.typonaut.cz

ნაშრომი ხელმისაწვდომია ლიცენზიით Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO licence (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo*). ლიცენზიის პირობების მიხედვით, არსებობს კვლევის კოპირების, გავრცელებისა და არაკომერციული მიზნებით ადაპტაციის შესაძლებლობა, შესაბამისი ციტირებისა და მონაცემთა ბაზის წყაროს მითითებით.

კვლევაში გამოყენებულია კოპერნიკის სენტინელის (Copernicus Sentinel) ხელოვნური თანამგზავრის მონაცემები. რუკები მოპოვებულია წყაროებიდან: © OpenStreetMap contributors (openstreetmap.org), geoBoundaries (Runfola et al., 2023), და the Humanitarian Data Exchange (data.humdata.org).

კვლევა გამოქვეყნდა ჩეხეთის საგარეო საქმეთა სამინისტროს „TRANSITION" პროგრამის ფინანსური მხარდაჭერით. დონორი არ არის პასუხისმგებელი კვლევის შინაარსზე.

ISBN 978-80-88508-26-7

სარჩევი

აბრევიატურები და აკრონიმები 4

ძირითადი მიგნებები 5

შესავალი 7

ტრანსპორტით გამოწვეული ჰაერის დაბინძურება 7

აზოტის დიოქსიდი (NO_2) 8

ნახშირბადის მონოქსიდი (CO) 8

მყარი ნაწილაკები (PM_{10}) 10

მონაცემები და მეთოდოლოგია 11

ხელოვნური თანამგზავრი სენტინელ-5P (Sentinel-5P) 11

კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები (CAMS) 11

მონაცემთა დამუშავება 11

შედეგები 13

აზოტის დიოქსიდი (NO_2) 14

საბაზისო ანალიზი 14

ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა 17

ჰაერის დაბინძურება ქალაქებში 18

ტრანსპორტით გამოწვეული ჰაერის დაბინძურება 25

ნახშირბადის მონოქსიდი (CO) 27

საბაზისო ანალიზი 27

ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა 29

მყარი ნაწილაკები (PM_{10}) 31

საბაზისო ანალიზი 31

ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა 36

ჰაერის დაბინძურება ქალაქებში 39

რეკომენდაციები 40

მონაცემთა წყაროები 43

აბრევიატურები და აკრონიმები

CAMS – Copernicus Atmosphere Monitoring Service – კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახური

CO – carbon monoxide – ნახშირბადის მონოქსიდი

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ევროპის ამინდის საშუალოვადიანი პროგნოზების ცენტრი

EEA – European Environment Agency – ევროპის გარემოს სააგენტო

EPA – U. S. Environmental Protection Agency – აშშ-ის გარემოს დაცვის სააგენტო

EU – European Union – ევროპის კავშირი, ევროკავშირი

GIS – geographic information system – გეოგრაფიული ინფორმაციის სისტემა

L2 – Sentinel-5P Level-2 product – Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრის Level-2 ტიპის მონაცემები

MEPA – Ministry of Environmental Protection and Agriculture of Georgia – საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო

NO_2 – nitrogen dioxide – აზოტის დიოქსიდი

PM_{10} – particulate matter under 10 μm – ზომით 10 მიკრომეტრზე მცირე მყარი ნაწილაკი

S5P – Sentinel 5P – ხელოვნური თანამგზავრი სენტინელ-5P

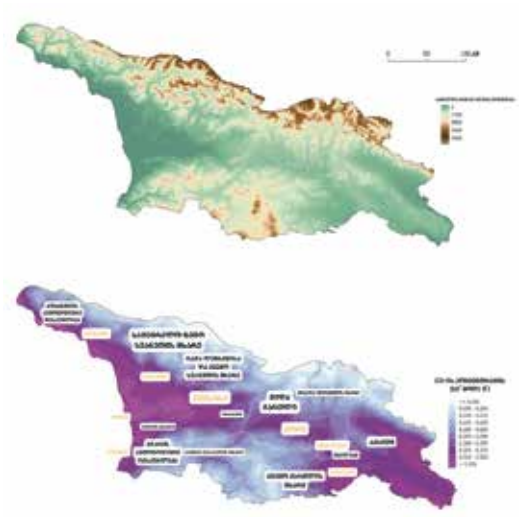
SH – Sentinel Hub – სენტინელის ცენტრი

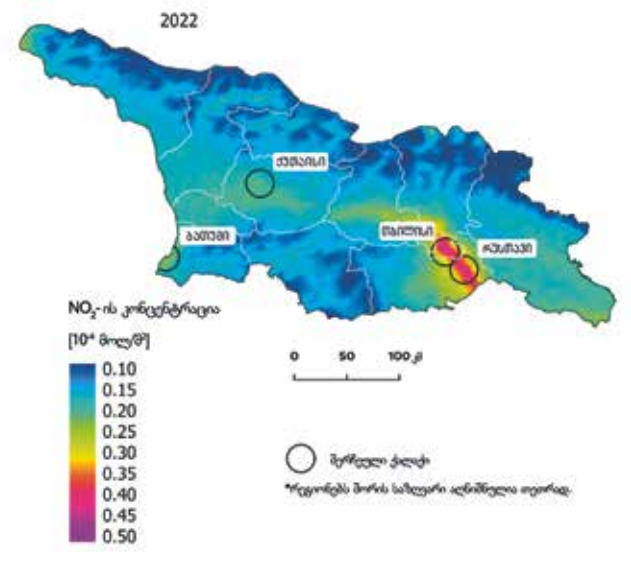
TROPOMI – TROPOspheric Monitoring Instrument – ტროპოსფერული მონიტორინგის ინსტრუმენტი

WHO – World Health Organization – ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია

ძირითადი მიგნებები

სუფთა ჰაერი საზოგადოებრივი ჯანდაცვის, კეთილდღეობისა და ბუნებრივი ეკოსისტემების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია. მავნე ნივთიერებებისა და სათბურის აირების ემისიის შემცირება ხელს უშლის კლიმატური ცვლილებების პროცესის აქსელერაციას. ჰაერის დაბინძურება დღემდე ერთ-ერთი ყველაზე დიდი საფრთხეა ადამიანის ჯანმრთელობისთვის, დაბინძურებული ჰაერი ყოველწლიურად მსოფლიო მასშტაბით 7 მილიონი ადამიანის გარდაცვალების მიზეზია. 2018 წელს ჰაერის დაბინძურებამ საქართველოში ნაადრევი სიკვდილიანობის 4000 შემთხვევა გამოიწვია, ამ ყველაფრის ეკონომიკური ხარჯი $560 მილიონ დოლარს შეადგენდა (მსოფლიო ბანკი, 2021). საქართველო კლიმატური ცვლილებებისადმი ერთ-ერთი ყველაზე მოწყვლადი ქვეყანაა, ასეთ პირობებში კი კვლავ არ არის სრულად მოგვარებული ისეთი საკითხები, როგორებიცაა ჰაერის ხარისხის სტანდარტების საერთაშორისო სტანდარტებთან შესაბამისობა სატრანსპორტო სექტორში და გარემოსდაცვითი პასუხისმგებლობის დაკისრება სამრეწველო სექტორის წარმომადგენლებისთვის. ამ კვლევის მიზანია, სამი მთავარი დამაბინძურებლის, აზოტის დიოქსიდის, ნახშირბადის მონოქსიდისა და მყარი ნაწილაკების (PM_{10}), ემისიის მიზეზების დადგენა გეოგრაფიული თუ სხვა ტიპის მახასიათებლების ანალიზითა

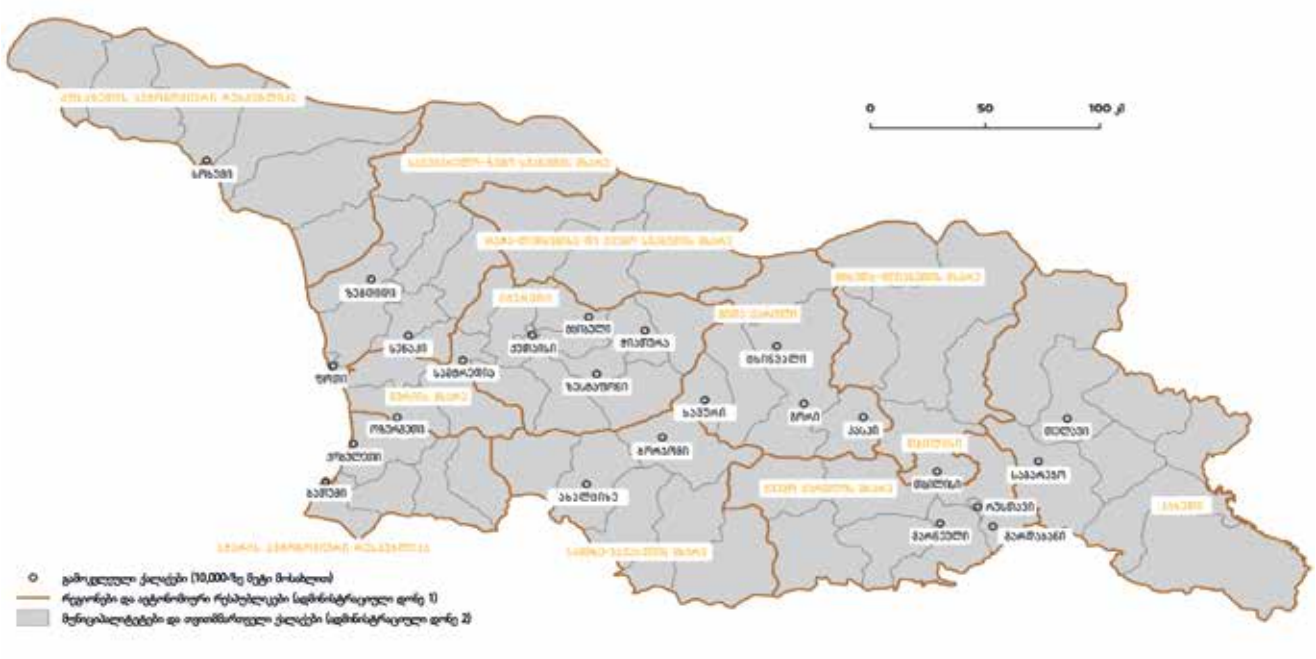




და ინტერპრეტაციით. კვლევა შეჯამდება რეკომენდაციებით ქვეყნის მასშტაბით ჰაერის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

აზოტის დიოქსიდის (NO_2) ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია საქართველოში **მჭიდროდ დასახლებულ ადგილებში,** კერძოდ, დედაქალაქ **თბილისში** (იხილეთ დიაგრამა მარჯვნივ) ფიქსირდება. ასევე მაღალია კონცენტრაცია ქუთაისში, ბათუმში, გორსა და რუსთავში, რომელიც ქვეყნის ერთ-ერთი სამრეწველო ცენტრია. ამ ქალაქებში ვხვდებით დატვირთულ სატრანსპორტო ქსელებს. **აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია ქვეყნის დანარჩენ რეგიონებში ერთმანეთის მსგავსია, რელიეფის განსხვავებების გათვალისწინებით.** კონცენტრაციის ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი მთიან რეგიონებში ფიქსირდება, სადაც ადამიანური აქტივობა დაბალია. ამინდის ზეგავლენით, ქარის ძლიერ ნაკადებს შეუძლია NO_2-ის დისპერსია (გაბნევა) გამოიწვიოს. კოლხეთის დაბლობზე დამაბინძურებლების გავრცელებას ხელს უშლის მთათა სისტემები. **NO_2-ის კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად იზრდება ზამთარში შენობების გასათბობის გამო.** ანალიზისას დაფიქსირდა **საავტომობილო ქსელის დატვირთულობასა და NO_2-ის მაღალ კონცენტრაციებს შორის მჭიდრო კავშირი**. NO_2-ის დაბინძურების მაჩვენებლის ვარიაციის (ცვალებადობის) 44% განპირობებულია საავტომობილო მოძრაობით მოცემულ ტერიტორიაზე (R2 = 0.44).

ჰაერში **ნახშირბადის მონოქსიდის (CO) კონცენტრაციაზე ყველაზე დიდ**



დიაგრამა 1: საქართველოს ქალაქები 10,000-ზე მეტი მოსახლით, რომლებიც შეირჩა ჰაერის დაბინძურების ანალიზისთვის. წყაროები: ადმინისტრაციული ერთეულები (HDX, 2022; Runfola et al., 2023 [geoBoundaries];მოდიფიცირებული), ქალაქები (OpenStreetMap Contributors, 2023).

გავლენას ახდენს გეოგრაფიული ობიექტის **სიმაღლე.** დაბინძურების ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები დაბლობებზე ფიქსირდება, სადაც მთებით გარშემორტყმული ტერიტორიიდან დამაბინძურებლების გაბნევა ვერ ხერხდება (იხილეთ დიაგრამა მარცხნივ). დამაბინძურებლის სივრცითი განაწილება ემთხვევა იმავე გარემოში ბუნებრივ ცვლილებებს, შესაბამისად ნახშირბადის მონოქსიდის ემისიაზე უფრო დიდი გავლენა არა ადამიანის საქმიანობას, არამედ ბუნებრივ წყაროებს აქვს. შედეგად, შეუძლებელია ამ დამაბინძურებლის ანთროპოგენური წყაროების დადგენა საბაზისო ანალიზით, კვლევა არ გვიჩვენებს გამოკვეთილ ანთროპოგენურ წყაროებს, როდესაც უგულებელვყოფთ ბუნებრივს. საერთო ჯამში, კლიმატურ ცვლილებას შეუძლია ზეგავლენა მოახდინოს საქართველოს მასშტაბით CO-ით დაბინძურებაზე, რაც ატმოსფეროში მიმდინარე ქიმიური პროცესებით იქნება განპირობებული.

ზომით 10 მიკრომეტრზე მცირე მყარი ნაწილაკი (PM_{10}) მონაცემების ხელმისაწვდომობის გამო შეფასდა ორი მოდელის მიხედვით. გლობალური მოდელი **ასახავს მომატებულ კონცენტრაციებს ძირითადად ქვეყნის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ქარის მიერ მტვრის მასების გადატანის გამო.** უფრო ზუსტი ევროპული მოდელი გვიჩვენებს **მაღალ კონცენტრაციებს ქალაქებისა და მათი მთავარი ავტომაგისტრალების მიმდებარედ,** კერძოდ თბილისსა და რუსთავში ყველაზე მაღალი საშუალო მაჩვენებლები დაფიქსირდა. PM_{10}–ის წლიურმა ვარიაციამ (მერყეობამ) **არ აჩვენა ძლიერი კორელაცია** კორონავირუსის გავრცელების წინააღმდეგ მიღებული გადაადგილების შეზღუდვის („ლოქდაუნის“) ზომებთან მიმართებით, დაბინძურება კლებულობდა 2022 წლის მიწურულს. **PM_{10}-ის განაწილების სეზონურობა განპირობებულია ბუნებრივი პროცესებით, ზაფხულისა და გაზაფხულის სეზონები** განსაკუთრებით მოქმედებს თბილისსა და რუსთავზე, რადგან **ნაწილაკები გადაადგილდება ქვეყნის დასავლეთისკენ უფრო მშრალი აღმოსავლეთიდან,** ხოლო **ზამთრისა და შემოდგომის პერიოდში დაბინძურება იმატებს დიდ ქალაქებში საცხოვრებელი სახლების გათბობის გამო.** გარდა ამისა, დამატებით, აუცილებელია ტყის ხანძრების დაბინძურებაზე ზეგავლენის უფრო სიღრმისეული გამოკვლევა.

შესავალი

საქართველო კავკასიის რეგიონის ტრანსკონტინენტური ქვეყანაა, რომელსაც უწევს არაერთ გარემოსდაცვით გამოწვევასთან გამკლავება, მათ შორისაა ჰაერის დაბინძურება, გაუტყეურება, წყლის დაბინძურება და ინვაზიური სახეობების სიმრავლე. ამ კვლევის მიზანია, ატმოსფერული ჰაერის რამდენიმე დამაბინძურებელი ნივთიერების ემისიის მიზეზების შესწავლა. საქართველოს „ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ“ კანონის მიხედვით, „ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურება არის ადამიანის საქმიანობის შედეგად ატმოსფერულ ჰაერში ნებისმიერი ნივთიერების გაფრქვევა (ემისია), რომელიც ახდენს ან რომელმაც შეიძლება მოახდინოს უარყოფითი ზეგავლენა ადამიანის ჯანმრთელობასა და ბუნებრივ გარემოზე“ (საქართველოს საკანონმდებლო მაცნე, 1999).

საქართველოს მოსახლეობა დაახლოებით 3.7 მილიონ ადამიანს შეადგენს. დედაქალაქ თბილისში ყველაზე მეტი, დაახლოებით 1.5 მილიონი, ადამიანი ცხოვრობს. ამ ქვეყნის სამრეწველო და სატრანსპორტო სექტორების სწრაფმა ზრდამ, შესაფერისი რეგულაციებისა და კანონის აღსრულების ხარვეზების პირობებში, საქართველოს ბევრ რეგიონში გამოიწვია ჰაერის ხარისხის გაუარესება (Worldometers, 2023). ქვეყანაში ჰაერის დაბინძურების მთავარ წყაროებს წარმოადგენს სატრანსპორტო ემისიები, სამრეწველო საქმიანობა და საცხოვრებელი სახლების გათბობა. ჰაერის დაბინძურება ჯანმრთელობაზე უარყოფით ზეგავლენას ახდენს, იწვევს რესპირატორულ და გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებს. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის ინფორმაციით (WHO, 2023), ჰაერის დაბინძურება მსოფლიო მასშტაბით ფილტვის სიმსივნით, გულის იშემიური დაავადებითა და ინსულტით გარდაცვალების შემთხვევების მესამედის გამომწვევი მიზეზია. 2019 წელს საქართველოში ჰაერის დაბინძურებამ სიკვდილიანობის 5220 შემთხვევა გამოიწვია.

დედაქალაქ თბილისსა და მის შემოგარენში, ასევე რუსთავში რამდენიმე საწარმოა, რომლებიც გამოყოფს ისეთ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს, როგორებიცაა გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის ოქსიდი და მყარი ნაწილაკები. ბევრი ქარხანა მოძველებულ ტექნოლოგიებს იყენებს, რაც დამატებით დაბინძურებას იწვევს.

საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობა ამწვავებს ჰაერის დაბინძურების პრობლემას. რელიეფური ზედაპირი და მთათა სისტემები აკავებს მავნე ნივთიერებებით დაბინძურებულ ჰაერს ბუნებრივად შემოსაზღვრულ ტერიტორიებზე, ძირითადად დაბლობებზე, რაც კონკრეტული დამაბინძურებლების მაღალ კონცენტრაციას იწვევს.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის პროცესს 1960-იან წლებში ჩაეყარა საფუძველი. 2013 წელს მთავრობამ დაიწყო მონიტორინგის მოძველებული სისტემის განახლება და 2020 წელს შეიქმნა სისტემა ინდიკატორული გაზომვების ევროპული სტანდარტებითა და ევროკავშირის ჰაერის ხარისხის მართვის სისტემასთან ჰარმონიზებული კანონმდებლობით (MEPA, 2020 და 2023). პირველ ეტაპზე, რვა ავტომატიზებული სადგური დაყენდა თბილისში, ქუთაისში, ბათუმსა და ჭიათურაში, დამატებით კი ყოველ სამ თვეში სხვადასხვა მუნიციპალიტეტში ტარდებოდა ინდიკატორული გაზომვები (MEPA, 2023).

ტრანსპორტით გამოწვეული ჰაერის დაბინძურება

სატრანსპორტო საშუალებების მზარდი რაოდენობა და მათი ტექნიკური გაუმართაობა წარმოადგენს საფრთხეს ჰაერის ხარისხისთვის საქართველოში. შინაგან საქმეთა სამინისტროს საინფორმაციო-ანალიტიკური დეპარტამენტის ინფორმაციით, საქართველოს მასშტაბით ჰაერის დაბინძურების 71 პროცენტის წყარო ტრანსპორტის სექტორია.

ამ დაბინძურების 37 პროცენტი თბილისზე მოდის, რომელიც მოსახლეობის რიცხოვნობით ყველაზე დიდი ქალაქია, შესაბამისად გადატვირთულია კერძო და სატვირთო ავტომობილებით (საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, 2023 წ.). თბილისის

ჰაერის ხარისხის ანგარიშში ნათქვამია, რომ 2019 წელს საქართველოში მანქანების 90%-ზე მეტი ათ წელზე მეტი ასაკის იყო, რაც გამოიწვია 2004 წელს მოძველებული კერძო მანქანების ექსპორტზე ტარიფების შემცირებამ. ბოლო პერიოდში ავტობუსები წარმატებით ვეღარ გადის ტექნიკურ ინსპექტირებას მოძველებული ტექნოლოგიებისა თუ უსაფრთხოების სისტემების გაუმართაობის გამო (საქართველოს მთავრობა, 2018 წ.). 2024 წელს ახალი ავტობუსების შეძენამ, შესაძლოა, ნაწილობრივ მოაგვაროს აღნიშნული პრობლემა.

სწრაფად იზრდება კერძო ავტომობილების რაოდენობა, ყოველწლიურად დაახლოებით 70,000-80,000 მანქანით. ამ მანქანების დიდი ნაწილი ძველი მოდელია, საწვავის არაეფექტიანი მოხმარებითა და მეტი გამონაბოლქვით (საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, 2023 წ.). 2017 წლის სტატისტიკის თანახმად, ავტომობილების მფლობელთა მხოლოდ 40 პროცენტმა გაიარა ტექნიკური ინსპექტირება. 2019 წლიდან პერიოდული ტექნიკური ინსპექტირება სავალდებულო გახდა და დაწესდა ჯარიმები ინსპექტირების გავლის გარეშე ავტომობილით გადაადგილებისთვის. ამან, შესაძლოა, ოდნავ გააუმჯობესა მდგომარეობა (ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო, 2019), თუმცა კონტროლი ჯერჯერობით მაინც სუსტია.

აზოტის დიოქსიდი (NO_2)

აზოტის დიოქსიდი (NO_2) მნიშვნელოვანი აირია, რომელიც გვხვდება როგორც ტროპოსფეროში, ისე სტრატოსფეროში და ამავდროულად არის ატმოსფეროს ძირითადი დამაბინძურებელი, რომელიც წარმოიქმნება ანთროპოგენური წყაროებიდან. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის ინფორმაციით (WHO, 2000), აზოტის დიოქსიდის მაღალმა კონცენტრაციამ შესაძლოა გამოიწვიოს რესპირატორული ინფექციები და ფილტვების ფუნქციის დაქვეითება, ზრდის შეფერხება. მას ასევე უკავშირდება ბრონქიტისა და ასთმის სიმპტომების გაძლიერება. NO_2-ის წყალთან და ატმოსფეროს სხვა ნივთიერებებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება მჟავური წვიმა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს

NO_2-ის მთავარი წყაროები

- ავტომობილის გამონაბოლქვი
- ქვანახშირზე მომუშავე ელექტროსადგურები
- ნავთობისა და ლითონის რაფინირება

ცვლილებებს ტყეებისა და წყლის ეკოსისტემებში.

ევროპის გარემოს სააგენტოს ჰაერის ხარისხის ანგარიშის (EEA, 2022) თანახმად, **საგზაო ტრანსპორტი** იყო აზოტის ოქსიდების ძირითადი წყარო და ჯამური ემისიის 37 პროცენტს იწვევდა. NO_2-ის სხვა წყაროებია **ნავთობისა და ლითონის რაფინირება,** ელექტროენერგიის გენერაცია **ქვანახშირზე მომუშავე ელექტროსადგურებიდან,** მრეწველობა და საკვების დამუშავება. ამ აირის ბუნებრივ წყაროს წარმოადგენს **ტყის ხანძრებისა და ელვის დროს მიმდინარე, ასევე ნიადაგში მიმდინარე მიკრობიოლოგიური პროცესები.**

ნახშირბადის მონოქსიდი (CO)

ნახშირბადის მონოქსიდი (CO) არის უფერო, უგემო და უსუნო მომწამვლელი აირი. მიიჩნევა, რომ CO არაპირდაპირი სათბურის აირია, რადგან იგი ხელს უწყობს სხვა სათბურის აირების, როგორებიცაა მეთანი, ჰალოკარბონები და ტროპოსფერული ოზონი, ატმოსფეროში უფრო დიდი ხნის განმავლობაში დაგროვებას. CO არის არასრული წვის პროდუქტი, რომელიც შეიძლება მივიღოთ სატრანსპორტო საშუალებების მუშაობის, შენობების გათბობის, ქვანახშირის გამოყენებით ენერგიის გენერაციის, კოქსისა და ფოლადის წარმოებისა და ბიომასის წვის დროს. CO-ის ემისიის დაახლოებით 40 პროცენტი გამოწვეულია ისეთი ბუნებრივი წყაროებით, როგორებიცაა **ვულკანური ამოფრქვევები, ბუნებრივი აირების ემისია, მცენარეული საფარისა და ცხოველების ხრწნის პროცესი და ტყის ხანძრები,** ხოლო ემისიის დარჩენილი 60 პროცენტი გამოწვეულია **წიაღისეული საწვავის მოხმარებით, ნარჩენებისა და**

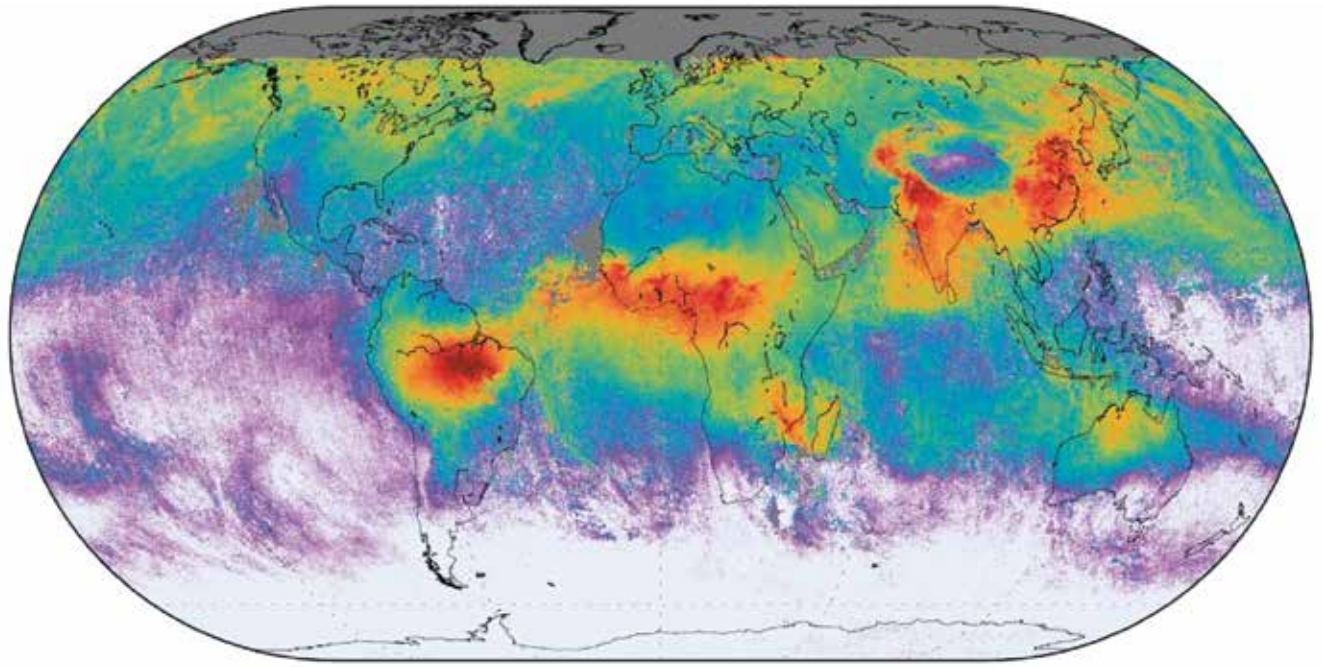
მთავარი ანთროპოგენური წყაროები

- წიაღისეული საწვავის მოხმარება
- ნარჩენების წვა
- ბიომასის წვა

ნახშირის დაწვით, თამბაქოს კვამლით (EEA, 2019).

ეკვატორულ რეგიონებში იზოპრენის ოქსიდაცია და ბიომასის წვა ყველაზე მნიშვნელოვან როლს ასრულებს CO-ის გამოყოფის პროცესში. სხვა განედებზე მთავარ წყაროს წიაღისეული საწვავის წვა წარმოადგენს.

CO-ის ძირითადი შთამნთქავია ჰიდროქსილის რადიკალის ოქსიდაცია (OH), რომელიც ტროპოსფეროს ძირითადი რეაქტიული ელემენტია:



$$CO + OH \rightarrow H + CO_2$$

მსოფლიო მასშტაბით ატმოსფეროში არსებული CO-ის დაახლოებით 90 პროცენტი (და OH-ის 70%) აღნიშნული რეაქციის შედეგად გარდაიქმნება ნახშირორჟანგად, ატმოსფერული CO_2-ის მეექვსედს კი სწორედ ამ პროცესის შედეგად ვიღებთ (Feilberg, 2002). ეს პროცესი გამოკვეთს CO-ის მნიშვნელოვან თავისებურებას ექსტრატროპიკულ განედებზე, რაც მისი სეზონური ციკლია. მართალია, ატმოსფეროში CO ზამთრის განმავლობაში გროვდება, როდესაც OH-ის კონცენტრაცია დაბალია, თუმცა გაზაფხულზე, მოცემული ქიმიური რეაქციის შედეგად (1), ხდება მისი სწრაფად განლევა, გამომდინარე იქიდან, რომ თბილი ჰაერი მეტად ტენიანია, რაც მეტ OH-ს წარმოქმნის. ამრიგად, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში CO-ის კონცენტრაცია ყველაზე დაბალია ივნისში, ივლისსა და აგვისტოში.

არსებობს მკაფიო კაუზალური დამოკიდებულება ადამიანებში დაავადებების გავრცელებასა და ჰაერში ნახშირბადის მონოქსიდის მომატებულ კონცენტრაციას შორის. CO ნეგატიურად მოქმედებს სხვადასხვა

დიაგრამა 2: მსოფლიოში CO-ის სვეტების შერეული თანაფარდობის საშუალო კონცენტრაცია TROPOMI L2 მონაცემებზე დაყრდნობით (13 ნოემბერი - 19 ნოემბერი, 2017). მონაცემები ცალსახად აჩვენებს CO-ის კონცენტრაციის მატებას ბრაზილიის, აფრიკის, მადაგასკარისა და ავსტრალიის ტყის ხანძრების ფონზე. ასევე, ფიქსირდება დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროები ინდოეთსა და ჩინეთში. წყარო: TROPOMI, 2023.

ორგანოს ქსოვილებზე, რომლებსაც განსაკუთრებით სჭირდება ჟანგბადი – ტვინი, გული და ჩანასახი, რომელიც განვითარების პროცესშია. დადასტურებულია ნახშირბადის მონოქსიდის ტოქსიკური ზემოქმედება ორსულობის დროს დედის ჯანმრთელობასა და ჩვილებში გულის თანდაყოლილი დეფექტების განვითარებაზე (EPA, 2022). ნახშირბადის მონოქსიდის მაღალი კონცენტრაცია აძლიერებს სხვა დამაბინძურებლების (O_3, SO_2, PM, NO_2) ერთობლივ მოქმედებას და ზრდის ყველა რესპირატორული დაავადების რისკს.

მიუხედავად იმისა, რომ ატმოსფეროში CO გროვდება ზამთარში, გაზაფხულზე ბუნებრივი რეაქციების შედეგად ხდება მისი სწრაფად განლევა. ამრიგად, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში CO_2-ის კონცენტრაცია, როგორც წესი, ყველაზე დაბალია ივნისში, ივლისსა და აგვისტოში (NOAA 2015).

მყარი ნაწილაკები (PM_{10})

მყარი ნაწილაკები, იგივე ატმოსფერული აეროზოლები, მყარი ან თხევადი ნაწილაკებია, რომლებიც გაფანტულია ჰაერში და შეუძლია თავისუფლად გადაადგილება. მათი კლასიფიკაცია არა ქიმიური შემადგენლობის, არამედ ზომის მიხედვით ხდება. ზომით 2.5 მიკრომეტრზე მცირე მყარი ნაწილაკები ($PM_{2.5}$) ძირითადად მექანიკური პროცესების შედეგად წარმოიქმნება, მაგალითად, სამშენებლო სამუშაოები, საავტომობილო გზის რეაბილიტაცია და ასევე ქარის ნაკადების გადაადგილება, ხოლო ზომით 10 მიკრომეტრზე მცირე მყარი ნაწილაკები (PM_{10}) წვის პროდუქტია, დამაბინძურებელ წყაროებს შორისაა **სახლების გათბობა** და **ტრანსპორტი.** სხვა მნიშვნელოვანი წყაროებია **სამრეწველო პროცესები** და **ელექტროსადგურები.** ბუნებრივი გზით ნაწილაკები ატმოსფეროში ხვდება **ვულკანური აქტივობის, ხანძრების, ეროზიისა და ზღვის წყლის** დახმარებით (WHO, 2013). გარკვეულ ტერიტორიაზე ტყის საფარის არარსებობის გამო წარმოქმნილი მტვრის ქარიშხლები ატმოსფეროში PM_{10} ნაწილაკების დამატებით წყაროდ შეიძლება იქცეს.

მყარი ნაწილაკების მაღალი კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში ნეგატიურ გავლენას

მთავარი ანთროპოგენური წყაროები

- სამშენებლო სამუშაოები
- ტრანსპორტი
- სახლების გათბობა
- სამრეწველო პროცესები
- ელექტროსადგურები

ახდენს ადამიანების ჯანმრთელობაზე (WHO, 2005). მიყენებული ზიანის სიმძიმე დამოკიდებულია მყარი ნაწილაკების ზომაზე, ფორმასა და ქიმიურ შემადგენლობაზე, მაგრამ ზოგადად მყარი ნაწილაკები ყველაზე დიდ საფრთხეს გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ჯანმრთელობისთვის წარმოადგენს. PM ნაწილაკები ტოქსიკური და კანცეროგენურია (Karlsson et al., 2004), ამ დამაბინძურებელს შეუძლია დაარღვიოს ენდოეპითელური უჯრედების მთლიანობა, ასევე, გაზარდოს თრომბოზის რისკები (Gilmour et al., 2005), ხელი შეუწყოს ინსულტის, მიოკარდიალური ინფარქტისა და ათეროსკლეროზის განვითარებას (Künzli et al., 2005).

მყარი ნაწილაკები ასრულებს კატალიზატორის როლს მის ზედაპირზე მიმდინარე ქიმიური რეაქციებისთვის. შესაბამისად, ამ ნაწილაკების უარყოფითი ეფექტი შესაძლოა გაიზარდოს ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების მიხედვით. ყველა ეს გარემოება ართულებს მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის „უსაფრთხო“ დონის დადგენას, შესაბამისად ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციას აქვს რეკომენდაციები საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის საფრთხეების მინიმალურ დონემდე დასაყვანად.

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ დაადგინა **წლიური საშუალო მნიშვნელობები** მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციისთვის, რათა შემცირდეს მათი უარყოფითი ზეგავლენა ადამიანების ჯანმრთელობასა და ჰაერის ხარისხზე. PM_{10}-ის შემთხვევაში შესაბამისი მნიშვნელობაა **20 მკგ/მ³,** გასაშუალოების 24-საათიანი პერიოდისთვის კი – 50მკგ/მ³ (WHO, 2023b).

მონაცემები და მეთოდოლოგია

ხელოვნური თანამგზავრი სენტინელ-5P (Sentinel-5P)

ატმოსფეროს მონიტორინგისთვის განკუთვნილი ხელოვნური თანამგზავრი სენტინელ-5P 2017 წელს გაუშვეს კოსმოსში ევროკავშირის კოპერნიკის პროგრამის ფარგლებში. იგი თან ატარებს TROPOMI სპექტრომეტრს (ტროპოსფერული მონიტორინგის ინსტრუმენტს), რომელიც მოიცავს სპექტრულ დიაპაზონს ულტრაიისფერი გამოსხივებიდან ინფრაწითელ გამოსხივებამდე. თანამგზავრი S5P ყოველდღიურად ზომავს ისეთი აირების ემისიას, როგორებიცაა NO_2, ოზონი, ფორმალდეჰიდი, SO_2, მეთანი და ნახშირბადის მონოქსიდი (გამოსახულების მასშტაბირება – 5.5 კმ × 3.5 კმ, ~7 კმ, ~5.5 კმ 2019 წლის აგვისტომდე).

კვლევაში სენტინელ-5P ხელოვნური თანამგზავრის Level-2 ტიპის მონაცემები გამოყენებულია ანალიზის დამატებითი ვალიდაციისთვის. იგი უზრუნველყოფს სენტინელ-5P ხელოვნური თანამგზავრის მიერ კვლევის ინტერესის არეალის სრულ და ხარისხიან დაფარვას.

კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები (CAMS)

მყარი ნაწილაკების (PM_{10}) კონცენტრაციების შესაფასებლად გამოყენებულია კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები (CAMS). აღნიშნული სამსახური ფუნქციონირებს კოპერნიკის პროგრამის ფარგლებში, რომელიც ევროპის ამინდის საშუალოვადიანი პროგნოზების ცენტრის მიერ დაინერგა. CAMS-ის მონაცემთა ბაზა სანდო ინფორმაციას გვაწვდის მსოფლიო მასშტაბით ჰაერის დაბინძურების, მზის ენერგიის, სათბურის აირებისა და კლიმატური მდგომარეობის შესახებ.

საქართველოსთვის მონაცემთა 2 ჯგუფი იყო გამოყენებული: ევროპული და გლობალური მოდელები, რადგან ევროპული მოდელი არ მოიცავს, არ ფარავს საქართველოს სრულ ტერიტორიას. ევროპული CAMS მოდელი აგროვებს და აანალიზებს ყოველდღიურ მონაცემებს ჰაერის ხარისხის პროგნოზირების 9 ევროპული სისტემის გამოყენებით. ამავდროულად, ევროპულ მოდელში ანალიზისას გამოიყენება ევროპის გარემოს სააგენტოს მონაცემებიც, რათა შედეგები მაქსიმალურად სრულყოფილი იყოს.

გლობალური CAMS მოდელი ჰაერის ხარისხის მაჩვენებლების პროგნოზირებისთვის იყენებს 50 ქიმიურ ელემენტს (მათ შორის, ოზონი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირორჟანგი) და 7 სხვადასხვა ტიპის აეროზოლს (უდაბნოს მტვერი, ზღვის მარილი, სულფატი, ნიტრატი, ამონიუმის აეროზოლი). ანალიზი, რომელიც პროგნოზირების საწყის ეტაპზე ატმოსფეროს მდგომარეობის შეფასების საუკეთესო საშუალებაა, ემყარება ხელოვნური თანამგზავრის უახლეს მონაცემებს, წარსულ პროგნოზებს და მონაცემთა ასიმილაციას.

მონაცემთა დამუშავება

მონაცემები ავტომატურად დამუშავდა პითონის სკრიპტის გამოყენებით. **კვლევის დროითი პერიოდია 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი.** რუკებსა და გრაფიკებზე, **PM_{10}-ის კონცენტრაცია მოცემულია საზომი ერთეულით მკგ/მ^3, ხოლო NO_2-ისა და CO-ის შემთხვევაში გამოყენებულია ერთეული 10^{-4} მოლ/მ^2**

ხელოვნური თანამგზავრი სენტინელ-5 დღეში ერთხელ იღებს მონაცემებს საქართველოს შესახებ. მიღებული მონაცემთა ბაზა ხელოვნური თანამგზავრის სხვადასხვა მდებარეობიდან, განსხვავებული ზომისა და ორიენტაციის ბადის პირობებში დაფიქსირებული მაჩვენებლების გაერთიანებაა. მონაცემთა სისტემატიზაციისთვის, ხელოვნური თანამგზავრის დაკვირვებები მოექცა სტანდარტული ზომის ბადეში, გამოსახულების მასშტაბირებით **1 × 1 კმ.**

CAMS მოდელი დაბინძურების მაჩვენებლებს ყოველდღიურად აგროვებს რამდენიმე სხვადასხვა მეთოდით. გლობალური მოდელი აფიქსირებს დამაბინძურებლების კონცენტრაციას დღეში ორჯერ ერთსა და იმავე დროს: 0:00 და 12:00 საათზე. ევროპული მოდელი საათში ერთხელ გვაწვდის მონაცემებს. ორივე შემთხვევაში, დღიური საშუალო მაჩვენებლები გამოითვლება დღის განმავლობაში დაფიქსირებული დაბინძურების კონცენტრაციის მაჩვენებლების არითმეტიკული საშუალოს დათვლით.

დღიური საშუალო მაჩვენებლები სიღრმისეული ანალიზის საფუძველს წარმოადგენს, მათზე დაყრდნობით შესაძლებელია 2018-2022 წლების პერიოდის საშუალო მაჩვენებლისა და მედიანების, წლიური საშუალო მაჩვენებლისა და მედიანების, სეზონური საშუალო მაჩვენებლისა და მედიანების, თვიური საშუალო მაჩვენებლისა და მედიანების გამოთვლა. თვიური საშუალო მაჩვენებლები გაიზომა კონკრეტულ თვეში დაფიქსირებული ყველა მონაცემის საშუალოს დათვლით 2018–2022 წლების პერიოდში. სეზონური დაბინძურების შეფასებისას, განისაზღვრა ოთხი სამთვიანი სეზონი: ზამთარი (დეკემბერი-თებერვალი), გაზაფხული (მარტი-მაისი), ზაფხული (ივნისი-აგვისტო) და შემოდგომა (სექტემბერი-ნოემბერი), რითაც გამარტივდა ამინდის ზეგავლენით ჰაერის ხარისხის ცვლილების დაფიქსირება.

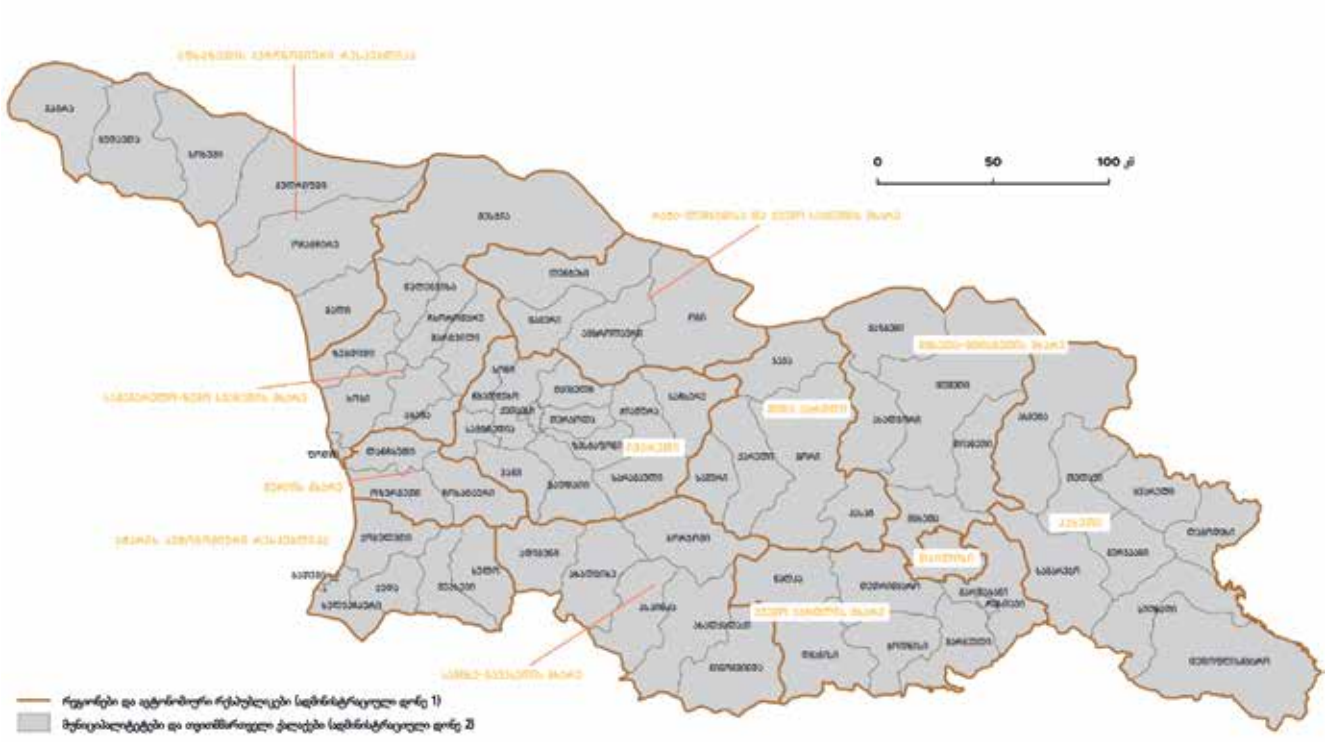
საქართველოს სხვადასხვა ზონაში დაბინძურების საშუალო კონცენტრაციის შესაფასებლად რასტრული გამოსახულება იყო გამოყენებული. ამ ზონებში ექცევა საქართველოს ადმინისტრაციული ერთეულები, რეგიონები და მუნიციპალიტეტები, ასევე ცალკეული ქალაქები 10,000-ზე მეტი მოსახლით.

სატრანსპორტო სექტორის ჰაერის ხარისხზე გავლენის დასადგენად, საავტომობილო გზების გადატვირთულობა შედარებულია NO_2-ის კონცენტრაციებთან. გზების შესახებ მონაცემები OpenStreetMap-ის მონაცემთა ბაზიდან არის აღებული, ძირითადად შერჩეულია ავტომაგისტრალები, მთავარი და მასთან დაკავშირებული გზები, ავტობუსის მარშრუტები, არაკლასიფიცირებული გზები. სხვადასხვა მაგისტრალის მნიშვნელობის გასარჩევად, თითოეულ მათგანს განსხვავებული წონა მიენიჭა, ჩამონათვალში ყველაზე მნიშვნელოვან გზას ავტომაგისტრალი წარმოადგენს. 7-კილომეტრიანი რადიუსების გამოყენებით, ყოველი წერტილისთვის დადგინდა გზის დატვირთულობის მაჩვენებელი. შედეგი 1კმ-იანი მასშტაბირების მქონე რასტრული გამოსახულებებია.

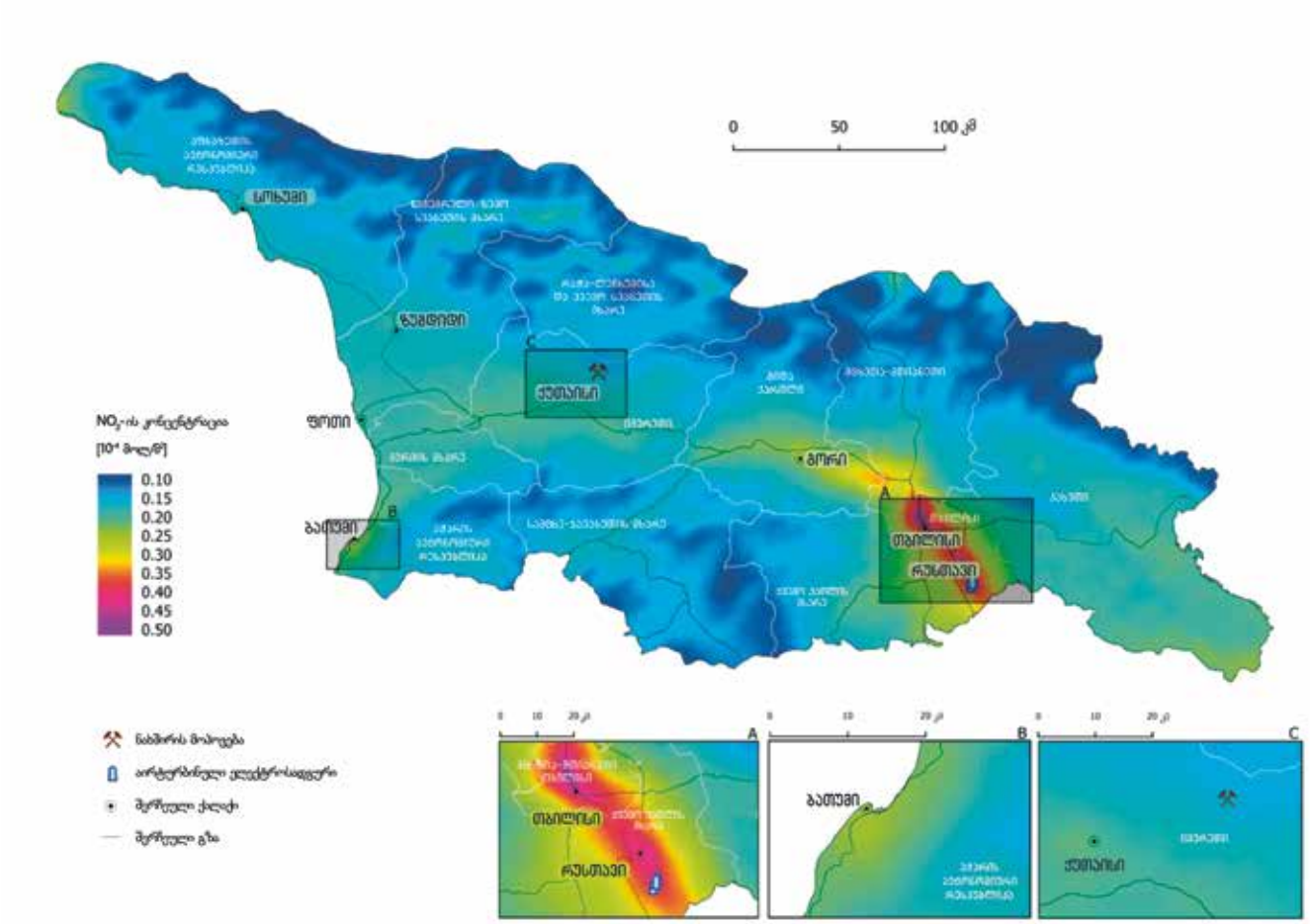
.

შედეგები

ჰაერის დაბინძურების ანალიზის შედეგები მოიცავს რუკებსა და გრაფიკებს ცალკეული დამაბინძურებლებისთვის, ასევე მათი განაწილების ინტერპრეტაციას საკვლევი პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. დიაგრამა 3 გვიჩვენებს საქართველოს იმ ადმინისტრაციულ ერთეულებს, რომლებისთვისაც ანალიზი გაკეთდა. გამოყოფილია ადმინისტრაციული დაყოფის 3 დონე შემდეგი წყაროების მიხედვით: geoBoundaries (Runfola et al., 2023), the Humanitarian Data Exchange data (HDX, 2022). ასევე, გამოყოფილია თვითმმართველი ქალაქები (იხილეთ https://newnala.nala.ge/Cities). კვლევაში სხვადასხვა დონეს სხვადასხვა აღნიშვნა მიენიჭა: დონე 0 – ქვეყანა, დონე 1 – რეგიონი, დონე 2 – მუნიციპალიტეტი (ან თვითმმართველი ქალაქი).



დიაგრამა 3: საქართველოს ადმინისტრაციული დაყოფა. წყაროები: HDX, 2022 და Runfola et al. [geoBoundaries], 2023; მოდიფიცირებული.

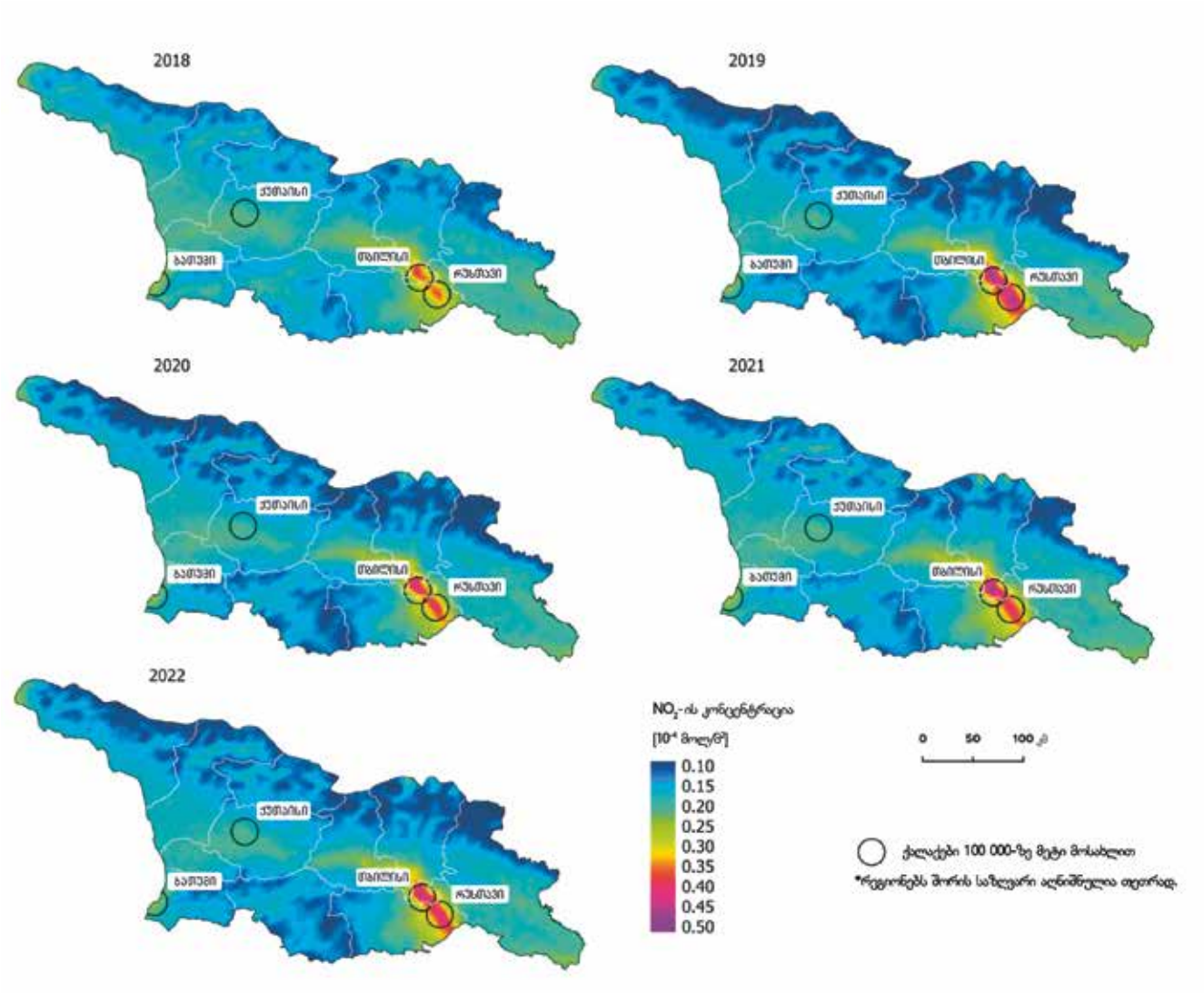


დიაგრამა 4: საქართველოში აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), გზები და ქალაქები (OpenStreetMap Contributors, 2022), ნახშირი და აირი (Global Energy Monitor, 2023).

აზოტის დიოქსიდი (NO_2)

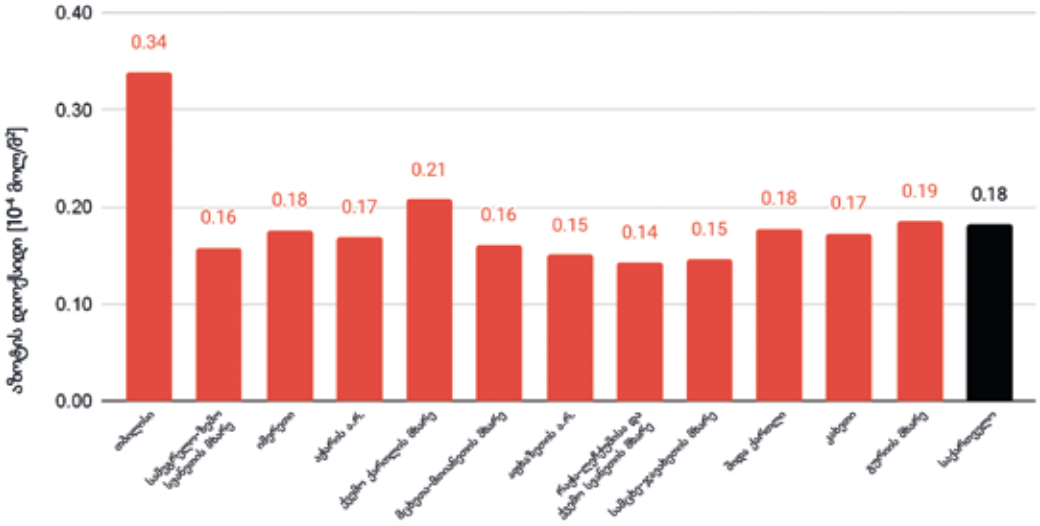
საბაზისო ანალიზი

დიაგრამა 4 გვიჩვენებს საქართველოში აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციის განაწილებას. რელიეფს შეუძლია, მოახდინოს გავლენა აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციაზე დისპერსიასა და მავნე ნივთიერების გადაადგილებაზე ზეგავლენის გზით. ხეობებისა და მთაგორიანი რეგიონების გეოგრაფიამ ასევე შესაძლოა მოახდინოს გავლენა აზოტის დიოქსიდის განაწილებაზე. ამ დამაბინძურებლის ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია ძირითადად ურბანულ რეგიონებში ფიქსირდება, სადაც ტრანსპორტისა და მრეწველობის სექტორების ემისიები საკმაოდ მაღალია. ხეობების შემთხვევაში, დამაბინძურებლის კონცენტრაციის მაღალი დონის ხანგრძლივად შენარჩუნებაზე მოქმედებს თერმული ინვერსიები და ქარის ნაკადების გადაადგილება. გარდა ამისა, რელიეფი უშუალოდ რეგიონებს შორის დაბინძურების მაჩვენებლების განსხვავების მიზეზიცაა, შედეგად ზოგი რეგიონი უფრო მოწყვლადია მიმდებარე ტერიტორიაზე სამრეწველო ზონების დაბინძურების მიმართ. კვლევის მიხედვით, ფიქსირდება კორელაცია აზოტის დიოქსიდის მაღალ კონცენტრაციას, ჰაერის დაბინძურებას, სამრეწველო სექტორსა და მოსახლეობის სიმჭიდროვეს შორის. აზოტის დიოქსიდის დაბინძურების მაღალი მაჩვენებლები ფიქსირდება თბილისის, რუსთავისა და გარდაბნის მიმდებარე ტერიტორიაზე, სადაც სამრეწველო ობიექტებია განთავსებული.

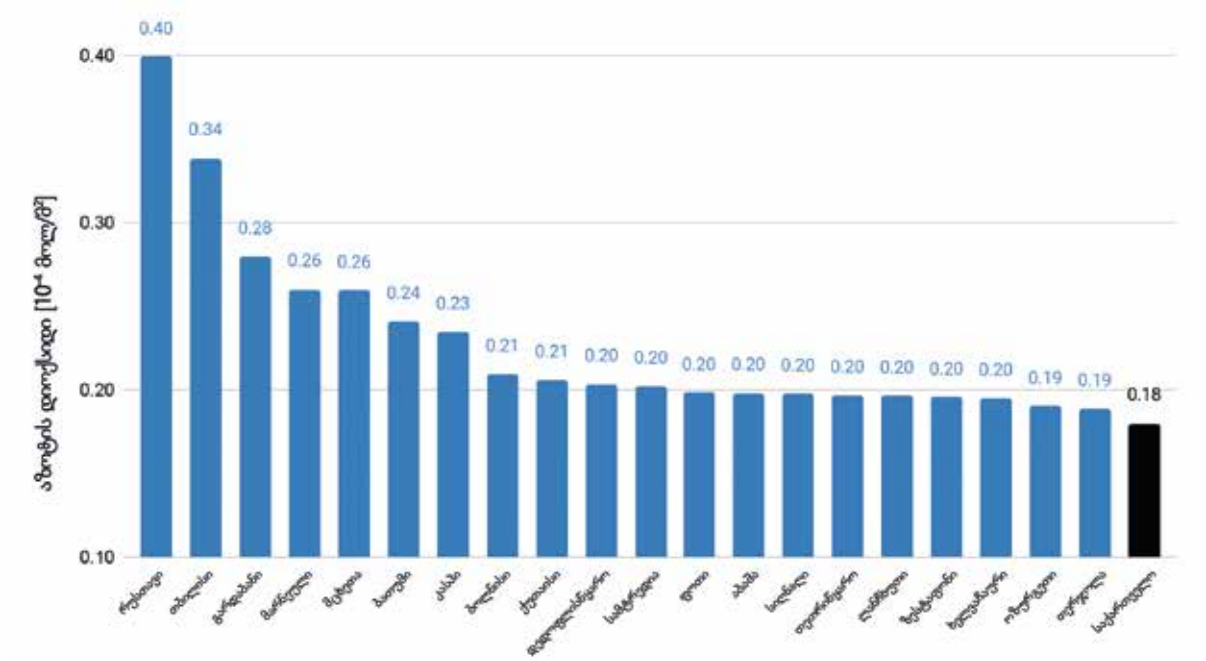


დიაგრამა 5: საქართველოში აზოტის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით.
წყაროები: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული

დიაგრამა 5-ზე მოცემული რუკები აჩვენებს აზოტის დიოქსიდის განაწილებას საქართველოში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. ერთსა და იმავე ტერიტორიაზე დამაბინძურებლის კონცენტრაცია იცვლება 5 წლის განმავლობაში, განსაკუთრებით კი ხეობაში ჩრდილოეთისა და სამხრეთის მთათა სისტემას შორის. ყველაზე მაღალი დაბინძურება დედაქალაქ თბილისსა და მის გარშემო რეგიონებში, ქვემო და შიდა ქართლში, ფიქსირდება. ეს ტერიტორია გამოირჩევა მოსახლეობის მაღალი სიმჭიდროვითა და დატვირთული საავტომობილო მოძრაობით. ფიქსირდება დაბინძურების მაჩვენებლის მკვეთრი ზრდა 2018 და 2019 წლებში, რაც შესაძლოა აიხსნას 2018 წლის დასაწყისში მონაცემების არარსებობით, როდესაც სახლების გათბობის გამო აზოტის დიოქსიდით დაბინძურება, როგორც წესი, იმატებს.



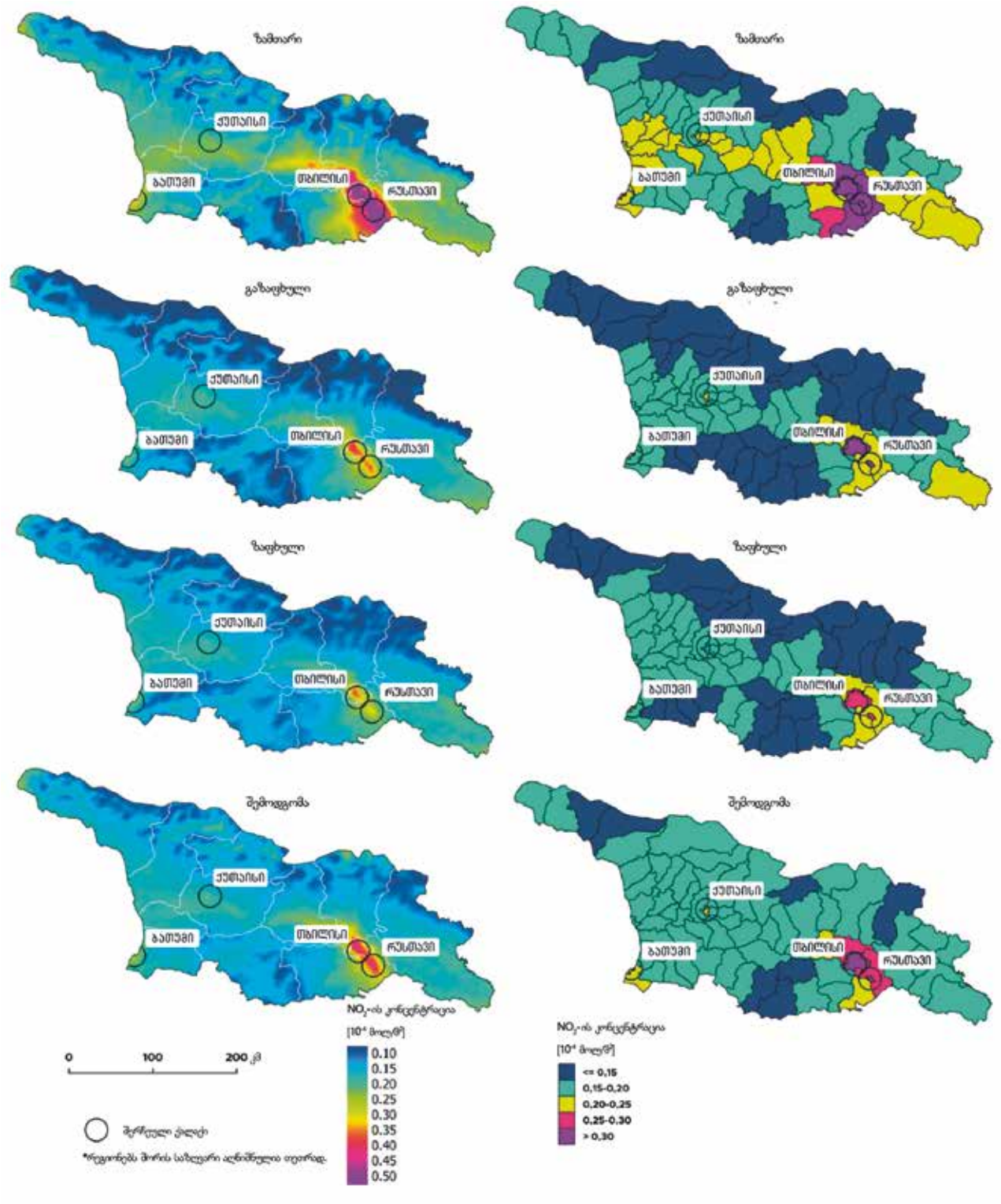
დიაგრამა 6: საქართველოს რეგიონებში აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით.
წყაროები: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.



დიაგრამა 7: საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციის მიხედვით პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

დიაგრამა 6 ერთმანეთს ადარებს აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციებს საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. მნიშვნელოვნად მაღალია დაბინძურების მაჩვენებელი თბილისში, ასევე მიმდებარე რეგიონებში, ქვემო და შიდა ქართლში, სადაც ურბანიზაციის დონე უფრო მაღალია და მეტი სამრეწველო ობიექტია განთავსებული.

დიაგრამა 7-ზე შედარებულია საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციის მიხედვით. ყველაზე მაღალია დაბინძურება ქალაქ რუსთავში, რომელიც ცნობილია სამრეწველო ობიექტების სიმრავლით, რკინისა და სხვა მძიმე მეტალების წარმოებით, რაც აზოტის დიოქსიდის

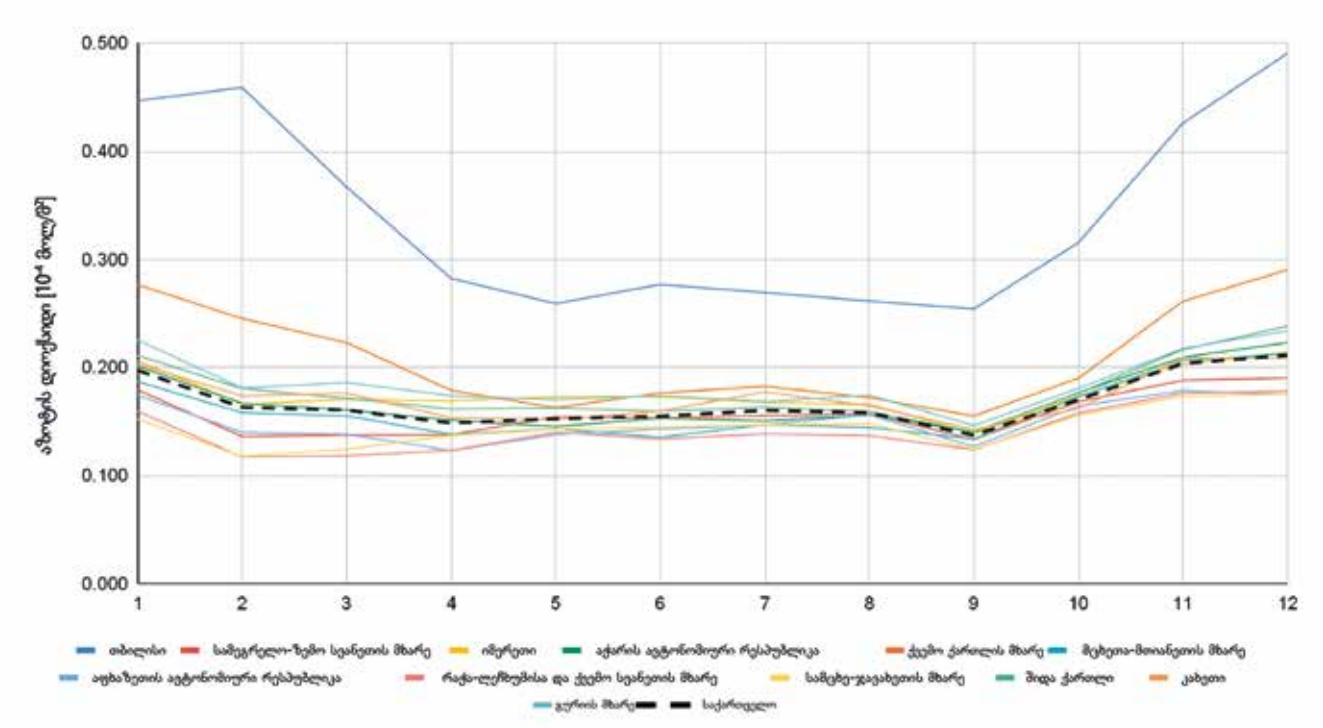


დიაგრამა 8: აზოტის დიოქსიდის საშუალო სეზონური კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

ემისიის მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. რაც შეეხება დედაქალაქს, ტრანსპორტის სექტორი ზემოხსენებული დამაბინძურებლის მთავარი წყაროა.

ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა

დიაგრამა 8 გვიჩვენებს აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის სეზონურ ცვლილებებს, დაბინძურების ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები



დიაგრამა 9: აზოტის დიოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

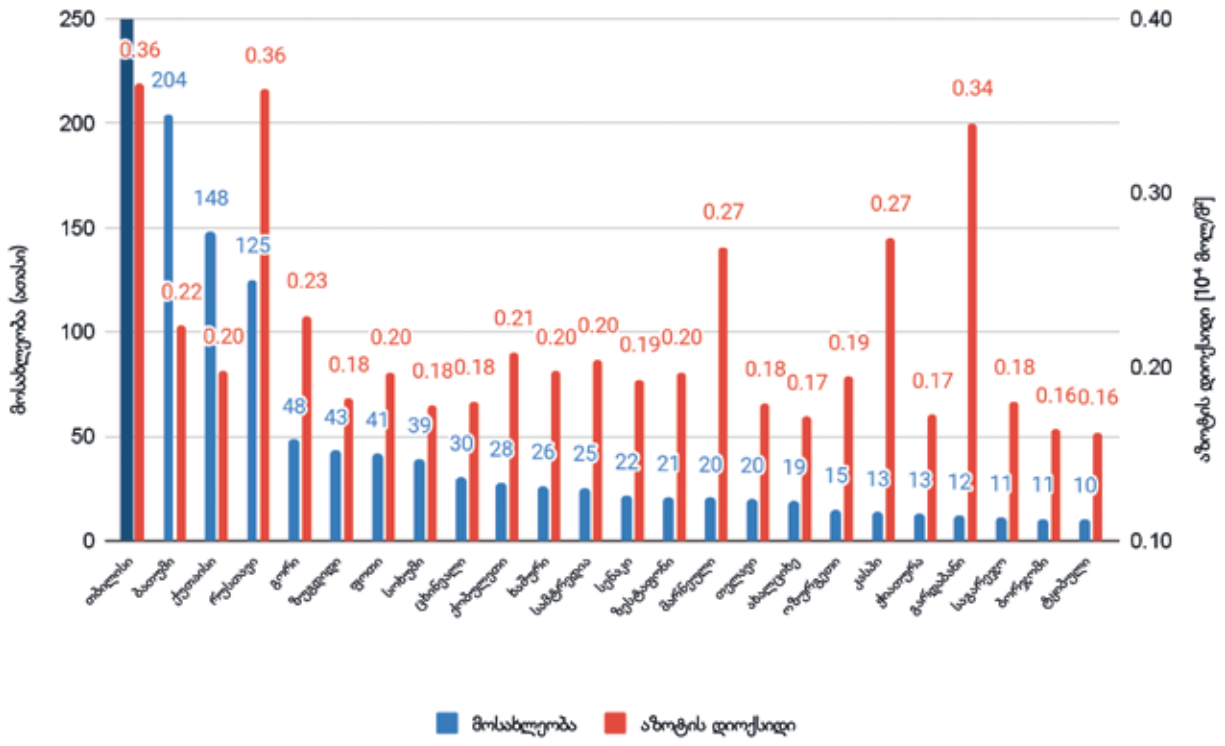
ზამთარშია, როდესაც საცხოვრებელი სახლების გათბობის საჭიროებაა. დაბინძურების განაწილება მუდმივია სეზონების მიხედვით. ქვეყნის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში დამაბინძურებლის კონცენტრაცია შედარებით მაღალია, რაც თბილისისა და რუსთავის გავლენითაა გამოწვეული. აგრეთვე მაღალია დაბინძურება კოლხეთის დაბლობზე, რომელიც მთებითაა შემოსაზღვრული, რაც აფერხებს ჰაერის ნაკადების მოძრაობას. აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის მატების სხვადასხვა წყაროა სამრეწველო აქტივობა, სატრანსპორტო ემისიები და ტყის ხანძრები. არასათანადო ამინდის პირობებმა და ქარის მიმართულებამ, შესაძლოა, გააუარესოს სიტუაცია.

დიაგრამა 9-ზე შედარებულია აზოტის დიოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაცია თითოეული რეგიონისთვის. დაბინძურების მაჩვენებლები იზრდება ზამთარში, რაც გამოწვეულია შენობების გათბობის საჭიროებითა და ელექტროენერგიის მოხმარების ზრდით.

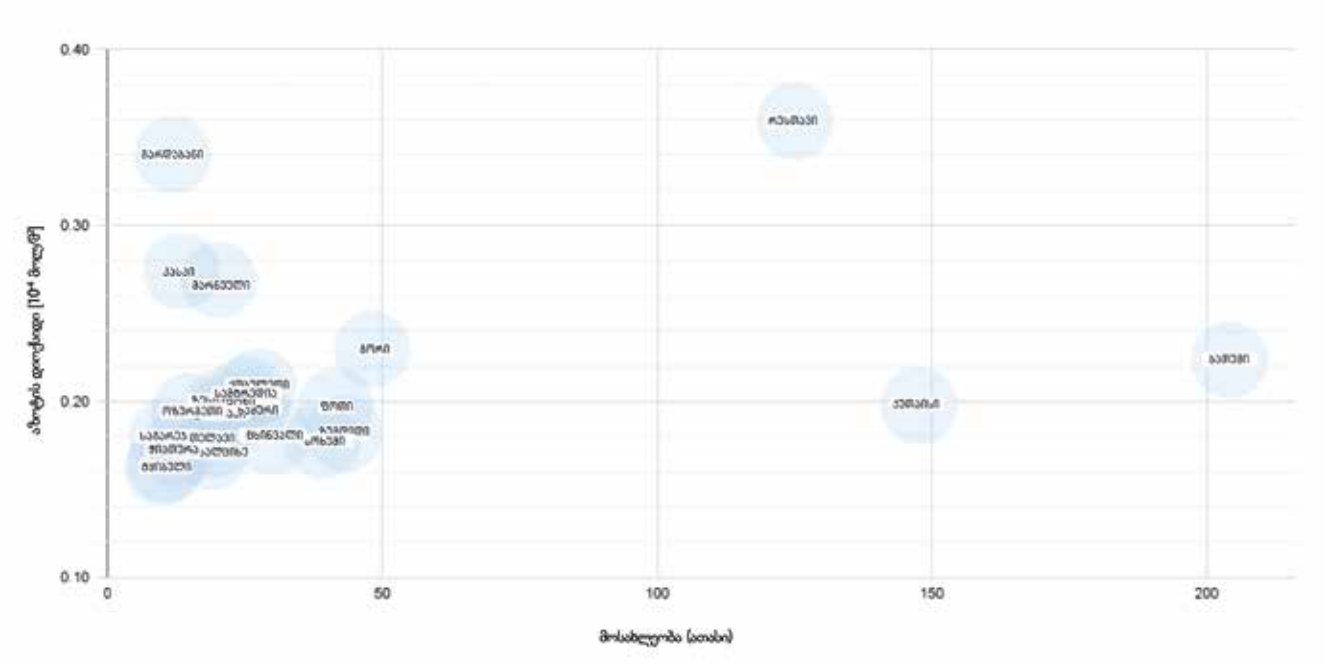
ჰაერის დაბინძურება ქალაქებში

საქართველოში აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციასა და მოსახლეობის სიმჭიდროვეს შორის დამოკიდებულებაზე რამდენიმე ფაქტორი ახდენს გავლენას, მათ შორის დიდი ქალაქების მდებარეობა, სამრეწველო სექტორის ტიპები, სატრანსპორტო ქსელის დატვირთულობა. საქართველოში მთაგორიანი რელიეფია, რაც აფერხებს ჰაერის ცირკულაციასა და შესაძლოა დამაბინძურებლის კონკრეტულ ტერიტორიაზე დაგროვება გამოიწვიოს. სეზონური ფაქტორები, მათ შორის ტემპერატურა და ნალექი, ასევე ახდენს გავლენას აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციაზე.

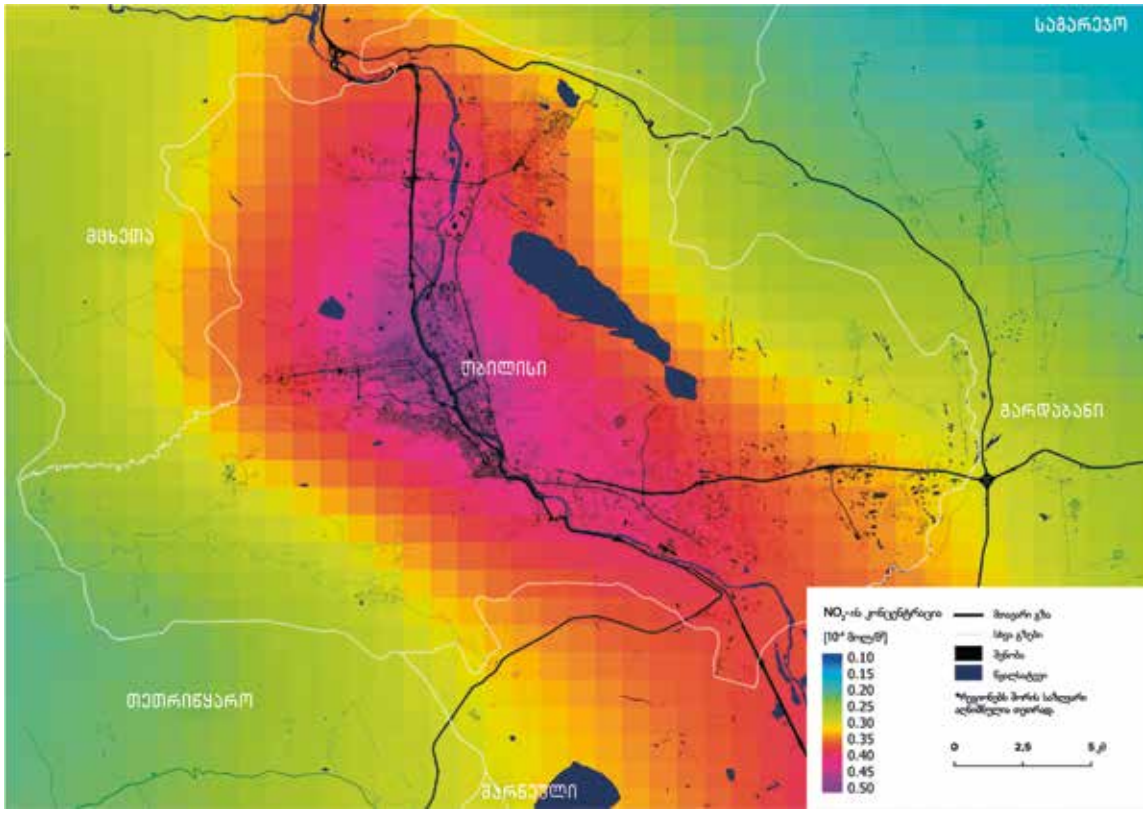
დიაგრამა 10 გვიჩვენებს აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაციას საქართველოს ქალაქებში 10,000-ზე მეტი მოსახლით. ზოგადად, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ მოსახლეობის რიცხოვნობის შემცირებასთან ერთად დაბინძურების დონეც მცირდება, თუმცა ზოგიერთ ქალაქში აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია უფრო მაღალია,



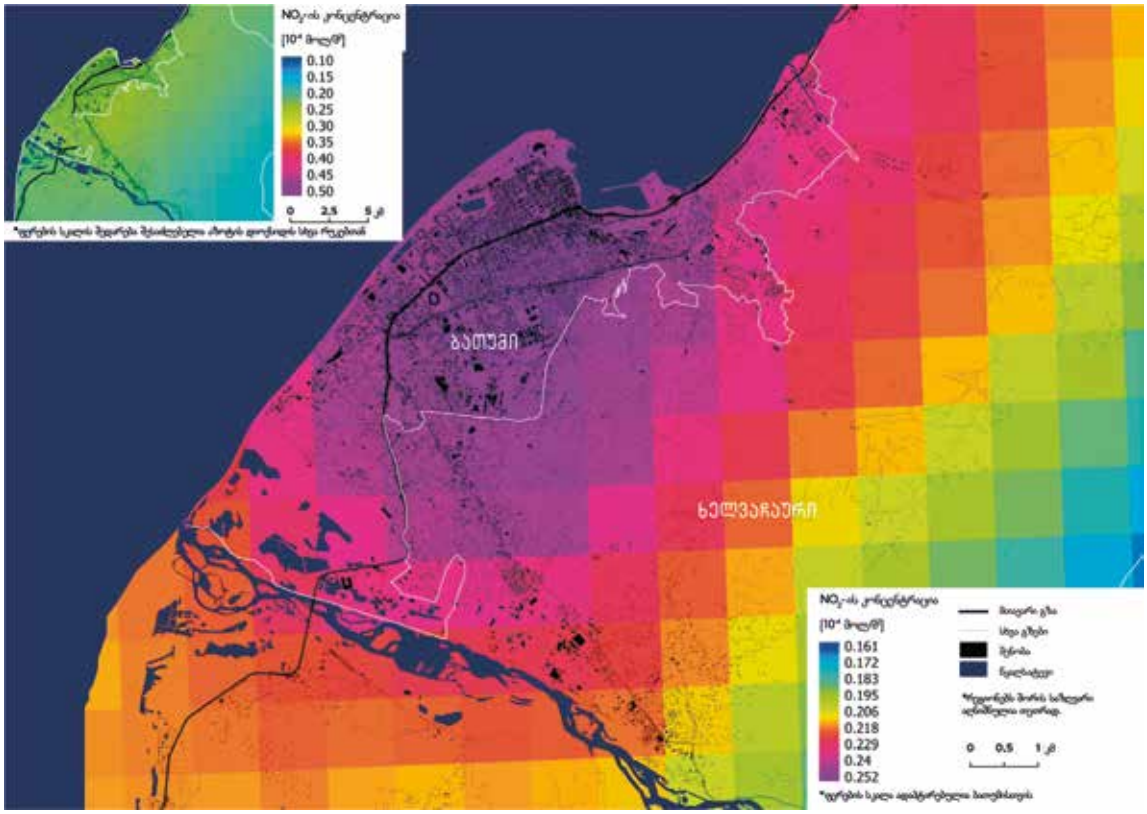
დიაგრამა 10: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს ქალაქებში 10,000-ზე მეტი მოსახლით, პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.



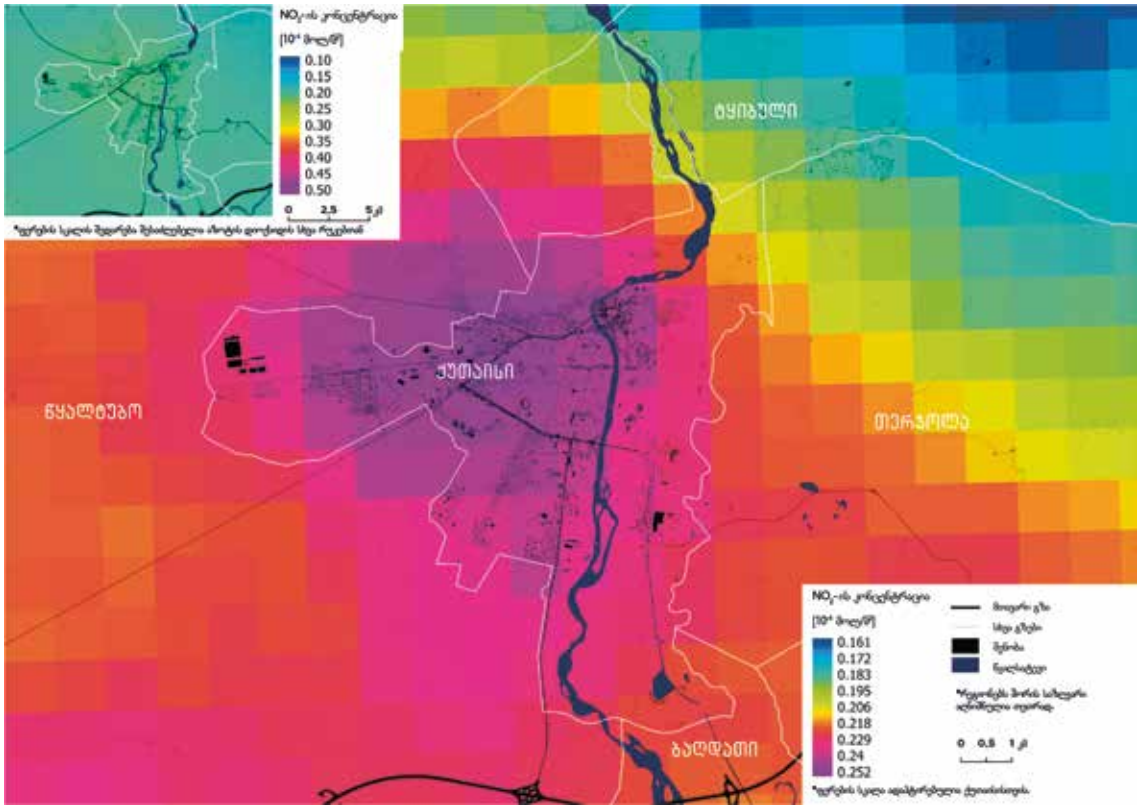
დიაგრამა 11: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს ქალაქებში 10,000-ზე მეტი მოსახლით, პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.



დიაგრამა 12: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია თბილისში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022).



დიაგრამა 13: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია ბათუმში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022). შენიშვნა: ფერების სკალა ადაპტირებულია ბათუმის მთავარ რუკაზე.

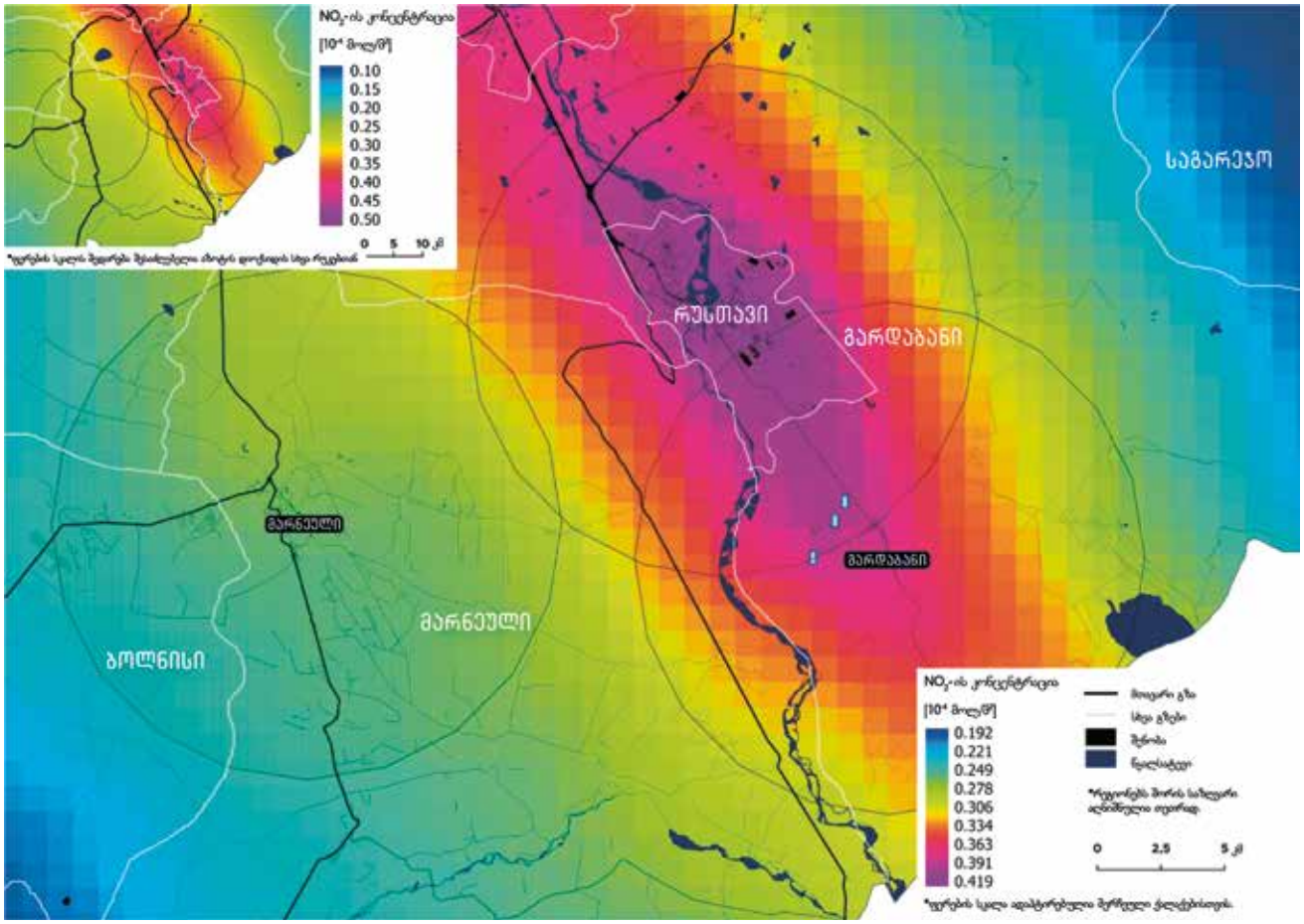


დიაგრამა 14: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია ქუთაისში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022). შენიშვნა: ფერების სკალა ადაპტირებულია ქუთაისის მთავარ რუკაზე.

ვიდრე მოცემული მოდელის ფარგლებში მოსალოდნელი იქნებოდა, მათ შორისაა კასპი (0.27 10^{-4} მოლ/მ^2), მარნეული (0.27 10^{-4} მოლ/მ^2) და გარდაბანი (0.34 10^{-4} მოლ/მ^2). ამავდროულად, ზოგიერთ ქალაქში, მაგალითად, ქუთაისი (0.22 10^{-4} მოლ/მ^2) და ბათუმი (0.20 10^{-4} მოლ/მ^2) აზოტის დიოქსიდის ისეთი კონცენტრაცია ფიქსირდება, რომელიც შესაბამისი იქნებოდა ქალაქისთვის სამჯერ ნაკლები მოსახლით. ამ ორ ცვლადს (აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია და მოსახლეობის რიცხოვნობა) შორის დამოკიდებულება დიაგრამა 11-ზე არის ნაჩვენები.

აზოტის დიოქსიდის დაბინძურების დეტალური სურათი დედაქალაქ თბილისსა და მის შემოგარენში მოცემულია დიაგრამა 12-ზე. განსაკუთრებით მაღალია დაბინძურების მაჩვენებლები ქალაქის ცენტრსა და ხეობებში, სადაც მრავალი კორპუსია. დაბინძურება ვრცელდება ქალაქის ამ ნაწილიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. სამრეწველო ობიექტების სიმრავლით გამორჩეული რუსთავი და გარდაბანი ასევე სამხრეთ-აღმოსავლეთით მდებარეობს თბილისიდან, რაც დაბინძურებას ამ ტერიტორიაზე ზრდის.

ბათუმში აზოტის დიოქსიდით დაბინძურების დონეს გვიჩვენებს დიაგრამა 13. ყველაზე მაღალი დაბინძურება ქალაქის ცენტრშია. რუკაზე ფერების სკალა შეცვლილია ქალაქის სხვადასხვა ნაწილს შორის სხვაობის წარმოსაჩენად და იგი არ შეესაბამება ამავე კვლევაში წარმოდგენილი სხვა რუკების ფერთა სკალებს. მარცხენა ზედა კუთხეში მოცემული მცირე ზომის რუკა გამოიყენება ბათუმის შესადარებლად საქართველოს სხვა ქალაქებთან. ბათუმში აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია დედაქალაქსა და სხვა დიდ ქალაქებთან შედარებით დაბალია, ბათუმში არ არის განთავსებული დიდი სამრეწველო ობიექტები და ზღვისპირა

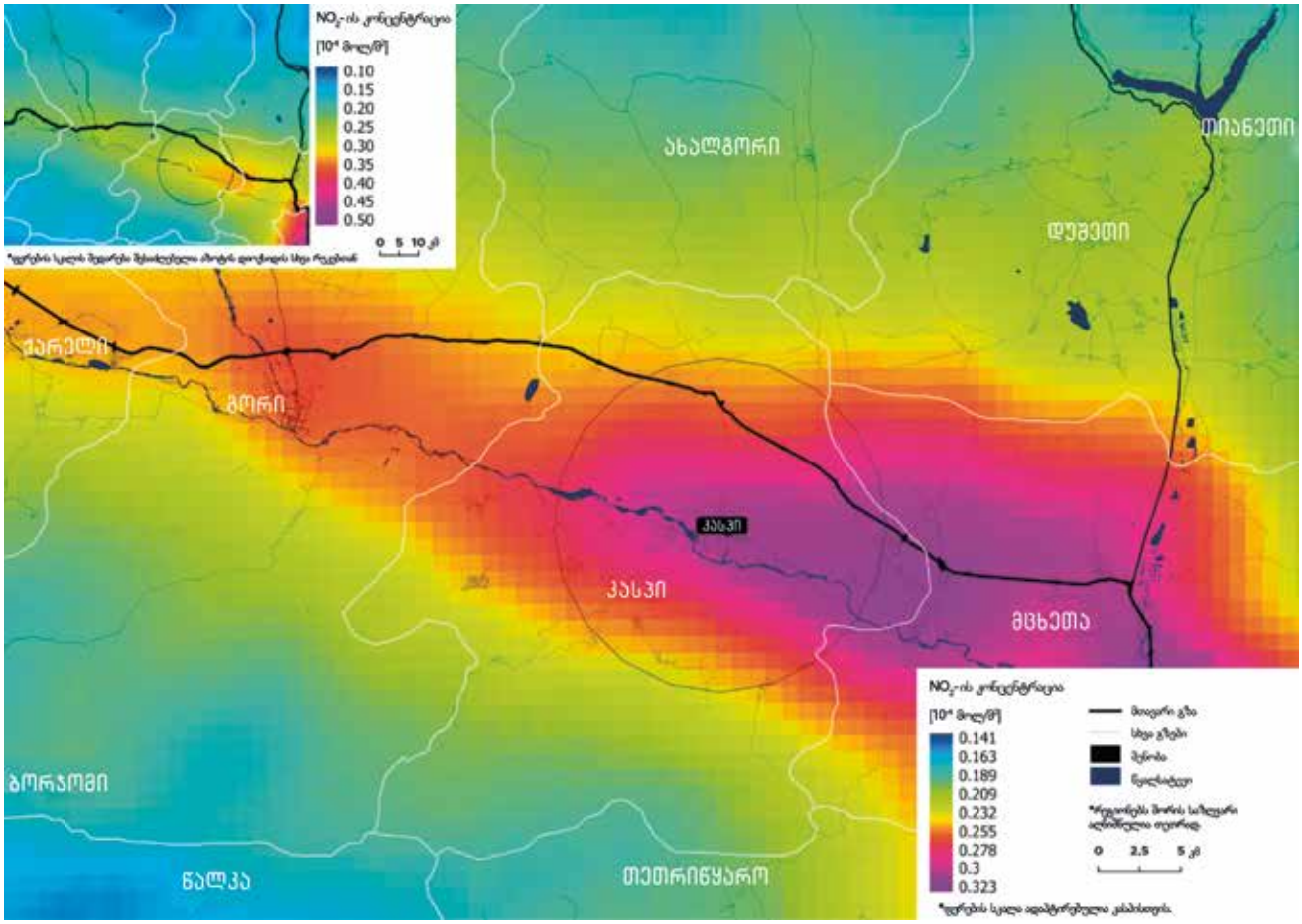


დიაგრამა 15: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია რუსთავის, გარდაბნისა და მარნეულის აგლომერაციაში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022). შენიშვნა: ფერების სკალა ადაპტირებულია რუსთავის, გარდაბნისა და მარნეულის აგლომერაციის მთავარ რუკაზე.

მდებარეობა ხელს უწყობს ჰაერის ნაკადების უკეთეს გადაადგილებას. ზღვის ბრიზი ასევე საგრძნობლად ამცირებს აზოტის დიოქსიდით დაბინძურებას (Geddes et al., 2021).

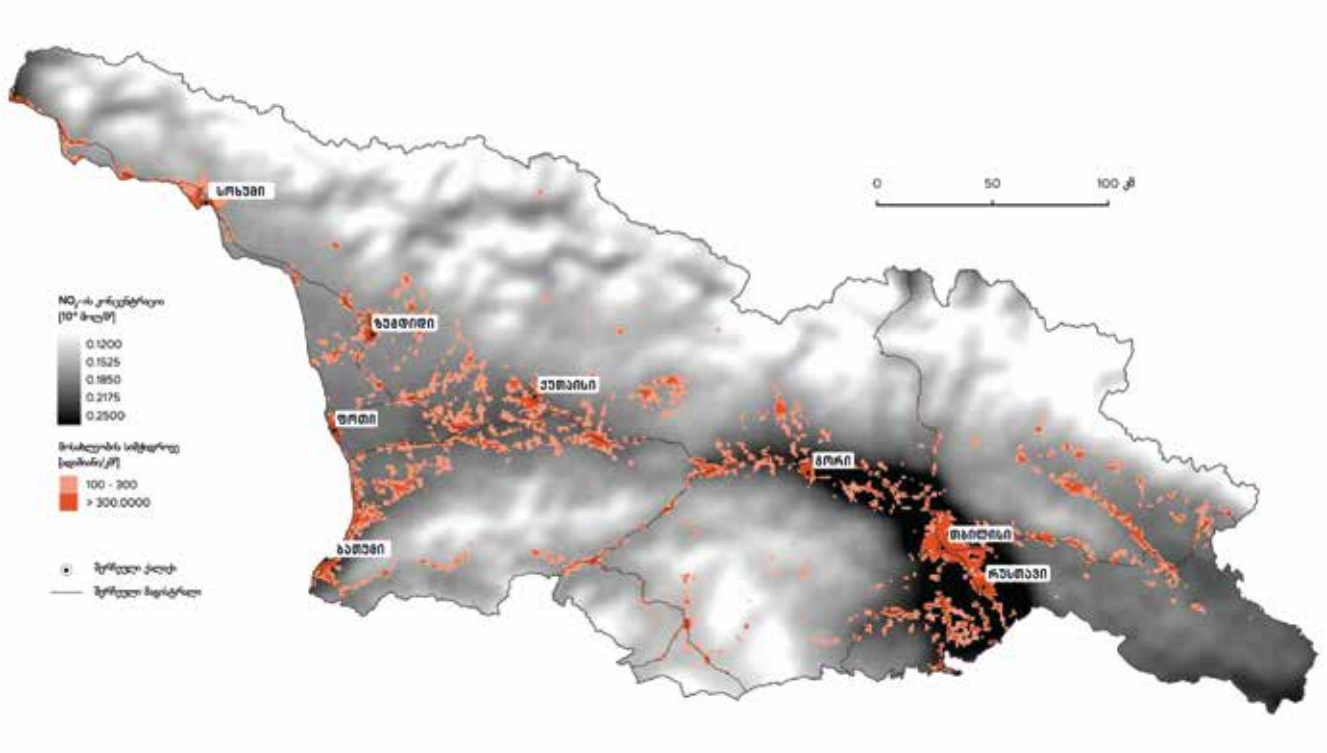
დიაგრამა 14-ზე მოცემულია დეტალური ინფორმაცია, თუ როგორია აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია ქუთაისის მასშტაბით. ამ შემთხვევაშიც, დაბინძურება ყველაზე მაღალია ქალაქის ცენტრში. თბილისის მსგავსად, ქუთაისშიც დაბინძურების განაწილებაზე მოქმედი ერთ-ერთი ფაქტორია რელიეფი. ქალაქი კავკასიონის სამხრეთ-დასავლეთით მდებარეობს, სადაც დაბინძურება იმატებს. ამავდროულად, ქალაქის ჩრდილო-აღმოსავლეთით დაბინძურების საკმაოდ დაბალი მაჩვენებლები ფიქსირდება. რუკაზე ჩანს, რომ ქუთაისის მიმდებარე ქალაქებში აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია დაბალია მაშინ, როდესაც სხვა ქალაქების საზღვრებიდან 10 კმ-ის რადიუსში აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია 0.22 10^{-4} მოლ/$მ^2$ – ს აღწევს.

რუსთავის, გარდაბნისა და მარნეულის აგლომერაცია ჯამში 321 ათას მოსახლეს აერთიანებს და წარმოადგენს დიდ სამრეწველო ცენტრს დედაქალაქის, თბილისის, სამხრეთით. აქ აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია გაცილებით მაღალია, ვიდრე მოსახლეების რიცხოვნობით მსგავს სხვა ქალაქებში. ეს ქალაქები დიდი მნიშვნელობისაა საქართველოს ეკონომიკისთვის. რუსთავის სამრეწველო სექტორი ერთ-ერთი ყველაზე



დიაგრამა 16: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია კასპში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022). შენიშვნა: ფერების სკალა ადაპტირებულია კასპისთვის.

დიდია ქვეყანაში. რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა ფოლადისა და სხვა ლითონების ერთ-ერთი უმსხვილესი მწარმოებელია საქართველოში. ადგილობრივი ცემენტის ქარხანა ქვეყნის ორი უდიდესი სამრეწველო ობიექტიდან ერთ-ერთია (Heidelberg Materials, 2023), ხოლო **რუსთავის აზოტი** კავკასიის რეგიონში სასუქებისა და სამრეწველო ქიმიური პროდუქტების ყველაზე დიდ მწარმოებლებს შორისაა. ამ აგლომერაციაში კიდევ 22 ქარხანაა, რომლებიც ჰაერს აბინძურებს. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ქარხნების არსებობა ქალაქების განვითარებას უწყობს ხელს, დაბინძურების მაღალი მაჩვენებლები საზოგადოებრივი ჯანდაცვისთვის სერიოზულ საფრთხედ ყალიბდება. ბევრ ქარხანას ფლობს კერძო კომპანია უცხოური ინვესტიციით, ამ კომპანიების სოციალური პასუხისმგებლობის გამოხატვა კი ხეების დარგვას არ გასცდენია (ჩქარეული, 2019). გარდაბანში დაბინძურების მაღალ მაჩვენებლებს რამდენიმე წყარო აქვს, მათ შორის ცემენტის ქარხნები და სატრანსპორტო სექტორი. ქალაქები მდებარეობს საქართველოსა და აზერბაიჯანის დამაკავშირებელ ავტომაგისტრალზე, რაც გულისხმობს, რომ უამრავი სატვირთო ავტომობილი და სხვა ტიპის ტრანსპორტი ყოველდღიურად გადაადგილდება ქალაქთან ახლოს. მოცემული კვლევის ფარგლებში, გარდაბნის თბოელექტროსადგური ემისიების მთავარ წყაროებს შორის არ არის. რუსთავისა და გარდაბნის სიახლოვის გამო,

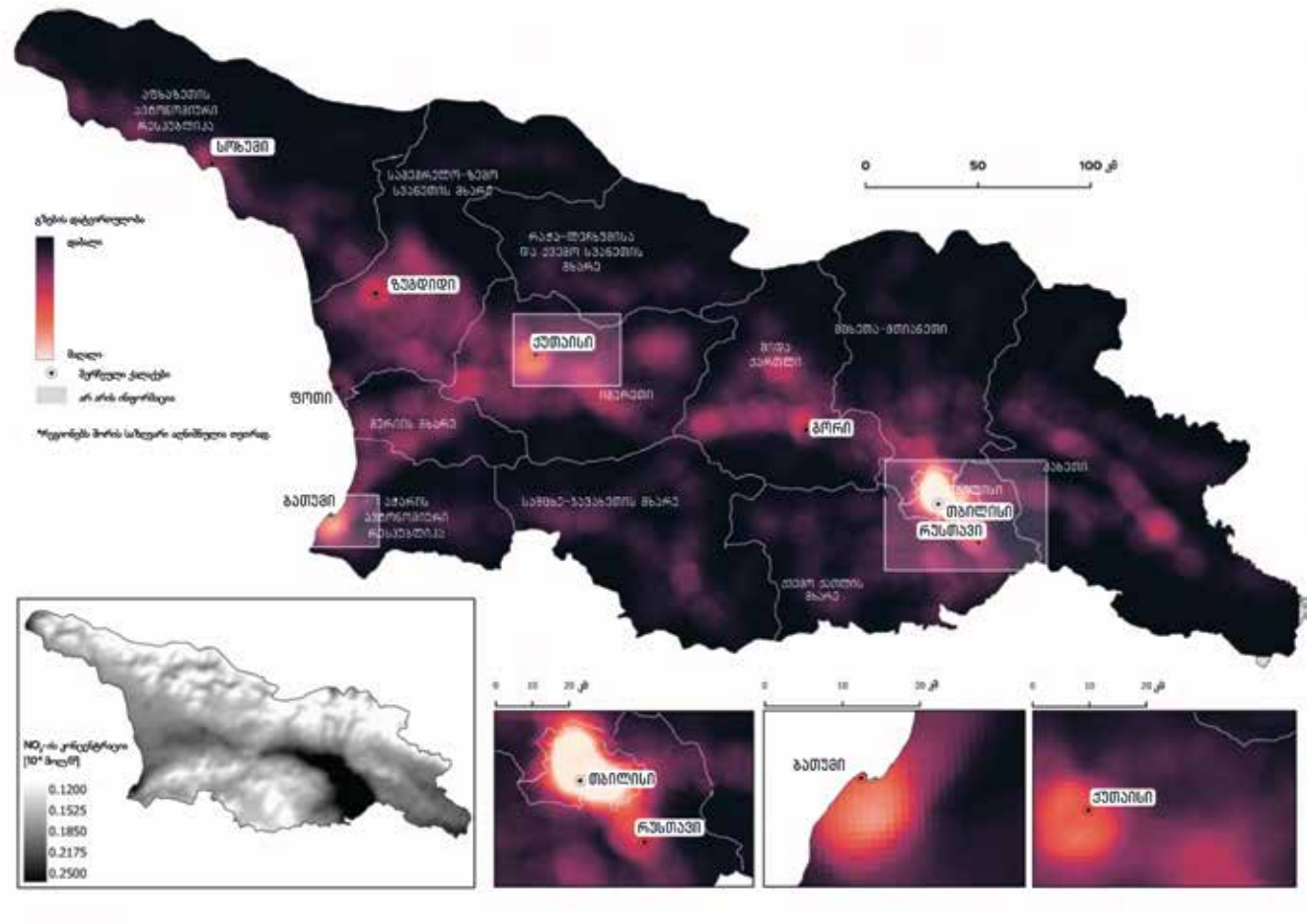


დიაგრამა 17: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის ივლისი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით, მოსახლეობის სიმჭიდროვის 2019 წლის მონაცემების გათვალისწინებით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022), მოსახლეობა (WorldPop, 2020).

ამინდმა, შესაძლოა, გავლენა მოახდინოს დაბინძურებული ჰაერის ნაკადების გადაადგილებაზე ამ ორ ქალაქს შორის. მსგავსი ეფექტი შეიმჩნევა მარნეულშიც, სადაც არ არის სამრეწველო ობიექტები განთავსებული, თუმცა ქალაქი რუსთავთან და გარდაბანთან ახლოს მდებარეობს.

კასპის (შიდა ქართლის რეგიონი) საზღვრებიდან 10 კილომეტრის რადიუსში აზოტის დიოქსიდის მომატებული კონცენტრაცია ფიქსირდება. ცემენტის ერთ-ერთი ყველაზე დიდი ქარხანა კასპში მდებარეობს (Heidelberg Materials, 2023). კიდევ უფრო მაღალია დაბინძურება ქალაქის აღმოსავლეთით, რაც ქსნის მინის ტარის ქარხნის ზეგავლენის შედეგია. აზოტის დიოქსიდის მომატებული კონცენტრაციის კიდევ ერთი მიზეზია რელიეფი, რაც პრობლემას ქმნის კასპისა და ქსნის ტერიტორიაზე ჰაერის ცირკულაციისთვის.

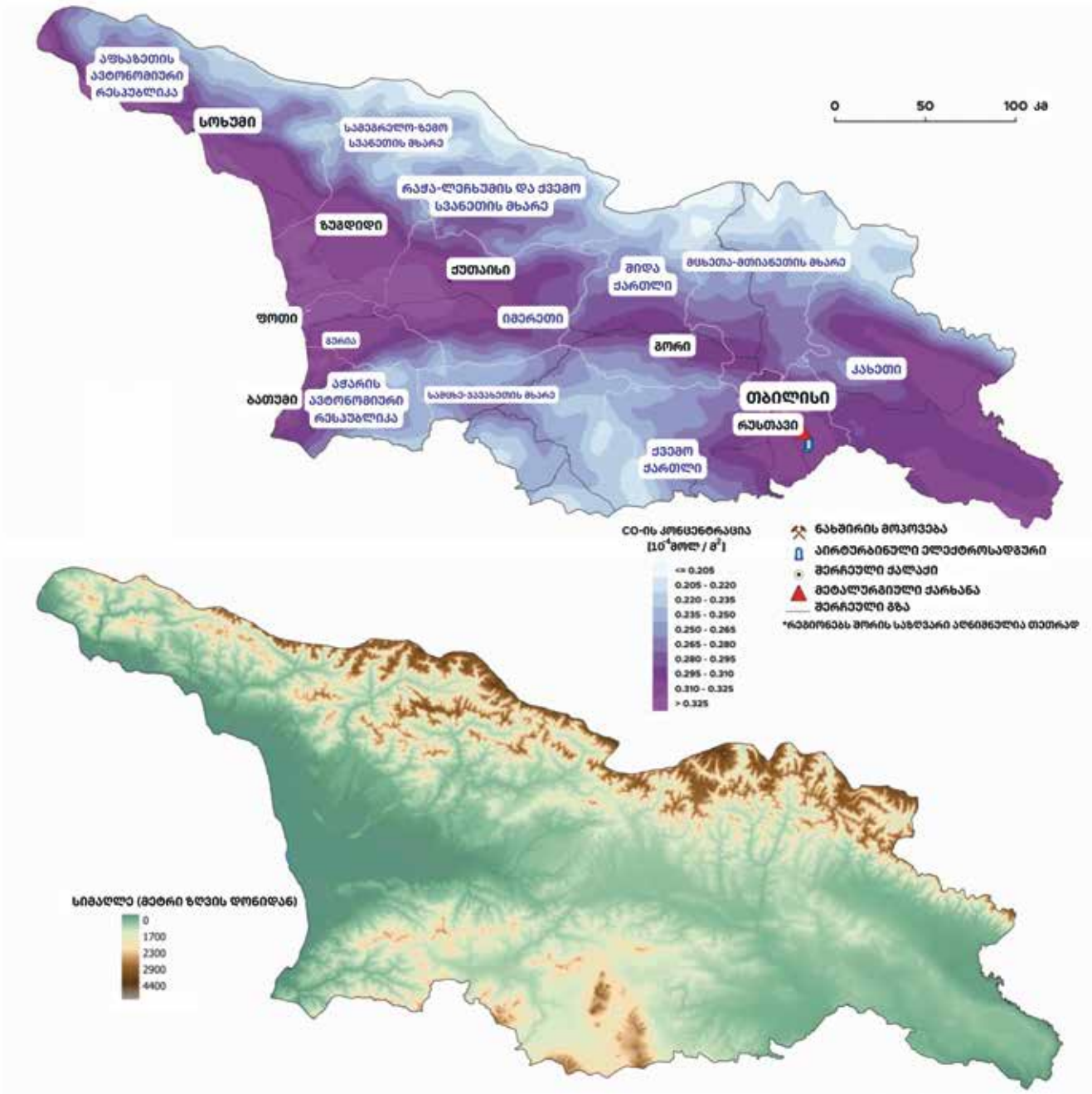
ადამიანური საქმიანობის გამო დაბინძურება უფრო მაღალია მჭიდროდ დასახლებულ ქალაქებში (დიაგრამა 17). მოსახლეობის რიცხოვნობის ზრდა ავტომობილების რაოდენობასა და ეკონომიკურ აქტივობასაც ზრდის. ნაკლებად დასახლებულ მაღალმთიან რეგიონებში ემისია გაცილებით დაბალია. საქართველოს მასშტაბით ყველაზე დაბინძურებული ტერიტორია დაბლობებია, სადაც მოსახლეობის უმეტესობა ცხოვრობს.



დიაგრამა 18: აზოტის დიოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2020 წლის ივლისი (ქვედა მარცხენა კუთხე) საავტომობილო ქსელის დატვირთულობის (მთავარი რუკა) გათვალისწინებით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), გზები (OpenStreetMap Contributors, 2022, მოდიფიცირებული).

ტრანსპორტით გამოწვეული ჰაერის დაბინძურება

დამოკიდებულება საავტომობილო ქსელის დატვირთულობასა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის მაჩვენებლებს შორის მოცემულია დიაგრამა 18-ზე. ტრანსპორტი, კერძოდ კი საგზაო ტრანსპორტი, ჰაერის დაბინძურების ერთ-ერთი მთავარი წყაროა საქართველოში. ქვეყანაში ავტომობილების რიცხვი წლების განმავლობაში იზრდებოდა, რაც შესაბამისად იწვევდა საავტომობილო საცობებისა და ემისიების ზრდასაც. ასევე, როგორც აღნიშნულია შესავალში, ავტომობილების უმეტესობა საქართველოში ძველი მოდელია, რაც კიდევ უფრო ზრდის ტრანსპორტის სექტორის ემისიებს. დიაგრამა 18-ის მთავარი რუკა ასახავს საავტომობილო ქსელის დატვირთულობას. როდესაც ეს მაჩვენებელი შედარებულია აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციებს, კორელაცია საკმაოდ მაღალია (0.67), NO_2-ის დაბინძურების მაჩვენებლის ვარიაციის (ცვალებადობის) 44% აიხსნება საავტომობილო მოძრაობით მოცემულ ტერიტორიაზე (R2 = 0.44).

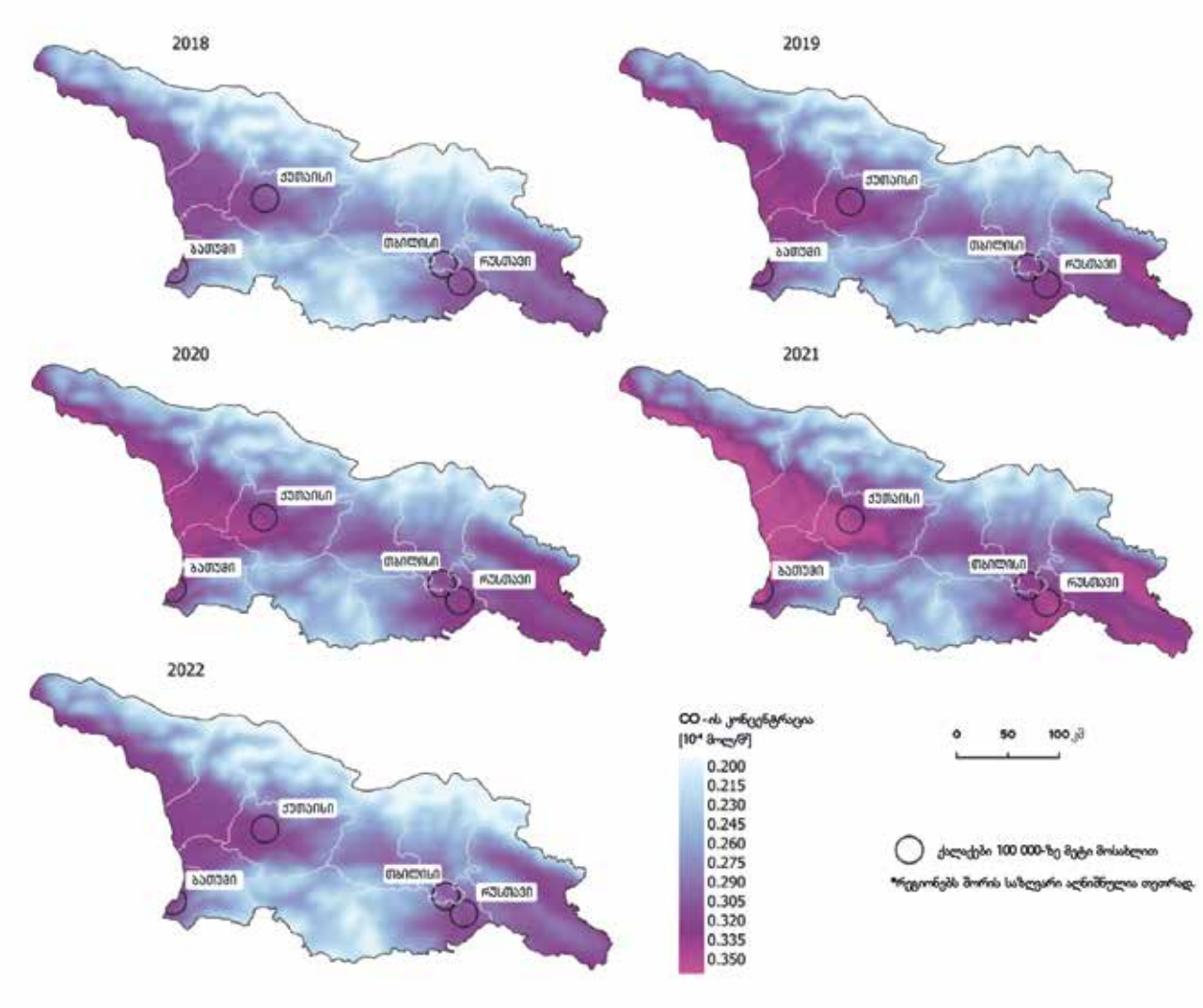


დიაგრამა 19: ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით, წარმოდგენილი სიმაღლის ციფრული მოდელის (DEM) გამოყენებით. წყაროები: გამოსახულება (ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული), გზები (OpenStreetMap Contributors, 2022, მოდიფიცირებული), სიმაღლე (USGS, 2023).

ნახშირბადის მონოქსიდი (CO)

საბაზისო ანალიზი

როგორც დიაგრამა 19-ზე ჩანს, CO-ის საშუალო კონცენტრაციას უარყოფითი კორელაცია აქვს ზღვის დონიდან სიმაღლესთან მიმართებით. გეოგრაფიულად ყველაზე მაღალ წერტილებში დამაბინძურებლის ყველაზე დაბალი კონცენტრაცია ფიქსირდება, კავკასიონსა და მცირე კავკასიონს შორის მოქცეულ დაბლობებზე კი – ყველაზე მაღალი. რაც შეეხება ანთროპოგენურ ფაქტორებს, ერთადერთი შესაძლო მიზეზი ნახშირბადის მონოქსიდის გაზრდილი კონცენტრაციის არის საქართველოს საავტომობილო მაგისტრალი S1. წიაღისეულის საწვავის მოხმარება CO-ის ემისიის მთავარი წყაროა, თუმცა ამ დამაბინძურებლის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე

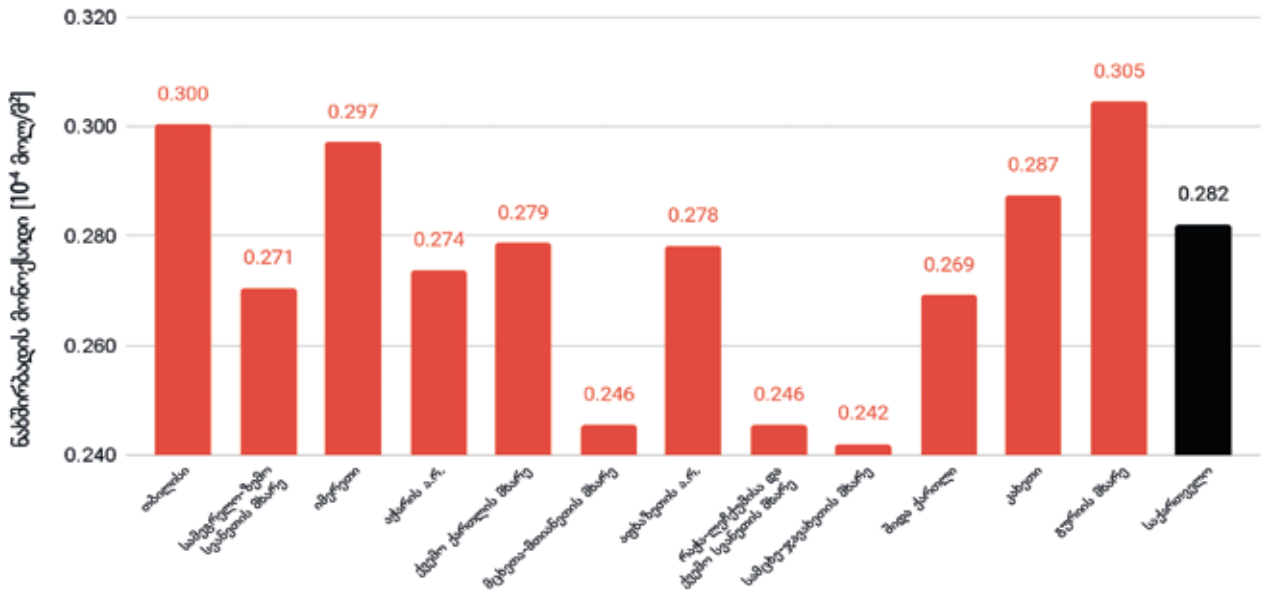


დიაგრამა 20: ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია საქართველოში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

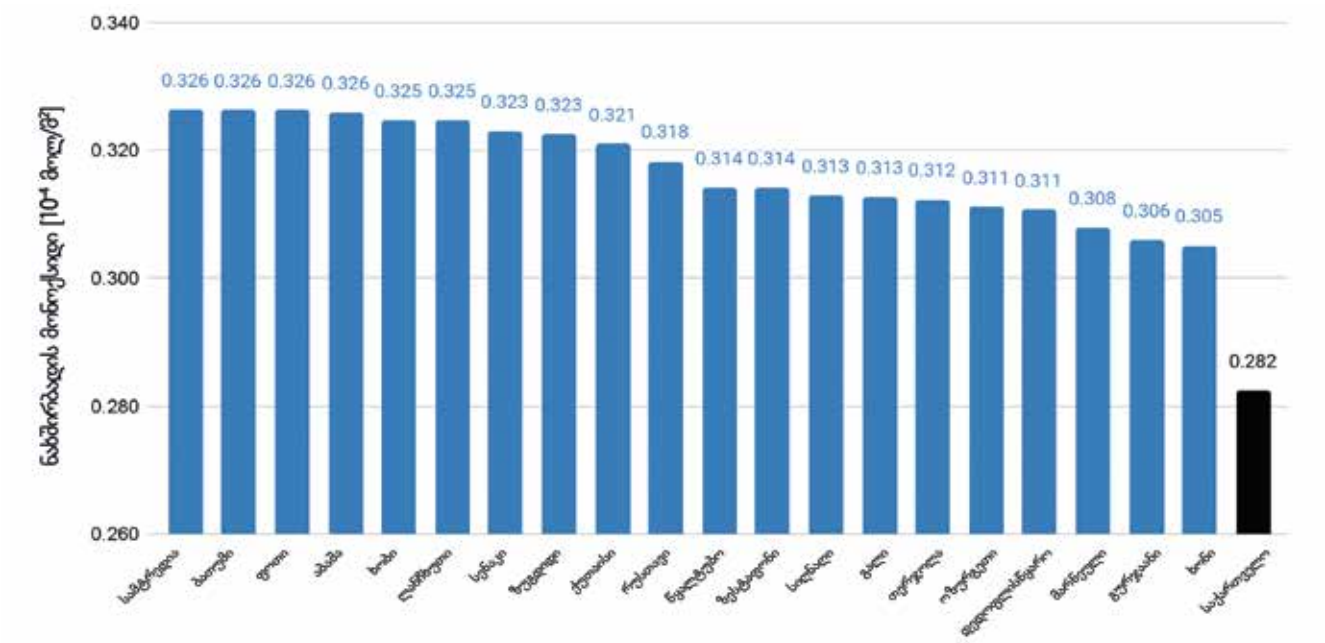
მკაფიოდ არ ემთხვევა სამრეწველო ცენტრების მდებარეობას, მაგალითად, რუსთავს. ნახშირბადის მონოქსიდით დაბინძურების კიდევ ერთი წყაროა ტყის ხანძრები, რომელთა რაოდენობაც კლიმატური ცვლილებების გამო ბოლო ორი დეკადის განმავლობაში იზრდებოდა (ბალაშვილი და ნეიძე, 2022; MEPA, 2021), თუმცა ამგვარი მოკლევადიანი ცვლილება ვერ ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას და არ აისახება CO-ის საშუალო კონცენტრაციაზე.

დიაგრამა 20-ზე ჩანს, რომ CO-ის საშუალო წლიური კონცენტრაციის განაწილება საკვლევი პერიოდის განმავლობაში დაახლოებით უცვლელია. კონცენტრაცია ყველაზე დაბალია 2018 წელს, ხოლო ყველაზე მაღალი – 2021 წელს. 2018 წელს აპრილამდე დაბინძურების შესახებ ინფორმაცია არ მოიპოვებოდა, რამაც, სავარაუდოდ, იმოქმედა წლიური საშუალო მაჩვენებლის შემცირებაზე.

მოცემული მდგომარეობით, რთულია 2021 წელს დაბინძურების მაქსიმალური მაჩვენებლები რომელიმე კონკრეტულ ანთროპოგენურ წყაროს ან სამრეწველო აქტივობას დავუკავშიროთ. ეს ვითარება ბუნებრივი პროცესებით აიხსნება: CO-ის კონცენტრაცია გვალვის ხანგრძლივი პერიოდის შემდეგ იზრდება, რადგან ჰაერის ნაკადები ნაკლებად ტენიანია, შესაბამისად ვერ გადააქვს ჰიდროქსილის რადიკალი (OH), რომელიც რეაქციაში შედის ნახშირბადის მონოქსიდთან და ამცირებს ატმოსფეროში მის კონცენტრაციას (NOAA, 2015). ზაფხულში

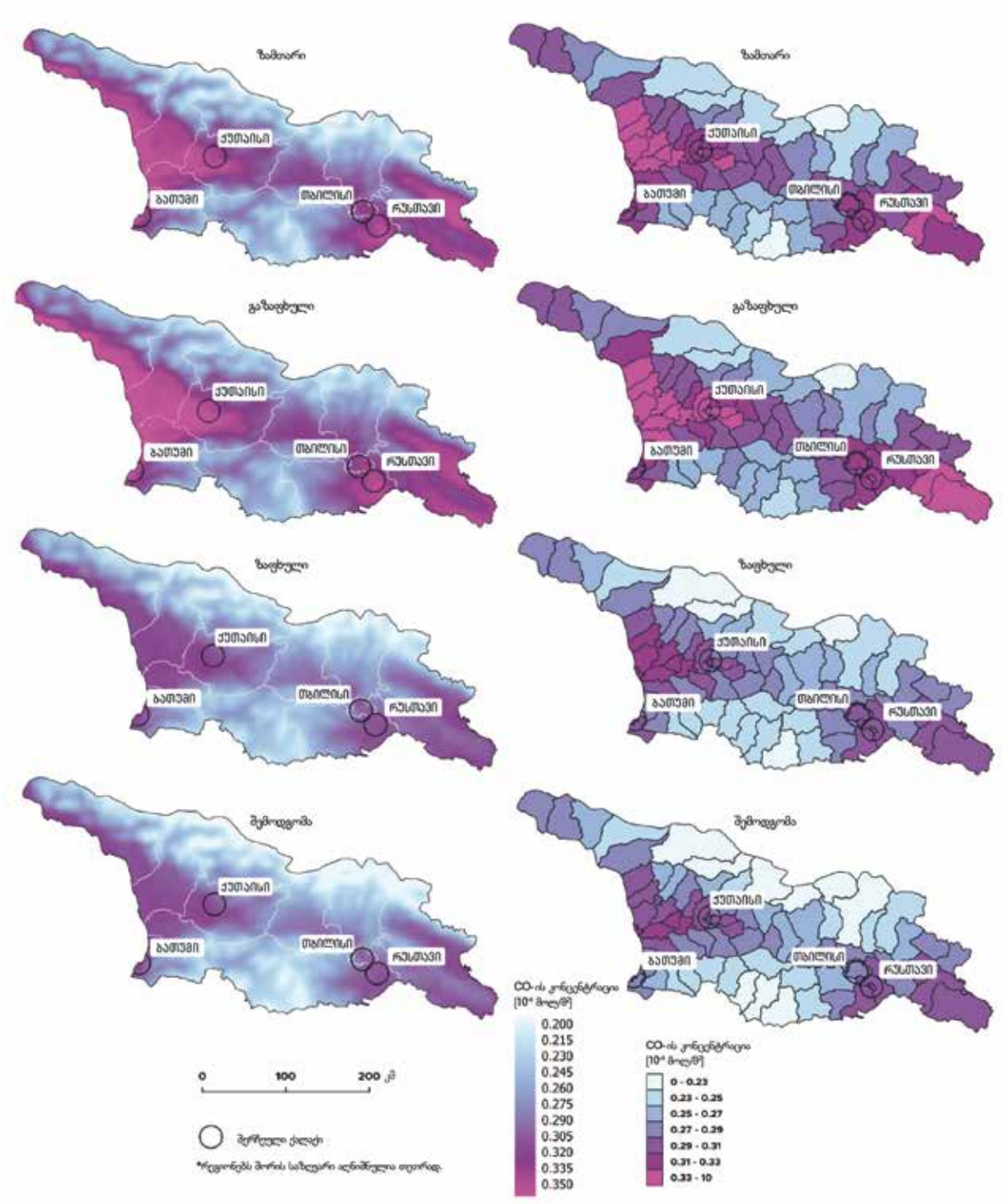


დიაგრამა 21: ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.



დიაგრამა 22: საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო კონცენტრაციის მიხედვით პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

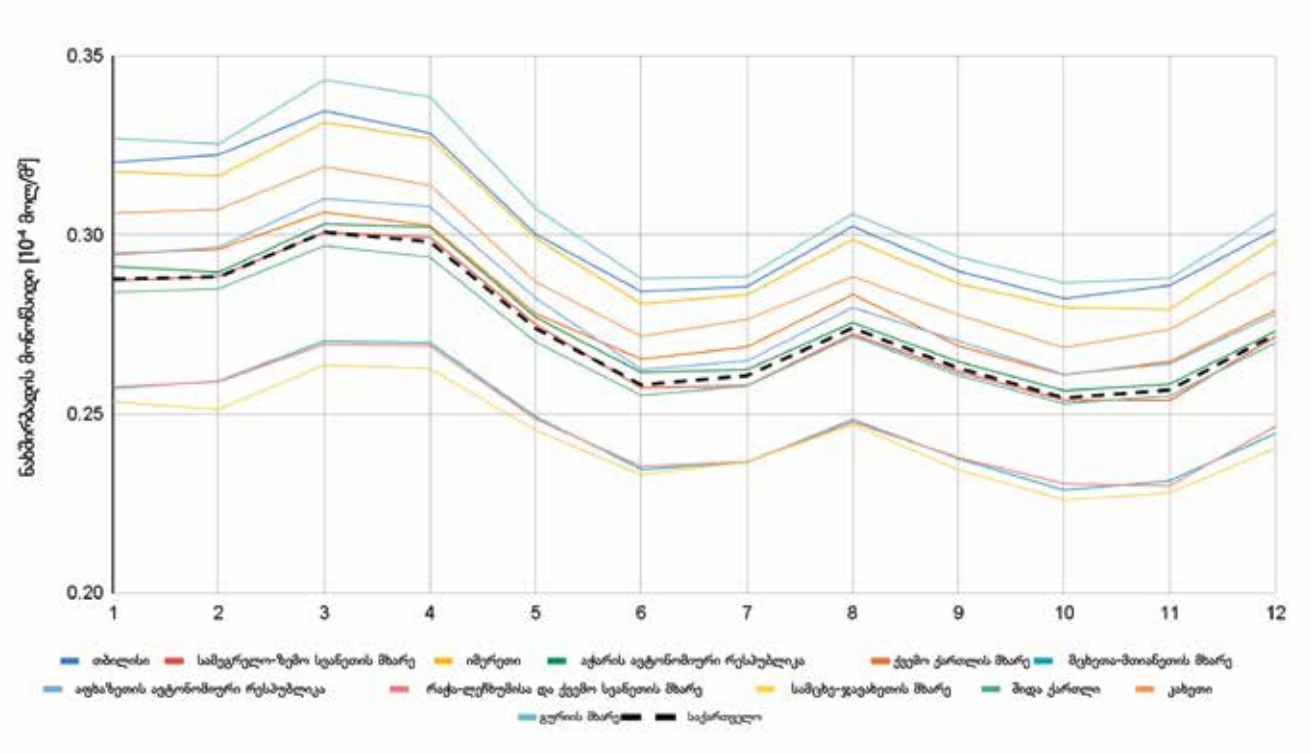
საქართველოში შავი ზღვიდან მოძრავი ჰაერის თბილი, ტენიანი ნაკადები გადაადგილდება, რაც ამცირებს CO-ის კონცენტრაციას. ეს სიტუაცია, სავარაუდოდ, შეიცვალა 2021 წელს, როდესაც აგვისტოში ნახშირბადის მონოქსიდის მოსალოდნელზე მაღალი კონცენტრაცია დაფიქსირდა. მიუხედავად იმისა, რომ 2021 წელი არ იყო უფრო მშრალი, ვიდრე სხვა გამოკვლეული წლები, ექსტრემალური გვალვა 2021 წლის ივლისსა და აგვისტოში დაფიქსირდა თურქეთში (ყველაზე ძლიერი გვალვა ბოლო ორი დეკადის განმავლობაში, Bianet, 2023), სომხეთსა (ყველაზე ცხელი ივნისი ისტორიაში, რასაც მოჰყვა გვალვა, Zargarian, 2021) და ცენტრალურ აზიაში (ამ დეკადის ყველაზე ძლიერი გვალვები, Jiang and Zhou, 2023). ამ



დიაგრამა 23: ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო სეზონური კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

გარემოებებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია, რომ საქართველოში CO-ის კონცენტრაციის ზრდა გამოწვეული იყოს ამ ქვეყნებიდან ჰაერის ნაკადების საქართველოს მიმართულებით გადაადგილებით.

დიაგრამა 21-ზე ასახულია ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონების მიხედვით. ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია ფიქსირდება თბილისში (0.301 10^{-4} მოლ/მ^2), გურიასა (0.298 10^{-4} მოლ/მ^2) და იმერეთში (0.296 10^{-4} მოლ/მ^2). დაკვირვებისას არ დაფიქსირებულა დაბინძურების არცერთი მნიშვნელოვანი ანთროპოგენური წყარო. CO-ის კონცენტრაციაზე უფრო დიდი გავლენა აქვს მის ბუნებრივ განაწილებას, ვიდრე ანთროპოგენური წყაროებით დაბინძურებას.



დიაგრამა 24: ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, დანახული Sentinel-5P ხელოვნური თანამგზავრით. წყარო: ESA, 2018–2022; მოდიფიცირებული.

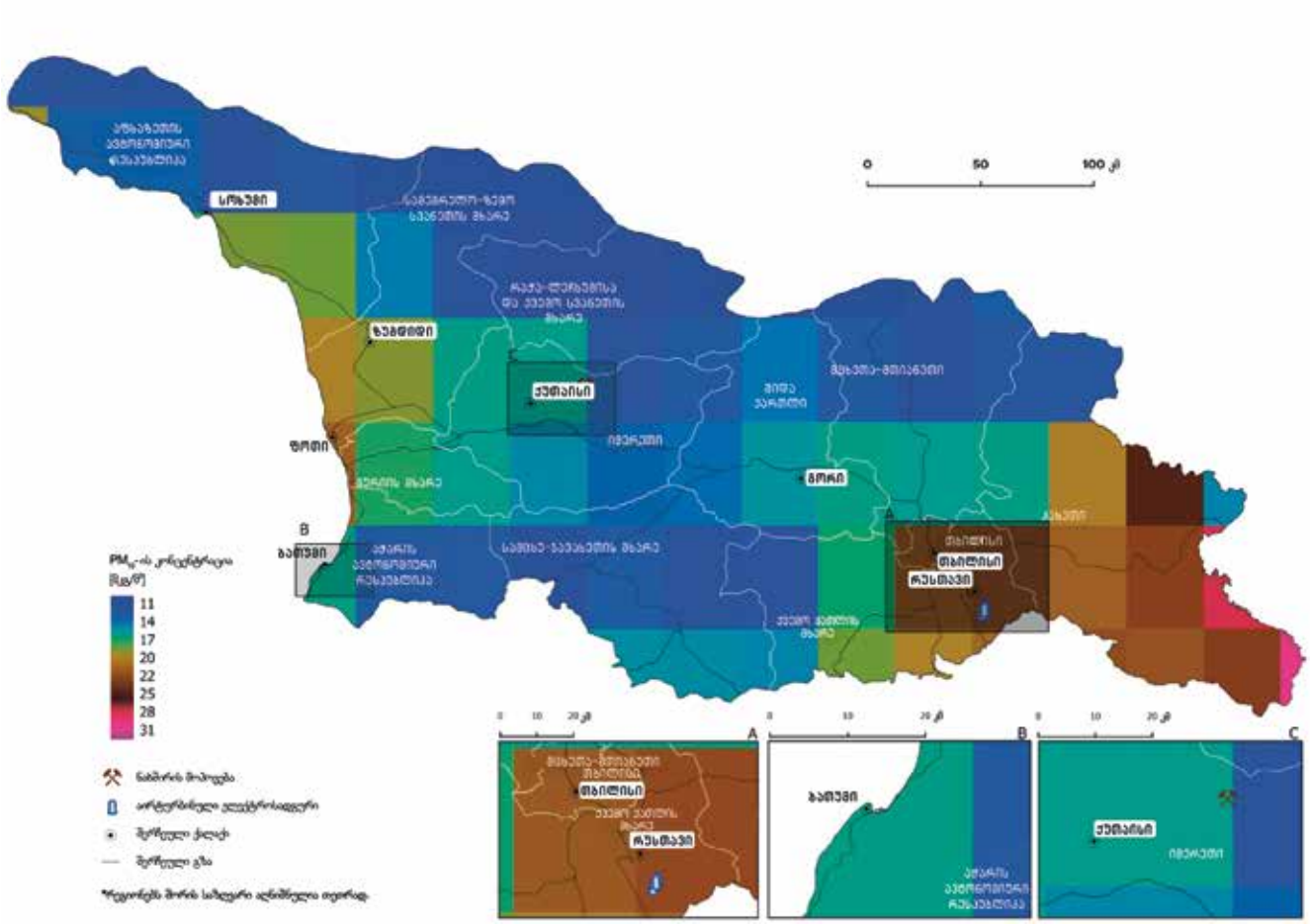
დიაგრამა 22-ზე მოცემულია საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი CO-ის საშუალო კონცენტრაციის მიხედვით. სხვადასხვა რეგიონის დაბინძურების მაჩვენებლები დაახლოებით მსგავსია. მოცემული მუნიციპალიტეტები ძირითადად დაბლობებზე მდებარეობს.

ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა

CO-ის ბუნებრივი ციკლის გამო, დიაგრამა 23-ზე ჩანს დამაბინძურებლის კონცენტრაციის მკაფიო შემცირება ზაფხულში. ყველა სეზონზე ნახშირბადის მონოქსიდის ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია კოლხეთის დაბლობზე ფიქსირდება. ეს ტრენდი შეესაბამება CO-ის ზოგად წლიურ წრებრუნვას ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში.

დიაგრამა 24 გვიჩვენებს 2018–2022 წლებში თითოეული თვისთვის ნახშირბადის მონოქსიდის საშუალო კონცენტრაციას. დაბინძურება იზრდება ზამთარსა და გაზაფხულის დასაწყისში, ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები აპრილში ფიქსირდება, რასაც მკვეთრი ვარდნა მოჰყვება. აშკარაა კავშირი CO-ის მაღალ კონცენტრაციასა და ზამთრის თვეებს შორის, ასევე მცირედი ზრდაა აგვისტოში. გამათბობელი სისტემების გამოყენება გაზრდილი დაბინძურების ერთ-ერთი მიზეზია, ხოლო მცირედი მატება აგვისტოში მეტწილად გამოწვეულია მაღალი ტემპერატურითა და უფრო ხშირი ტყის ხანძრებით.

ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის ცვლილებაზე ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროების გამოკვლევისას, გაიფილტრა გეოგრაფიული ობიექტის ზღვის დონიდან კონკრეტულ სიმაღლეზე მდებარეობის ეფექტი, რათა გამოიკვეთოს დაბინძურების მხოლოდ ანთროპოგენური წყაროები. კერძოდ, დაფიქსირდა რუსთავის ძირითადი დამაბინძურებელი ობიექტების (რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა, ჰაიდელბერგცემენტ რუსთავი, რუსთავის აზოტი) მნიშვნელოვანი გავლენა ატმოსფეროში CO-ის კონცენტრაციის ზრდაზე.



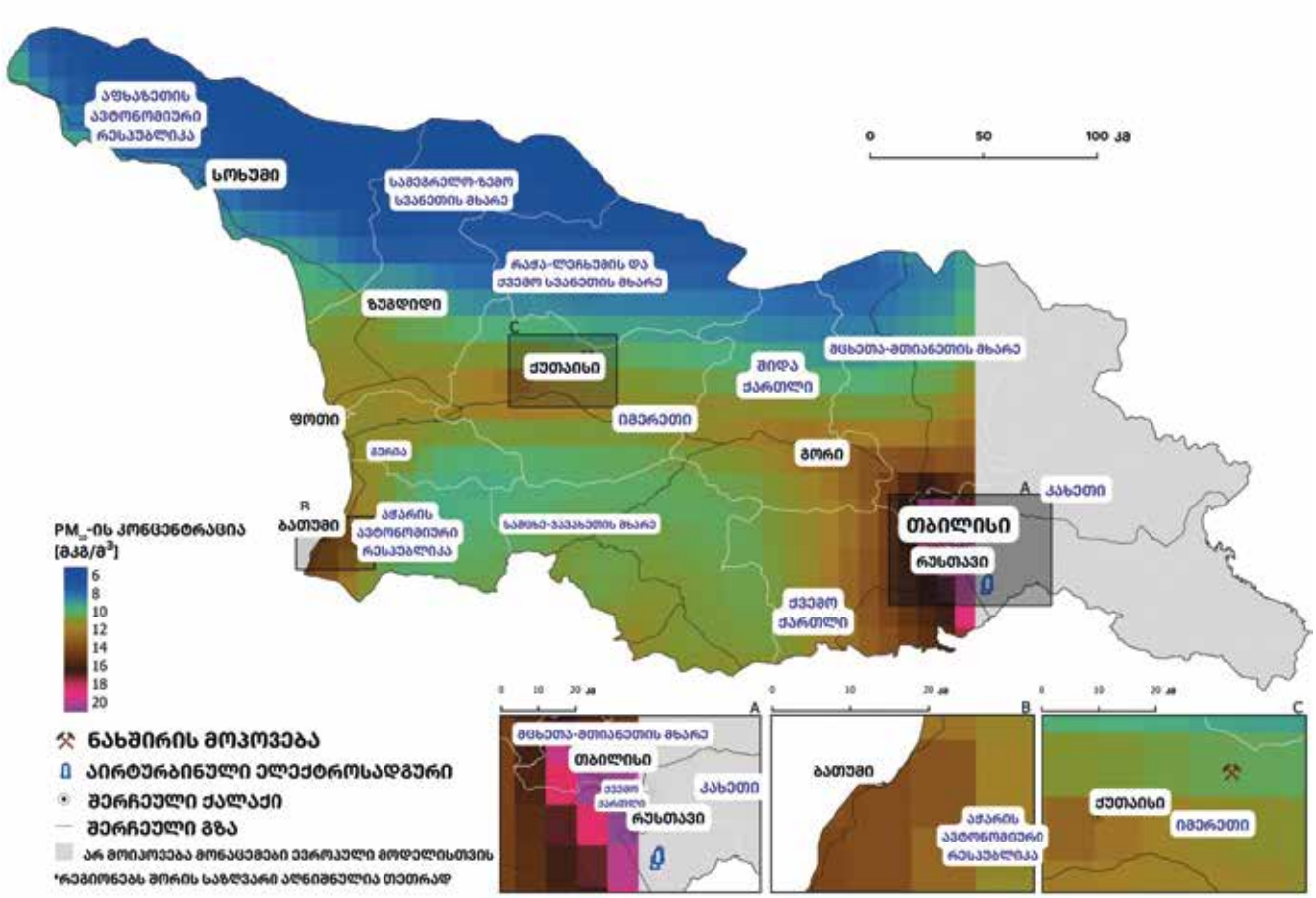
დიაგრამა 25: PM_{10}-ის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოში (გლობალური მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყაროები: CAMS, 2018–2022; ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022), ნახშირი და აირი (Global Energy Monitor, 2023).

მყარი ნაწილაკები (PM_{10})

საბაზისო ანალიზი

გლობალური მოდელის მიხედვით (დიაგრამა 25), PM_{10}-ის კონცენტრაცია განსაკუთრებით მაღალია ქვეყნის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, კერძოდ თბილისსა და კახეთის რეგიონში. ეს ვითარება განპირობებულია რეგიონების ბუნებრივი პირობებით, კონტინენტურ კლიმატს სუბტროპიკული კლიმატი და ნახევრად უდაბნოს ზონები ანაცვლებს (ბალაშვილი და ნეიძე, 2022). მცენარეული საფარის სიმცირე ისეთ ტერიტორიაზე, როგორიცაა, მაგალითად, ივრის ზეგანი, ხელს უწყობს მტვრის ნაწილაკების ჰაერის დახმარებით მარტივად გადაადგილებას. აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ქარები მტვრის ნაწილაკების გადატანის ძირითადი ბუნებრივი წყაროებია (დავითაშვილი, 2019). კახეთის შემთხვევაში დაბინძურებული ჰაერის ნაკადები ძირითადად ცენტრალური და შუა აზიიდან მოძრაობს. დასავლეთ საქართველოში ამ დამაბინძურებლის მაღალი კონცენტრაცია ზღვის სანაპიროს მიმდებარედ ფიქსირდება, რაც ქვიშით ან ზღვის წყლით არის გამოწვეული.

დაბინძურების მსგავსი განაწილება ჩანს ევროპულ მოდელშიც (დიაგრამა 26), რომელიც მეტად უსვამს ხაზს დაბინძურებას ქალაქებთან ახლოს. მყარი ნაწილაკების ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია თბილისისა და რუსთავის



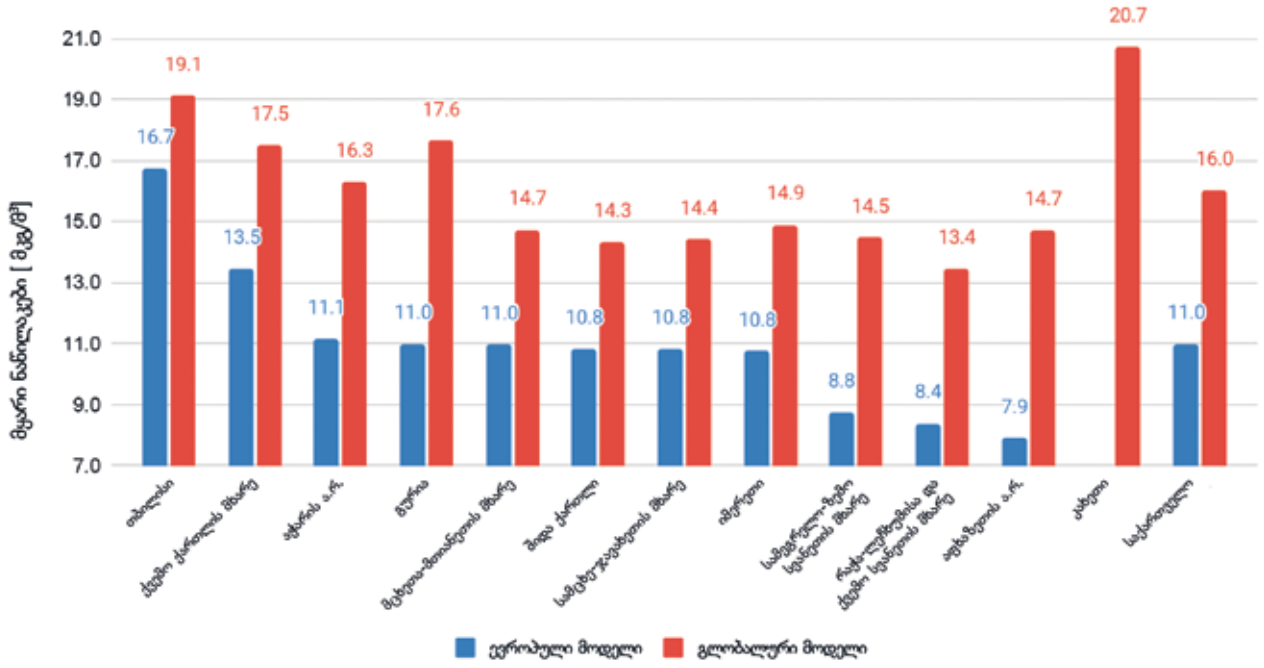
დიაგრამა 26: PM_{10}-ის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოში (ევროპული მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყაროები: CAMS, 2018–2022; ტოპოგრაფია (OpenStreetMap Contributors, 2022), ნახშირი და აირი (Global Energy Monitor, 2023).

მიმდებარედაა. აგრეთვე, მაღალია PM_{10}-ით დაბინძურება საქართველოს საავტომობილო მაგისტრალი ს1-ის სიახლოვეს, რომელიც თბილისსა და ქუთაისს აკავშირებს და გრძელდება დასავლეთ საქართველოში, სადაც დამაბინძურებლის მაღალი კონცენტრაციები ნარჩუნდება ფოთსა და ბათუმს შორის მოქცეულ ზღვის სანაპირო ზოლზე.

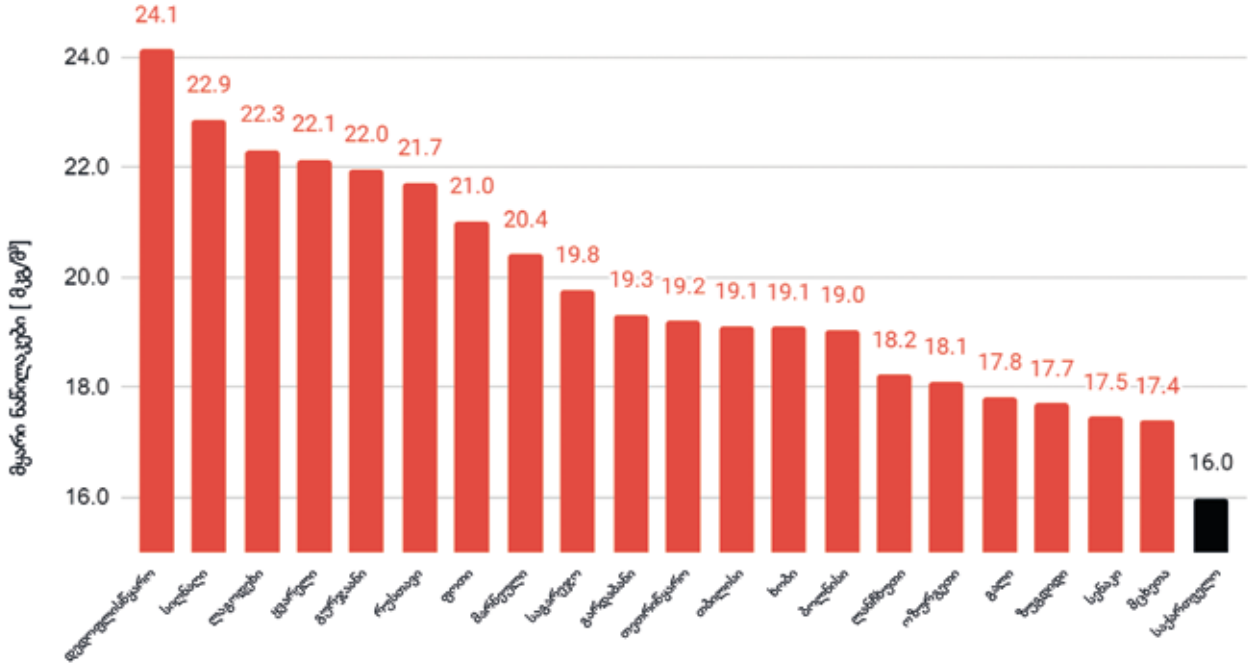
დიაგრამა 27-ზე საქართველოს რეგიონებში მყარი ნაწილაკების საშუალო კონცენტრაციის მონაცემებია ასახული. ჩანს, რომ თბილისისა და კახეთის დაბინძურების მაჩვენებლები მხოლოდ მცირედით აჭარბებს ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის რეკომენდებულ ზღვრულ მნიშვნელობას. აღსანიშნავია, რომ გლობალურ და ევროპულ მოდელებს შორის დაბინძურების ტრენდი განსხვავებულია. გლობალურ მოდელში ქვეყნის საშუალო მაჩვენებელს საგრძნობლად ზრდის მყარი ნაწილაკების მაღალი კონცენტრაცია მაღალმთიან რეგიონებსა და კახეთში, ამავე რეგიონებისთვის კი ევროპულ მოდელში ინფორმაცია ხელმისაწვდომი არ არის.

PM_{10}-ის ყველაზე მაღალი საშუალო მაჩვენებლები რუსთავსა და თბილისშია. დაბინძურება მცირედით იზრდება რუსთავის სამრეწველო ცენტრისკენ მოძრაობისას. მარნეულისა და მცხეთის მუნიციპალიტეტები, სადაც ასევე მაღალია დაბინძურება, თბილისის დაბინძურების ზეგავლენის ქვეშაა.

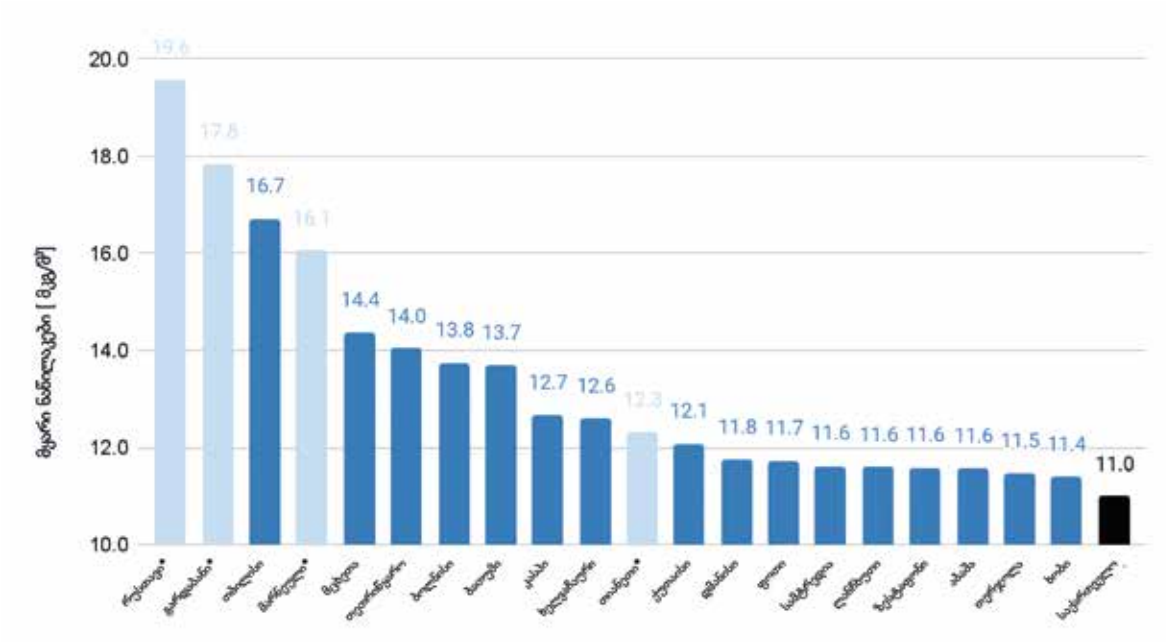
გლობალური მოდელის მიხედვით (დიაგრამა 28), დედოფლისწყაროში (მდებარეობს კახეთის რეგიონში, არ არის წარმოდგენილი ევროპულ მოდელში) სხვა მუნიციპალიტეტებთან შედარებით ყველაზე მაღალია მყარი ნაწილაკების კონცენტრაცია. ეს განპირობებულია არიდული ჰავითა და მცენარეული საფარის სიმცირით. სიტუაცია მსგავსია კახეთის სხვა მუნიციპალიტეტებშიც, მათ შორის სიღნაღში, ლაგოდეხსა და ქარელში.



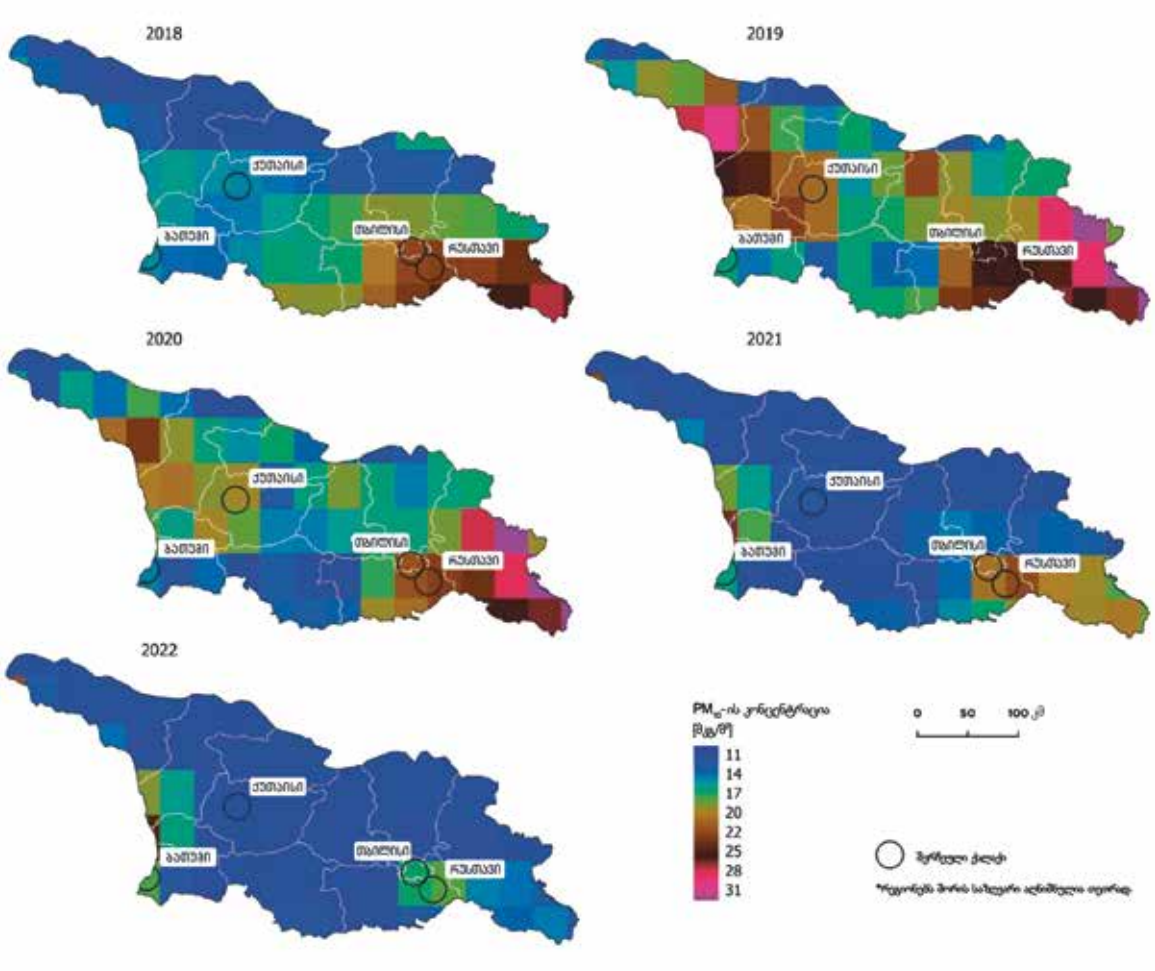
დიაგრამა 27: PM_{10}-ის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს რეგიონებში პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.



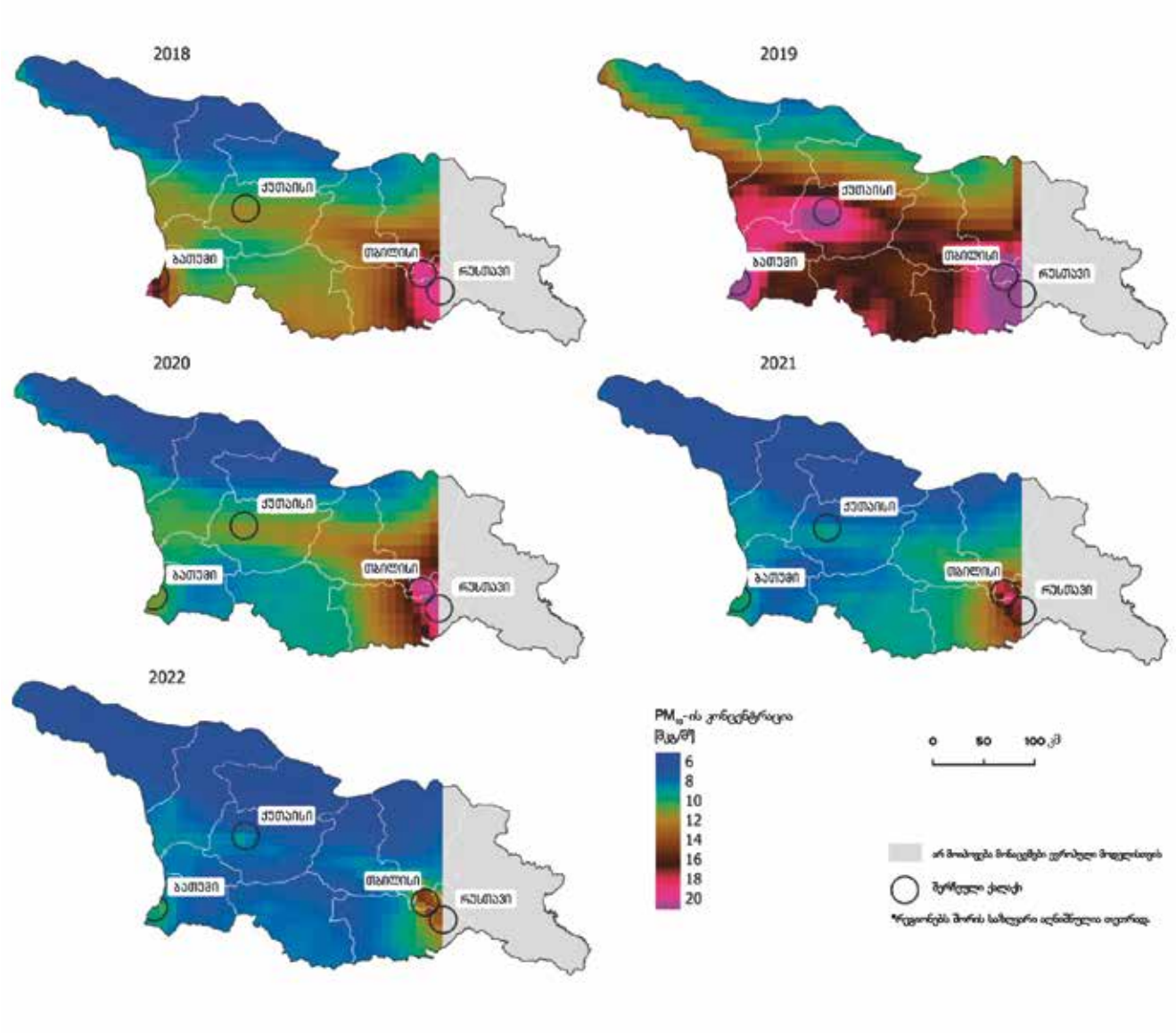
დიაგრამა 28: საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი PM_{10}-ის კონცენტრაციის მიხედვით (გლობალური მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.



დიაგრამა 29: საქართველოს 20 ყველაზე დაბინძურებული მუნიციპალიტეტი და თვითმმართველი ქალაქი PM_{10}-ის კონცენტრაციის მიხედვით (ევროპული მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022. შენიშვნა (*): ქალაქ რუსთავისა და გარდაბნის, ასევე თიანეთისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტების დაბინძურების მაჩვენებლები არ ვრცელდება ადმინისტრაციული ერთეულების სრულ ტერიტორიაზე.

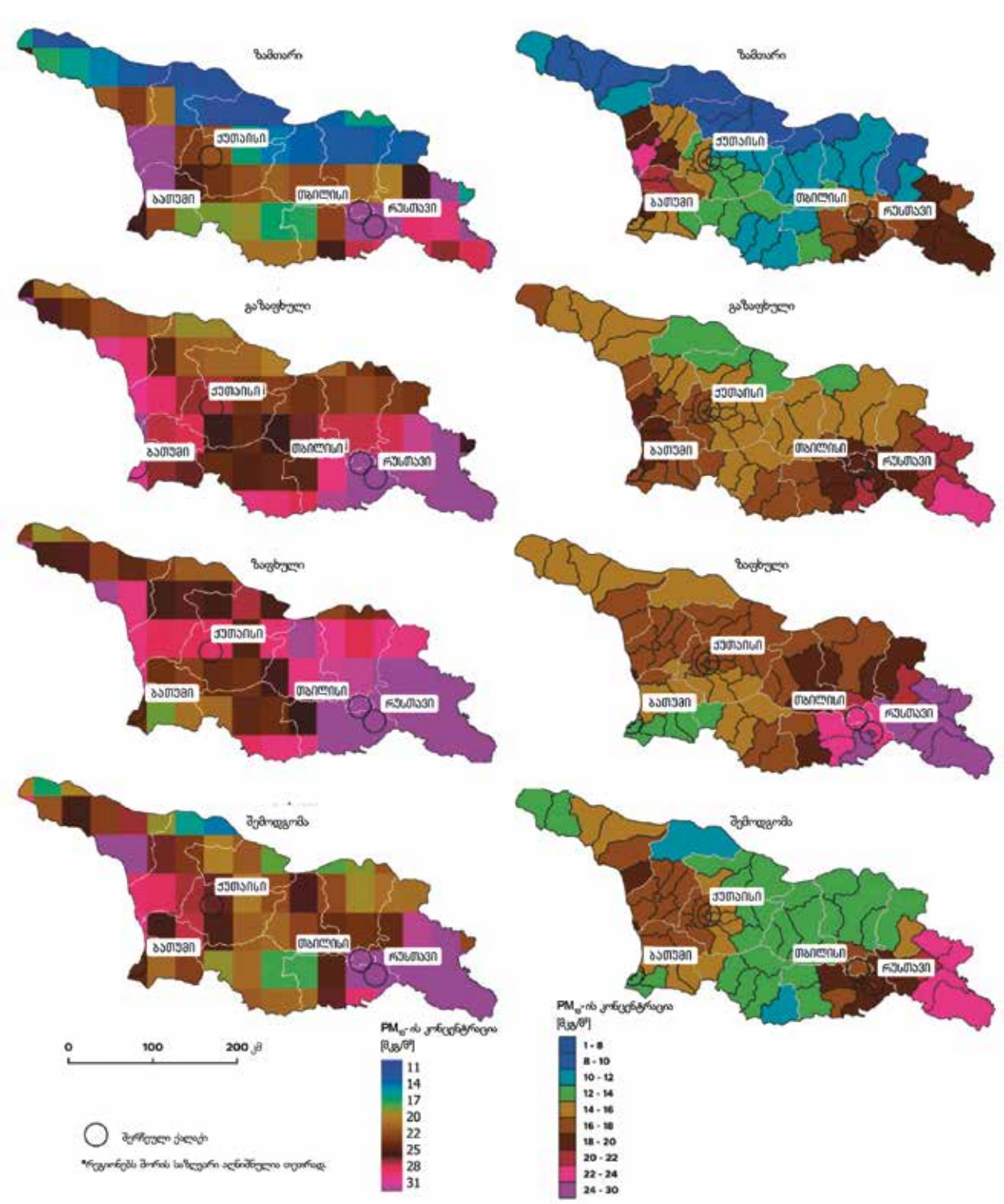


დიაგრამა 30: საქართველოს მასშტაბით PM_{10}-ის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (გლობალური მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.



დიაგრამა 31: საქართველოს მასშტაბით PM_{10}-ის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ევროპული მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.

PM_{10}-ის წლიური ვარიაცია, როგორც აღმოჩნდა, საკმაოდ სუსტ კავშირს აჩვენებს კორონავირუსის პერიოდში გადაადგილების შეზღუდვის („ლოქდაუნის“) ზომებთან. შეზღუდვა 2020 წლის შუა აპრილიდან ივნისამდე გრძელდებოდა, რომელსაც შემდგომი „ლოქდაუნი“ 2020 წლის ოქტომბრიდან 2021 წლის თებერვლამდე მოჰყვა. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მუშაობა 2020 წლის ნოემბერში შეჩერდა და 2021 წლის თებერვალში აღდგა (Nadareishvili et al., 2022). 2021 წელს შემზღუდავი ზომები რამდენჯერმე თავიდან იყო მიღებული, მათ შორის კომენდანტის საათი და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მიმოსვლის შეჩერება (A3M Global Monitoring GmbH, 2023). მყარი ნაწილაკებით დაბინძურების მაჩვენებლები კორონავირუსის პანდემიამდე უფრო მაღალი იყო, კერძოდ, ყველაზე მაღალი – 2019 წელს. 2020 წელს PM_{10}-ის საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ იკლო, თუმცა იგი 2018 წლის დონის მსგავსი იყო. დაბინძურების

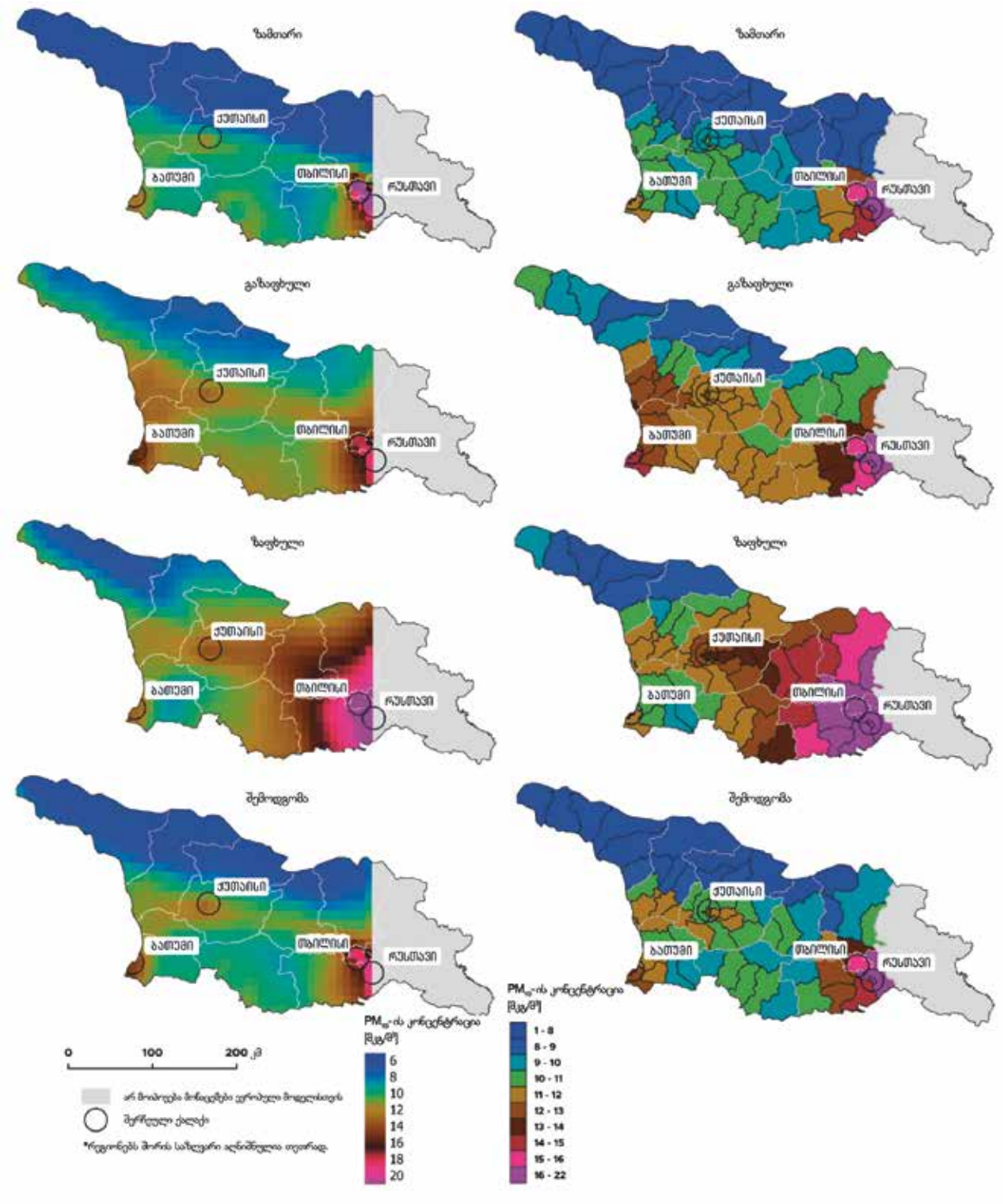


დიაგრამა 32: საქართველოს მასშტაბით PM_{10}-ის საშუალო სეზონური კონცენტრაცია (გლობალური მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.

შემცირება გაგრძელდა 2022 წლამდე. ორივე, გლობალური და ევროპული მოდელი, მსგავს ტრენდებს აღწერს.

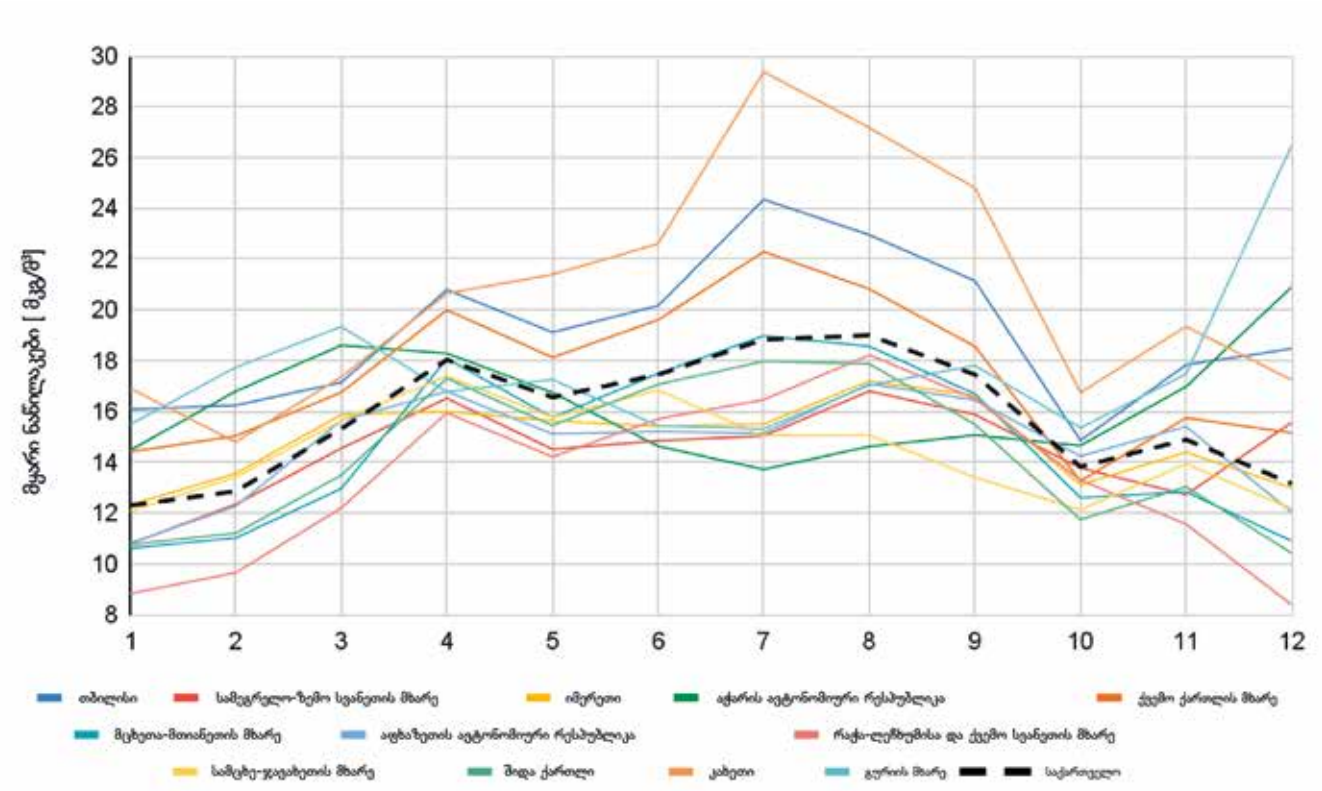
ჰაერის დაბინძურების სეზონურობა

PM_{10}-ის განაწილების სეზონურობა (დიაგრამა 33) გვიჩვენებს იმ პროცესს, რომლითაც დაბინძურების მიზეზები, შესაძლოა, აიხსნას.

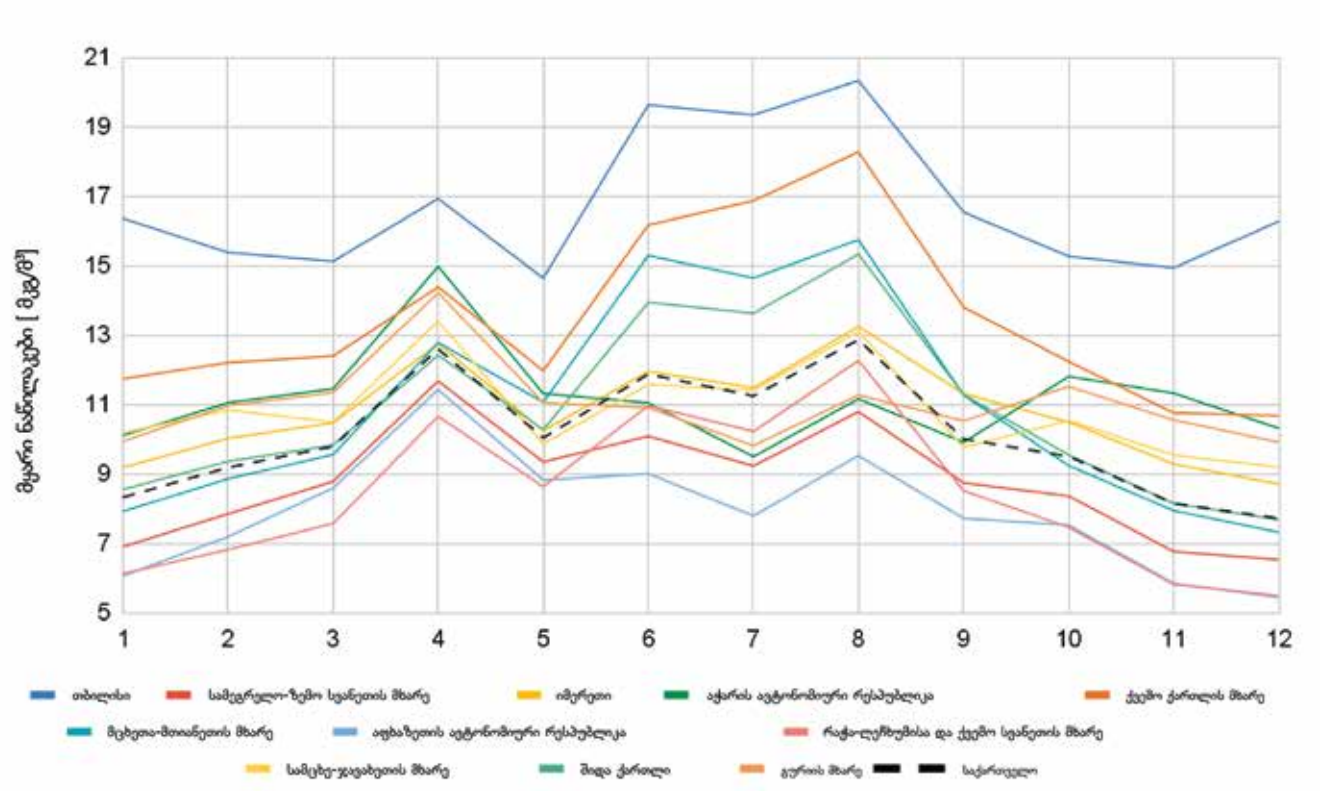


დიაგრამა 33: საქართველოს რეგიონებში PM_{10}-ის საშუალო სეზონური კონცენტრაცია (ევროპული მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.

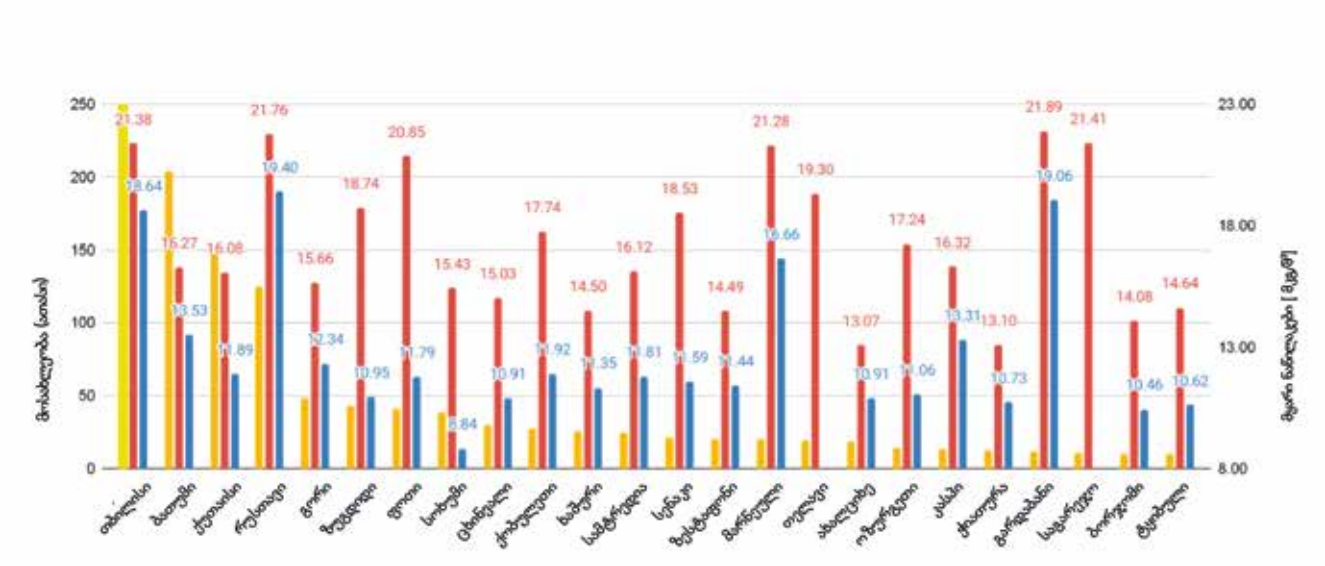
გაზაფხულსა და ზაფხულში აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი ჰავა განაპირობებს მტვრის ნაწილაკების გავრცელებას დასავლეთის მიმართულებით, შედეგად თბილისში, რუსთავსა და მიმდებარე მუნიციპალიტეტებში დაბინძურება იმატებს. ზამთარსა და შემოდგომაზე მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის ზრდა გამათბობელი სისტემების გამოყენებას უკავშირდება, განსაკუთრებით, როდესაც ასეთ გამათბობლებში ხეს ან ნახშირს იყენებენ.



დიაგრამა 34: PM_{10}-ის სეზონურობა საქართველოს რეგიონებში (გლობალური მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.



დიაგრამა 35: PM_{10}-ის სეზონურობა საქართველოს რეგიონებში (ევროპული მოდელი) პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი. კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.



დიაგრამა 36: PM_{10}-ის საშუალო კონცენტრაცია საქართველოს ქალაქებში 10,000-ზე მეტი მოსახლით პერიოდისთვის 2018 წლის მაისი – 2022 წლის დეკემბერი, კოპერნიკის ატმოსფეროს მონიტორინგის სამსახურის მონაცემები. წყარო: CAMS, 2018–2022.

გლობალური მოდელი (დიაგრამა 32) ვერ ასახავს დაბინძურების მაჩვენებლების ცვლილების პროცესს დეტალურად და ამ მოდელში დაბინძურების ცვლილებაზე მოქმედი ძირითადი წყარო ბუნებრივია, შედეგად PM_{10}-ის კონცენტრაცია მკვეთრად იზრდება გაზაფხულსა და ზაფხულში, როდესაც მტვრის ნაწილაკები ჰაერის ნაკადებს ქვეყნის აღმოსავლეთი ნაწილიდან დასავლეთისკენ გადააქვს.

დიაგრამები 34 და 35 გვიჩვენებს თითოეული თვისთვის საშუალო მონაცემს 2018-2022 წლებში. ორივე მოდელში დამაბინძურებლის კონცენტრაცია იზრდება ზაფხულში. ევროპული მოდელი არ მოიცავს კახეთის რეგიონს, რომელიც ყველაზე დაბინძურებული რეგიონია გლობალურ მოდელში. ამავდროულად, ევროპულ მოდელში თორმეტივე თვის განმავლობაში თბილისი ერთ-ერთი ყველაზე დაბინძურებული რეგიონია, რომელიც ამავდროულად ძირითადად მეორე ადგილს იკავებს გლობალურ მოდელში. რაც შეეხება სეზონურობის ამსახველ დიაგრამებს, მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის ზრდის ძირითადი ბუნებრივი წყაროა ქვეყნის აღმოსავლეთ ნაწილიდან ჰაერის ნაკადების დახმარებით მტვრის გავრცელება დასავლეთ საქართელოში.

ჰაერის დაბინძურება ქალაქებში

დიაგრამა 36 გვიჩვენებს PM_{10}-ის საშუალო კონცენტრაციას საქართველოს ქალაქებში 10,000-ზე მეტი მოსახლით. ორივე, გლობალურ და ევროპულ, მოდელში შეინიშნება, რომ დაბინძურების მაჩვენებლები არ არის მჭიდროდ დაკავშირებული მოცემული ქალაქის მაცხოვრებლების რაოდენობაზე. ზოგადად, გლობალური მოდელით შეფასებული ქალაქის მაჩვენებლები უფრო მაღალი და განზოგადებულია. ევროპულ მოდელში მაღალი მაჩვენებლები ემთხვევა გლობალური მოდელის მაჩვენებლებს ისეთი ქალაქებისთვის, როგორებიცაა გარდაბანი და რუსთავი.

რეკომენდაციები

ჰაერის დაბინძურება წარმოადგენს საფრთხეს საზოგადოებრივი ჯანმრთელობისა და გარემოსთვის, რაც საკმაოდ დიდი ეკონომიკური ზარალის საფრთხესაც ქმნის. საქართველო სწორ გზაზეა ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებისა და შენარჩუნების მხრივ, ქვეყანაში უკვე მიღებულია ევროკავშირის გარემოსდაცვითი კანონმდებლობისა და სტანდარტების შესაბამისი კანონები. საჭიროა, პროგრესი ნათლად ჩანდეს რამდენიმე მნიშვნელოვან სექტორში, მათ შორის ტრანსპორტირება, სამრეწველო სექტორის პასუხისმგებლობის გამოკვეთა, რეგულირების სამართლებრივი ჩარჩოების შექმნა, ენერგიის წყაროების დივერსიფიცირება და საზოგადოებრივი ჩართულობა. ზემოხსენებულის მისაღწევად რამდენიმე აქტივობაა რეკომენდებული.

ენერგოეფექტიანობის ზომები

ევროკავშირის სტანდარტების შესაბამისი ენერგოეფექტურობის რეგულაციების დანერგვა ხელს შეუწყობს ქვეყანაში ენერგიის მოხმარებისა და შესაბამისად ემისიების შემცირებას. მსგავსი რეგულირება უნდა ეხებოდეს შენობების სარემონტო სამუშაოებს, მრეწველობასა და ტრანსპორტის სექტორს. ამავდროულად, ხელმისაწვდომი უნდა გახდეს ენერგოეფექტური დანადგარები, გადაიჭრას სატრანსპორტო ქსელების პრობლემური ასპექტები. ეს ყველაფერი, საბოლოო ჯამში, ჰაერის დაბინძურებას შეამცირებს. პოლიტიკის ინსტრუმენტები, მათ შორის სავალდებულო აუდიტორული შემოწმება, ტექნიკური შესაბამისობის მოთხოვნა და ენერგიის მოხმარების მართვის სისტემის დანერგვა მასშტაბური ცვლილების წინაპირობა იქნება.

ტრანსპორტის სექტორის მოდერნიზაცია

აღნიშნული სექტორისთვის ერთ-ერთი პრიორიტეტი იმის უზრუნველყოფაა, რომ მძღოლებმა პერიოდული ტექნიკური ინსპექტირება გაიარონ. თბილისში საზოგადოებრივი ტრანსპორტი და მეტროს ქსელი ნორმალურ მდგომარეობაშია, მოძველებული ავტობუსებიც, რომლებიც დიზელის საწვავზე მუშაობს, ნელ-ნელა ახლებით იცვლება. ამავდროულად, ქსელის გაფართოება აუცილებელი ფაქტორია. თბილისის ყველაზე დატვირთული მარშრუტების განრიგი და სისტემა უნდა გაანალიზდეს, გადაიხედოს და მოქალაქეებისთვის უფრო მოსახერხებელი გახდეს. სხვა ქალაქებში, მაგალითად, ქუთაისში, ბათუმსა და რუსთავში, მსგავსი ცვლილებების განხორციელება ხელს შეუწყობს სატრანსპორტო სექტორის განახლებას.

სამრეწველო ობიექტების ემისიის კონტროლი

მძიმე მრეწველობის ტიპის საწარმოების გამონაბოლქვი გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიურ ზეგავლენას ახდენს, შესაბამისად ეს საკითხი უყურადღებოდ არ უნდა დარჩეს. ერთ-ერთი მაგალითია რუსთავის სამრეწველო ზონის ობიექტები გამონაბოლქვის მართვის გაუგებარი სისტემით (ჩქარეული, 2019). პრობლემის გადასაჭრელად რეკომენდებული ზომებია გამონაბოლქვის რეგულარული კონტროლის სისტემის დანერგვა, წარმოების ეკოლოგიურად უფრო სუფთა მეთოდებზე გადასვლა და ამგვარი ინდუსტრიებისთვის გამონაბოლქვის უფრო მკაცრი სტანდარტების დაწესება (მიზანშეწონილია საუკეთესო ხელმისაწვდომი ტექნიკების (BAT) შემოღება, რომლებიც განსაზღვრულია ევროკავშირის „დაბინძურების ინტეგრირებული პრევენციისა და კონტროლის შესახებ“ (IPPC) დირექტივით). ფინანსური მხარდაჭერა სუბსიდიების, დაბალპროცენტიანი სესხისა და საგადასახადო შეღავათის სახით წაახალისებს ამ პროცესს. ამავდროულად, ბევრი დიდი ობიექტი უცხოური კაპიტალით ფუნქციონირებს, მათ შორის „ჯეოსთილის“ ქარხანა რუსთავში ინდური კომპანია „JSW-ის“ მფლობელობაშია, ასევე, კასპის ცემენტის ქარხანა გერმანული „ჰაიდელბერგცემენტის“ კუთვნილებაა. იმის გათვალისწინებით, რომ

ბოლო დეკადაში საქართველოს ეკონომიკა მდგრადი და გამჭვირვალეა (World Bank, 2022), ამავდროულად კი საქართველო ევროკავშირის თავისუფალი ვაჭრობის ზონის აღმოსავლეთ საზღვარზე მდებარეობს, ეს კარგი შანსია ქვეყნისთვის იმის დასამტკიცებლად, რომ არ განიხილება დათმობაზე წასვლა იმ დიდ, მულტინაციონალურ კომპანიებთან, რომლებიც გარემოს არამდგრად მოხმარებასა და დასაქმებულების ექსპლუატაციას ეწევა.

ქალაქებში უნდა გამკაცრდეს რეგულაციები სამშენებლო მტვერზე (მაგალითად, სამშენებლო ქვის მშრალი ჭრის აკრძალვა). ამ ტიპის დარღვევა ჰაერის დაბინძურების საკმაოდ მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს.

განსხვავებული სექტორებისთვის სპეციფიკური სახელმძღვანელოები უნდა მოიცავდეს ძირითად ნაბიჯებს, შედეგებს და მიზნებს წარმოების უფრო მდგრად სისტემაზე გადასასვლელად. საერთაშორისო ინსტიტუციებისა და ევროკავშირის დახმარებით ტექნოლოგიური სიახლეების დანერგვა პროცესს კიდევ უფრო დააჩქარებს. აგრეთვე, ძალიან მნიშვნელოვანია კვლევითი საქმიანობის ხელშეწყობა, რათა გამოიძებნოს ინოვაციური გზები სამრეწველო ემისიების შესამცირებლად.

საკანონმდებლო ჩარჩო და გარემოსდაცვითი ვალდებულება

ბოლო წლების განმავლობაში საქართველომ გადადგა მნიშვნელოვანი ნაბიჯები ადგილობრივი გარემოსდაცვითი კანონმდებლობის ევროკავშირის კანონებთან ჰარმონიზაციისთვის. 2020 წელს საქართველოში ევროკავშირის ინდიკატორული გაზომვების სტანდარტის შესაბამისად ჰაერის ხარისხის მონიტორინგი დაიწყო (UNDP, 2020), 2021 წელს კი დამტკიცდა 2030 წლისთვის კლიმატური ცვლილებისთვის სტრატეგიული სამოქმედო გეგმა (საქართველოს მთავრობა, 2021). ამჟამად ძალიან მნიშვნელოვანია მარეგულირებელი ორგანოების გაძლიერება, რომლებსაც ევალებათ გარემოსდაცვითი ნორმების დაცვის კონტროლი. ეგ გულისხმობს შესაბამისი რესურსების მოძიებას, მათ შორისაა დაფინანსება, პროფესიონალი კადრები და მათი გადამზადება. ასევე, მნიშვნელოვანი საკითხია ეფექტიანი საკანონმდებლო ჩარჩოს შექმნა, რომელიც ლობიზმისა და კორუფციის წინააღმდეგ რეზისტენტული იქნება. საწარმოების, ელექტროსადგურებისა და სხვა დამაბინძურებელი ობიექტების რეგულარული აუდიტორული შემოწმება უნდა ადასტურებდეს მათი ფუნქციონირების შესაბამისობას გარემოსდაცვით სტანდარტებთან. შეუსაბამობისა და ზღვრული ნორმების დარღვევის შემთხვევაში მაღალი, თუმცა დარღვევის შესაბამისი ფულადი ჯარიმა უნდა დაეკისროს დამრღვევს, რაც აამაღლებს ცნობიერებას კერძო სექტორსა და საზოგადოებაში, თუ რა მოჰყვება ნორმებთან შეუსაბამობას. რეგიონის პოლიტიკური მდგომარეობისა და სტრატეგიული მდებარეობის გამო საქართველოს დიდი სატრანზიტო პოტენციალი აქვს. საავტომობილო მაგისტრალი ს1-ის სრულყოფის შემდეგ, მასზე გადაადგილებისთვის კონკრეტული საფასური უნდა დაწესდეს როგორც მსუბუქი, ასევე სატვირთო ავტომობილებისთვის, რათა დაბალანსდეს გარემოსთვის მიყენებული ზიანი. მსგავსი სისტემა შეიძლება მოეწყოს ბაქო-თბილისი-ყარსის რკინიგზაზეც, თუმცა ამ შემთხვევაში გაცილებით მეტი სიფრთხილეა საჭირო პროექტის მულტინაციონალურობის გამო.

განახლებადი ენერგიის წყაროები

ჰაერის დაბინძურების გეოგრაფიული განაწილება ზოგჯერ ვერ გვაწვდის საკმარის ინფორმაციას მისი ანთროპოგენური წყაროების შესახებ (გამონაკლისად, შესაძლოა, ჩაითვალოს ტრანსპორტი). ეს, გარკვეული დოზით, მიუთითებს ქვეყნის ენერგეტიკული სექტორის სტრუქტურაზე, ამჟამად საქართველოში ელექტროენერგიის 80 პროცენტი ჰიდროელექტროსადგურებიდან მიიღება. ასეთი ვითარება ხელსაყრელ პირობებს ქმნის სამომავლოდ ნაკლები წიაღისეულის საწვავის ელექტროსადგურის

ასაშენებლად. საჭიროა, განახლებადი ენერგიის წყაროების დივერსიფიკაცია. კლიმატური ცვლილება საფრთხეს წარმოადგენს წყლის რესურსისთვის, მისმა უეცარმა დეფიციტმა, შესაძლოა, ენერგიის სექტორი ისევ დამაბინძურებელი ელექტროსადგურებისკენ მოაბრუნოს. განახლებადი ენერგიის საკითხისადმი კერძო ბიზნესის ინტერესის გასაზრდელად, რეკომენდებულია განახლებადი ენერგიის სექტორის მხარდამჭერი პოლიტიკის გატარება და საინვესტიციო ინიციატივების წარდგენა, რათა მაქსიმალურად გაიზარდოს ამ საკითხისადმი ინტერესი.

მონიტორინგი და მონაცემთა ხელმისაწვდომობა

ქვეყნის მასშტაბით ავტომატიზებული სადგურების განთავსება შექმნის მონაცემთა ბაზას ცალკეული დამაბინძურებლების კონცენტრაციის შესახებ, რომელიც ხელმისაწვდომი იქნება როგორც მოქალაქეებისთვის, ასევე საჯარო უწყებებისთვისაც. საზოგადოებისთვის ხელმისაწვდომი საინფორმაციო სისტემები უნდა უზრუნველყოფდეს ჰაერის დაბინძურების პრობლემატიკის მარტივად აღსაქმელი ფორმით გადმოცემას, დაბინძურების წყაროების იდენტიფიცირების საშუალებას. ამგვარი სისტემის მაგალითია დამაბინძურებელთა გარემოში გაშვებისა და გადატანის რეესტრი (PRTR), რომელიც აერთიანებს დიდი სამრეწველო ობიექტების ემისიის წლიურ მაჩვენებლებს.

საზოგადოებრივი ცნობიერება და ჩართულობა

მომდევნო წლებში მოსალოდნელია საქართველოში ცხოვრების დონის მკვეთრი გაუმჯობესება, ეს პროცესი კი მჭიდროდ უნდა იყოს გარემოსდაცვით პასუხისმგებლობასთან დაკავშირებული. შესაბამისად, საჭიროა საზოგადოებრივი ცნობიერების ამაღლება დაბინძურებული ჰაერის ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზეგავლენისა და ამ პრობლემასთან მიმართებით ინდივიდუალური მოქალაქეობრივი პასუხისმგებლობის მნიშვნელობის შესახებ. მოსახლეობის გადაწყვეტილების მიღების პროცესში ჩართვისა და დაინტერესებული მხარეების მიერ კონტროლის სწორი მექანიზმების შემუშავებისთვის, მომხმარებლისთვის მოსახერხებელი პლატფორმების შექმნა აუცილებელია. მსგავსი პლატფორმის ერთ-ერთი მაგალითია ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის პორტალი (https://air.gov.ge/). საჯარო უწყებებმა უნდა უზრუნველყონ მოქალაქეების ჩართულობა სხვადასხვა სტრატეგიული დოკუმენტის შემუშავების პროცესში, მათ შორისაა ჰაერის ხარისხის რეგიონული კონტროლის გეგმები, დიდი სამრეწველო თუ ინფრასტრუქტურული პროექტების დამტკიცების განხილვის პროცედურები და ა.შ.

მონაცემთა წყაროები

A3M Global Monitoring GmbH (2023): COVID-19 pandemic – Georgia. Retrieved from https://global-monitoring.com/gm/page/events/epidemic-0002022.3xLcAJngIPYm.html?lang=en

Balashvili N., & Neidze V. (eds.) (2022): Physical Geography of Georgia. Springer Nature Switzerland, Tbilisi Georgia, 229 p. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-030-90753-2

Bianet (2023): 2021 was the driest year in two decades in Turkey. State Meteorological Institute (MGM). Retrieved from https://www.mgm.gov.tr/eng/forecast-cities.aspx

CAMS (2022): CAMS global atmospheric composition forecasts. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Retrieved from https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-atmospheric-composition-forecasts

CENN (2014): Comparison of the Air Quality Monitoring Systems of EU Member States and Georgia. Retrieved from https://www.google.com/

Chkareuli T. (2019): Rustavi: The city of factories. Oc-media. Retrieved from https://oc-media.org/in_pictures/in-pijtures-rustavi-the-jity-of-fajtories/

EEA (2019): Air quality in Europe 2029. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019

EEA (2022): Sources and emissions of air pollutants in Europe. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air

EPA (2022): Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution. Retrieved from https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#Effects

Feilberg K., Sellevåg S., Nielsen C., & Griffith D. (2002): CO+OH→CO2+H: The relative reaction rate of five CO isotopologues. Physical Chemistry Chemical Physics, 4, 4687–4693. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1039/B204827M

Geddes J. A., Wang B., & Li D. (2021): Ozone and Nitrogen Dioxide Pollution in a Coastal Urban Environment: The Role of Sea Breezes, and Implications of Their Representation for Remote Sensing of Local Air Quality. Journal of Geophysical Research. Atmospheres: JGR, 126(18), e2021JD035314. Retrieved from https://doi.org/10.1029/2021JD035314

Gilmour P. S., Morrison E. R., Vickers M. A., Ford I., Ludlam C. A., Greaves M., Donaldson K., & MacNee W. (2005): The procoagulant potential of environmental particles (PM_{10}). Occupational and Environmental Medicine, 62(3), 164–171. Retrieved from https://doi.org/10.1136/oem.2004.014951

Government of Georgia (2018): Thematic Inquiry Report of the Environment Protection and Natural Resources Committee of the Parliament of Georgia on Air Quality in Tbilisi. Retrieved from https://parliament.leavingstone.club/storage/files/shares/tematuri-mokvleva/garemo/atmosferuli-haeri/green-report-2019-eng.pdf

Government of Georgia (2021): Georgia's 2030 climate change strategy. 142 p. Retrieved from https://mepa.gov.ge/En/Files/ViewFile/50123

HDX (2020): Georgia – Subnational Administrative Boundaries [dataset]. Retrieved from https://data.humdata.org/dataset/geoboundaries-admin-boundaries-for-georgia

Jiang J., & Zhou T. (2023): Agricultural drought over water-scarce Central Asia aggravated by internal climate variability. Nature Geoscience, 16, 154–16. Retrieved from https://doi.org/10.1038/s41561-022-01111-0

Karlsson H. L., Nygren J., & Möller L. (2004): Genotoxicity of airborne particulate matter: the role of cell-particle interaction and of substances with adduct-forming and oxidizing capacity. Mutation Research, 565(1), 1–10. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2004.07.015

Künzli N., Jerrett M., Mack W. J., Beckerman B., LaBree L., Gilliland F., Thomas D., Peters J., & Hodis H. N. (2005): Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. Environmental Health Perspectives, 113(2), 201–206. Retrieved from https://doi.org/10.1289/ehp.7523

Legislative Herald of Georgia (1999): On Ambient Air Protection. Retrieved from https://matsne.gov.ge/en/document/view/16210?publication=14

MEPA (2020): Annual Report 2020. Retrieved from https://mepa.gov.ge/En/Reports

MEPA (2021): National Greenhouse Gas Inventory Report of Georgia 1990-2017. MEPA, United Nations Development Programme & Global Environmental Facility. Tbilisi, Georgia. 229 p. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NIR%20%20Eng%2030.03.pdf

MEPA (2023): Air quality monitoring system. Retrieved from https://air.gov.ge/en/pages/14/14

Ministry of Economy and Sustainable Development (2019): Periodic Technical Inspection of Vehicles. Retrieved from https://www.economy.ge/?page=economy&s=126&lang=en

Nadareishvili I., Zhulina A., Tskitishvili A., Togonidze G., Bloom, D. E., & Lunze K. (2022): The Approach to the COVID-19 Pandemic in Georgia-A Health Policy Analysis. International Journal of Public Health, 67, 1604410. Retrieved from https://doi.org/10.3389/ijph.2022.1604410

National Statistics Office of Georgia (2023): Statistics. Retrieved from https://www.geostat.ge/en

NOAA (2015): Carbon Monoxide 2008-2011. Science on a Sphere. Retrieved from https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/carbon-monoxide-2008-2011/

Runfola D., & Community Contributors (2020): geoBoundaries: A global database of political administrative boundaries [dataset]. PLoS ONE, 15(4): e0231866. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231866. Retrieved via HDX (2023) from https://data.humdata.org/dataset/geoboundaries-admin-boundaries-for-georgia

Sinergise (2023): Sentinel-5P L2. SentinelHub. Retrieved from https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-5p-l2/

Singh M. (2018): Efficient Multi-site Statistical Downscaling Model for Climate Change. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30863.84644. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Maharana-Singh/publication/329276245/figure/tbl2/AS:698315029098508@1543502685865/3-Correlation-coefficient-verbal-classification_W640.jpg

TROPOMI (2023): Carbon Monoxide. Retrieved from http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide

UNDP (2020): Georgia strives to improve air quality in cities. Retrieved from https://www.undp.org/georgia/press-releases/georgia-strives-improve-air-quality-cities

USGS (2023): USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Retrieved from https://earthexplorer.usgs.gov

WHO (2000): Chapter 7.1: Nitrogen dioxide. In: WHO (2000): Air quality guidelines for Europe (2nd ed). World Health Organization, Regional Office for Europe. Retrieved from https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/123083/AQG2ndEd_7_1nitrogendioxide.pdf?ua=1

WHO (2005): Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Retrieved from https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823

WHO (2013): Health effects of particulate matter. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 20 p. Retrieved from https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

WHO (2023a): How air pollution is destroying our health. Retrieved from https://www.who.int/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health

WHO (2023b): Ambient (outdoor) air pollution. Retrieved from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

World Bank (2021): Georgia Can Unlock Potential for Green Growth, Says World Bank. Retrieved from https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/05/17/georgia-can-unlock-potential-for-green-growth-says-world-bank

World Bank (2022): Georgia Overview. Retrieved from https://www.worldbank.org/en/country/georgia/overview

Worldometers (2023): Georgia. Retrieved from https://www.worldometers.info/world-population/georgia-population/

WorldPop (2020): The spatial distribution of population density in 2020, Georgia. Retrieved from https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=41326

Zargarian R. (2021): Armenia To Use More Water From Key Lake Amid Summer Drought. Azatuyun. Retrieved from https://www.azatutyun.am/a/31401368.html

„არნიკა“ აერთიანებს ადამიანებს ბუნებრივი გარემოს გადასარჩენად. ჩვენ გვჯერა, რომ ბუნებრივი გარემო არა მხოლოდ საჩუქარია, არამედ ერთგვარი ვალდებულებაც, რომ შევინარჩუნოთ იგი მომავალი თაობებისთვის. დაფუძნების დღიდან „არნიკა“ იქცა ჩეხეთის ერთ-ერთ წამყვან ორგანიზაციად გარემოსდაცვით სექტორში. ორგანიზაციის საქმიანობა ეფუძნება სამ ძირითად მიმართულებას: საზოგადოებრივი ჩართულობა, კვლევაზე დაფუძნებული არგუმენტაცია და კომუნიკაცია. „არნიკას“ საინფორმაციო კამპანიები აქვს წარმოებული როგორც ჩეხეთში, ასევე მის საზღვრებს გარეთ. ორგანიზაცია მეტწილად მუშაობს გარემოს შენარჩუნებაზე, ნარჩენების მართვასა და გარემოსდაცვით სამართალზე.

WORLD FROM **SPACE**

“სამყარო კოსმოსიდან“ არის ჩეხური ტექ-კომპანია, რომელიც იყენებს ხელოვნურ თანამგზავრებსა და გეოსივრცით მონაცემებს სოფლის მეურნეობის სფეროზე, NewSpace სისტემებსა და სხვა სექტორებზე პოზიტიური ზეგავლენისთვის. კომპანიის მიერ მონაცემთა დამუშავების შედეგად მომზადებული ანალიტიკური კვლევები საფუძველს წარმოადგენს არგუმენტირებული გადაწყვეტილების მიღებისთვის, რაც ხელს უწყობს ორგანიზაციებს, ჩამოაყალიბონ სტრატეგიული ხედვა. ჩვენი კომპანია მუშაობს კომერციულ პროექტებზე და ჩართულია კვლევით საქმიანობაში შემდეგ ორგანიზაციებთან ერთად: ევროპული კოსმოსური სააგენტო (ESA), ევროკავშირის კოსმოსური პროგრამების სააგენტო (EUSPA), კონსორციუმი Horizon, LIFE და ა.შ.

ჩემი ქალაქი მკლავს

სამოქალაქო მოძრაობა **„ჩემი ქალაქი მკლავს“** 2018 წელს შეიქმნა სოციალურ პლატფორმა „ფეისბუქზე“ საქართველოში არსებული ეკოლოგიური და სოციალური პრობლემების გაშუქებისა და მათი აღმოფხვრის მიზნით. აქტივობის უფრო მეტად გაფართოებისთვის 2020 წელს დაფუძნდა ორგანიზაცია „მწვანე პოლუსი“. ჩვენი მისიაა ნიადაგის, ჰაერისა და წყლის დაცვა, რომლებზეც დამოკიდებულია ყველა ცოცხალი ორგანიზმი. ჩვენი ხედვა არის ისეთი საზოგადოების ჩამოყალიბება, რომლის მთავარი მამოძრავებელია მდგრადი განვითარება და რომელიც მოქმედებს ბუნების შენარჩუნებისთვის საკუთარი და მომავალი თაობებისათვის.

დამატებითი ინფორმაცია:
http://arnika.org/en/countries/georgia
http://greenpole.org

რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მეტალურგიული საწარმოა კავკასიაში. მეტად სავარაუდოა, რომ დაბინძურება რუსთავიდან თბილისზეც ვრცელდება. ფოტო: მაიდა სლამოვა

მიუხედავად იმისა, რომ დაკვირვების შედეგად ყველა დაბინძურებულ ლოკაციაზე არ დაფიქსირდა დამაბინძურებელი საწარმო, მოძველებული ტექნოლოგია ქმნის საფრთხეს საზოგადოებრივი ჯანდაცვისთვის. მთავრობამ უნდა მიაქციოს ყურადღება მავნე ნივთიერებების ემისიას, მაგალითად, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან. ფოტო: მაიდა სლამოვა/არნიკა

შეგიძლიათ, ჩამოტვირთოთ კვლევა