



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის გაზომვა ატმოსფერულ
ჰაერში ბიუჯეტური სენსორების და უპილოტო საფრენი აპარატების
გამოყენებით

ილია ადუაშვილი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ქიმიის მიმართულება

*ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის (ქიმიური ექსპერტიზის სპეციალობით)
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად*

*ხელმძღვანელი: ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის ასისტენტ პროფესორი გიორგი ჯიბუტი*

თბილისი

2021 წელი

ანოტაცია

ის, რომ მსოფლიოში ჰაერის დაბინძურების ცუდი ტენდენცია შეინიშნება, არაახალია. ქვეყნებმა ერთობლივი ძალებით უნდა იმოქმედონ და მიიღონ შესაბამისი ზომები ამის გამოსასწორებლად. ატმოსფერული ჰაერი მნიშვნელოვანია დედამიწაზე ცოცხალი ორგანიზმების არსებობისთვის. ბოლო ნახევარი საუკუნიდან მოყოლებული ტექნიკურ პროგრესს თან სდევს დიდი რაოდენობით მავნე ნივთიერებების ატმოსფეროში გაფრქვევა. ცალკეულ კომპონენტთა კონცენტრაციები მნიშვნელოვნად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. ეს პრობლემა განსაკუთრებით შეიმჩნევა ურბანულ ქვეყნებში.

ნაშრომის მთავარ მიზანს წარმოადგენს, ქალაქ თბილისში, გზის სავალი ნაწილიდან მოშორებულ ტერიტორიაზე, ილიას ბაღში და ავტომობილების მოძრაობით ერთ-ერთ საკმაოდ გადატვირთულ ადგილზე, წერეთლის გამზირზე, ჰაერის ნახშირბადის მონოქსიდით (CO) დაბინძურების შეფასება ბიუჯეტური სენსორებისა და უპილოტო საფრენი აპარატის გამოყენებით. მონაცემების ჩაწერა ხდებოდა რამდენიმე თვის განმავლობაში უწყვეტ რეჟიმში. სენსორები დამაგრებული იყო „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“-ს კუთვნილ ჯიხურების თავზე. ჩემს მიერ ნახსენები ჯიხურები სხვა რამდენიმე ჯიხურთან ერთად აწარმოებს საქართველოში ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგს. ჩვენი მოგროვებული შედეგები დავამუშავეთ და შევადარეთ დროის იმავე მონაკვეთში „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“-ს მიერ მოწოდებულ შედეგებს.

ნაშრომი შესრულდა SMART|AtmoSim_LAB-ის ბაზაზე სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხარდაჭერით.

Summary

It is not a news that there is a trend of increasing air pollution in the world. Countries must work together to take appropriate action to address this. Atmospheric air plays an important role in the existence of living organisms on Earth. Technological progress over the last half century has been accompanied by the release of large amounts of harmful substances into the atmosphere. The concentrations of the individual components far exceed the permissible limits. This problem is especially noticeable in urban countries.

The main aim of the paper is to assess air carbon monoxide (CO) pollution on Tsereteli Avenue, one of the busiest places on Tsereteli Avenue, in the city of Tbilisi, away from the road, using budget sensors and unmanned aerial vehicles. The data was recorded continuously for several months. The sensors were mounted on top of the monitoring states owned by the National Environment Agency. The booths I mentioned along with several other stations, monitor air pollution in Georgia. We processed the results at my disposal and compared them with the results provided by the LEPL National Environment Agency in the same period of time.

The work was performed in frame of research at SMART | AtmoSim_LAB with the support of the LEPL National Environment Agency.

სარჩევი

ანოტაცია.....	2
შესავალი.....	5
1. ლიტერატურული მიმოხილვა	7
1.1. ატმოსფეროს არსი	7
1.2 ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურა.....	8
1.3 ატმოსფეროს ძირითადი შემადგენელი კომპონენტები.....	11
1.4 ჰაერის დაბინძურება	13
1.5 ჰაერის დაბინძურების ისტორიული კონტექსტი	14
1.6 ნახშირბადის მონოქსიდი - CO	16
1.7 ატმოსფეროს გაწმენდის გზები.....	17
1.8 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში	18
2. ატმოსფეროს ანალიზის ქიმიური მეთოდები	20
2.1 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია (CRDS).....	20
2.2 ულტრაიისფერ-ხილული ოპტიკურ აბსორბციული სპექტროსკოპია (UV-VIS DOAS) ...	22
2.3 აირთა ელექტროქიმიური სენსორული ანალიზატორი და მისი მუშაობის პრინციპი....	22
3. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	25
3.1. ატმოსფეროს კვლევების და სიმულაციის ლაბორატორია.....	25
3.2. ექსპერიმენტში გამოყენებული აპარატურა.....	26
3.3 კვლევის შედეგები და მათი განხილვა.....	31
დასკვნა.....	45
გამოყენებული ლიტერატურა.....	46

შესავალი

ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) მონაცემებით, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება სიკვდილიანობის და დაავადებათა გამომწვევი ერთ-ერთი უმთავრესი მიზეზია. 2016 წელს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება მსოფლიოს მასშტაბით 4,2 მილიონი ადამიანის ნაადრევი სიკვდილის მიზეზი გახდა. დაავადებათა კონტროლისა და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ეროვნული ცენტრის ცნობით, ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ საქართველოსთვის მოწოდებული გათვლების შესაბამისად, მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე ჰაერის დაბინძურებასთან ასოცირებულმა გაერთიანებულმა მავნე ზემოქმედებამ, 2016 წელს განაპირობა 6845 სიკვდილის შემთხვევა. [11]

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერი საკმაოდ დაბინძურებულია, ამიტომ დაუყონებლივ მოძიებულ უნდა იქნას ყველა გამომწვევი მიზეზი და შეძლებისდაგვარად მოხდეს მათი აღმოფხვრა. მეცნიერულად დამტკიცებულია, რომ ჰაერში ისეთი მავნე ნივთიერებების მოხვედრა როგორცაა: ნახშირბადის, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები, მტვერის მცირე ზომის ნაწილაკები, ორგანული ნაერთები და ა.შ. დაშვებულზე მაღალი კონცენტრაციები უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე, ეკოსისტემასა და მატერიალურ ფასეულობებზე.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერი ძირითადად ბინძურდება: ავტოტრანსპორტიდან, ენერგეტიკული სექტორიდან, სამრეწველო ობიექტებიდან და სოფლის მეურნეობის დარგებიდან. ძირითად დამაბინძურებელად ითვლება ავტოტრანსპორტი და ენერგეტიკა, რადგან ბოლო წლებში იზრდება ამ სექტორებში მოხმარებული საწვავის რაოდენობა. სამრეწველო სექტორიდან ატმოსფეროში ძირითადად მტვერი, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები გაიფრქვევა, რომელთა რაოდენობრივი ცვლილების ხასიათი განპირობებულია საწარმოს მიერ წარმოებული პროდუქციის რაოდენობრივი ცვლილებით. მტვერგაფრქვევით ძირითადად ხასიათდება მრეწველობის ისეთი ქვედარგები, როგორცაა: ცემენტის, გაჯის, ასფალტ-ბეტონის წარმოებები. ბუნებრივ პროცესთა მიმდინარეობის შედეგად სამყაროში სხვადასხვა ტიპის ცვლილებები განუწყვეტლივ მიმდინარეობს. ატმოსფერო, რომელიც დედამიწის გარემოს ერთ-ერთი უმთავრესი შემადგენელი ნაწილია, მუდმივ ცვლილებებს

განიცდის. ასეთი ცვლილებები გამოწვეულია დედამიწის მოსახლეობისა და ადამიანთა საქმიანობების მასშტაბების ზრდის გამო. ბოლო ნახევარი საუკუნის განმავლობაში ე.წ. ინდუსტრიალიზაციის ეპოქის დადგომასთან ერთად აქტუალური გახდა ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემა. ატმოსფეროს დაბინძურება არის ატმოსფერული ჰაერის შემადგენლობის ცვლილება მასში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა არსებობის შედეგად. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას განაპირობებს, როგორც ტექნოგენური, ასევე ბუნებრივი დაბინძურების წყაროების ფუნქციონირება; მაგრამ უმთავრესი დამაბინძურებელი მაინც ანთროპოგენური წყაროებია. [3]

მსოფლიოში მოსახლეობის რაოდენობის ზრდამ, მეცნიერულ-ტექნიკურმა პროგრესმა, ურბანიზაციის და ინდუსტრიალიზაციის პროცესების სწრაფი ტემპებით განვითარებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა მოთხოვნა არაერთ რესურსზე; იზრდება მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების და წარმოებული პროდუქციის რაოდენობა, რაც მრავალ გარემოსდაცვით პრობლემას უქმნის მსოფლიოს ურბანულ ცენტრებს. ენერგეტიკული სექტორის სიმძლავრე საშუალოდ ყოველ თორმეტ წელიწადში, - ხოლო სამრეწველო სექტორისა, ყოველ თხუთმეტ წელიწადში ორმაგდება. ატმოსფერულ ჰაერს მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ბიოსფეროს სხვა კომპონენტებს შორის და მისი მნიშვნელოვნება დედამიწაზე შეუფასებელია ცოცხალი ორგანიზმისთვის. ეპიდემიოლოგიური კვლევები ადასტურებს, რომ ევროპაში ნაადრევი სიკვდილიანობის 100 ათასი შემთხვევა გამოწვეულია ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია, დღემდე შეისწავლის ადამიანის ორგანიზმზე დაბინძურებული ჰაერის შესაძლო მავნე ზემოქმედებას. [2]

1. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. ატმოსფეროს არსი

რომ არა ატმოსფერო, დედამიწაზე სიცოცხლის არ იქნებოდა. იგი სხვადასხვა აირების ნარევი და ასევე დამატებით შეიცავს აეროზოლის ნაწილაკებს. ატმოსფერული აირების კლასიფიკაცია ხდება მათი შემცველობის და ატმოსფეროში მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობის მიხედვით. რაოდენობის მიხედვით განარჩევენ ძირითად და კვალის სახით არსებულ აირებს, ხოლო ცხოვრების დროის მიხედვით იყოფა: მუდმივ, ცვალებად და ძლიერ ცვალებად ტიპებად. მუდმივი გაზების შემცველობა უცვლელია გეოლოგიური პერიოდების განმავლობაში, ხოლო, ცვალებადი გაზებისთვის ცხოვრების დრო იზომება წლებით, ან დღეებით.

ჰაერის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტებია აზოტი (მოცულობის 78.084%), ჟანგბადი (მოცულობის 20.946%) და არგონი (მოცულობის 0.934%), ჯამში ეს სამი გაზი წარმოადგენს ატმოსფეროს შემცველობის 99.964 მოცულობით პროცენტს, ამ გაზების კონცენტრაციები არ განიცდიან მნიშვნელოვან ცვლილებას დროსა და სივრცეში (დედამიწის ზედაპირიდან 80 კილომეტრის მანძილზე), ამიტომ მათ ეწოდებათ მუდმივი გაზები. ატმოსფეროში არის სხვა კეთილშობილი გაზებიც გაცილებით მცირე რაოდენობით. ისინი ცვალებად და ძლიერ ცვალებად გაზებს მიეკუთვნებიან. ასევე მცირე რაოდენობითაა სხვა აირებიც, მაგ. წყალბადი, არგონი, ჰელიუმი, ნეონი, კრიპტონი, მეთანი, აზოტის ოქსიდი და სხვა. [1]



სურათი 1. ატმოსფერო კოსმოსიდან

1.2 ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურა

ატმოსფეროს მასა დაახლოებით $5.3 \cdot 10^{18}$ კილოგრამია. ატმოსფეროს ზედა საზღვარი მკვეთრად განსაზღვრული არ არის. ატმოსფეროს შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობა სიმაღლის ზრდასთან ერთად თანდათანობით მცირდება სანამ არ მიაღწევს პლანეტათაშორის სივრცეს. ატმოსფერო ეს არის აირებისა და ნაწილაკების გარსი, რომელიც გარს აკრავს დედამიწას და რჩება მის გარშემო დედამიწის საკუთარი ლერძის და მზის გარშემო ბრუნვისას. ატმოსფეროს მასის ნახევარი 5.5 კმ სიმაღლემდეა, ხოლო მასის 99% განთავსებულია 30 კმ-იანი ნიშნულის ქვემოთ.

ატმოსფეროს ჰომოგენურობის მიხედვით განირჩევა ორი ატმოსფერული შრე: პირველ შრეს ზედაპირიდან 80 კმ სიმაღლემდე ეწოდება ჰომოსფერო, სადაც განუწყვეტელი ტურბულენტური შერევის გამო ატმოსფეროს შემადგენლობა შედარებით მუდმივია ხანგრძლივი სივრცის მქონე კომპონენტებისთვის. ეს შრე გარშემორტყმულია თხელი გარდამავალი შრით, რომელსაც ეწოდება ტურბოპაუზა, მის თავზე იწყება ჰეტეროსფერო, სადაც აირების ნაკადები ლამინარულია და შერევა ძირითადად განპირობებულია დიფუზიით, ამის გამო ატმოსფეროს შემადგენელი გაზები შრეებადაა განლაგებული და ატმოსფეროს შემადგენლობა სიმაღლის მიხედვით დამოკიდებულია გაზების მოლეკულურ მასებზე. ჰეტეროსფეროს ქვემო შრეებში მოთავსებულია უფრო დიდი მოლეკულური მასის მქონე გაზები: აზოტი და ჟანგბადი, ხოლო ზემო შრეებში მსუბუქი გაზები, როგორცაა წყალბადი. 1000 კმ-მდე ძირითადად ჟანგბადის ატომები გვხვდება, ხოლო უფრო მაღლა ჰელიუმი და წყალბადი.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში დედამიწის ზედაპირიდან 20-2000 კმ მანძილზე გვხვდება იონური და რადიკალური ნაწილაკები (O^+ , O_2^+ , NO^+ , N_2^+ , თავისუფალი ელექტრონები), ატმოსფეროს ამ რეგიონს ეწოდება იონოსფერო.

სიმაღლისა და ტემპერატურის ცვლილების მიხედვით, ატმოსფერო იყოფა რამდენიმე შრედ.

ტროპოსფერო - ატმოსფეროს მთავარი ყველაზე ქვემოთა შრეა, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან ტროპოპაუზამდეა განთავსებული. ტროპოსფეროს სისქე ცვალებადია, პოლარულ რეგიონებში 7 კმ-მდეა, შუა რეგიონებში 11-12 კმ, ხოლო ეკვადორის თავზე 18 კმ-მდეც აღწევს. მისი სიმაღლე ასევე დამოკიდებულია წელიწადის დროზე, ამინდზე და დღე-ღამის მონაკვეთზე. ტროპოსფერო შეიცავს ატმოსფეროს მასის 80%-ს. წყლის ორთქლის და მტვრის ნაწილაკების თითქმის მთელი რაოდენობა ტროპოსფეროშია მოთავსებული. ამინდის და ღრუბლების ფორმირება ძირითადად ხდება ტროპოსფეროში. ტროპოსფერო შესაძლოა დაიყოს ორ ძირითად ნაწილად, ქვემოთა ნაწილს ეწოდება პლანეტარული სასაზღვრო შრე (PBL), ან ატმოსფერული სასაზღვრო შრე, რომელის ზედა ზღვარი იცვლება 100-დან 3000 მეტრამდე ამინდის და დღეღამის პერიოდის მიხედვით. ხოლო მის ზემოთა შრეს ეწოდება თავისუფალი ტროპოსფერო.

სტრატოსფერო - ტროპოსფეროს თავზე არის გარდამავალი ფენა ტროპოპაუზა, საიდან იწყება სტრატოსფერო, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 50 კმ-მდე ვრცელდება. ამ შრეში ტემპერატურა იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად, რაც გამოწვეულია სტრატოსფეროში ოზონის მაღალი კონცენტრაციით. ოზონი ინტენსიურად შთანთქავს მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებას 210-290ნმ უბნებში, რაც იწვევს სტრატოსფეროს ტემპერატურის მატებას. სტრატოსფერო შეიცავს ატმოსფეროს მასის 19%-ს და წყლის ორთქლის ძალზე მცირე რაოდენობას. სტრატოსფერო სტაბილური შრეა, ნაწილაკები, რომლებიც აღწევენ ტროპოსფეროდან, (მაგალითად ძლიერი ვულკანური ამოფრქვევის შედეგად) დიდხანს რჩებიან სტრატოსფეროში. ზამთარში შესაძლოა შეამჩნიოთ ე.წ პოლარული სტრატოსფერული ღრუბლები (პერლამუტრის ღრუბლები) 15-25 კმ სიმაღლეზე. ისინი წარმოიქმნება ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე (-78°C ქვემოთ). არსებობს სხვადასხვა ტიპის სტრატოსფერული ღრუბლები რომლებიც შეიცავენ წყალს და სხვადასხვა ნაწილაკებს (მაგალითად აზოტმჟავას, ან მხოლოდ ყინულს).

მეზოსფერო - სტრატოსფეროს თავზე განთავსებულია მეზოსფერო, რომელიც 50 კმ-დან 85-100 კმ სიმაღლემდე ვრცელდება. ის სითბოს იღებს სტრატოსფეროდან და შესაბამისად სიმაღლის ზრდასთან ერთად მისი ტემპერატურა მცირდება. მეზოსფეროს ზედა საზღვარს წარმოადგენს მეზოპაუზა, რომელიც ატმოსფეროს ყველაზე ცივი რეგიონია - დაახლოებით - 100°C საზღვრებში. მეზოსფეროს საზღვრებში დაიკვირვება ე.წ „ვერცხლისფერი ღრუბლები“

(Noctilucent clouds). ისინი ძირითადად შედგებიან ყინულის კრისტალებისგან, თუმცა მათი წარმოშობა და გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე ჯერ ბოლომდე გარკვეული არ არის. ზემო ატმოსფერული ელექტრული განმუხტვებიც ასევე ხდება მეზოსფეროში, თუმცა რეგულარული გაზომვების ნაკლებობის გამო მეზოსფერო ყველაზე ნაკლებადაა შესწავლილი.

თერმოსფერო - მეზოსფეროს თავზე მოთავსებულია თერმოსფერო, სადაც მზის მაღალი ენერგეტიკული გამოსხივების შთანთქმის გამო ტემპერატურა იმატებს სიმაღლის მატებასთან ერთად. ტემპერატურა ძლიერადაა დამოკიდებული მზის აქტივობაზე და შესაძლოა 1000°C-ზე მეტიც იყოს, თუმცა ეს არ შეედრება ატმოსფეროს ქვედა ფენების ტემპერატურას, რადგან თერმოსფეროში ჰაერი უკიდურესად გაიშვიათებულია. შემადგენლობის მიხედვით, ეს ნაწილი ჰეტეროსფეროს ეკუთვნის. იონოსფეროს ძირითადი ნაწილი სწორედ თერმოსფეროშია მოთავსებული. ჩრდილოეთის ნათებას (ავრორა) რომელიც დამუხტული ნაწილაკების ატომებთან შეჯახების შედეგია, ადგილი აქვს თერმოსფეროში. დედამიწის ზედაპირიდან 500-1000 კმ-ის მანძილზე, ატმოსფერო იმდენადაა გაიშვიათებული, რომ მაღალენერგეტიკული შეჯახებები უმნიშვნელო ხდება, ამ ნაწილს ეგზოსფეროს უწოდებენ, რომელიც თანდათან გადადის პლანეტათაშორის სივრცეში.

პლანეტარული სასაზღვრო შრე - ატმოსფეროს ყველაზე ქვედა ნაწილს, ტროპოსფეროს ძირს ეწოდება პლანეტარული სასაზღვრო შრე (Planetary Boundary Layer - PBL). PBL-ის სტრუქტურა იცვლება სეზონის, დღე-ღამისა და ამინდის მიხედვით. მისი ზომები იცვლება ათეულობით მეტრიდან (ძალიან სტაბილურ პირობებში) ათასეულობით მეტრამდე (ძალზე არასტაბილურ პირობებში). ის დაბალია ღამით და ზამთარში და მაღალია დღისით და ზაფხულში. PBL-ის ქვემოთა ნაწილს ეწოდება ზედაპირული შრე და ის 10-30 მ-ია ღამით და 50-100 მეტრი დღისით. ზედაპირსა და ატმოსფეროს შორის მიმოცვლის პროცესი ხდება ამ შრეში სითბოს, წყლის და დამაბინძურებლების ტურბულენტური ნაკადით. ეს შრე ბოლოვდება სტაბილური გარდამავალი შრით. [1]

1.3 ატმოსფეროს ძირითადი შემადგენელი კომპონენტები

აზოტი ჰაერის ერთ ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია. იგი შედარებით ინერტული აირია და არ უწყობს ხელს წვის პროცესს. ის წარმოადგენს ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ძირითად შემადგენელ კომპონენტს. აზოტის ციკლში გადამწყვეტ როლს ბაქტერიები ასრულებენ, ამ დროს ადგილი აქვს ნიადაგში მცხოვრები ბაქტერიების მოქმედებით ატმოსფეროდან აზოტის ფიქსაციას, ასევე ნალექების დროს ელვის შემთხვევაში. აზოტის დაბრუნება ატმოსფეროში კი ძირითადად ხდება ბიომასის წვის ან დენიტრიფიკაციის გზით.

ჟანგბადი ცოცხალი ორგანიზმების განუყოფელი ნაწილია, ატმოსფეროსთან ჟანგბადის მიმოცვლა ხდება ფოტოსინთეზის და რესპირაციის (სუნთქვის) გზით.

კეთილშობილი გაზი **არგონი** ატმოსფერულ ჰაერში შემცველობის მიხედვით მესამე ადგილს იკავებს აზოტის და ჟანგბადის შემდეგ. არგონის თითქმის 100% წარმოქმნილია რადიოგენური გზით, დედამიწის ქერქში არსებული რადიოაქტიური ^{40}K ბირთვული გარდაქმნით ^{40}Ar -ში.

წყალი ატმოსფეროს მნიშვნელოვანი შემადგენელი კომპონენტია და მისი შემცველობა იცვლება ფართო დიაპაზონში. წყლის ორთქლის უდიდესი ნაწილი მოთავსებულია ატმოსფეროს ქვედა ფენებში. მისი 90% დედამიწის ზედაპირიდან 5 კმ სიმაღლემდეა, ხოლო ტროპოსფეროს ქვემოთ წყლის ორთქლის 99%-ია. ჰაერის თვისება შეინარჩუნოს წყლის ორთქლი (გაჯერების დონე) დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე, რაც მაღალია ტემპერატურა, მით მეტი წყლის ორთქლი შეიძლება იყოს. ატმოსფერული წყლის ორთქლი ახდენს გარკვეულ გავლენას ამინდსა და კლიმატზე. ის ყველაზე მნიშვნელოვანი სათბურის გაზია.

ნახშირორჟანგი მნიშვნელოვანი სათბურის გაზია. ნახშირორჟანგის მომცველა ხდება ფოტოსინთეზის და რესპირაციის (სუნთქვის) გზით. ატმოსფერული ნახშირორჟანგის ნაწილი გახსნილია ზღვებსა და ოკეანეებში. ნახშირორჟანგის შემცველობა განუწყვეტლივ იზრდება. რაც ძირითადად გამოწვეულია ანთროპოგენული აქტიურობით, ნამარხი საწვავის დაწვით, ტყეების გაჩეხვით და სხვა აქტივობებით.

სხვა გაზების შემცველობა გაცილებით მცირეა მთავარ კომპონენტებთან შედარებით და ამიტომ მათ ეწოდებათ კვალური გაზები. მიუხედავად მათი მცირე რაოდენობისა, მათ საკმაოდ დიდი წვლილი მიუძღვით სათბურის ეფექტსა და ატმოსფეროს დაბინძურებაში. სხვადასხვა გაზებთან ერთად, ატმოსფერო შეიცავს აეროზოლის ნაწილაკებს. აეროზოლები მყარი, ან თხევადი ნაწილაკების სუსპენზიაა გაზში. ნაწილაკების ზომით 10^{-9} - 10^{-4} მ. აეროზოლების დიდი ნაწილი წარმოიქმნება ბუნებრივი წყაროებიდან, უშუალოდ ატმოსფეროში გაფრქვეული ძირითადი ნაწილაკების ემისიის პირველადი წყაროებია ნიადაგი და მინერალების მტვერი, ბიომასის წვა, ბიოლოგიური მასალები, ნამარხი საწვავის არასრული წვა, ინდუსტრიული მიკრონაწილაკები და სატრანსპორტო მოძრაობა. ატმოსფერული აეროზოლების კონცენტრაცია, ცვალებადია დროსა და სივრცეში. ატმოსფერულ აეროზოლებს აქვთ მნიშვნელოვანი ეფექტი სხვადასხვა ატმოსფერულ პროცესებზე, კლიმატზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. აეროზოლები ცვლიან დედამიწის გამოსხივების ბალანსს, ისინი შთანთქავენ და ფანტავენ შემომავალ (მზის) და დედამიწის გამოსხივებას (სითბურს თუ სინათლეს). ისინი აუცილებელია ღრუბლების და ნალექების წარმოქმნისთვის, რადგანაც წარმოადგენენ კონდენსაციის ბირთვებს. ისინი მოქმედებენ აზოტის, გოგირდის და ატმოსფერული მჟანგავების ციკლებზე, რადგან მათ გავლენა აქვთ ჟანგვით პროცესებზე. [1]

ნივთიერება	%	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$
N₂	78.084	Ne	18.2	O₃	1.0
O₂	20.946	He	5.2	H₂	0.4-1
Ar	0.934	CH₄	1.3-1.6	CO	0.06-2
CO₂	0.034	Kr	1.14	NO_x	0-0.03

ცხრილი 1. ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა (მოცულობითი წილი)

1.4 ჰაერის დაბინძურება

სუფთა ჰაერი ჯანსაღი ცხოვრებისთვის აუცილოებელი ფაქტორია. სამწუხაროა რომ ადამიანების საკმაოდ დიდ ნაწილს ჯერაც არ აქვს გააზრებული სუფთა ჰაერის მნიშვნელობა. რით ბინძურდება ჰაერი და რა საფრთხეებია მოსალოდნელი დაბინძურებული ჰაერისგან. როგორ მოქმედებს გარემოზე და რა არის საჭირო ჰაერის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

ატმოსფეროს ჰაერი ბიოსფეროს ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელი ნაწილია, რომელიც სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია დედამიწის ყველა ცოცხალი ბინადარისთვის. ამიტომ სჭირდება დღევანდელ მსოფლიოს ატმოსფერულ ჰაერს დაცვა ადამიანების მავნე ზემოქმედებით გამოწვეული დაბინძურებისგან.

ჰაერის დაბინძურება პირდაპირ მოქმედებს ცოცხალი ორგანიზმის ჯანმრთელობაზე. ამას ბევრი სამეცნიერო კვლევაც ადასტურებს. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება არის ავადობის და სიკვდილიანობის პოტენციური რისკფაქტორი. დაავადებების სპექტრი საკმაოდ ფართოა და იგი ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერის დამაბინძურებლების კონცენტრაციაზე, ექსპოზიციის ხანგრძლივობასა და ორგანიზმის მდგომარეობაზე. შესაბამისად დაბინძურებული ჰაერი განსაკუთრებით საზიანოა: მოხუცებისთვის, ბავშვებისთვის, ორსულებისთვის, დაავადებული ადამიანებისთვის და სხვა.

კარგად არის შესწავლილი ჰაერის ზემოქმედება ჯანმრთელობაზე. დაბინძურებული ჰაერი რისკფაქტორია გულსისხლძარღვთა და სასუნთქი გზების დაავადებებისთვის; ასევე ბავშვებში ტვინისა და ნერვული სისტემის განვითარების პათოლოგიისთვის. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის ონკოლოგიურ დაავადებათა სააგენტოს ღრმა რწმენით დაბინძურებულ ატმოსფერულს ჰაერს შეუძლია გამოიწვიოს მიზეზი გახდეს ფილტვის კიბოსი. შენობის შიდა თუ გარე ჰაერის დაბინძურება მრავალი ქრონიკული დაავადების მიზეზია, რაც მეტმე ტვირთია როგორც დაავადებულთათვის, ასევე ქვეყანაში არსებულ ადამიანის ჯანმრთელობაზე პასუხისმგებელი სტრუქტურებისთვის.

დაბინძურებული ჰაერი ცუდად მოქმედებს ასევე სოციალურ-ეკონომიკურ მდგომარეობაზეც, ვინაიდან ავადობის ზრდა იწვევს მკურნალობისა და პროფილაქტიკური მედიცინის ხარჯებს. [2]

1.5 ჰაერის დაბინძურების ისტორიული კონტექსტი

ორგანული საწვავისა და სხვა ნივთიერებების წვისას წარმოქმნილი ნაერთები ატმოსფეროს მთავარ დამაბინძურებლად ითვლება. ჰაერის დაბინძურება ყველაზე უჩინარ დაბინძურებადაც კი შეიძლება ჩაითვალოს. ადამიანები, კაცობრიობის ისტორიის მანძილზე, თავისი საქმიანობით ყოველთვის ზემოქმედებდნენ გარემოზე. აღსანიშნავია ის რომ ჰაერის დაბინძურების მაჩვენებელი გაცილებით ნაკლები იყო იმ დროს როცა ადამიანები ენერჯის ძირითად წყაროდ შემას მოიხმარდნენ. ქვანახშირის საწვავად გამოყენებამ და ინდუსტრიალიზაციამ მნიშვნელოვნად გაზარდა ატმოსფეროს დაბინძურება. ინგლისში პირველი კანონი რომელიც ქალაქ ლონდონის ქვანახშირის დაწვას კრძალავდა გამოსცა მეფე ედუარდ I-მა. ეს ნიშნავს იმას რომ შავი სქელი ნისლი (სმოგი) ლონდონს ადრეული დროიდანვე აწუხებდა.

აღსანიშნავია რომ კაცობრიობამ მე-XX საუკუნეში უფრო მეტი წიაღისეული საწვავი მოიხმარა (ნავთობი, ბუნებრივი გაზი, ქვანახშირი, ტორფი და სხვა...) ვიდრე თავისი ისტორიის მანძილზე. შესაბამისად ჰაერის დაბინძურება იქცა კაცობრიობის გლობალურ პრობლემად.

მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების, განსაკუთრებით ქვანახშირის თბოელექტროსადგურების მშენებლობამ, ქიმიური მრეწველობის სწრაფმა ზრდამ, ძირითადად ურბანულ ცენტრებს შეუქმნა გარემოსდაცვითი პრობლემა. ტრანსპორტის გამოყენებამ გამოიწვია გარემოს სისტემატური დაბინძურება. შესაბამისად გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან გარემოს დაბინძურების მაჩვენებელი საგრძნობლად შესამჩნევი გახდა.

ერთ-ერთი პირველი ქვეყანა, რომელმაც გარემოს ქიმიური დაბინძურება იგრძნო, იყო იაპონია. ტერიტორიის 80% ზე საწარმოო საქმიანობის შედეგად ჰაერისა და წყლის დაბინძურებამ საგანგაშო დონეს მიაღწია. პირველი „ფოტოქიმიური სმოგი“ ოფიციალურად 1970 წელს დაფიქსირდა. სმოგმა დაფარა ტოკიო და კიდევ რვა ქალაქი. სმოგმა ათასობით ადამიანს შეუქმნა ჯანმრთელობის სერიოზული პრობლემები.

ევროპის გარემოს დაცვის სააგენტოს განცხადებით, ყველაზე სავალალო მაჩვენებელი ჰაერის დაბინძურების კუთხით, აქვს ლონდონს. მიჩნეულია რომ წელიწადში საშუალოდ 20

000 ადამიანი ნაადრევად კვდება დაბინძურებული ჰაერით გამოწვეული დაავადებების გამო. ამის ძირითად მიზეზად მოიაზრება ბრიტანეთში დიდი რაოდენობით არსებული დიზელის ძრავზე მომუშავე ავტომობილები. დიდი ხნის განმავლობაში ბრიტანეთის მთავრობა სათბურის გაზების გამოყოფის შემცირების მიზნით, ხელს უწყობდა დიზელის ძრავზე მომუშავე ავტომანქანებს, თუმცა აღმოჩნდა რომ დიზელზე მომუშავე მანქანები უფრო მეტად აბინძურებენ გარემოს, ვიდრე ბენზინზე მომუშავე მანქანები.

მრავალი წლის მანძილზე საკმაოდ დაბინძურებული ჰაერი იყო ქალაქ პეკინშიც, რაც გამოწვეული იყო მილიონობით ავტომობილის მოძრაობით, ქვანახშირზე მომუშავე ელექტროსადგურებით და მტვრის შტორმებით, რომლებსაც დიდი რაოდენობით სამშენებლო მტვერი მოჰქონდა ქვეყნის ჩრდილოეთიდან. ჩინეთის მთავრობამ ამ პრობლემას ყურადღება მხოლოდ მას შემდეგ მიაქცია რაც 2013 წელს პეკინის თავზე რამდენიმე კვირის განმავლობაში სმოგი შეიმჩნეოდა და შესაბამისი ღონისძიებებიც გაატარა მის მოსაშორებლად. .

ჰაერის დაბინძურება ყველგან პრობლემაა კვლევების მიხედვით. ევროპის ქალაქების მოსახლეობის აბსოლუტური უმეტესობა განიცდის მტვრის შეწონილი ნაწილაკებისა და მიწისპირა ოზონის მავნე ზემოქმედებას. ევროკავშირის ქვეყნებში ყოველწლიურად 400 000 ადრეულად იღუპება დაბინძურებული ჰაერის გამო, ხოლო ჯანმრთელობასთან დაკავშირებული ხარჯები 330-940 მილიარდ ევროს აღწევს.

მართალია ბევრი სხელმწიფო ანალიზებს დაბინძურებული ჰაერით გამოწვეულ შესაძლო საფრთხეებს და ზრუნავს მათ აღმოფხვრაზე, მაგრამ ყურადსაღებია რომ ატმოსფერულ ჰაერს საზღვრები არ აქვს და მხოლოდ ცალკეულ ქვეყნებში გატარებული ღონისძიებები სასურველ შედეგს ვერ მოიტანს. ამ უდიდესი პრობლემის მოგვარება შესაძლებელია მხოლოდ ქვეყნების ერთობლივი ძალისხმევით. სწორედ ამიტომ მუშაობენ მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაცია და სხვა გარემოსდაცვით სააგენტოები აქტიურად და ქვეყნებს ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებისთვის რეკომენდაციებს აძლევენ. [2]

1.6 ნახშირბადის მონოქსიდი - CO

ნახშირბადის მონოქსიდი ატმოსფეროს შემადგენელი მუდმივი მიკროკომპონენტია, რომლის კონცენტრაცია $(0,06 - 0,2) \times 10^{-6}$ %-ს შეადგენს. ქიმიური ინერტულობის გამო CO, CO₂-ისაგან განსხვავებით, ნახშირბადის გლობალურ მიმოქცევაში პრაქტიკულად არ მონაწილეობს. [3]

ნახშირქანგი ნახშირბადის არასრული წვის პროდუქტია და წარმოიქმნება საწვავის არასრული წვისას, რასაც განაპირობებს არასაკმარისი ტემპერატურა ან შიდა წვის ძრავაში მოუწესრიგებელი ჰაერის მიმწოდებელი სისტემა. ემისიის ძირითადი წყაროა ნავთობისა და ქვანახშირის წვა, მეტალურგიული წარმოება, ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი. ამ მხრივ ავტომობილი ერთ-ერთ პირველ ადგილზეა.

შიგაწვის ძრავებში საწვავის წვისათვის ოპტიმალური პირობები მხოლოდ გარკვეულ სამუშაო რეჟიმში მიიღწევა, როდესაც ძრავა დაახლოებით 75% დატვირთვით მუშაობს, CO-ს გამოყოფა ამ დროს მინიმალურია, ხოლო ძრავის უქმ რეჟიმში მუშაობისას გამონაბოლქვში მისი შემცველობა განსაკუთრებით მატულობს. ნახშირბადის მონოქსიდის გარემოში გამოყოფის თავიდან აცილების ერთ-ერთი საშუალებაა ავტომობილის მაცუქში დამონტაჟებული სპეციალური კატალიზატორი, რომელიც საწვავის ბოლომდე, CO₂-მდე დაჟანგვას უწყობს ხელს.

ფართოდაა ცნობილი ნახშირბადის მონოქსიდის მხუთავი აირის ზემოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე. მაგრამ ატმოსფერულ ჰაერში CO-ს დაბალი კონცენტრაციის და მისი სწრაფი მჟანგველობითი უნარის გამო, ის, როგროც წესი, არ იწვევს მასიურ მოწამვლას, თუმცა, ზოგიერთ პირობებში CO-თი ჰაერის ლოკალურმა დაბინძურებამ შეიძლება განსაკუთრებით საშიშ ზღვრებს მიაღწიოს. ეს ხდება, მაგალითად დიდი ქალაქებისა და ავტოსტრადების თავზე, როდესაც მაღალი ატმოსფერული წნევისა და ტემპერატურული ინვერსიის გამო ჰაერის მასების გადაადგილება იზღუდება. ნახშირბადის მონოქსიდი თავისი ტოქსიკურობით მიეკუთვნება საშიშროების მე-2 კლასს. CO გამოდევნის ჟანგბადს სისხლის ოქსიჰემოგლობინიდან, რაც ზრდის ჟანგბადის ნაკლებობას სისხლში (ჰიპოქსემია), - ან იწვევს ჟანგბადის უქონლობას - ანოქსემია. [5]

1.7 ატმოსფეროს გაწმენდის გზები

ქიმიური საწარმოების, ენერგეტიკული დანადგარების, სავენტილაციო სისტემების, ტრანსპორტის და სხვათა გამონაბოლქვი აირები დიდი რაოდენობით შეიცავენ მავნე, მყარ და აირად მინარევებს. ატმოსფეროში მათი ემისიის შემცირების ყველაზე მისაღები გზაა ახალი, უფრო რეალური - მცირენარჩენიანი ტექნოლოგიების დანერგვა. გამონაბოლქვი აირების ზემოქმედებისაგან გარემოს დაცვის მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ არის გამოყენებული ტრადიციული მეთოდი - მათი გაწმენდა მექანიკური და მავნე აირადი მინარევებისაგან. ამ მიზნით მეთოდების შერჩევისას მთავარი კრიტერიუმებია აირების გაწმენდის ხარისხი, წარმოქმნილი ნარჩენების უტილიზაციის შესაძლებლობა და ეკონომიკური მხარე.

ჰაერის გაწმენდის ერთ-ერთი რადიკალური საშუალებაა ქალაქების გამწვანება: ხეები აკავებს ქარს და ხელს უშლის განიავებას, შესაბამისად ის ამცირებს საცხოვრებელ კვარტალში მტვრის და სხვადასხვა მინარევების შეღწევას, ზაფხულობით ქმნის სიგრილეს და ჩრდილს. მოსაფალტებელი ქუჩებიდან და მოედნებიდან გახურებული ჰაერი მაღლა ადის, მის ადგილს კი პარკებიდან, სკვერებიდან, გაზონებიდან წამოსული უფრო გრილი ჰაერი იკავებს. ამგვარად, იქმნება ხელოვნური ვენტილაცია, რაც განსაკუთრებით სასიამოვნოა ზაფხულის ცხელ დღეებში.

მნიშვნელოვანია ასევე ტრანსპორტთან დაკავშირებული პრობლემის მოგვარება. მავნე ზეგავლენის ლიკვიდაციის მიმართულებით არსებობს გამონაბოლქვის შემცირების ორი გზა: ახალი მასალების გამოყენება შიგაწვის ძრავის შესაქმნელად და გამონაბოლქვი აირების საიმედო ფილტრების შექმნა, ელექტრომობილების სერიული წარმოება. ამჟამად ამ მიმართულებებით მიმდინარეობს მუშაობა.

თანამედროვე ქალაქის მშენებლობის და გარემოს გაჯანსაღების მიზნით ქალაქის ტერიტორია შეიძლება დავეოთ 3 ნაწილად: საწარმოო, საცხოვრებელ და დასასვენებელ რაიონებად. ასეთი დაყოფა საშუალებას გვაძლევს უფრო რაციონალურად გამოვიყენოთ ქალაქის ჰაერის გაწმენდასთან დაკავშირებული სამეურნეო ხარჯები. [3]

1.8 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში

ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობაზე დაკვირვება და მონიტორინგი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია ჰაერის რეალური მდგომარეობის შესასწავლად და მონაცემების მისაღებად.

1990 წელს საქართველოს 11 ქალაქში მიმდინარეობდა ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი. სხვადასხვა ქალაქებში ჯამში განთავსებული იყო 33 სტაციონარული ჯიხური (თბილისი-8 ბათუმი-4, ქუთაისი-4, რუსთავი-4, ზესტაფონი-4, სოხუმი-2, კასპი-2, ტყვარჩელი-2, გორი-1, მარნეული-1, ახალციხე-1) და დღე-ღამის განმავლობაში 4-ჯერ ხდებოდა ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაზომვა. ყველა მოქმედ სადგურზე სისტემატურად იზომებოდა: მტვერი (საერთო შეწონილი ნაწილაკები), გოგირდის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოქსიდი და აზოტის დიოქსიდი. ყოფილი საბჭოთა კავშირის პერიოდიდან მოყოლებული საქართველოში ატმოსფერულ ჰაერზე დაკვირვებისას ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებებიდან შემდეგი მაჩვენებლების გაზომვა ხდებოდა: 1. მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაცია (გაზომვის ხანგრძლივობა 20-30 წთ, მგ/მ³); 2. საშუალო კონცენტრაცია: დღელამური და წლიური (მგ/მ³).

ჰაერში არსებული მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების შეფასება ხდება შესაბამის დადგენილ ნორმებთან შედარებით. კერძოდ, ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების საშუალო თვიური და წლიური კონცენტრაციების მიღებული მნიშვნელობების შედარება მიმდინარეობს ჩვეულებრივ საშუალო დღელამურ ზდკ-თან, ხოლო 20-30 წუთიანი ხანგრძლივობით გაზომილი ნივთიერების კონცენტრაციები ედრება 2030 წუთიან ზდკ-ს (ე.წ. მაქსიმალურ ერთჯერად ზდკ-ს) .

მე-20 საუკუნის 90-იანი წლების ბოლოდან მოყოლებული მკვეთრად იქნა შემცირებული სადამკვირვებლო ჯიხურების რაოდენობა საქართველოში, შესაბამისად ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია საკმაოდ მწირია.

დღეისათვის ჰაერის ხარისხის სახელმწიფო მონიტორინგს აწარმოებს საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების დაცვის სამინისტროს „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“. დღეისათვის საქართველოში ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვება წარმოებს 6

ქალაქში (თბილისი, ქუთაისი, ბათუმი, ზესტაფონი, რუსთავი და ჭიათურა) განთავსებული 10 სადამკვირვებლო სადგურის საშუალებით, რომელთაგან 4 ავტომატური სადგური თბილისში მდებარეობს. ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ქსელის 6 ავტომატურ სადგურზე უწყვეტ რეჟიმში ხორციელდება დაკვირვება შემდეგ დამაბინძურებლებზე: გოგირდის დიოქსიდი (SO₂), აზოტის დიოქსიდი (NO₂), აზოტის ოქსიდები (NO_x), ნახშირბადის მონოქსიდი (CO), ოზონი (O₃) და მტვრის მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები (PM₁₀, PM_{2.5}). ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის დადგენა წარმოებს დღის განმავლობაში 3-ჯერ სამუშაო დღეებში. სინჯის აღება არ არის ავტომატიზირებული, გარდა ერთი სადამკვირვებლო სადგურისა, რომელიც დამონტაჟებული იქნა თბილისში 2013 წელს. აღნიშნულ ავტომატურ გამზომ სადგურში დაკვირვება წარმოებს ყოველ წუთს 24 საათის განმავლობაში. 2013 წელს თბილისში ავტომატური სადგურის დამონტაჟება მნიშვნელოვანი წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო ატმოსფერულ ჰაერზე დაკვირვების ქართული მონიტორინგული ქსელის ევროპულ ქსელთან ინტეგრაციისათვის. „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“ სტაციონარულ გაზომვებთან ერთად ჰაერის ხარისხზე დაკვირვებას ქვეყნის სხვადასხვა ქალაქში ინდიკატორული გაზომვების საშუალებითაც ახორციელებს.

ასევე დღესდღეობით ჰაერის ანალიზს და მონიტორინგს აწარმოებს ატმოსფეროს კვლევებისა და სიმულაციის ლაბორატორია. ეს არის მეორე SMART ლაბორატორია, რომელიც თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და იულისის კვლევითი ცენტრის თანამშრომლობის საფუძველზე და ქალაქ თბილისის მერიის და გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხარდაჭერით დაფუძნდა 2017 წლის 29 სექტემბერს.

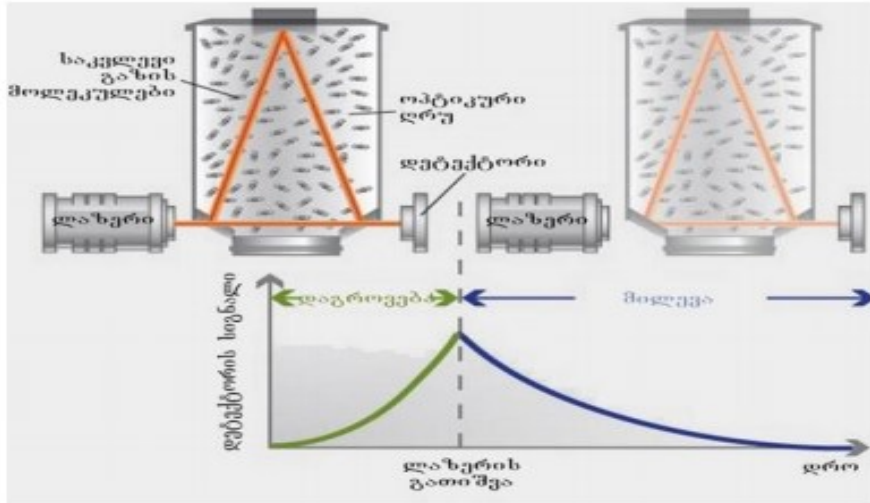
ლაბორატორიამ დაარსებიდან დღემდე განახორციელა არაერთი წარმატებული პროექტი თსუ-ს ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი გიორგი ჯიბუტის ხელმძღვანელობით. პროექტებში ჩართულები იყვნენ ასევე თსუ-ს სტუდენტებიც. [4]

2. ატმოსფეროს ანალიზის ქიმიური მეთოდები

2.1 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია (CRDS)

აირის მოლეკულებს აქვთ უნიკალური შთანთქმის სპექტრი ახლო ინფრაწითელ უბანში, რომელიც ის შესაბამის ატმოსფერულ წნევაზე შედგება ვიწრო სერიული ხაზებისგან, თითოეული დამახასიათებელ ტალღის სიგრძეზე. რადგან ეს ხაზები ცნობილია და შესაბამისად ტალღის სიგრძეც. გაზის კონცენტრაცია შეიძლება გაიზომოს აბსორბციის სიძლიერით. მაღალი სპეციფიკის აბსორბციული პიკით, მაგრამ პირობითად ინფრაწითელ სპექტრომეტრმა გაზის კვალის აბსორბცია რომ გაზომოს საუკეთესო მგრძობელობა იქნება მემილიონედი ნაწილის გაზომვა. CRDS სპექტრომეტრი გვაშორებს ამ მგრძობელობის ზღვარს და ეფექტურობა ვლინდება მრავალკილომეტრიანი გზის გავლის საშუალებით. ეს შესაძლებლობას იძლევა წუთში ან უფრო ნაკლებ დროში დავაფიქსიროთ გაზის მოლეკულების მემილიარდედი ან ზოგიერთის შემთხვევაში მეტრილიონედი ნაწილი.

CRDS სპექტროსკოპიაში სხივი დიოდური ლაზერიდან შედის ოპტიკურ ღრუში და ორი ან სამი ამრეკლი სარკით მიმართულება ეძლევა. Picarro-ს ანალიზატორი იყენებს 3 სარკიან ოპტიკურ ღრუს, როგორც სურათი 2. - ზეა წარმოდგენილი. როცა ლაზერი ჩართული არის, ღრუ ივსება სწრაფად ცირკულირებადი ლაზერის ნათებით. სწრაფი ფოტოდეტექტორი ამოიცნობს მცირე სინათლის ტალღასაც, რომელიც გამოდის ერთ-ერთი სარკიდან და იძლევა სიგნალს, რაც ღრუში სინათლის ინტენსივობის პირდაპირპროპორციულია.



სურათი. 2 PICARRO-ს ანალიზატორი

როცა ფოტოდეტექტორის სიგნალი აღწევს მისაღებ დონეს (სულ მცირე 10 მიკროწამში) ტალღის გამაგრებელი ლაზერი იმწამსვე გამოირთვება. ღრმულში არსებული სინათლე აგრძელებს მოძრაობას ორ სარკეს შორის დაახლოებით 100000-ჯერ. რადგან სარკეების ამრეკლობა 100% -ზე ნაკლებია, სინათლის ინტენსივობა ღრუში კონტროლდება, რათა ცნობილი გახდეს ნულამდე ექსპონენციალური დაკლება. კლება ანუ rind-down იზომება რეალურ დროში ფოტოდეტექტორით და გარკვეული დროის შემდეგ ხდება სხივის შემცირება მხოლოდ ამრეკლი სარკეებით (ღრმულის დაცარიელებამდე). გასათვალისწინებელია რომ picarro-ს ღრმული არის მხოლოდ 25 სმ სიგრძის და ეფექტური გასავლელმა გზამ ღრმულთან ერთად შეიძლება მიაღწიოს 20 კილომეტრზე მეტს. ახლა თუ გაზის მოლეკულები გვაქვს, რომელიც აბსორბირებას ახდენს, ლაზერიდან გამომავალი სინათლე რამდენიმე წამით ნაკლებ დროში გაივლის ღრმულს, და ეს დრო ედარება იმ დროს როცა სხივი ღრმულში გადის რაიმე აბსორბირებადი ნივთიერების გარეშე, როცა სხვადასხვა გაზის სახეობას სხვადასხვა აბსორბცია გააჩნია. Picarro-ს ხელსაწყო ავტომატურად ითვლის და ადარებს დროის შემცირებას ღრუში აბსორბირებად გაზის სახეობაზე დამოკიდებულების მიხედვით, გაზით და გაზის გარეშე.

2.2 ულტრაიისფერ-ხილული ოპტიკურ აბსორბციული სპექტროსკოპია (UV-VIS DOAS)

დიფერენციული ოპტიკურ-აბსორბციული სპექტროსკოპია ფართოდაა გამოყენებული ატმოსფეროს შემადგენლობის კვლევებში და გამოიყენება ასევე in-situ ანალიზებში. გამოყენებული სინათლის წყარო, შეიძლება იყოს, ხელოვნურიც და ბუნებრივიც.

ხელოვნურ წყაროდ გამოიყენება მაღალი წნევის Xe-ის ნათურა, ან ლაზერი. სინათლე გაივლის ატმოსფეროს ფენებს, ხდება მისი დაფიქსირება, ან ხდება ერთხელ არეკლილი სინათლის დაფიქსირება. ამ ტიპის გაზომვებს გრძელ-ოპტიკურ მანძილიანი DOAS LP-DOAS, ან აქტიური DOAS ეწოდება. როგორც აღვნიშნეთ, ხელოვნური სინათლის გარდა შესაძლოა გამოყენებული იქნას კოსმოსური სინათლის წყაროები (მზე, მთვარე, ვარსკვლავები), ამ რეჟიმს ეწოდება პასიური DOAS.

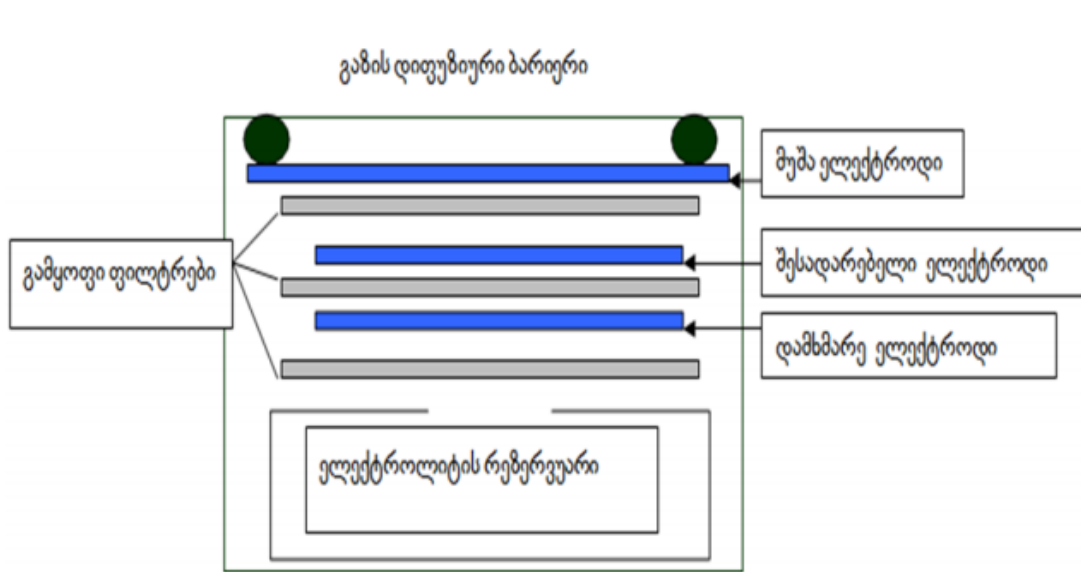
ულტრაიისფერ-ხილული სპექტროსკოპია ძირითადად გამოიყენება ატმოსფეროში რადილაკების კონცენტრაციის გასაზომად, რომელთა კონცენტრაციები ppt დონეზეა, (1ppt შეესაბამება 2.4×10^7 მოლეკულა/სმ³ 1ატმ წნევაზე და 293°K-ზე). უმეტეს შემთხვევაში უფრო ნაკლებზეც. მაღალი მგრძობიარობის გარდა საჭიროა მაღალი სელექტიურობა, რათა არ მოხდეს საკვლევი ობიექტის სიგნალის გაძლიერება (ან შესუსტება) ატმოსფეროს შემადგენელი სხვა კომპონენტების გავლენით. [7]

2.3 აირთა ელექტროქიმიური სენსორული ანალიზატორი და მისი მუშაობის პრინციპი

სენსორები, რომლებიც წარმოადგენენ ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ინსტრუმენტებს. ამ ტიპის სენსორები ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ახალი ტენდენციაა და შეუძლია ხელი შეუწყოს ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის სადგურებს განვითარებაში. იაფასიანი სენსორები იყენებენ უახლეს მიკროსენსორულ ტექნოლოგიას და ითვლება მომავალში ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ინოვაციურ საშუალებად. გამოყოფენ სხვადასხვა ტიპის სენსორებს, ესენია: ოპტიკური ნაწილაკების მთვლელი (OPC), ლითონის ოქსიდის ნახევარგამტარული სენსორები

(MOS), ელექტროქიმიური სენსორები (EC), არადისპერსიული ინფრაწითელი სენსორები (NDIR) და ფოტოიონიზაციის სენსორები (PID). ჰაერის ხარისხის მაკონტროლებელი სენსორების მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ქიმიურ ურთიერთქმედებაზე მგრძობიარე მასალასა და ატმოსფეროს ქიმიურ კონპონენტებს შორის ან ხილული სინათლის შთანთქმაზე. ინდივიდუალური სენსორები ჩვეულებრივ ინტეგრირდება სენსორის პლატფორმაზე, რომლებიც ცნობილია როგორც სენსორის კვანძი. თითოეულ სენსორულ კვანძში შედის სენსორის დაფა, სენსორები და საკონტოლო დაფა, რომელიც აერთიანებს აპარატურის ყველა ელემენტს, როგორცაა GPS, მონაცემთა შენახვა, საკომუნიკაციო პორტები და სიგნალის კოორდინირება.[8]

ჩვენს ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ კომერციული სენსორების ნაკრები “UMS SOWA”, რომელიც შეიცავს Alphasense-ს წარმოების NO, NO₂, CO, O₃ სენსორებს. ისინი წარმოადგენენ ელექტროქიმიურ უჯრედებს, რომლებიც მუშაობენ ამპერომეტრულ რეჟიმში. რაც ნიშნავს რომ ისინი წარმოქმნიან დენს, რომელიც წრფივად პროპორციულია ტოქსიკური აირის მოცულობითი წილის, როგორებიცაა CO და H₂S. სურათი. 2 სქემატურადაა წარმოდგენილი სენსორის სტრუქტურა.



სურათი. 3 სენსორის სქემა

ეს სენსორები წარმოადგენენ ელექტროქიმიურ უჯრედებს, სადაც ხდება ტოქსიკური აირის ჟანგვა ან აღდგენა. მუშა ელექტროდი, რომელსაც უწოდებენ ასევე მგრძნობიარე ელექტროდსაც, გაზს საშუალებას აძლევს, რომ შეხებაში იყოს ელექტრო კატალიზატორთან; ასევე ელექტროლიტთან, რომ შეიქმნას სამივე ფაზის გამყოფი ზედაპირი: აირის, თხევადისა და მყარის. მუშა ელექტროდის ზედაპირი დაფარულია სელექტიური მეტალის ოქსიდის სენსორით, რომელიც იწვევს მის სპეციფიურობას სხვადასხვა აირის მიმართ.

უჯრედში კიდევ არის მოთავსებული დამხმარე (მთვლელი) და შესადარებელი ელექტროდები. ჩვეულებრივ მათ აქვთ იგივე ქიმიური შედგენილობა, რაც მუშა ელექტროდს. აღფასენსის სენსორებში სამივე ელექტროდი ერთმანეთის პარალელურად არის განლაგებული, როგორც სურათი. 3-ზეა ნაჩვენები. იონურ-ელექტრული კონტაქტი ელექტროდებს შორის ელექტროლიტის საშუალებით ხდება. ჩვეულებრივ ჰიდროფილური სეპარატორები უზრუნველყოფს ელექტროლიტის კაპილარულ ტრანსპორტს. ელექტროლიტად გამოყენებულია 3-7 მოლური. გოგირდმჟავა.

ძაბვითი წრედი ინარჩუნებს მუდმივ პოტენციალს მუშა ელექტროდზე, შესადარებელი ელექტროდის პოტენციალის მიხედვით. მუშა ელექტროდი არის ზედაპირი, რომელზეც ხდება ელექტროქიმიური ჟანგვა (CO , H_2S , NO , SO_2) ან აღდგენა (NO_2 , Cl_2). შესადარებელი ელექტროდი უზრუნველყოფს, რომ მუშა ელექტროდის პოტენციალი ყოველთვის იყოს დენის ძალა-ძაბვის მრუდის სწორ რეგიონში. მნიშვნელოვანია რომ შესადარებელ ელექტროდს სტაბილური პოტენციალი ჰქონდეს, რათა მუშა ელექტროდის სწორი ელექტროქიმიური პოტენციალი შეინარჩუნოს.

დამხმარე (მთვლელი) ელექტროდი აბალანსებს მუშა ელექტროდზე რეაქციას - თუ მუშა ელექტროდი აირს ჟანგავს, დამხმარე (მთვლელ) ელექტროდზე ხდება რომელიმე სხვა მოლეკულის აღდგენა; შესაბამისად წარმოიქმნება ექვივალენტური დენი, რომელიც ჩაიწერება როგორც სენსორის სიგნალი. რეზისტორი დაკავშირებულია ელექტროდებთან, დენის ძალა პროპორციულია განსასაზღვრი აირის კონცენტრაციის. სწორედ ამიტომ შესაძლებელია დენის ძალის გაზომვა აირის კონცენტრაციის დასადგენად. ამგვარი სენსორებით წარმოქმნილი დენი იზომება შესაბამისი ელექტრონიკით, გაივლის შემდგომ დამუშავებას და გამოსახება როგორც კონცენტრაცია გაზომილი ppm (CO). [9]

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

3.1. ატმოსფეროს კვლევების და სიმულაციის ლაბორატორია

SMART|AtmoSim_LAB (SMART-Science, Medicine, Applied Research, Technology | AtmoSim_LAB- Atmospheric research and Simulations laboratory, ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერების, მედიცინის, გამოყენებითი კვლევებისა და ტექნოლოგიის მიმართულეები | ატმოსფეროს კვლევების და სიმულაციის ლაბორატორია.) არის მეორე SMART ლაბორატორია რომელიც თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და იულიხის კვლევითი ცენტრის თანამშრომლობის საფუძველზე და ქალაქ თბილისის მერიის და გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხარდაჭერით დაფუძნდა 2017 წლის 29 სექტემბერს. კერძოდ, იულიხის კვლევითი ცენტრის ენერჯებისა და კლიმატის ინსტიტუტის- ტროპოსფეროს (ინსტიტუტის აბრევიატურაა FZJ IEK8) და თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტს შორის. ლაბორატორია განთავსებულია თსუ II კორპუსში. ლაბორატორიის ხელმძღვანელია თსუ ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი გიორგი ჯიბუტი.

გარდა რუტინული ანალიზებისა, რომლის საფუძველზეც ხდება ჰაერის ხარისხის შეფასება, ლაბორატორია ორიენტირებულია ასევე ღრმა კვლევითი სამუშაოებზეც, რომლებიც მოიცავს ატმოსფეროს დეტალურ ანალიზს და მოდელირებას; ასევე ანალიზის ახალი მეთოდებისა და ტექნიკის შემუშავებას.

AtmoSim ლაბორატორია არის IEK-8 ინსტიტუტის შესაბამისი ლაბორატორიის ანალოგი, სადაც შესაძლებელია განისაზღვროს ატმოსფეროს ისეთი დამაბინძურებლები როგორებიცაა: აზოტის ოქსიდები, ნახშირორჟანგი, ნახშირჟანგი, მეთანი და სხვა აქროლადი ნახშირწყალბადები, ოზონი და მიკრონაწილაკების შემცველობა.

ანალიზური აპარატურის ძირითადი ნაწილი თსუ-ს გადმოეცემა უსასყიდლოდ იულიხის კვლევითი ცენტრის მიერ:

- ECO PHYSICS მოდელი: CLD 780 TR- NO და NO2 გაზომვა ოზონ-ქემილუმინესცენციის საფუძველზე

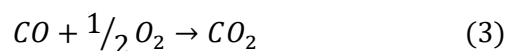
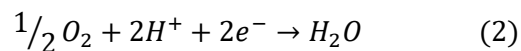
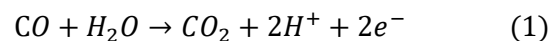
- Ansyco მოდელი: O3 41 M- ოზონის გაზომვა ულტრაიისფერი ფოტომეტრის საფუძველზე
- PICARRO CRDS Analyzer – CO, CO₂, CH₄, H₂O ანალიზატორი ღრუოვანი სპექტროსკოპიის საფუძველზე.
- Grimm Aerosol Technik მოდელი: 11.09 აეროზოლების მონიტორინგი სინათლის გაბნევის საფუძველზე.

ლაბორატორიის უნიკალური შესაძლებლობაა შეაგროვოს ნიმუშები ნებისმიერ დროს და ადგილას სპეციალურ ბალონებში და შემდეგ გაანალიზოს. დღესდღეობით ატმოსფერული ჰაერის ანალიზი შეგვიძლია განვახორციელოთ ნახევარგამტარული სენსორული ანალიზატორების გამოყენებით.

SMART|EDM_LAB-ის ხელმძღვანელი დოქტორი დავით მჭედლიშვილი დაგვხმარა სენსორების სისტემის აწყობაში და დაწერა მონაცემთა დამუშავების პროგრამული სკრიპტები.

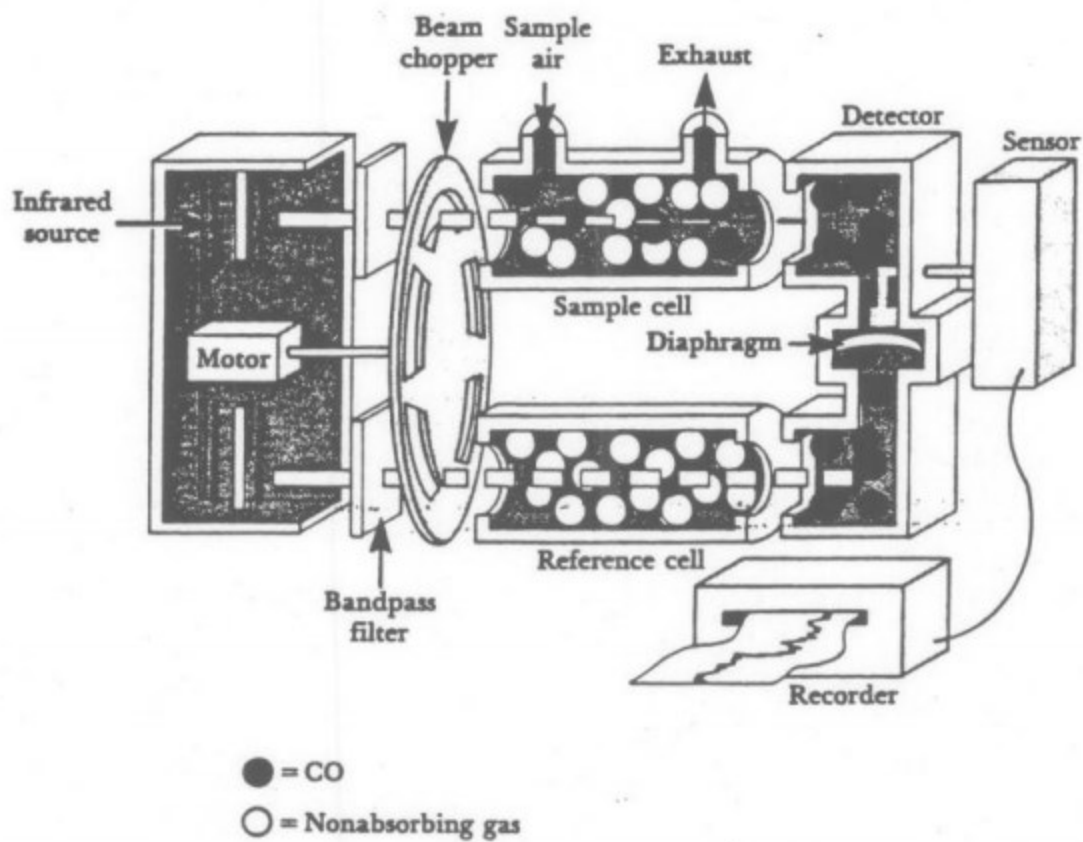
3.2. ექსპერიმენტში გამოყენებული აპარატურა

ატმოსფეროს ნახშირბადის მონოქსიდით დაბინძურების შესაფასებლად ჩვენ გამოვიყენეთ Alphasense-ს CO-BX ტიპის ელექტროქიმიური სენსორული ანალიზატორი. ჰაერში ნახშირჟანგის შემცველობის განსაზღვრა აირთა ელექტროქიმიური სენსორების მუშაობის პრინციპზეა დამყარებული. კერძოდ CO იჟანგება CO₂-მდე; მიმდინარეობს ელექტროქიმიური პროცესები და ხდება მისი ოქსიდაციის ხარისხის შეფასება, რაც შესაბამისად პირდაპირპროპორციულია CO-ს რაოდენობის.



თბილისში ჰაერის ნახშირბადის მონოქსიდით დაბინძურების შესაფასებლად გაზომვები ვაწარმოეთ ილიას ბაღში და წერეთლის გამზირზე. გამოვიყენეთ ერთი და იგივე სენსორული მოწყობილობა. სენსორები განვალაგეთ „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“-ს ჯიხურების თავზე (სურათი. 6). მონაცემების ჩაწერა ხდებოდა რამდენიმე თვის განმავლობაში უწყვეტ რეჟიმში. მიღებული შედეგები დავამუშავეთ Gafana-ს პროგრამის გამოყენებით და შევადარეთ „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო“-ს მიერ პარალელურად გაზომილ მოწოდებულ შედეგებს.

სააგენტო ნახშირჟანგის რაოდენობის შესაფასებლად იყენებს Teledyne-ის წარმოების T-300 მოდელ CO - ანალიზატორს, რომლის გაზომვებიც არადისპერსიული ინფრაწითელი სპექტროსკოპის (NDIR) მუშაობის პრინციპზეა დამყარებული; გვაქვს ორი ინფრაწითელი გამოსხივების წყარო, რომლებიც გამოსხივებენ არადისპერსიულ, ერთნაირი ინტენსივობის ინფრაწითელ გამოსხივებას. ეს ორი ინფრაწითელი სხივი გაივლიან ერთმანეთისგან იზოლირებულ პარალელურ კამერაში, რომელთაგან ერთი წარმოადგენს შესადარებელ კამერას და იგი სავსეა ინერტული აირით (მშრალი აზოტი), ხოლო მეორე კამერა სავსეა საანალიზო აირით. შედეგად როდესაც სხივები კამერებს დატოვებენ, შესადარებელი კამერიდან გამომავალ ინფრაწითელ სხივს ენერჯის დანაკარგი არ ექნება; ხოლო თუ ნიმუში შეიცავდა ნახშირჟანგის (CO) მოლეკულებს, მაშინ ნიმუშის კამერიდან გამომავალი სხივი დაკარგავდა გარკვეულ ენერჯიას, რომელიც შთანთქმეს კამერაში არსებულ CO მოლეკულებმა. შემდეგ ეს ორი (უკვე სხვადასხვა ენერჯიის მქონე) სხივი აღწევს დეტექტორების კამერას. დეტექტორის კამერა სავსეა წინასწარ ცნობილი კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდით. დეტექტორი ორ კამერად არის გაყოფილი დიაფრაგმით (მეტალის ფირფიტით) და ერთმანეთისგან იზოლირებულია. დეტექტორში ინფრაწითელი სხივის მოხვედრის შედეგად მის ენერჯიას შთანთქავენ მასში არსებული CO მოლეკულები. შედეგად ისინი იწყებენ ვიბრირებას და ქაოტურ მოძრაობას. იქმნება გარკვეული წნევა. ამგვარად, შესადარებელი და ნიმუშის კამერიდან გამომავალი სხივები სხვადასხვა ენერჯიის გამო განსხვავებულად ააქტიურებენ დეტექტორში არსებულ CO მოლეკულებს. შედეგად იქმნება წნევათა სხვაობა და მეტალის ფირფიტა დეტექტორში გადაიხრება მაღალი წნევიდან დაბალის მიმართულებით. ხელსაწყო ზომავს გადახრის კუთხეს და გარდაქმნის სიგნალად. ფირფიტის გადახრის კუთხე პირდაპირპროპორციულია ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის. [10]



სურათი. 4 NDIR - ის CO ანალიზატორი

Alphasense sensor CO-BX-ისა და Teledyne CO analyzer – model T 300 - ის სპეციფიკაციები მოცემულია სურათი. 5 და 6 - ზე.

Alphasense Carbon Monoxide Sensor Specification Summary

Carbon Monoxide	CO-AE	CO-AF	CO-AX	CO-BF	CO-BX	CO-CE	CO-CF	CO-CX	CO-D4
Operating range (ppm)	0 to 10,000	0 to 5,000	0 to 2,000	0 to 5,000	0 to 2,000	0 to 10,000	0 to 5,000	0 to 2,000	0 to 1,000
Sensitivity (nA/ppm)	10 to 25	55 to 90	55 to 100	80 to 130	70 to 130	10 to 25	55 to 90	55 to 100	30 to 55
Resolution (ppm equivalent)	< 5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 5	< 0.5	< 0.5	< 1.5
Response time (t90) (s)	< 50	< 25	< 30	< 25	< 25	< 75	< 30	< 40	< 25
Zero current (ppm equivalent @ 20°C)	< ± 20	-4 to +2	< ± 3	< ± 4	< ± 3	< ± 20	< -4 to +2	< ± 3	< ± 3
Hydrogen cross sensitivity (% @ 20°C)	< 75	< 60	< 4	< 65	< 5	< 60	< 60	< 4	< 70
Overgas Limit (ppm)	100,000	10,000	4,000	10,000	5,000	100,000	20,000	4,000	2,000
Operating life (months)	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24
Temperature range (°C)	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-30 to 50	-20 to 50
Pressure range (kPa)	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120	80 to 120
Humidity range (%rh)	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90	15 to 90
Load resistor (Ohm) recommended	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47	10 to 47

სურათი. 5 Alphasense-ს CO სენსორების სპეციფიკაცია

■ Ranges	Min: 0 - 1 ppm full scale Max: 0 - 1,000 ppm full scale (selectable, dual-range supported)
■ Measurement Units	ppb, ppm, µg/m3, mg/m3 (selectable)
■ Zero Noise	< 0.02 ppm (RMS)
■ Span Noise	< 0.5% of reading (RMS) above 5 ppm
■ Lower Detectable Limit	< 0.04 ppm
■ Zero Drift	< 0.1 ppm/24 hours
■ Span Drift	< 0.5% of full scale/24 hours
■ Response Time	< 70 seconds to 95%
■ Linearity	1% of full scale
■ Precision	0.5% of reading above 5 ppm
■ Sample Flow Rate	800 cc/min ±10%
■ Power Requirements	100V-120V, 220V-240V, 50/60 Hz
■ Analog Output Ranges	10V, 5V, 1V, 0.1V (selectable)
■ Recorder Offset	±10%

სურათი. 6 T-300 ანალიზატორის სპეციფიკაცია



სურათი. 7 ჰაერის მონიტორინგის სადგურზე “SOWA” სენსორის დამონტაჟება

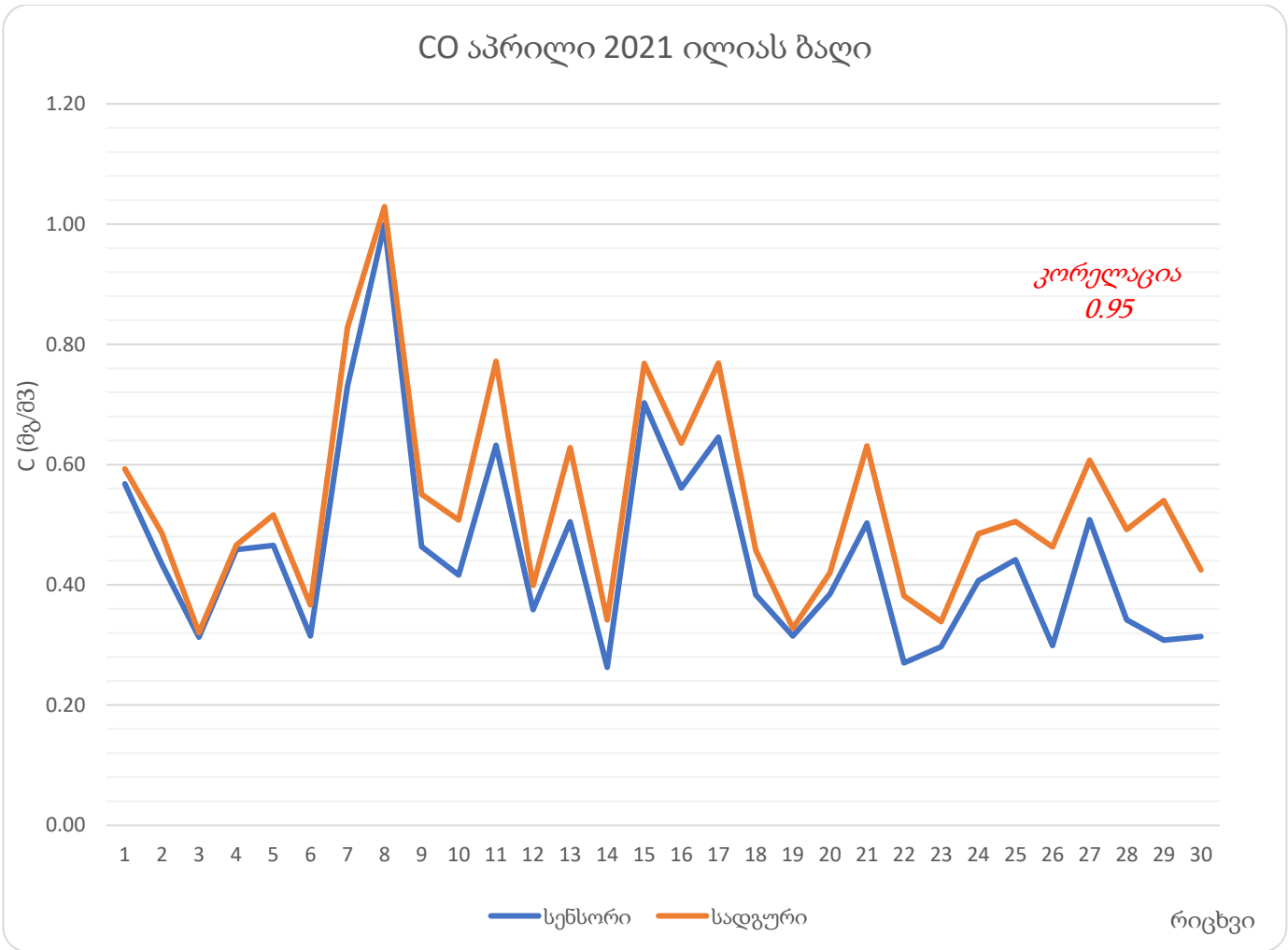
3.3 კვლევის შედეგები და მათი განხილვა

CO აპრილის თვე - ილიას ბაღი				
რიცხვი	სენსორი		სადგური	
	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³
1	0.57	0.29	0.59	0.35
2	0.43	0.18	0.49	0.19
3	0.31	0.13	0.32	0.05
4	0.46	0.43	0.47	0.49
5	0.47	0.33	0.52	0.37
6	0.31	0.16	0.37	0.12
7	0.73	0.59	0.83	0.70
8	1.00	0.54	1.03	0.70
9	0.46	0.38	0.55	0.44
10	0.42	0.24	0.51	0.29
11	0.63	0.37	0.77	0.39
12	0.36	0.25	0.40	0.10
13	0.50	0.38	0.63	0.39
14	0.26	0.14	0.34	0.09
15	0.70	0.89	0.77	1.06
16	0.56	0.40	0.64	0.47
17	0.65	0.53	0.77	0.56
18	0.38	0.26	0.46	0.21
19	0.32	0.21	0.33	0.15
20	0.38	0.22	0.42	0.17
21	0.50	0.30	0.63	0.32
22	0.27	0.11	0.38	0.11
23	0.30	0.21	0.34	0.21
24	0.41	0.26	0.49	0.26
25	0.44	0.30	0.51	0.29
26	0.30	0.15	0.46	0.14
27	0.51	0.55	0.61	0.58
28	0.34	0.33	0.49	0.30
29	0.31	0.26	0.54	0.21
30	0.31	0.32	0.42	0.22
საშუალო	0.45	0.32	0.54	0.33

SD - ეს არის ვარიაცია დღის განმავლობაში

შეფერადებულია შაბათი და კვირა დღეები

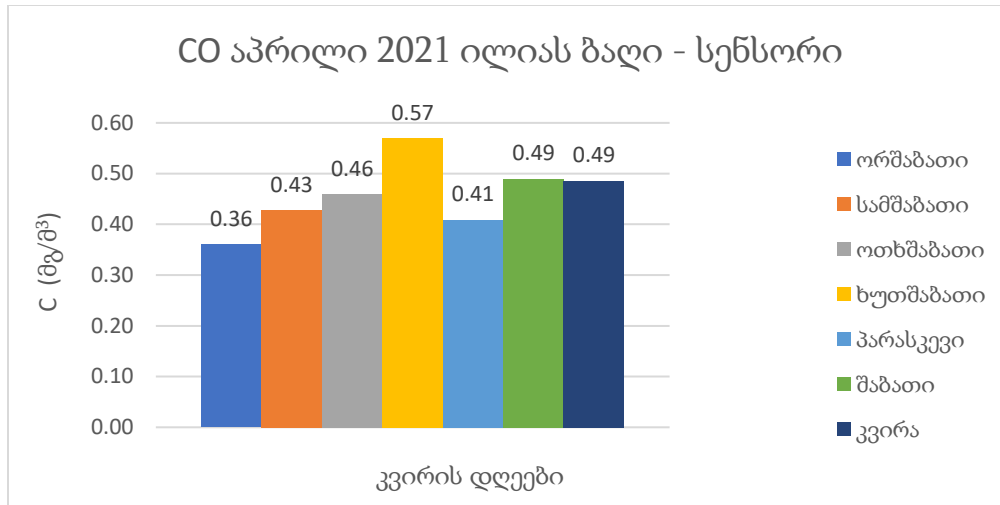
ცხრილი. 2 აპრილის ყოველდღიური საშუალო მონაცემები - ილიას ბაღი



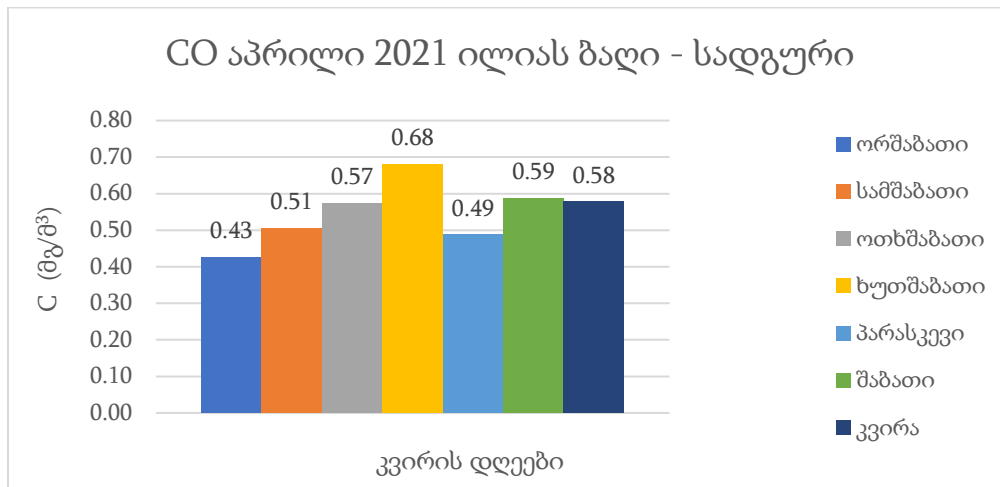
გრაფიკი. 1 სენსორის და სადგურის მონაცემები ერთად აპრილის თვეში - ილიას ბაღი

O აპრილის თვე - ილიას ბაღი				
კვირის დღე	სენსორი		სადგური	
	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³
ორშაბათი	0.36	0.08	0.43	0.08
სამშაბათი	0.43	0.09	0.51	0.13
ოთხშაბათი	0.46	0.21	0.57	0.21
ხუთშაბათი	0.57	0.35	0.68	0.28
პარასკევი	0.41	0.13	0.49	0.13
შაბათი	0.49	0.11	0.59	0.16
კვირა	0.49	0.13	0.58	0.17

ცხრილი. 3 აპრილში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი - ილიას ბაღი



გრაფიკი. 2 აპრილის თვეში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი ილიას ბაღი (სენსორი)

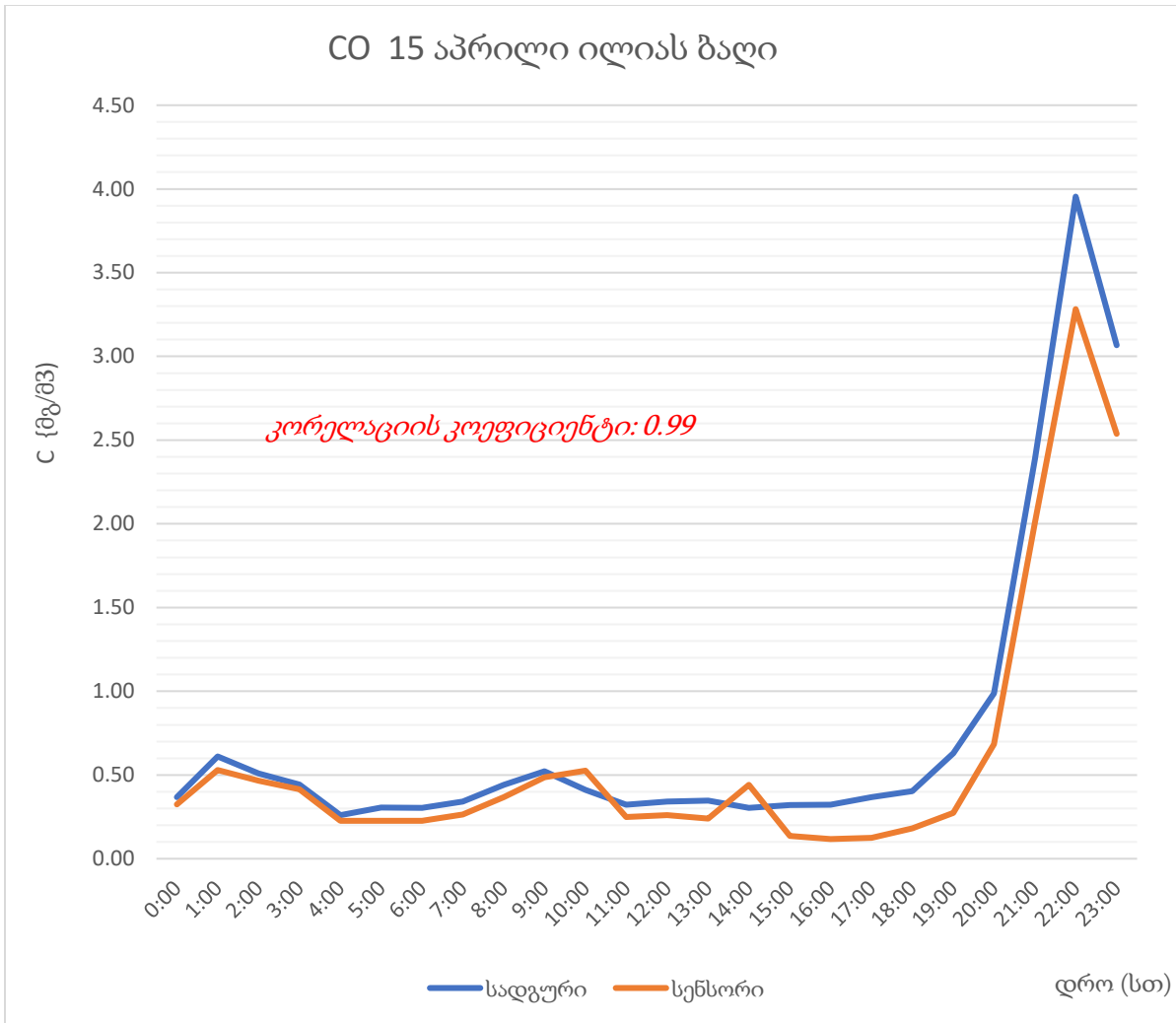


გრაფიკი. 3 აპრილის თვეში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი ილიას ბაღი (სადგური)

CO 15 აპრილი - ილიას ბაღი		
დრო (სთ)	სენსორი	სადგური
	მგ/მ ³	
0:00	0.32	0.37
1:00	0.53	0.61
2:00	0.47	0.51
3:00	0.41	0.44
4:00	0.23	0.26
5:00	0.23	0.31
6:00	0.23	0.30
7:00	0.26	0.34
8:00	0.37	0.44
9:00	0.49	0.52
10:00	0.53	0.41
11:00	0.25	0.32
12:00	0.26	0.34
13:00	0.24	0.35
14:00	0.44	0.30
15:00	0.14	0.32
16:00	0.12	0.32
17:00	0.13	0.37
18:00	0.18	0.40
19:00	0.27	0.63
20:00	0.68	0.99
21:00	2.01	2.39
22:00	3.28	3.95
23:00	2.54	3.07

წითლად შეფერილია
ის შუალედი
რომელიც მოიცავს
CO-მაქსიმალური
კონცენტრაციის
დაფიქსირების დროს
22:02 სთ
სენსორი 8.05 მგ/მ³
სადგური 9.39 მგ/მ³

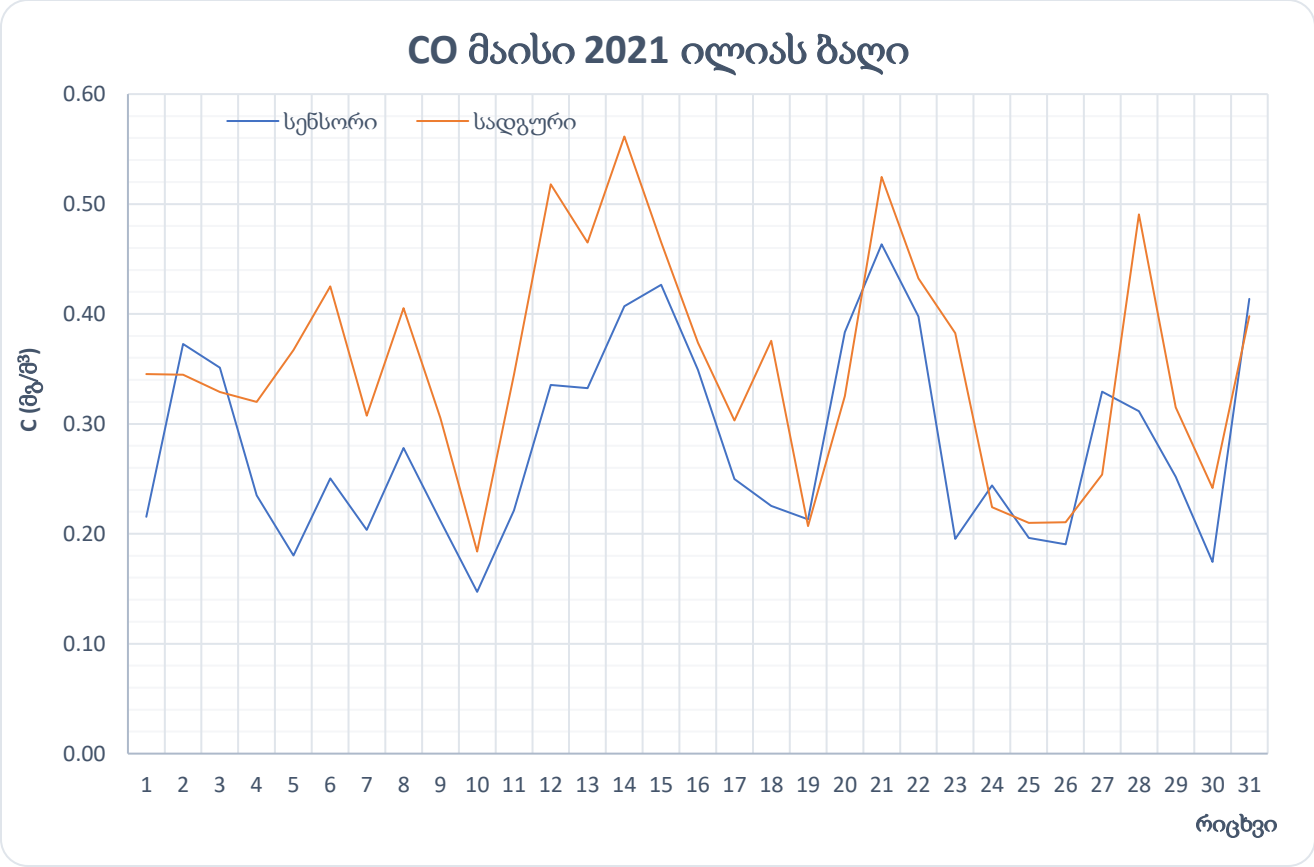
ცხრილი. 4 15 აპრილის გასაშუალოებული საათობრივი მონაცემები - ილიას ბაღი



გრაფიკი. 4 15 აპრილის სენსორის და სადგურის საათობრივი მონაცემები - ილიას ბაღი

CO მაისის თვე - ილიას ბაღი				
რიცხვი	სენსორი		სადგური	
	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³
1	0.22	0.21	0.35	0.08
2	0.37	0.40	0.34	0.09
3	0.35	0.39	0.33	0.10
4	0.23	0.19	0.32	0.07
5	0.18	0.11	0.37	0.12
6	0.25	0.19	0.43	0.15
7	0.20	0.13	0.31	0.10
8	0.28	0.24	0.41	0.20
9	0.21	0.23	0.31	0.10
10	0.15	0.09	0.18	0.17
11	0.22	0.17	0.34	0.17
12	0.34	0.26	0.52	0.35
13	0.33	0.27	0.46	0.37
14	0.41	0.33	0.56	0.20
15	0.43	0.43	0.47	0.21
16	0.35	0.35	0.37	0.17
17	0.25	0.24	0.30	0.12
18	0.23	0.18	0.38	0.17
19	0.21	0.18	0.21	0.09
20	0.38	0.40	0.33	0.29
21	0.46	0.43	0.52	0.26
22	0.40	0.41	0.43	0.10
23	0.20	0.21	0.38	0.10
24	0.24	0.21	0.22	0.06
25	0.20	0.16	0.21	0.08
26	0.19	0.16	0.21	0.08
27	0.33	0.27	0.25	0.31
28	0.31	0.17	0.49	0.33
29	0.25	0.23	0.32	0.12
30	0.17	0.14	0.24	0.09
31	0.41	0.41	0.40	0.14
საშუალო	0.28	0.25	0.35	0.16

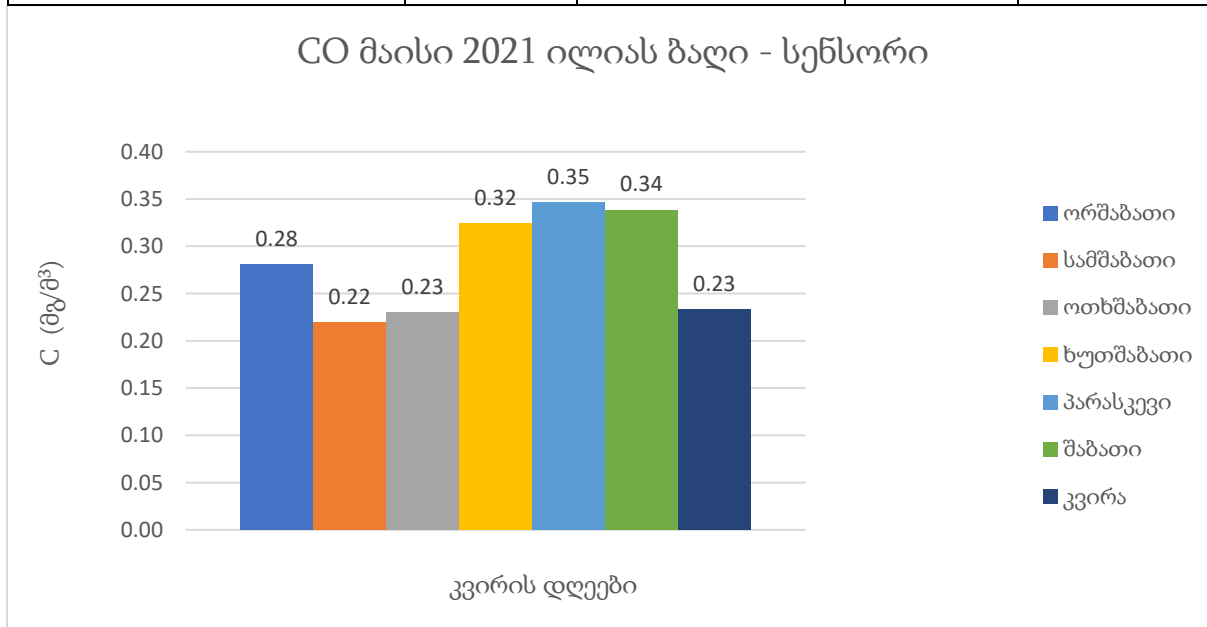
ცხრილი. 5 მაისის ყოველდღიური საშუალო მონაცემები - ილიას ბაღი



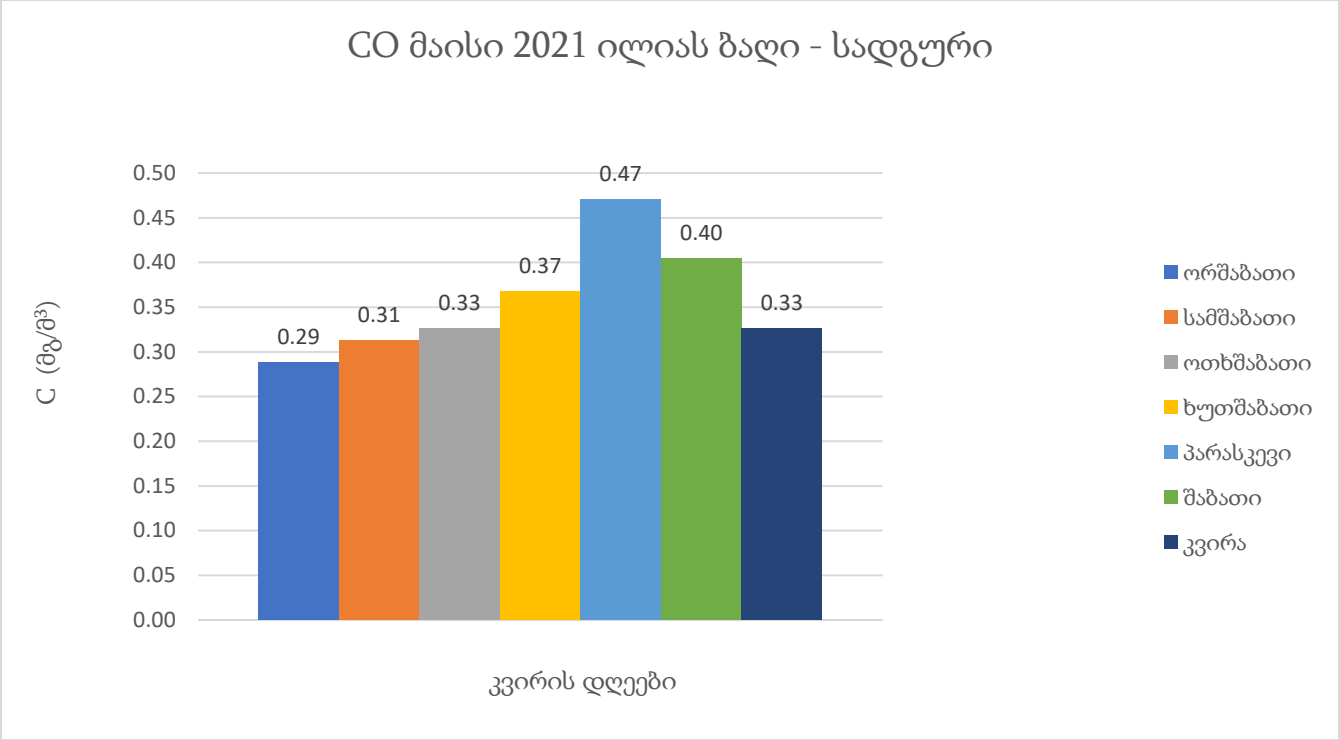
გრაფიკი. 5 სენსორის და სადგურის მონაცემები ერთად მაისის თვეში - ილიას ბაღი

ცხრილი. 6 მაისში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი - ილიას ბაღი (სადგური)

CO მაისის თვე - ილიას ბაღი				
კვირის დღე	სენსორი		სადგური	
	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³	მგ/მ ³	SD მგ/მ ³
ორშაბათი	0.28	0.10	0.29	0.09
სამშაბათი	0.22	0.02	0.31	0.07
ოთხშაბათი	0.23	0.07	0.33	0.15
ხუთშაბათი	0.32	0.05	0.37	0.10
პარასკევი	0.35	0.11	0.47	0.11
შაბათი	0.34	0.09	0.40	0.06
კვირა	0.23	0.08	0.33	0.07



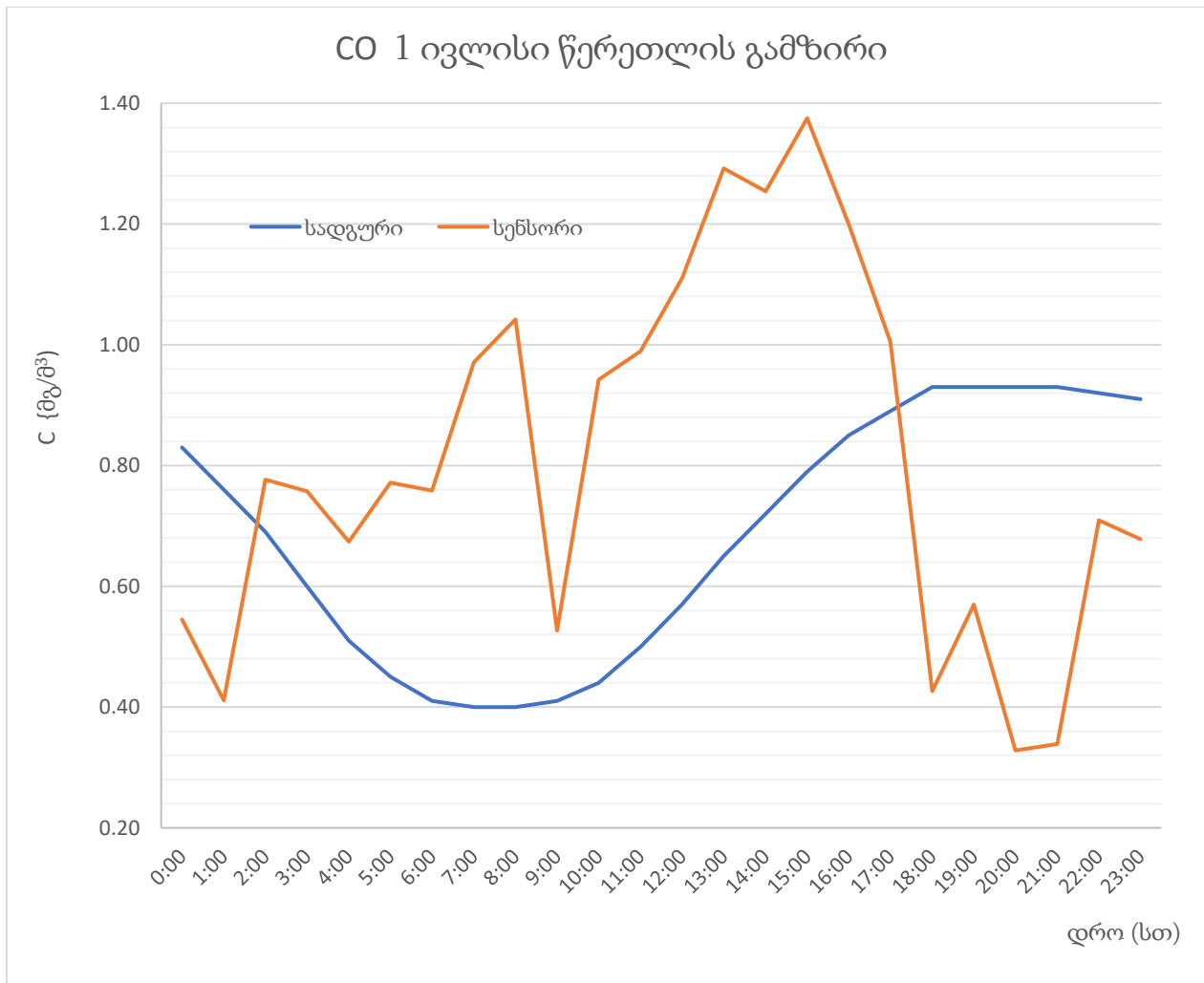
გრაფიკი. 6 მაისის თვეში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი ილიას ბაღი (სენსორი)



გრაფიკი. 7 მაისის თვეში კვირის დღეების საშუალო მაჩვენებელი ილიას ბაღი (სადგური)

CO 1 ივლისი - წერეთლის გამზირი		
დრო (სთ)	სენსორი	სადგური
	მგ/მ ³	
0:00	0.55	0.83
1:00	0.41	0.76
2:00	0.78	0.69
3:00	0.76	0.60
4:00	0.67	0.51
5:00	0.77	0.45
6:00	0.76	0.41
7:00	0.97	0.40
8:00	1.04	0.40
9:00	0.53	0.41
10:00	0.94	0.44
11:00	0.99	0.50
12:00	1.11	0.57
13:00	1.29	0.65
14:00	1.25	0.72
15:00	1.38	0.79
16:00	1.20	0.85
17:00	1.00	0.89
18:00	0.43	0.93
19:00	0.57	0.93
20:00	0.33	0.93
21:00	0.34	0.93
22:00	0.71	0.92
23:00	0.68	0.91

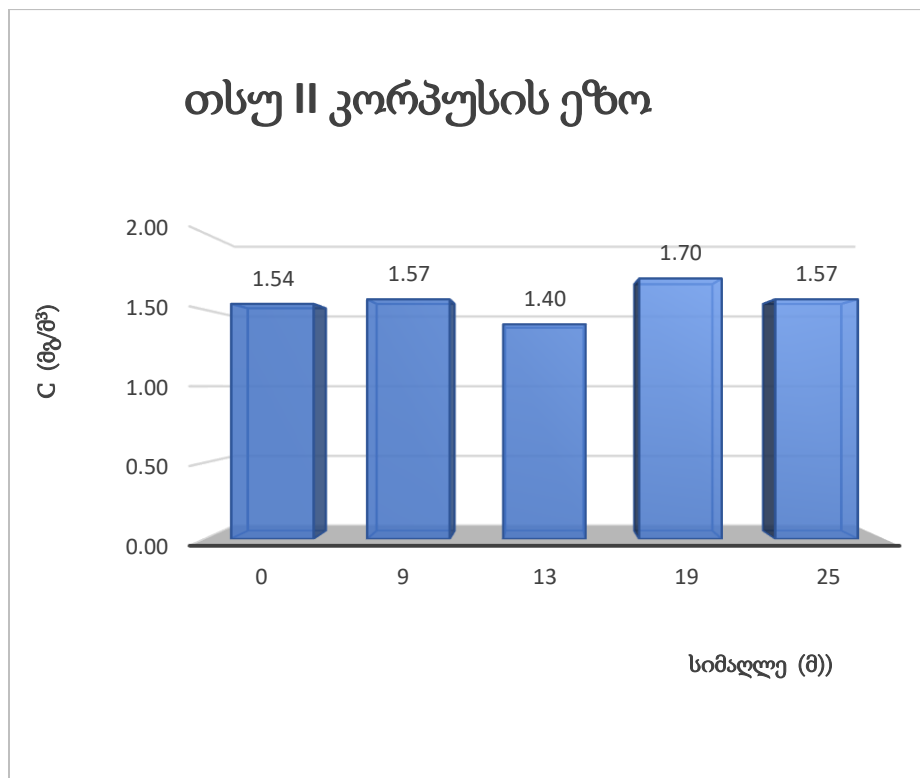
ცხრილი. 7 1 ივლისის გასაშუალოებული საათობრივი შედეგები - წერეთლის გამზირი



გრაფიკი. 8 სენსორის და სადგურის მონაცემები ერთად 1 ივლისი - წერეთლის გამზირი

თსუ-ს II კორპუსის ეზო	
სიმაღლე (მ)	მგ/მ ³
0	1.54
9	1.57
13	1.40
19	1.70
25	1.57

ცხრილი. 8 CO-ს კონცენტრაციები სხვადასხვა სიმაღლეზე - თსუ-ს II კორპუსის ეზო



გრაფიკი. 9 სიმაღლეზე გაზომილი CO-ს კონცენტრაციები გრაფიკულად



სურათი. 8 სიმაღლეზე CO-ს გაზომვებისთვის გამოყენებული დრონი (Drone DJI M600 Pro)

დასკვნა

დასკვნის სახით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ:

- სენსორის გაზომვები საკმაოდ სანდოა აპრილის თვეში, რადგან თითქმის იმეორებს სადგურის შედეგებს და კორელაციის კარგი მაჩვენებლით ხასიათდება.
- ჩვენს მიერ გამოყენებული სენსორების ერთ-ერთ უპირატესობას წარმოადგენს მისი კომპაქტურობა; რომ შეგვიძლია გაზომვები ჩავატაროთ ნებისმიერ ადგილას უწყვეტ რეჟიმში და შედეგები დავამუშავოდ მარტივად და სწრაფად. მაგრამ წერეთლის გამზირზე ჩატარებულმა გაზომვებმა სავარაუდოდ გამოკვეთა მისი ერთ-ერთი ნაკლიც, რომ სენსორს არ შეუძლია სანდო ინფორმაციის მოწოდება დიდი ხნით უწყვეტ რეჟიმში მუშაობისას.
- ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტის დროს ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაცია თითქმის არ იცვლებოდა სიმაღლეზე 25 მეტრის დიაპაზონში.
- აპრილის და მაისის თვეებში ილიას ბაღში CO-ს კონცენტრაცია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე დაბალია.
- აპრილის მონაცემებით ილიას ბაღში CO-ს მაღალი კონცენტრაციით საშუალოდ ხუთშაბათი გამოირჩევა, ხოლო მაისის მონაცემებით - პარასკევი.
- ილიას ბაღის მიმდებარე ტერიტორიის ნახშირბადის მონოქსიდით დაბინძურების ძრითად წყაროს წარმოადგენს ავტოტრანსპორტი, რადგან დღე-ღამის განმავლობაში CO-ს კონცენტრაციის მომატება შეინიშნება პიკის საათებში, მიუხედავად იმისა, რომ ბაღი საკმაოდ მოშორებულია ავტომობილების სავალ ნაწილს.

გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] როგორია ატმოსფერო და როგორ არის მოწყობილი. ინფორმაცია და ფაქტები ატმოსფეროს შესახებ. დედამიწის ატმოსფერო - ვიკიპედია <https://ka.wikipedia.org>
- [2] მანანა ქოჩლაძე, „ჰაერის დაბინძურება“. გარემო
- [3] გარემოს ქიმია - გ.სუპატაშვილი. თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა 2009
- [4] გარემოს ეროვნული სააგენტო, გარემოს ეროვნული სააგენტოს გამრემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2017 წლის მონაცემები; თბილისი 2018
- [5]. Cavity Ring-Down Spectroscopy Detection of CO₂ in air Lab PM April/May 2013 1-7]
- [6] A. O' Keefe and D. A. G. Deacon. Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources. Review of Scientific Instruments, 59:2544–2551, December 1988. doi:10.1063/1.1139895.
- [7]. D. E. Heard. „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement,“ Blackwell Publishing Ltd, 2006.
- [8] Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Jubb, S.A., Osammor, O., 2018. Analysing the performance of low-cost air quality sensors, their drivers, relative benefits and calibration in cities – a case study in Sheffield. Environmental Monitoring and Assessment, 191(2):94.
- [9] Alphasense Application Note AAN104, How Electrochemical gas Sensors Work. www.alphasense.com
- [10] United States Environmental Agency. Air Pollution Training Institute – Public Training Site; Chapter 8
- [11] სახალხო დამცველის ანგარიში. რას ვსუნთქავთ? 27 თებერვალი 2016 წ