

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა

ფაკულტეტი

ქიმიური ექსპერტიზის მიმართულება

**თამუნა ლაფაჩი**

**ჰაერის დაბინძურების გავრცელების შეფასება განტვირთვის  
საათებში ი.ჭავჭავაძის გამზირის მაგალითზე.**

ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის (ქიმიური ექსპერტიზის  
სპეციალობით) ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი:

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის ასისტენტ პროფესორი გიორგი ჯიბუტი

თბილისი, 2019 წელი

## ანოტაცია

ატმოსფერულ ჰაერს მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ბიოსფეროს სხვა კომპონენტებს შორის და მისი მნიშვნელობა დედამიწაზე შეუფასებელია ცოცხალი ორგანიზმებისთვის. ბოლო ნახევარი საუკუნის განმავლობაში ე.წ. ინდუსტრიალიზაციის ეპოქის დადგომასთან ერთად აქტუალური გახდა ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემა მთელს მსოფლიოში. ტექნიკური პროგრესის შესაბამისად მავნე გამონახობლქვთა რაოდენობა განუწყვეტლივ იზრდება. ცალკეულ კომპონენტთა კონცენტრაციები ბევრად აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმას. ეს პრობლემა განსაკუთრებით კი შეინიშნება ურბანულ ქვეყნებში.

ამ ნაშრომის ძირითადი მიზანია ქალაქ თბილისში ყველაზე გადატვირთული მოძრაობის მქონე ტერიტორიაზე, კერძოდ ჭავჭავაძის გამზირზე და ვარაზის ხევის მიმდებარე ტერიტორიაზე განტვირთვის საათებში, გავზომოთ ჰაერის შემადგენელი კომპონენტების დიფუზიის ხარისხი, პირველ შემთხვევაში გზის ცენტრალური ნაწილიდან უნივერსიტეტის შიდა მიმდებარე ტერიტორიისკენ, მეორე შემთხვევაში ვარაზის ხევიდან უნივერსიტეტის პირველი კორპუსის ეზომდე. გვინტერესებდა რა სიჩქარით ხდება ჯანმრთელობისთვის არასასურველი ელემენტების გავრცელება. ასევე მნიშვნელოვანია რომ მიღებული შედეგები ყოფილიყო არა ერთჯერადი ანალიზით მიღებული არამედ საშუალო. ამიტომ ჩვენ სხვადასხვა დღეს ერთსადაიმავე ტემპერატურასა და ტენიანობის დროს ჩავატარეთ რამდენჯერმე ანალიზი.

შეგროვებული ნიმუშის ანალიზები ჩავატარეთ ლაბორატორიაში Picaro 2401 CRDS ანალიზატორით (ნახშირბადის ოქსიდები, მეთანი) და Eco Physics CLD 870 TR ანალიზატორით (აზოტის ოქსიდები).

ნაშრომი შესრულდა SMART|AtmoSim\_LAB-ის ბაზაზე.

## Summary

Recently, air pollution and related problems attract more and more attention. The ambient air has an essential role among other components of biosphere and its importance is invaluable for all living organisms. Ambient air pollution has become a critical problem with industrial development over the world. Amount of harmful exhausts in the atmosphere increases as a result of technological progress and the concentrations of certain components significantly exceed their permissible thresholds. Scientifically confirmed, that the atmosphere pollutants, such as carbon, nitrogen oxides (NOX), dust particles, volatile organic compounds at high concentrations has negative impact on human health and material values, causes various diseases, including cancer. Increasing air pollution adversely affects the environment, destroys ecosystems, air pollutants influence the climate, cause negative processes in the protective ozone layer increase ozone contamination in low troposphere and contribute to the greenhouse effect.

The goal of our study was to research polluting substances, such as carbon and nitrogen oxides in atmospheric air in Tbilisi area, namely Chavchavadze avenue and Varazis Khevi during relatively free traffic times.

Thus, the main purpose of our study was to assess the level of air pollution in selected areas, namely the determination of nitrogen and carbon oxides concentrations and their monitoring in Tbilisi atmospheric air.

Collected samples were analyzed using Picarro G2401 CRDS (carbon oxides, methane) and Eco Physics CLD 780 TR (nitrogen oxides).

The study was performed on the basis of SMART|AtmoSim\_LAB.

# სარჩევი

ანოტაცია.....	2
შესავალი.....	5
<b>1. ლიტერატურული მიმოხილვა.....</b>	<b>6</b>
1.1 დედამიწის ატმოსფეროს ფორმირება.....	6
1.2 ატმოსფეროს სტრუქტურა და შემადგენლობა.....	7
1.3 ატმოსფეროს შემადგენელი ძირითადი აირები.....	9
1.4 კონცენტრაციის ერთეულები.....	11
1.5 ატმოსფეროს დაბინძურების ისტორიული ასპექტები.....	12
1.6 ატმოსფეროს დაბინძურებით გამოწვეული სახფრთხეები.....	13
1.7 ატმოსფეროს ქიმიის მნიშვნელობა.....	15
1.8 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში.....	16
<b>2 . მეთოდები.....</b>	<b>18</b>
2.1 ატმოსფეროს ანალიზის ქიმიური მეთოდები.....	18
2.2 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია.....	19
2.3 აზოტის ოქსიდების (NO,NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) განსაზღვრა O <sub>3</sub> -თან ქემილუმინესცენციით.....	21
2.4 NO <sub>x</sub> -ის გაზომვა.....	21
2.5 ნახშირორჟანგის გავრცელება ბუნებაში.....	22
2.6 ნახშირბადის მონოქსიდი -CO.....	23
<b>3 ექსპერიმენტული ნაწილი.....</b>	<b>24</b>
3.1 გამოყენებული აპარატურა.....	24
3.2 ნიმუშის აღება და მისი აღების პირობები.....	25
3.3 მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი.....	27
3.4 დასკვნა.....	36

## შესავალი

საქართველო ბოლო სამი წლის განმავლობაში სამმა სხვადასხვა ავტორიტეტულმა წყარომ დაასახელა ქვეყნად ,რომელიც, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეული სიკვდილიანობის მაჩვენებლით, მსოფლიოში წამყვან ადგილს იკავებს. დაბინძურებულ ქვეყნებში ჩვენი ქვეყნის მოხვედრა ჩვენთვის გასაკვირი არ უნდა იყოს, მაგრამ წამყვან პოზიციებზე ყოფნა მართლაც საყურადღებოა და მოითხოვს პრობლემის გამომწვევი მიზეზების პოვნას და შეძლებისდაგვარად აღმოფხვრას. დაბინძურებული ჰაერი ადამიანის ჯანმრთელობაზე გამანადგურებელ გავლენას ახდენს. მეცნიერულად დასაბუთებულია, რომ ატმოსფეროში დამბინძურებლების, კერძოდ კი ისეთი მავნე ნივთიერებების, როგორცაა: ნახშირბადის, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდების, მტვერის მცირე ზომის ნაწილაკების, ორგანული ნაერთების და ა.შ. დაშვებულზე მაღალი კონცენტრაციები უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ეკოსისტემებსა და მატერიალურ ფასეულობებზე.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერი ბინძურდება ავტოტრანსპორტიდან, ენერგეტიკული სექტორიდან, სამრეწველო ობიექტებიდან და სოფლის მეურნეობის დარგებიდანაა. მათგან ძირითადი დამბინძურებელია ავტოტრანსპორტი და ენერგეტიკა, რადგან ბოლო წლებში იზრდება ამ სექტორებში მოხმარებული საწვავის რაოდენობა. სამრეწველო სექტორიდან კი 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 ხორციელდება. ატმოსფერო, რომელიც დედამიწის გარემოს ერთ-ერთი უმთავრესი შემადგენელი ნაწილია, მუდმივ ცვლილებებს განიცდის. ასეთი ცვლილებები მნიშვნელოვანი გახდა დედამიწის მოსახლეობისა და ადამიანთა საქმიანობების მასშტაბების ზრდის გამო. ბოლო ნახევარი საუკუნის განმავლობაში ე.წ. ინდუსტრიალიზაციის ეპოქის დადგომასთან ერთად აქტუალური გახდა ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემა ზოგადად, ატმოსფეროს დაბინძურება არის ატმოსფერული ჰაერის შემადგენლობის ცვლილება მასში დამბინძურებელ ნივთიერებათა არსებობის შედეგად. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას განაპირობებს როგორც ტექნოგენური, ასევე ბუნებრივი, დაბინძურების წყაროების ფუნქციონირება, მაგრამ უმთავრესი დამბინძურებელი ანთროპოგენური წყაროებია: ტრანსპორტი, სამრეწველო საწარმოები,

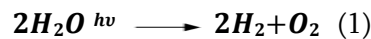
ენერგეტიკული ობიექტები და სოფლის მეურნეობა. დედამიწის მოსახლეობის რაოდენობის ზრდამ, მეცნიერულ-ტექნიკურმა პროგრესმა, ურბანიზაციის და ინდუსტრიალიზაციის პროცესების სწრაფი ტემპებით განვითარებამ გაზარდა მოთხოვნა ენერგო, საკვებ და სხვა რესურსებზე . იზრდება მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების და წარმოებული პროდუქციის რაოდენობა, რაც მრავალ გარემოსდაცვით პრობლემას უქმნის მსოფლიოს ურბანულ ცენტრებს. ენერგეტიკული სექტორის სიმძლავრე საშუალოდ ყოველ 12 წელიწადში, ხოლო სამრეწველო სექტორისა ყოველ 15 წელიწადში ორმაგდება ბუნებრივი რესურსების ინტენსიური ხარჯვა და არასრულყოფილი ტექნოლოგიების გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის ანთროპოგენურ დატვირთვას გარემოზე და იწვევს ეკოსისტემების უარყოფით ცვლილებას. ატმოსფერული ჰაერის დაცვას ანთროპოგენური საქმიანობებით დაბინძურებისგან დიდი ყურადღება ეთმობა მთელ მსოფლიოში. ატმოსფერულ ჰაერს მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ბიოსფეროს სხვა კომპონენტებს შორის და მისი მნიშვნელოვნება დედამიწაზე შეუფასებელია ყველა ცოცხალი ორგანიზმისთვის. ეპიდემიოლოგიური კვლევები ადასტურებს, რომ ევროპაში ნაადრევი სიკვდილიანობის 100 ათასი შემთხვევა გამოწვეულია ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია დღემდე შეისწავლის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ჰაერის დაბინძურების ზეგავლენის პრობლემებს [1].

## 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

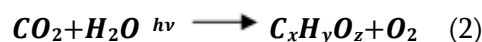
### 1.1 დედამიწის ატმოსფეროს ფორმირება

დედამიწა დაახლოებით 4.5 მილიარდი წლის წინ წარმოიქმნა და ის თავდაპირველად გამლღვალ მაგმას წარმოადგენდა. სავარაუდოა, რომ მისი პირველი ატმოსფერო შედგებოდა მსუბუქი აირებისაგან, წყალბადისა და ჰელიუმისაგან და ისეთი ნაერთებისგან როგორიცაა: ამიაკი ( $NH_4$ ) და მეთანი ( $CH_4$ ). ვინაიდან, მაშინდელ დედამიწას არ გააჩნდა დამცავი მაგნიტური ველი, დედამიწამ დაკარგა ეს ატმოსფერო ინტენსიური მზის ქარების გავლენით და დაახლოებით 4.4 მილიარდი წლის წინ, დედამიწა გაცივდა იმდენად რომ შესაძლებელი გახდა წარმოქმნილიყო მყარი ქერქი აქტიური ვულკანებით. ამ ვულკანების საშუალებით გაფრქვეული გაზები ძირითადად წარმოადგენდა წყლის ორთქლს, ნახშირორჟანგს და ამიაკს. ამ გაზებმა წარმოქმნეს დედამიწის მეორადი ატმოსფერო, დედამიწის და მისი ატმოსფეროს თანდათანობით გაცივებამ, გამოიწვია წყლის კონდენსირება ღრუბლების და ნალექების სახით და წარმოიქმნა ოკეანეები. ამასთან, ნახშირორჟანგის უდიდესი ნაწილი შთაინთქა ოკეანეების მიერ. ასევე, მზის სინათლის გავლენით დაიშალა ამიაკი და

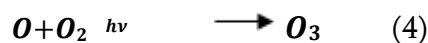
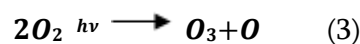
ატმოსფეროში გაჩნდა ქიმიურად არააქტიური აზოტის მოლეკულები. ზოგიერთი თეორიის თანახმად, ჟანგბადის მცირე ნაწილი ატმოსფეროში პირველად წარმოიქმნა წყლის ფოტოქიმიური დაშლის შედეგად (მზის მაღალი ინტენსივობის ულტრაიისფერი გამოსხივების გავლენით):



თუმცა მისი მნიშვნელოვანი წილი წარმოიქმნა ციანობაქტერიების ფოტოსინთეზის შედეგად როგორც თანამდევი პროდუქტი:



თავდაპირველი ჟანგბადის დიდი ნაწილი დაიხარჯა დედამიწის ქერქის ქანების დაჟანგვაში (გამოფიტვის პროცესი), რის შემდეგაც დაიწყო მისი შემცველობის ზრდა ატმოსფეროში. როდესაც ჟანგბადის კონცენტრაციამ მიაღწია 1-2%-ს, მზის ულტრაიისფერი სხივების გავლენით წარმოიქმნა ოზონის შრე:



ოზონის დამცავი შრის წარმოქმნამ შესაძლებელი გახდა ცოცხალი ორგანიზმების ხმელეთზე ცხოვრება და დაახლოებით 700 მილიონი წლის წინ, განვითარდნენ ხმელეთის მცენარეებიც, რომელთა დახმარებითაც ფოტოსინთეზის შედეგად შემცირდა ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია 1-5%-დან 0.04%-მდე და ამასთან გაიზარდა ჟანგბადის შემცველობა ატმოსფეროში. ბოლო რამდენიმე ასეული მილიონი წლის განმავლობაში ჟანგბადის კონცენტრაცია იცვლებოდა კლიმატის, ვულკანური და ტექტონიკური აქტივობების გავლენით და საბოლოოდ დასტაბილურდა დაახლოებით 21%-ზე [1].

## 1.2 ატმოსფეროს სტრუქტურა და შემადგენლობა

ჰაერი უფერო, უსუნო, უხილავი აირთა ნარევი, რომელიც დედამიწის გარშემო დამცავ ფენას, ე.წ. ატმოსფეროს წარმოქმნის. ჰაერი სიცოცხლისათვის აუცილებელია: ცხოველები სუნთქავენ, მცენარეები კი მისი საშუალებით საკვებს წარმოქმნიან. ამის გარდა, იგი

დედამიწას მზის სახიფათო ულტრაიისფერი სხივებისაგან იცავს. ჰაერი, ძირითადად აზოტისა და ჟანგბადისაგან შედგება. იგი, ასევე მცირე რაოდენობით კეთილშობილ აირებსა და ნახშირბადის დიოქსიდსაც შეიცავს. ამას ემატება ჭვარტლისა და მტვრის მყარი ნაწილაკები

ატმოსფეროს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისათვის. აირის ფენები დედამიწის ზედაპირზე არ უშვებს მეტეორიტებს, ოზონის ეკრანი იცავს გამოსხივებისაგან, ჟანგბადის გარეშე წარმოუდგენელია სუნთქვა და წვა. ნახშირორჟანგი სითბური ეკრანია, ის იკავებს დედამიწისგან გამოსხივებულ სითბოს და გამოიყენება მცენარეების მიერ ფოტოსინთეზისათვის. წყლის ორთქლი უზრუნველყოფს ნალექების წარმოშობას, მტვრის ნაწილაკები კი წარმოადგენს წყლის ორთქლის კონდენსაციის უმცირეს ბირთვებს.



**სურათი 1. ატმოსფერო კოსმოსიდან**

ატმოსფეროს შემადგენელი აირები კოსმოსიდან შეხედვისას დედამიწას ცისფერ შეფერილობას აძლევენ. ატმოსფერო დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის უმთავრესი პირობაა. მისი ქვედა საზღვარი დედამიწის ზედაპირია, ხოლო ზედა პირობითად 2000-3000 კილომეტრამდე ვრცელდება. ასეთ სიმაღლეზე ჰაერი ძალზე გაიშვიათებულია.

ტემპერატურის ცვალებადობის, სიმკვრივისა და სხვა თვისებების მიხედვით დედამიწის ჰაერის გარსი რამდენიმე ნაწილად იყოფა. ატმოსფეროს ქვედა ნაწილის - ტროპოსფეროს სიმაღლე, საშუალოდ, 10-12 კილომეტრია. ატმოსფეროში არსებული აირების 80% ტროპოსფეროზე მოდის. ამიტომ ის ყველაზე მკვრივი ფენაა. სწორედ აქაა მოყრილია ატმოსფეროს მთელი წყლის ორთქლი, აქ წარმოიქმნება ღრუბლები, მოდის წვიმა და თოვლი, ადგილი აქვს ჭექა-ქუხილს, ყალიბდება ამინდი და სხვა. სიმაღლის მატებასთან ერთად ტროპოსფეროში ჰაერის ტემპერატურა კლებულობს.



ტროპოსფეროს ზევით **სტრატოსფერო** (ლათინურად „სტრატუმ“ - ფენა), რომლითაც დაახლოებით 40-50 კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. მასში თავმოყრილია ატმოსფერული აირების მხოლოდ 20%. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ოზონის შრე (20-25 კილომეტრზე), რომელიც შთანთქმავს სიცოცხლისათვის საშიშ ულტრაიისფერ სხივებს. ბოლო დროს შეინიშნება ოზონის შრის რღვევა, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ცოცხალ ორგანიზმებს. მათი წარმოქმნა ძირითადად დაკავშირებულია ატმოსფეროს ძლიერ გაჭუჭყიანებასთან. კიდევ უფრო ზევით გრძელდება **მეზოსფერო** [1].

### 1.3 ატმოსფეროს შემადგენელი ძირითადი აირები

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.

**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 40K ბირთვული გარდაქმნით 40Ar-ში.

**წყალი** (წყლის ორთქლი) 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 მიმოცვლა 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.

NO	წლიური ლიმიტი	48.2 ppbv
	ერთჯერადი ლიმიტი	321 ppbv
NO <sub>2</sub>	წლიური ლიმიტი	20.95 ppbv
	ერთჯერადი ლიმიტი	105 ppbv
CO	წლიური ლიმიტი	8.6 ppmv
CO <sub>2</sub>	გლობალური საშუალო	410 ppmv
CH <sub>4</sub>	გლობალური საშუალო	2 ppmv

**ცხრილი 1.** ატმოსფეროს დამაბინძურებელი აირების ლიმიტები (1 ატმ. 20 °C გადათვლით)

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 10-9-10-4მ. 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 ატმოსფერულ პროცესებზე, კლიმატზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. აეროზოლები ცვლიან დედამიწის

გამოსხივების ბალანს, ისინი შთანთქავენ და ფანტავენ შემომავალ (მზის) და დედამიწის გამოსხივებას (სითბურს თუ სინათლის). ისინი აუცილებელია ღრუბლების და ნალექების წარმოქმნისთვის, რადგანაც წარმოადგენენ კონდენსაციის ბირთვებს. მათ გავლენა აქვთ ჟანგვით პროცესებზე და მოქმედებენ აზოტის, გოგირდის და ატმოსფერული მჟანგავების ციკლებზე. ატმოსფერული აეროზოლების კონცენტრაცია, ცვალებადია დროსა და სივრცეში. ატმოსფერულ აეროზოლებს აქვთ მნიშვნელოვანი ეფექტი სხვადასხვა ატმოსფერულ პროცესებზე, კლიმატზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე [1].

#### 1.4 კონცენტრაციის ერთეულები

კვალის სახით არსებული გაზების კონცენტრაციები ატმოსფეროში ვარირებს  $10^{10}$  რიგში, ამიტომ კონცენტრაციები აღიწერება სხვადასხვა ერთეულებით და აქედან გამომდინარე აუცილებელია მათ შორის თანაფარდობის ცოდნა. ყველაზე ხშირად გამოიყენება მოცულობითი ფარდობა, ანუ შერევის ფარდობა, რაც გამოისახება მოცულობის ერთეულში არსებული საკვლევი გაზის მოლეკულების რიცხვის ფარდობით იმავე მოცულობაში არსებული ჰაერის მოლეკულების რიცხვთან. ამ სიდიდის გამოყენება მოხერხებულია იმით, რომ თუნდაც ტემპერატურა, ან წნევა შეიცვალოს, შერევის ფარდობა უცვლელი რჩება განსხვავებით მხოლოდ მოცულობაზე ორიენტირებული კონცენტრაციის ერთეულებისგან (როგორცაა მაგალითად მგ/მ<sup>3</sup>, მკგ/მ<sup>3</sup> და ა.შ). რადგანაც საუბარია მოცულობით ფარდობაზე, ზოგჯერ ბოლოში უმატებენ  $v$  სიმბოლოს მის აღსანიშნავად. ხშირად გამოიყენებული ერთეულებია ppmv-1 მოლეკულა ჰაერის  $10^6$  მოლეკულაზე ( $1/10^6$ ) მოცულობის მემილიონედი ნაწილი, ppbv  $1/10^{12}$ -მოცულობის მემილიარდედი, pptv  $1/10^{15}$ -მოცულობის მეტრილიონედი ნაწილი, ppqv:  $1/10^{15}$ -საკვლევი გაზის 1 მოლეკულა ჰაერის კვადრილიონ მოლეკულაზე. ხშირად გამოიყენება ასევე მხოლოდ საკვლევი გაზის რაოდენობის მოცულობაზე გადათვლილი კონცენტრაციის ერთეულები, მაგალითად მკგ ნივთიერება 1 კუბურ მეტრ ჰაერში (მკგ/მ<sup>3</sup>, ასევე ჩაიწერება როგორც  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). ეს სიდიდეები ხშირად გამოიყენება ასევე ოფიციალურ დოკუმენტებში საკანონმდებლო უწყებების მიერ, თუმცა ამ დროს აუცილებელია მიეთითოს გარემო პირობები (წნევა და ტემპერატურა), რადგანაც გაზების თვისებები დამოკიდებულია ამ პარამეტრებზე, მაგალითად, NO<sub>2</sub>-ისთვის 101.3 კპა წნევაზე და 20°C ტემპერატურაზე 1ppb შეესაბამება 1.913 მკგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო NO-სთვის 1.248 მკგ/მ<sup>3</sup>-ს.

აეროზოლებისთვის და სხვა დაწილადებული ნივთიერებებისთვის შეუძლებელია შერევის ფარდობის განსაზღვრა (რადგანაც არ გააჩნიათ ფიქსირებული მოლეკულური მასა, ან ნაწილაკის ზომა) და ამიტომ მათი კონცენტრაცია მკგ/მ<sup>3</sup> ერთეულებში გამოისახება [2].

### 1.5 ატმოსფეროს დაბინძურების ისტორიული ასპექტები

კაცობრიობის არსებობის მანძილზე ბუნებრივი გარემო ყოველთვის განიცდიდა ანთროპოგენულ ზემოქმედებას, მაგრამ სანამ ადამიანი ენერჯის ძირითად წყაროდ შეშას იყენებდა ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების პრობლემა ნაკლებად იდგა. ქვანახშირის საწვავად მოხმარებამ და ინდუსტრიალიზაციამ კი მნიშვნელოვნად გაზარდა ჰაერის დაბინძურება. აღსანიშნავია რომ კაცობრიობამ მე-20 საუკუნის დასაწყისში უფრო მეტი წიაღისეული საწვავი მოიხმარა (ქვანახშირი, ტორფი, ბუნებრივი გაზი, ნავთობი თუ სხვა ნავთობპროდუქტები), ვიდრე მთელი ისტორიის მანძილზე. შესაბამისად, ჰაერის დაბინძურების პრობლემა შეეხო თითქმის ყველა განვითარებულ თუ განვითარებად ქვეყანას.

მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების, განსაკუთრებით, ქვანახშირის თბოელექტროსადგურის მშენებლობამ, ქიმიური მრეწველობის სწრაფმა განვითარებამ, ავტომანქანების, ასევე სხვა სახის მანქანებისა და მექანიზმების გამოყენებამ გამოიწვია გარემოს სისტემატური და ინტენსიური დაბინძურება. შესაბამისად გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან გარემოს დაბინძურების შედეგები უკვე საგრძნობი გახდა.

ერთ-ერთი პირველი ქვეყანა, რომელმაც გარემოს ქიმიური დაბინძურების გავლენა იგრძნო, იყო იაპონია. მისი ტერიტორიის 80 %-ზე საწარმოო სიმძლავრეების ზემოქმედებით ჰაერის და წყლის დაბინძურებამ საგანგაშო დონეს მიაღწია. პირველი ე.წ. ფოტოქიმიური სმოგი ოფიციალურად 1970 წელს დაფიქსირდა, როდესაც სმოგმა დაფარა ტოკიო და სხვა რვა ქალაქი. სმოგის გამო ათასობით ადამიანს დაეწყო თვალების ტკივილი და გაუჩნდა ყელის დაავადებები.

ფოტოქიმიური სმოგი 1950-იანი წლებიდან დამკვიდრებული ტერმინია, რომელიც აღნიშნავს ატმოსფეროში მზის შუქის, აზოტის ოქსიდებისა და აქროლადი ორგანული ნივთიერებების ქიმიურ რეაქციას, რომელიც შეიცავს მავნე ნივთიერებებს და აბინძურებს ატმოსფეროს. სმოგი, შავი, სქელი ნისლია, რომელიც წარმოიქმნება ბოლისა და ჭვარტლისგან დიდ ქალაქებსა და სამრეწველო ცენტრებში.

ატმოსფეროს დაბინძურების კიდევ ერთი წყაროა მჟავა წვიმები. ატმოსფერული ნალექების ყველა სახეობას -წვიმა, თოვლი, სეტყვა, ნისლი და სხვა, რომელთა ტენის შემადგენლობაში მაღალია მჟავური კომპონენტი, მჟავური წვიმა ეწოდება. ნორმალური ატმოსფერული ნალექის მჟავიანობა დაახლოებით 5.6 ხოლო მჟავა წვიმების მჟავიანობა კი 4.2-4.4 ის ფარგლებშია. მჟავა წვიმები უარყოფითად ზემოქმედებს გარემოსა და ადამიანის მდგომარეობაზე და იწვევს ტბებისა და ტყის ეკოსისტემების დეგრადირებას. მჟავა წვიმების გავლებით იცვლება ნიადაგის სტრუქტურა და მცირდება მისი პროდუქტიულობა.

ყველაზე დიდი კატასტროფა, რომელმაც მოკლე პერიოდში გამოიწვია საზოგადოების მოწამვლა, დაფიქსირებულ იქნა ინდოეთში, კერძოდ ბოპალში 1984 წლის 2-3 დეკემბრის ღამეს. „Union Carbide India Limited“—დან გამოჟონილმა ინდუსტრიულმა ორთქლმა უმაღლეს იმსხვერპლა დაახლოებით 2300 ადამიანი, შემდეგი ორი კვირის განმავლობაში დაიღუპა რვა ათასი, ამდენივე ადამიანი დაიღუპა მომდევნო პერიოდში მოწამვლის შედეგად მიღებული დაზიანებისაგან. ამ კონკრეტული ფაქტების გარდა მე-20 საუკუნეში იყო სხვა შემთხვევებიც რომლებმაც გამოიწვიეს მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური კრიზისი და ადამიანთა სიცოცხლის მოსპობა. ამის ერთ-ერთი მაგალითია ზემოთ ნახსენები სმოგი რომელიც მოხდა 1952 წელს ლონდონში. ატმოსფერული მოწამვლის ყველაზე ძლიერი კატასტროფა, რომელიც აშშ-ში პენსილვანიის შტატში მოხდა, იყო 1948 წლის ოქტომბერში, როდესაც 20 ადამიანი დაიღუპა და 7000-ზე მეტი დაშავდა [3].

## 1.6 ატმოსფეროს დაბინძურებით გამოწვეული საფრთხეები

სუფთა ჰაერი ჯანსაღი ცხოვრების წინაპირობაა. უკანასკნელი წლების განმავლობაში სულ უფრო დიდ ყურადღებას იქცევს ჰაერის დაბინძურება და მასთან დაკავშირებული პრობლემები. ატმოსფერული ჰაერი ბიოსფეროს ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტია, რომელიც უმნიშვნელოვანესია დედამიწის ყველა ცოცხალი ორგანიზმისთვის და მისი მნიშვნელობა დედამიწაზე შეუფასებელია. სწორედ ამიტომ სჭირდება დღევანდელი მსოფლიოს ატმოსფერულ ჰაერს დაცვა ანთროპოგენული საქმიანობით გამოწვეული დაბინძურებისგან.

ატმოსფეროს ბუნებრივი მახასიათებლების ცვლილება, რომელიც გამოწვეულია ნებისმიერი ქიმიური, ფიზიკური ან ბიოლოგიური აგენტების ზემოქმედებით ჰაერის დაბინძურებას წარმოადგენს. მეცნიერულად დასაბუთებულია, რომ ატმოსფეროში დამბინძურებლების, კერძოდ კი ისეთი მავნე ნივთიერებების, როგორიცაა: ნახშირბადის, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდების, მტვრის მცირე ზომის ნაწილაკების, ორგანული

ნაერთების და ა.შ. დაშვებულზე მაღალი კონცენტრაციები უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ეკოსისტემებსა და მატერიალურ ფასეულობებზე. ჰაერის დაბინძურება უშუალოდ მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ამას უამრავი სამეცნიერო კვლევებიც ადასტურებს. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება წარმოადგენს ავადობის, ინვალიდობისა და სიკვდილიანობის რისკფაქტორს. დაავადებების სპექტრი საკმაოდ ფართოა და ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერში დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციებზე, ექსპოზიციის ხანგრძლივობასა და ორგანიზმის მდგრადობაზე. შესაბამისად, ჰაერის დაბინძურებას განსაკუთრებით მძიმე ზეგავლენა აქვს ისეთ მგრძნობიარე ჯგუფებზე, როგორცაა ბავშვები, ორსულები, მოხუცები, დაავადებული ადამიანები და სხვა. დაბინძურებული ჰაერი რისკფაქტორია არამარტო გულსისხლძარღვთა და სასუნთქი გზების დაავადებების, ასევე ბავშვებში იწვევს ტვინისა და ნერვული სისტემების პათოლოგიებს. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეულ ჯანმრთელობის პრობლემებს შეიძლება აგრეთვე მივაკუთვნოთ: გართულებული სუნთქვა, ხველა, ასთმა და სხვა.

მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის ონკოლოგიურ დაავადებათა სააგენტო ამტკიცებს, რომ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას შეუძლია ფილტვის კიბოს გამოწვევა, მუცლადყოფნის დროს ნაყოფის ზრდის შეზღუდვა, რესპირატორული და კარდიოვასკულური დაავადებებით სიკვდილიანობა და სხვა. ასევე მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის კვლევების მიხედვით დაბინძურებული ჰაერით გამოწვეული დაავადებებით ყოველ წელიწადს 2.4 მილიონი ადამიანი იღუპება. ჰაერის დაბინძურება მრავალი ქრონიკული დაავადების მიზეზია, რაც მძიმე ტვირთია როგორც დაავადებულების, ისე ქვეყნის ჯანმრთელობის სამსახურებისა და ეკონომიკისთვის.

აზოტის დიოქსიდის დიდი კონცენტრაციით მიღებისას ადამიანს ეწყება ძლიერი მოწამვლა და ხშირ შემთხვევაში სიკვდილითაც კი შეიძლება დამთავრდეს. მცირე კონცენტრაციით მოწამვლისას აღენიშნება ხველება, სისუსტე და თავის ტკივილი. 0.008 მგ/ლ აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციისას შეიგრძნება სუნი და იწვევს პირის ღრუს გაღიზიანებას. აზოტის ოქსიდები განსაკუთრებით საშიშია, როცა ისინი სხვა ტოქსიკურ ნაერთებთან ერთად ახდენენ ზემოქმედებას ადამიანებზე. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ დადგენილია, რომ გოგირდის დიოქსიდისა და აზოტის ოქსიდების მაღალი კონცენტრაციების შემცველი ჰაერი იწვევს სასუნთქი ორგანოების დაავადებათა 3.5-5-ჯერ მატებას. გარდა აზოტის დიოქსიდისა, აზოტის მონოქსიდიც მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს ადამიანის ჯანმრთელობას. მაგალითად, 1-5 მგ/ლ აზოტის მონოქსიდი უფრო სახიფათო და ტოქსიკურია ადამიანისათვის, ვიდრე იმავე კონცენტრაციის აზოტის დიოქსიდი, ხოლო

აზოტის დიოქსიდი კონცენტრაციით 0.2-0.7 მგ/ლ უფრო ტოქსიკურია, ვიდრე აზოტის მონოოქსიდი [4].

მართალია მრავალი ქვეყანა აღიარებს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეულ საფრთხეებსა და რისკებს და ზრუნავს მათ აღმოფხვრაზე, მაგრამ გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ ატმოსფერულ ჰაერს საზღვრები არ გააჩნია და მხოლოდ ცალკეულ ქვეყნებში გატარებული ღონისძიებები სასურველ შედეგს ვერ გამოიღებს. ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესება შესაძლებელია მხოლოდ ქვეყნების ერთობლივი ძალისხმევით. სწორედ ამიტომ მუშაობენ მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაცია და სხვა გარემოსდაცვითი ორგანიზაციები აქტიურად და ქვეყნებს აღნიშნული პრობლემის შესასუსტებლად რეკომენდაციებსაც სთავაზობენ [5].

### 1.7 ატმოსფეროს ქიმიის მნიშვნელობა

დედამიწის ატმოსფეროს აქვს მჟანგავი ბუნება არა გამოყოფილი აირების ჟანგბადთან ურთიერთქმედების გამო, არამედ მასში რამდენიმე ძირითადი მჟანგავი შუამავალი ნივთიერების არსებობით, რომლებიც იწყებენ ჟანგვის პროცესს, რომელიც როგორც წესი მთავრდება CO<sub>2</sub> და წყლის ორთქლის გამოყოფით. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ჰიდროქსილის რადიკალები (OH·), რომლებიც ძირითადად წარმოიქმნება დღის განმავლობაში ოზონის ფოტოლიზით, რის შედეგადაც მიიღება ელექტრონულად აღზნებული ჟანგბადის ატომები, რომლებიც თავის მხრივ მოქმედებენ წყლის ორთქლთან და წარმოქმნიან ჰიდროქსილის რადიკალებს. ეს რადიკალები ურთიერთქმედებს

პრაქტიკულად ყველა გაზთან, მათ შორის CO-სთან, ნახშირწყალბადებთან, ჟანგბადშემცველ აქროლად ორგანულ ნივთიერებებთან (Volatile Organic Compounds-VOC), SO<sub>2</sub>-თან, ჰიდროქლოროფტორნახშირბადებთან (HCFC), რომლებმაც ჩაანაცვლეს ქლოროფტორნახშირბადები (CFC) მონრეალის პროტოკოლის მიერ მათი აკრძალვის შემდეგ. ჩვეულებრივ, OH-ის რადიკალის კონცენტრაცია ძალიან დაბალია ღამით და მას ანაცვლებს ნიტრატის რადიკალი (NO<sub>3</sub>·), რომელიც მოქმედებს როგორც წყალბადის ატომების წამრთმევი ან ორმაგ ბმებში ჩართვის გზით. ოზონი (O<sub>3</sub>) თავის მხრივ რიგით მესამე ძირითადი მჟანგავი აგენტია, რომელიც ურთიერთქმედებს მაგალითად ორმაგი ბმის შემცველ ნაერთებთან და წარმოქმნის ოზონიდებს, რომლებიც იშლებიან და წარმოქმნიან სხვადასხვა არასტაბილურ შუალედურ ნივთიერებებს.

ხშირ შემთხვევაში, OH-ით, NO<sub>3</sub>-ით და O<sub>3</sub>-ით ჟანგვის პროდუქტებია შუალედური პეროქსი რადიკალები RO<sub>2</sub>·, ისინი მოქმედებენ ნამარხი საწვავის წვის შედეგად გამოყოფილ

აზოტის ოქსიდთან (NO) და წარმოქმნიან აზოტის დიოქსიდს (NO<sub>2</sub>). აზოტის დიოქსიდი მურა ფერის გაზია, შესაბამისად გააჩნია ძლიერი შთანთქმა მზის სინათლის სპექტრის ლურჯ და მწვანე უბანში, ის სწრაფად ფოტოლიზდება მზის სინათლის გავლენით ( $\lambda=400$  ნმ) და წარმოქმნის თავისუფალ ჟანგბადის ატომებს, რომლებიც თავის მხრივ თითქმის მყისიერად უერთდებიან ჟანგბადის მოლეკულებს და წარმოქმნიან ოზონს, ის კი მაღალი კონცენტრაციით საზიანოა ადამიანებისა და მცენარეებისთვის.

პირველადი ემისიის გაზების (მაგალითად VOC-ს) გარდაქმნა საბოლოო პროდუქტებად, როგორებიცაა CO<sub>2</sub> და H<sub>2</sub>O ძალზე რთული და მრავალსაფეხურიანი პროცესია. მაგალითისთვის, გაერთიანებულ სამეფოში შესწავლილია 135 VOC-ს გარდაქმნის საფეხურები და ნაჩვენებია, რომ ჯამში ადგილი აქვს 5900 რეაქციას და 13600 ნივთიერების ფორმირებას სანამ დაიშლება საბოლოო პროდუქტებამდე: ნახშირორჟანგამდე და წყლამდე. ამ პროცესებზე დიდ გავლენას ახდენს გარემო პირობები, სინათლე, ტენიანობა, მიკრონაწილაკების შემცველობა და ა.შ. ყველა ამ პირობების (ნაცნობი თუ უცნობი) აღწარმოება ლაბორატორიაში შეუძლებელია. ასევე, ატმოსფეროს შესწავლისას გათვალისწინებული უნდა იქნას ადსორბცია ზედაპირებზე (ნიადაგი, ოკეანეები, აეროზოლები). ასევე გათვალისწინებული უნდა იქნას აბსორბციის სინათლის ტალღის სიგრძესა და ტემპერატურაზე დამოკიდებულება, უნდა გაიზომოს ფოტოდისოციაციის კვანტური გამოსავლიანობა ტალღის სიგრძეს, ტემპერატურასა და წნევაზე [2].

## 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 მონოოქსიდი 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/მ<sup>3</sup>); 2. საშუალო კონცენტრაცია: დღეღამური და წლიური (მგ/მ<sup>3</sup>).

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 დღეღამურ ზღვ-თან, ხოლო 20-30 წუთიანი ხანგრძლივობით გაზომილი ნივთიერების კონცენტრაციები ედრება 20-30 წუთიან ზღვ-ს (ე.წ. მაქსიმალურ ერთჯერად ზღვ-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 (SO<sub>2</sub>), აზოტის დიოქსიდი (NO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>), ნახშირბადის მონოქსიდი (CO), ოზონი (O<sub>3</sub>) და მტვრის მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>). 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.

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 იულიხის კვლევითი ცენტრის თანამშრომლობის საფუძველზე და ქალაქ თბილისის მერიის და გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხარდაჭერით დაფუძნდა 2017 წლის 29 სექტემბერს.

ლაბორატორიამ 2017 წლის 26 დეკემბრის ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის მთავრობის №48.22.980 განკარგულების საფუძველზე მოიპოვა დაფინანსება თბილისში ატმოსფეროს შესწავლისთვის. პროექტის ხელმძღვანელია თსუ ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი გიორგი ჯიბუტი, კვლევებში ჩართულები არიან ახალგაზრდა მკვლევარები (თსუ-ს სტუდენტები).

გარდა რუტინული ანალიზებისა, რომლის საფუძველზეც ხდება ჰაერის ხარისხის შეფასება, ლაბორატორიაში ასევე პრიორიტეტულია ღრმა კვლევითი სამუშაოები, რომლებიც მოიცავს ატმოსფეროს დეტალურ ანალიზს და მოდელირებას, ასევე ანალიზის ახალი მეთოდებისა და ტექნიკის შემუშავებას, მათ შორის ატმოსფეროს ანალიზისთვის დრონების შექმნას [2].

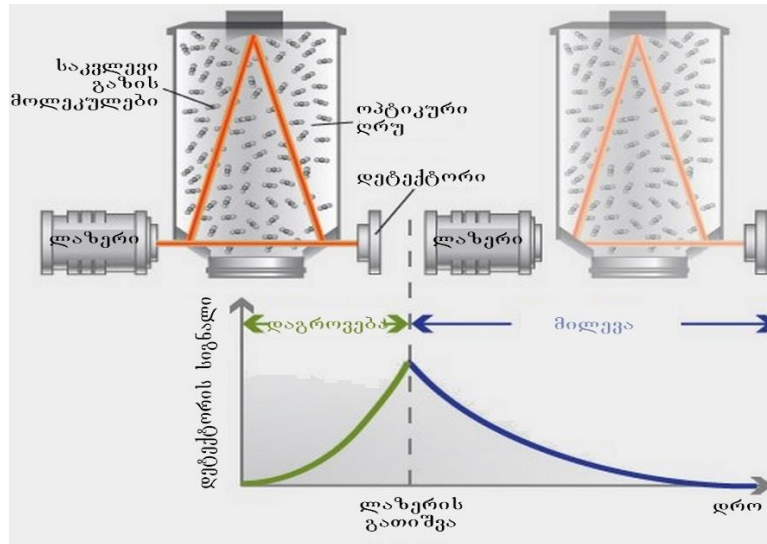
## 2 მეთოდები

### 2.1 ატმოსფეროს ანალიზის ქიმიური მეთოდები

ატმოსფერული ანალიზების ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ქიმიური მეთოდი არის ქემილუმინესცენციური მეთოდი. ქემილუმინესცენცია, ეს არის ქიმიური რეაქციის შედეგად სინათლის გამოსხივების მოვლენა. ფლუორესცენტული ნივთიერებები წარმოადგენენ რეაქციის საწყის რეაგენტებს, ან პროდუქტებს. ეს მოვლენა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ატმოსფეროს შემადგენლობაში შემავალი მრავალი ნივთიერება. ქემილუმინესცენციური მეთოდით იკვლევენ მაგალითად  $O_3$ -ის შემცველობას მისი რეაქციით სხვადასხვა თხევად თუ მყარ საღებავთან. ეს მეთოდები ძალზე სწრაფი და მარტივია, უფრო ზუსტი და საიმედო შედეგებისთვის, იყენებენ  $O_3$ -ის NO-სთან ქემილუმინესცენციურ რეაქციას, ასევე შებრუნებითაც, NO და  $NO_2$ -ის შემცველობა იზომება მათი  $O_3$ -თან რეაქციით [6].

## 2.2 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია

ექსპერიმენტში გამოყენებული იქნა ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) რომლითაც მოვახდინეთ როგორც CO-ს ისე CO<sub>2</sub>-ის განსაზღვრა თბილისის ატმოსფერულ ჰაერში



სურათი 2. ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპის მუშაობის პრინციპი

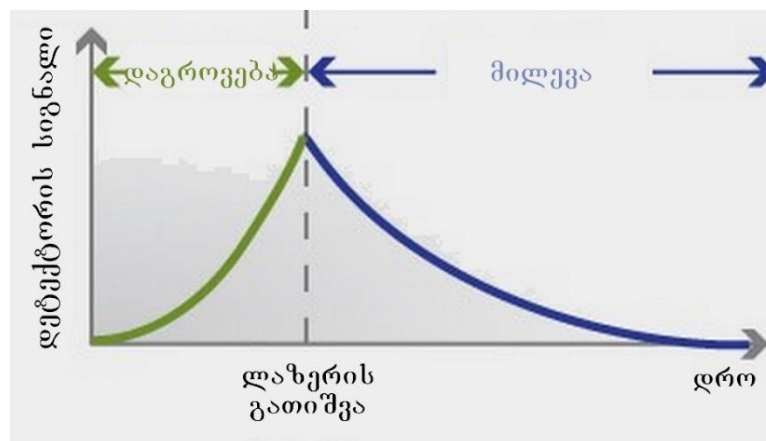
ყველა გაზის მოლეკულას აქვს უნიკალური შთანთქმის სპექტრი ახლო ინფრაწითელ უბანში, ის შესაბამის ატმოსფერულ წნევაზე შედგება ვიწრო სერიული ხაზებისგან, თითოეული დამახასიათებელ ტალღის სიგრძეზე. რადგან ეს ხაზები ცნობილია და შესაბამისად ტალღის სიგრძეც. გაზის კონცენტრაცია შეიძლება გაიზომოს აბსორბციის სიძლიერით. 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 გაზის 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 მიმართულება ეძლევა 2 ან 3 ამრეკლი სარკით. ჩვენს მიერ გამოყენებული Picarro-ს ანალიზატორი იყენებს 3 სარკიან ოპტიკურ ღრუს, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. როცა ლაზერი ჩართულია ღრუ ივსება სწრაფად ცირკულირებადი ლაზერის ნათებით, სწრაფი ფოტოდეტექტორი ამოიცინობს მცირე სინათლის ტალღასაც რომელიც გამოდის ერთ ერთი

სარკიდან და იძლევა სიგნალს ,იგი პირდაპირპროპორციულია ღრუში სინათლის ინტენსივობის.

როცა ფოტოდეტექტორის სიგნალი აღწევს მისაღებ დონეს ( სულ მცირე 10 მიკროწამში) ტალღის გამაგრძელებელი ლაზერი დაუყოვნებლივ გამოირთვება. ღრმულში არსებულ სინათლე აგრძელებს მოძრაობას ორ სარკეს შორის დაახლოებით 100000 ჯერ. მაგრამ რადგან სარკეებს აქვთ 100 % -ზე ნაკლები ამრეკლობა , სინათლის ინტენსივობა ღრუში კონტროლდება რომ ცნობილი გახდეს ნულამდე ექსპონენციალური დაკლება. კლება ანუ rind-down იზომება რეალურ დროში ფოტოდეტექტორით და გარკვეული დროის შემდეგ ხდება სხივის შემცირება მხოლოდ ამრეკლი სარკეებით( ღრმულის დაცარიელებამდ). 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.



**სურათი 3.** სიგნალის დაგროვება და დაცლა მშთანქმელი ნიმუშით და

მის გარეშე ოპტიკურ ღრუში

## 2.3 აზოტის ოქსიდების (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) განსაზღვრა O<sub>3</sub>-თან ქემილუმინესცენციით

რეაქტიული აზოტი ატმოსფეროში ძირითადად ხვდება NO-ს სახით, რომელიც რამდენიმე წუთში იჟანგება NO<sub>2</sub>-მდე. შემდგომი ჟანგვით წარმოიქმნება აზოტის სხვა ოქსიდები (NO<sub>x</sub>). აქტიური აზოტი (NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>) ძალზე დიდ გავლენას ახდენს ტროპოსფეროში O<sub>3</sub>-ის წარმოქმნაზე და სტრატოსფეროში მის კატალიზურ დაშლაზე. NO-ს ქემილუმინესცენციური რეაქცია O<sub>3</sub>-თან გაზურ ფაზაში დეტალურადაა შესწავლილი. NO-სა და O<sub>3</sub>-ის ურთიერთქმედების შედეგად ნაწილი გარდაიქმნება ალგზნებულ მდგომარეობაში მყოფ NO<sub>2</sub>-ად, რომელიც შემდგომში ასხივებს ან ხდება მისი ჩაქრობა სხვა მოლეკულებთან დაჯახებით



NO-ს O<sub>3</sub>-თან რეაქციისას ნაწილი გარდაიქმნება ალგზნებულ მდგომარეობაში მყოფ NO<sub>2</sub>-ად(1), რომელიც შემდგომში ასხივებს(3), ან ხდება მისი ჩაქრობა სხვა მოლეკულებთან დაჯახებით(4). გამოსხივებული ტალღის სიგრძეა 590 ნმ-დან 1100 ნმ-მდე. NO<sub>2</sub> \* -ის გამოსხივების ინტენსივობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, რადგანაც ტემპერატურის გავლენით იცვლება ალგზნებული აზოტის დიოქსიდის წარმოქმნის სიჩქარე (კერძოდ, იზრდება ტემპერატურის გაზრდისას) [7].

## 2.4 NO<sub>x</sub>-ის გაზომვა

1970-იან წლებში, მეცნიერები მიხვდნენ, რომ NO და O<sub>3</sub>-ის შორის მიმდინარე რეაქცია, შესაძლოა გამოყენებული ყოფილიყო მათ გასაზომად ჰაერში. პირველი საცდელი ხელსაწყოები ძალზე მგრძობიარე იყო NO-ს მიმართ: აღმოჩენის ზღვარი 1.5 ppb-დან, ასევე გაზომვებს ხელს არ უშლიდა სხვა კვალის სახით არსებული გაზები მათ შორის არც წყლის ორთქლი, თუმცა მცირედ ხელს უშლიდა მეტალის კარბონილები და C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, მაგრამ მათი ეფექტის მოშორება შესაძლებელი იყო 648 ნმ-ზე ნაკლები ტალღის სიგრძის მქონე სხივების გაფილტვრით, სადაც ამ ნივთიერებების ქემილუმინესცენციური გამოსხივება ხდებოდა. მსგავსად ფლუორესცენტული სპექტრომეტრებისა, ამ შემთხვევაშიც მიმართავენ შემცირებულ წნევას (რომ შემცირდეს დაჯახებებით ჩაქრობის ალბათობა) და ასევე ზრდიან სარეაქციო უჯრედის ტემპერატურას, თუმცა 30-40°C-ზე მეტს არ იყენებენ, რადგანაც ფოტოგამამდიერებელ დეტექტორში ხვდება ბევრი ინფრაწითელი გამოსხივება, რაც ზრდის ფონურ ხმაურს. ამ ხმაურის შესამცირებლად, ხშირად აცივებენ PMT-ს ხელსაწყოში საანალიზო

ჰაერი და ოზონით გამდიდრებული სუფთა ჰაერი შედის სარეაქციო კამერაში, სადაც დაბალი წნევაა (15 მილიბარამდე), კამერის თავზე მოთავსებულია ფოტოგამაძლიერებელი მილი, რომელიც აფიქსირებს ფლუორესცენციას. NO<sub>2</sub>-ის დასაფიქსირებლად, ის ჯერ კატალიზური აღდგენის კამერაში გადაყავთ NO ში და შემდეგ ზომავენ, ანუ ჯერ ზომავენ NO-ს, შემდეგ იგივე ჰაერში ყველა NO<sub>2</sub> გადაყავთ NO-ში, პირველ და მეორე გაზომვებს შორის სხვაობა NO<sub>2</sub>-ის რაოდენობას შეესაბამება. არსებობს ხელსაწყოები სადაც ორივე პროცესი პარალელურ რეჟიმში მიმდინარეობს [8].

## 2.5 ნახშირორჟანგის გავრცელება ბუნებაში

CO<sub>2</sub> -ნახშირბადის უმაღლესი ჟანგეული. აღმოაჩინა შოტლანდიელმა ქიმიკოსმა ჯოზეფ ბლეკმა მაგნიუმის კარბონატის დაშლისას. ნახშირორჟანგი შედის ჰაერის შედგენილობაში 0,03%-ით. ნახშირორჟანგი უფერული, ოდნავ მომჟავო სუნისა და გემოს მქონე აირია, იხსნება წყალსა და ორგანულ გამხსნელებში. ენერგიულად უერთდება ფუძეებს და წარმოქმნის კარბონატებს. ნახშირორჟანგი მნიშვნელოვანი სათბურის გაზია ინფრაწითელ და ახლო ინფრაწითელ უბნებში ძლიერი შთანთქმის გამო. ნახშირორჟანგის მომცველა ხდება ფოტოსინთეზის და რესპირაციის (სუნთქვის) გზით. ატმოსფერული ნახშირორჟანგის ნაწილი გახსნილია ზღვებსა და ოკეანეებში. ნახშირორჟანგის შემცველობა განუწყვეტლივ იზრდება 1800-იანი წლებიდან, მისი შემცველობა 35%-ით მეტია ვიდრე ინდუსტრიულ ერამდე - 280±10ppm რამდენიმე ათასწლეულის განმავლობაში. ატმოსფერული CO<sub>2</sub>-ის ახლანდელი დონე (394ppm) არ გადაჭარბებულა ბოლო 420 000 წლის განმავლობაში და სავარაუდოდ ბოლო 20 მილიონი წლის განმავლობაში. ნახშირორჟანგის შემცველობის ზრდა უპრეცედენტოა ბოლო 20 000 წლის განმავლობაში მაინც. შემცველობის ზრდა დაჩქარდა ბოლო რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში. ნახშირორჟანგის ფონური კონცენტრაციის გაზომვების დაწყებიდან 1958 წელს მანუა ლოას ობსერვატორიაში (ჰავაი), დონე იყო 320ppm-ეს ცვლილება ძირითადად გამოწვეულია ანთროპოგენული აქტიურობით, ნამარხი საწვავის დაწვით, ტყეების გაჩეხვით და სხვა აქტივობებით. ადამიანის მოქმედების შედეგად გამოწვეულმა ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდამ ატმოსფეროში წვლილი შეიტანა გლობალურ დათბობაში გაზრდილი სათბურის ეფექტით. ნახშირორჟანგის ფონური კონცენტრაციის ცვლილება მკაცრად სეზონური ხასიათისაა და ემთხვევა დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე სასოფლო-სამეურნეო მცენარეების მომწიფების სეზონს. სხვა გაზების შემცველობა გაცილებით მცირეა მთავარ კომპონენტებთან შედარებით და ამიტომ მათ ეწოდებათ კვალური გაზები. მიუხედავად მათი მცირე რაოდენობისა, მათ აქვთ ძალზე დიდი გავლენა გარემოს დაცვითი კუთხით, მაგალითად სათბურის ეფექტსა და

ატმოსფეროს დაბინძურებაში წარმოშობის CO<sub>2</sub>-ის უმთავრესი წყარო წიაღისეული საწვავის მოხმარებაა, რაც ნახშირბადის დიოქსიდის საერთო გლობალური ემისიის დაახლოებით 80%-ს შეადგენს. სათბური ეფექტის მქონე გაზები აკავებენ დედამიწიდან არეკლილი თბური სხივების ატმოსფეროდან გაღწევას, რის შედეგადაც ირღვევა სითბური ბალანსი და დედამიწაზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა იწყებს ზრდას. XX საუკუნის დასასრულს ატმოსფეროში ნახშირბადის დიოქსიდის კონცენტრაციამ მთელი 30%-ით მოიმატა და დედამიწის სითბური ბალანსის შეცვლა გამოიწვია. ასეთი მავნე ზეგავლენა აღმოაჩნდა, აგრეთვე, მეთანს, აზოტის მონოქსიდს და წვის პროდუქტებს - ნახშირბადის მონოქსიდსა და აზოტის სხვა ოქსიდებს. ბოლო შეფასებებით, კიდევ უფრო გაფართოვდა გლობალური კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების არეალი და აშკარა გახდა მისი გავლენა კლიმატის ისეთ ელემენტებზე როგორცაა ოკეანის ზედაპირის ტემპერატურა, საშუალო კონტინენტური ტემპერატურები ტროპიკული ქარიშხლების სიძლიერე და ინტენსივობა. დადგენილია, რომ 1850 წლიდან მოყოლებული საშუალო გლობალურმა ტემპერატურამ დაახლოებით 0,74C°-ით მოიმატა [9].

## 2.6 ნახშირბადის მონოქსიდი - CO

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.

შიდაწვის 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, CO<sub>2</sub>-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, როგორც 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-4 კლასს. CO გამოდევნის ჟანგბადს სისხლის ოქსიჰემოგლობინიდან, რაც ზრდის ჟანგბადის ნაკლებობას სისხლში ჰიპოქსემია, ან იწვევს ჟანგბადის უქონლობას ანოქსემია [10].

## ექსპერიმენტული ნაწილი

### 3.1 გამოყენებული აპარატურა

ექსპერიმენტში გამოყენებული იქნა ECO Physics წარმოების NO<sub>x</sub> ანალიზატორი CLD 780 TR, რომელიც აღჭურვილია ოზონის გენერატორით, ხელსაწყოსთან დაკავშირებულია ჟანგბადის ბალონი, რომელიც უზრუნველყოფს ოზონის წარმოქმნას და NO, NO<sub>2</sub> უწყვეტი ანალიზის საშუალებას იძლევა. განსაზღვრის დიაპაზონი არის 1 ppb-დან ზემოთ, ხოლო აღმოჩენის ზღვარი 0.4 ppb. [8]

**NO**-ს გასაზომად ხელსაწყო მუშაობს შემდეგ რეჟიმში:

**Zero** - ნულოვანი რეჟიმი, O<sub>3</sub> გენერატორი არაა ჩართული.

**M- Measure** - გაზომვის რეჟიმი, O<sub>3</sub> გენერატორი ჩართულია.

NO-ს რაოდენობის გამოითვლება შემდეგნაირად

$$[NO] = (M-Z \text{ (cps)}) \times \text{მგრძნობიარობა (PPB/CPS)}$$

NO<sub>2</sub>-ის გასაზომად, ხელსაწყო მუშაობს ჩართული NO<sub>2</sub>-ის გარდამქმნელით

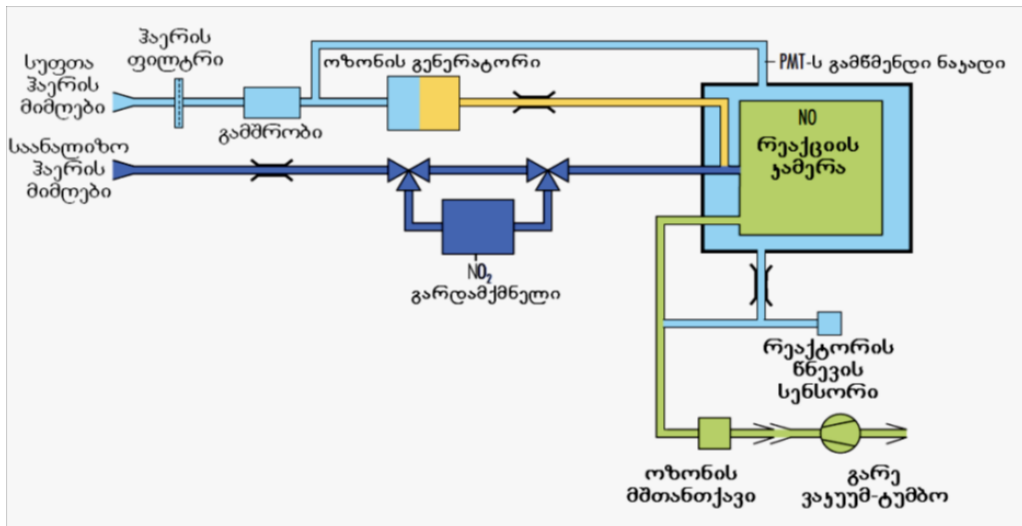
$$[NO_2] = [NO]_{\text{გარდ.}} - [NO]$$

ემატება ორი რეჟიმი:

**I**-ნულოვანი ჩართული NO<sub>2</sub>-ის გარდამქმნელით, O<sub>3</sub> გენერატორი არაა ჩართული.

**L**-გაზომვა ჩართული NO<sub>2</sub> გარდამქმნელით, O<sub>3</sub> გენერატორი ჩართულია





სურათი 4. NOx ანალიზატორის სქემა.

ბოლო CO CO<sub>2</sub> და CH<sub>4</sub> ვზომავთ ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპიით Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS). ატმოსფერული ჰაერის სინჯების აღება ხდება სპეციალური ბალონების საშუალებით [11].

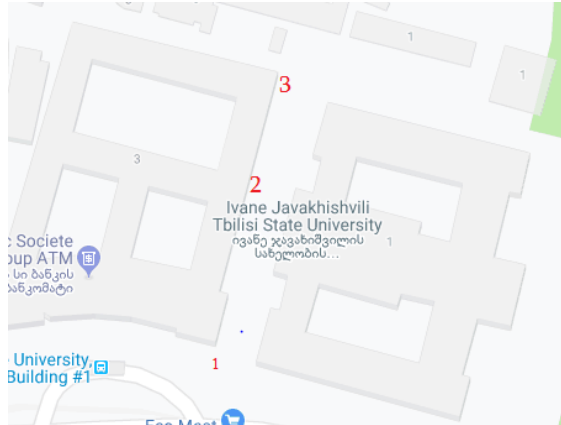
### 3.2 ნიმუშის აღება და პირობები

ნიმუშის ასაღებად ვიყენებდით სპეციალურ ნიმუშის ამღებ ბალონებს. საწამ ნიმუშს ავიღებთ ამ ბალონებს ვრეცხავთ ინერტული აირით-არგონით. ბალონებს არგონით ვავსებდით ისე, რომ წნევა მასში ყოფილიყო 2.5-3. შემდეგ ჩამოგვყავდა 0.99-ბარამდე და ბოლოს ვაკუუმით წნევა ჩამოგვყავდა მინიმალურ მნიშვნელობაზე 0.2-ბარამდე. ამას ვიმეორებდით სამჯერ რათა ბალონები კარგად გამორეცხილიყო და გარეცხვის შემდეგ ვახდენდით ბალონების ვაკუუმირებას, ამის შემდეგ უკვე შესაძლებელი იყო მათი ანალიზისთვის გამოყენება. ანალიზის დაწყებამდე მათ ვამაგრებდით სპეციალურ თავსაფარს რომელზეც იყო კვარცის 20სმ კაპილარი დამაგრებული. იგი აღებულია გაზ-ქრომატოგრაფიის ძველი სვეტისგან. ნიმუშის აღებას კაპილარის გარეშე ესაჭიროება რამდენიმე წუთი, თუმცა ამ კაპილარის დანიშნულება იყო, რომ ნიმუშის აღების ხანგრძლივობა გაიზარდოს რათა მივიღოთ საშუალო შედეგი, რომელიც რეალურ შედეგებთან იქნება უფრო ახლოს. ჩვენს ანალიზებში ნიმუშის აღების ხანგრძლივობა იყო 20 წუთი. ჰაერის ანალიზი ჩავატარეთ თბილისში ერთ-ერთ ყველაზე მეტად გადატვირთული მოძრაობის მქონე ტერიტორიაზე კერძოდ, ი. ჭავჭავაძის გამზირზე ივანე ჯავახიშვილის უნივერსიტეტის მიმდებარე ტერიტორიაზე განტვირთვის საათებში. განტვირთვის საათებში მოიაზრება დილის 09:00-მდე, 12:00-17:00-მდე და 22:00 საათის შემდგომ. მონიშნული გვექონდა სამი

წერტილი სწორხაზოვნად, პირველი და მეორე კორპუსების შუა ტერიტორიაზე. ეს წერტილებია:

1. უნივერსიტეტის ეზოში შესასვლელ კართან 2. კორპუსების შუაში 3. უნივერსიტეტის უკანა შესასვლელ კართან.

ჩვენი მიზანი იყო ასევე გაგვეზომა გაზების დიფუზია წყაროდან დაშორებით. პარალელურად ვზომავდით ტენიანობას და ტემპერატურას.



სურათი 5. ნიმუშის ადების ადგილი ი. ჭავჭავაძის გამზირზე

ანალოგიურად ჩავატარეთ ჰაერის ანალიზი ვარაზის ხევის მიმდებარე ტერიტორიაზე. მოვნიშნეთ სამი წერტილი: 1. ვარაზის ხევის დასაწყისში 2. ვარაზის ხევის მხარეს, უნივერსიტეტის კიბეებთან ქვემოთ 3. ვარაზის ხევის მხარეს უნივერსიტეტის კიბეების ზემოთ.



სურათი 6. ნიმუშის ადების ადგილი ვარაზის ხევის ქუჩის ტერიტორიაზე

სამივე წერტილზე განლაგებული იყო 2-2 ბალონი. ამის მიზანი იყო შეგვემოწმებინა ნიმუშის ადების სიზუსტე. საერთო ჯამში სულ ვიყენებდით 6 ბალონს. ყველა ბალონის გახსნა და დაკეტვა ხდებოდა ერთსადიმავე დროს. ნიმუშს ადებისთანავე ვაანალიზებდით. რადგან ბალონებში წნევა იყო დაბალი 0.50-0.55 ბარი, არგონით ვტუმბავდით, 2.5-3.0-ბარამდე. გარდა ამისა ანალიზის დროს კამერით ვიღებდით და ვითვლიდით მანქანების

რაოდენობას კატეგორიის მიხედვით: სატვირთო, მსუბუქი, მოტო, სამარშუტო ტაქსი, ყვითელ და ლურჯ ავტობუსებს ცალ-ცალკე, რათა შემდგომ პარალელი გაგვეკეთებინა დაბინძურების ხარისხსა და მანქანების რაოდენობას შორის. ანალიზს ვაკეთებდით, როგორც სამუშაო, ასევე დასვენების დღეებში. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები კი შემდეგია:

### 3.3 მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი

#### 1) უნივერსიტეტის ეზოში შესასვლელ კართან

საწყისი/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> Ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
21.04.2019	16:18-16:38	21.50	18.71	490.10	1.54	3.41	-
05.05.2019	14:18-14:38	65.29	98.69	542.04	1.96	3.67	1066
09.05.2019	12:35-12:55	48.99	53.88	5277.57	5.32	4.01	1197
14.05.2019	12:41-13:01	0.55	22.39	3143.20	2.89	4.06	1462
20.05.2019	12:04-12:24	46.68	52.72	3714.17	3.68	4.09	-

#### ცხრილი 2.1 მიღებული შედეგები პირველ წერტილში ი.ჭავჭავაძის გამზირზე

საწყისი/თარიღი	დრო	ტემპერატურა ° C	ტენიანობა RH%
21.04.2019	16:18-16:38	11.5	65.9
05.05.2019	14:18-14:38	25.03	33.04
09.05.2019	12:35-12:55	26.5	35.7
14.05.2019	12:41-13:01	30.7	21.3
20.05.2019	12:04-12:24	27.5	40.5

#### ცხრილი 2.2 პირველ წერტილში ტემპერატურა °C და ტენიანობა RH %

2) კორპუსების შუაში

შუა/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
21.04.2019	16:18-16:38	19.76	26.57	490.01	1.54	3.43	-
05.05.2019	14:18-14:38	7.52	11.73	609.05	1.64	4.23	1066
09.05.2019	12:35-12:55	6.81	7.81	3178.78	2.98	4.13	1197
14.05.2019	12:41-13:01	6.59	14.84	3183.29	2.91	3.91	1462
20.05.2019	12:04-12:24	4.20	18.13	3726.06	3.29	4.12	-

ცხრილი 3.1 მიღებული შედეგები შუა წერტილში ი.ჭავჭავაძის გამზირზე

შუა/თარიღი	დრო	ტემპერატურა °C	ტენიანობა RH%
21.04.2019	16:18-16:38	11.5	58.3
05.05.2019	14:18-14:38	24.63	33.2
09.05.2019	12:35-12:55	23.1	29.64
14.05.2019	12:41-13:01	24.7	29.6
20.05.2019	12:04-12:24	24.6	47.2

ცხრილი 3.2 შუა წერტილში ტემპერატურა °C და ტენიანობა RH %

3) უნივერსიტეტის უკანა შესასვლელ კართან

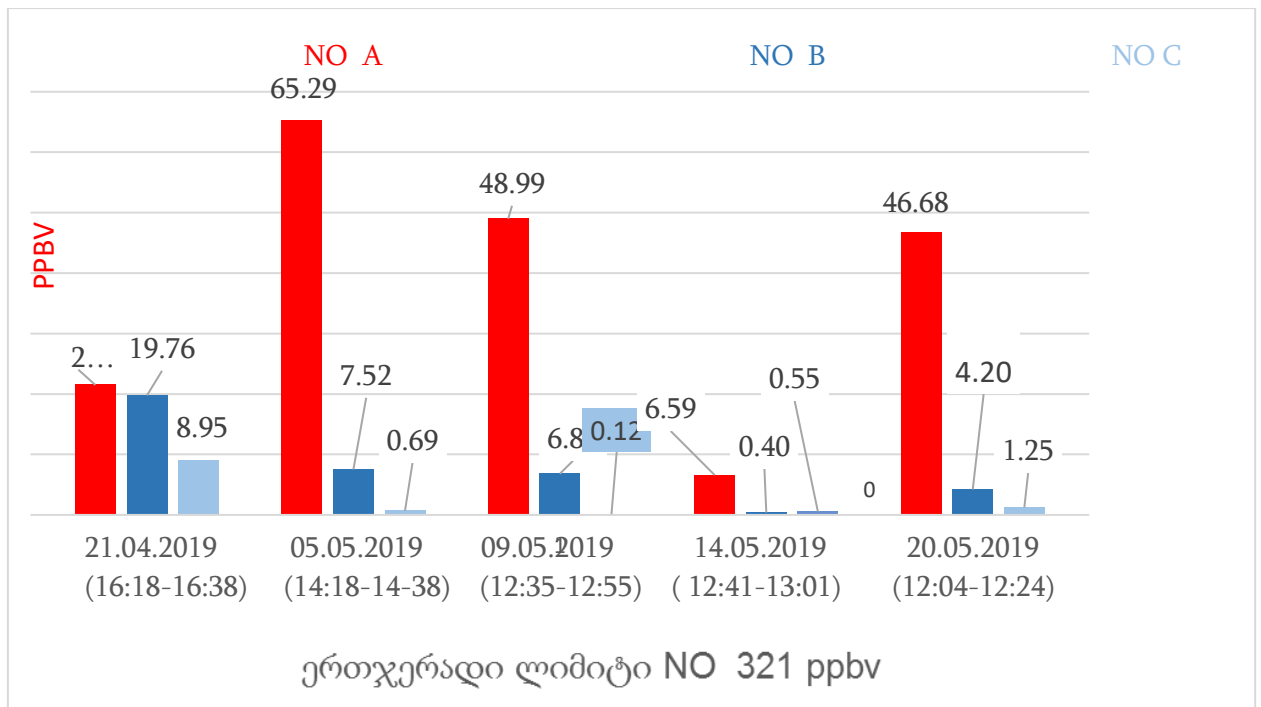
საბოლოო/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
21.04.2019	16:18-16:38	8.95	35.89	494.81	1.48	3.41	-
05.05.2019	14:18-14:38	0.69	12.63	484.53	1.54	3.74	1066
09.05.2019	12:35-12:55	0.12	9.70	3392.95	3.19	4.49	1197
14.05.2019	12:41-13:01	-0.03	18.56	3213.02	2.90	3.94	1462
20.05.2019	12:04-12:24	1.25	25.95	3664.19	3.27	4.12	-

ცხრილი 4.1 მიღებული შედეგები ბოლო წერტილში ი.ჭავჭავაძის გამზირზე

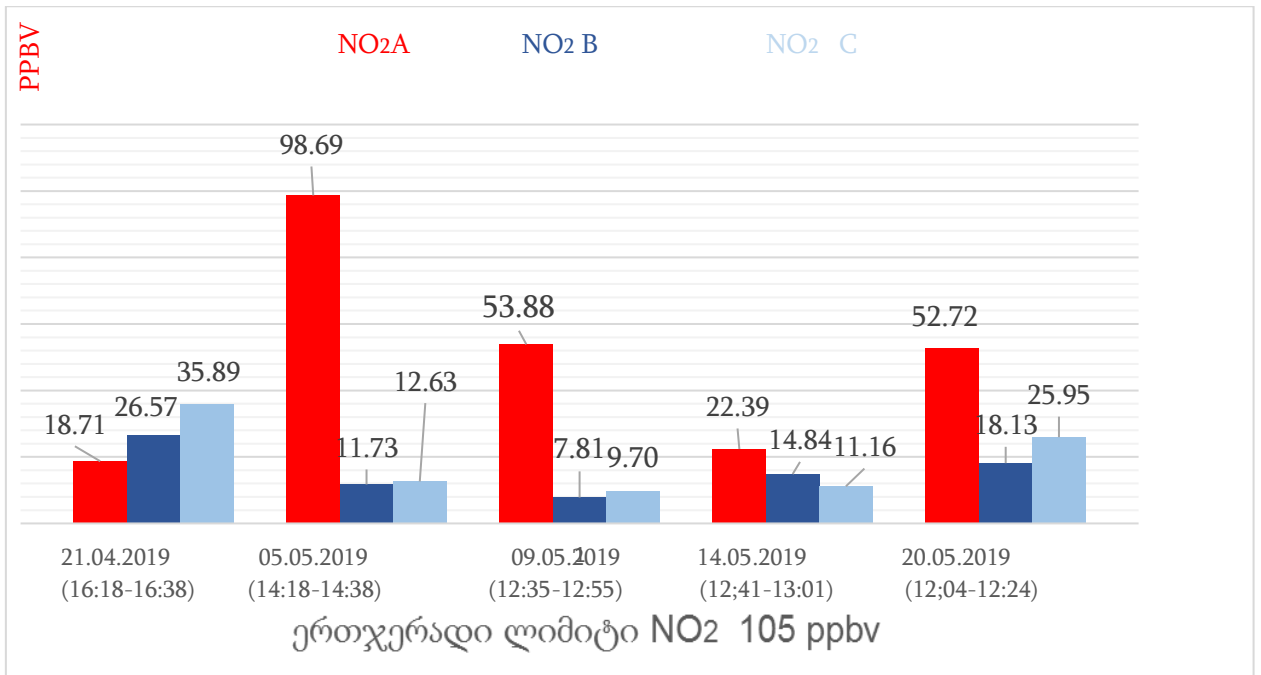
საბოლოო/თარიღი	დრო	ტემპერატურა °C	ტენიანობა RH%
21.04.2019	16:18-16:38	7.4	60
05.05.2019	14:18-14:38	22	40.7
09.05.2019	12:35-12:55	23.8	42
14.05.2019	12:41-13:01	24.5	30.5
20.05.2019	12:04-12:24	24.4	47

**ცხრილი 4.2** ბოლო წერტილში ტემპერატურა °C და ტენიანობა RH %

ამ მონაცემებიდან გამომდინარე NO, NO<sub>2</sub> და CO ჯდება ერთჯერად საშუალოში სამივე წერტილში. NO კონცენტრაცია გზის ნაპირიდან უნივერსიტეტის შიდა მიწებზე ტერიტორიისკენ მკვეთრად მცირდება. ჩატარებული ანალიზების მიხედვით 12-65 ppbv-ით.



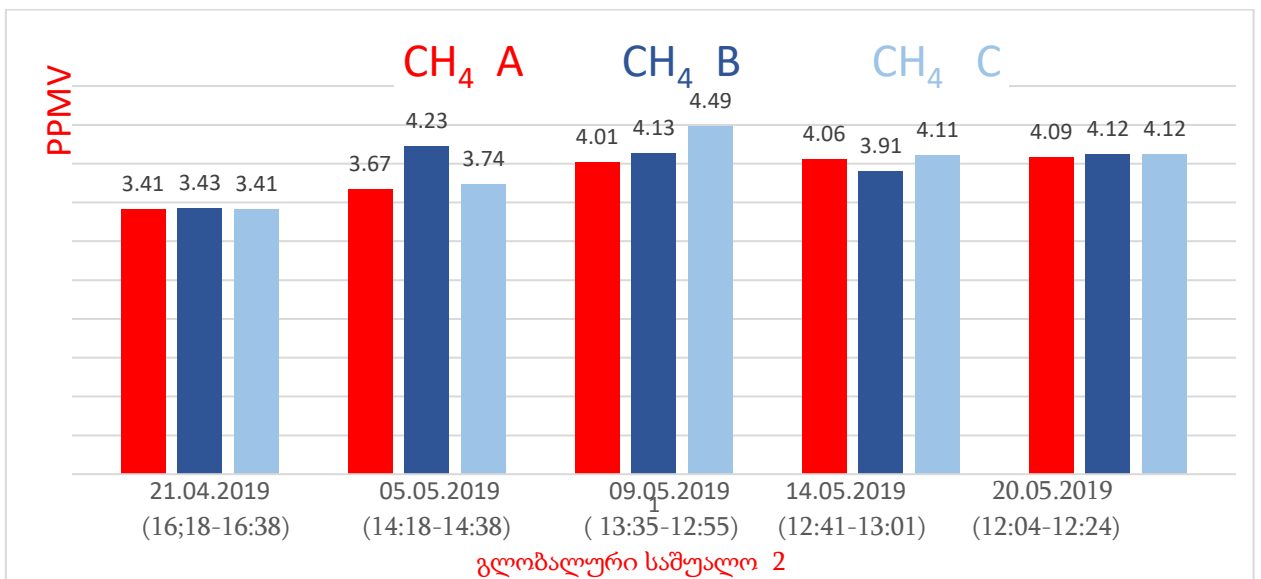
**დიაგრამა 1.** NO-ის გავრცელება ი.ჭავჭავაძის გამზირზე სხვადასხვა დღეს.



დიაგრამა 2 . NO<sub>2</sub>-ის გავრცელება ი. ჭავჭავაძის გამზირზე სხვადასხვა დღეს.

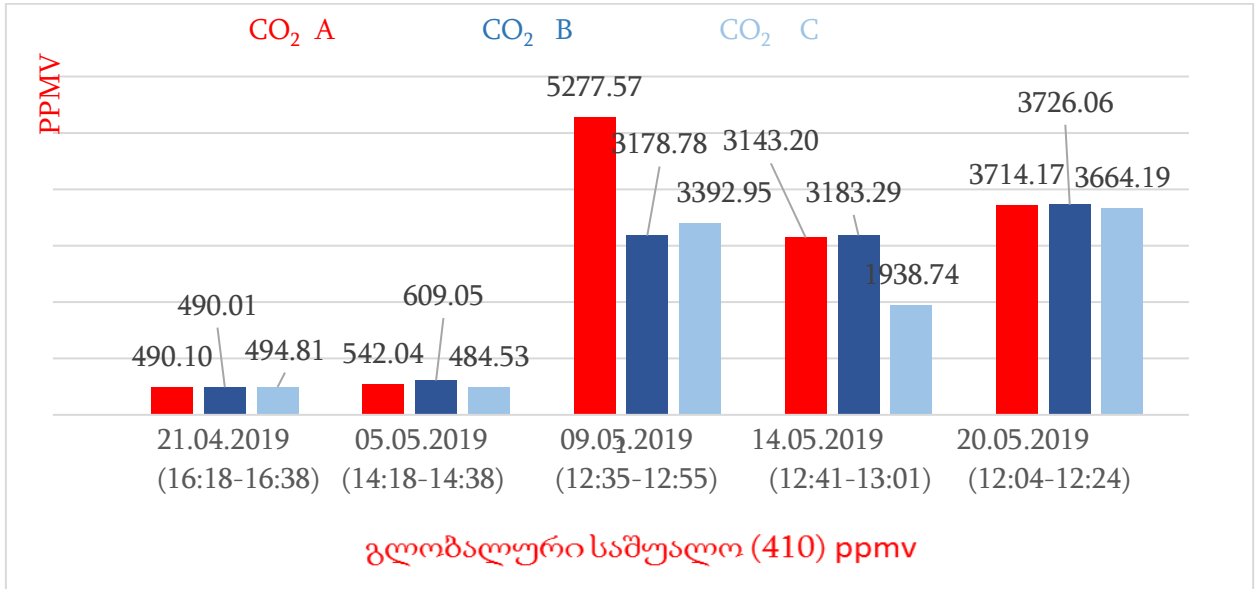
NO<sub>2</sub> საწყისი წერტილიდან შუა წერტილისკენ ერთი ანალიზის გარდა(21,04,2019 პირიქით იზრდება) კონცენტრაცია ყოველთვის მცირდება 8-86ppbv-ით. თუმცა საბოლოო წერტილში კვლავ ადგილი აქვს მცირედ 1-7ppbv გაზრდას.

CH<sub>4</sub> კონცენტრაცია გლობალურ საშუალოს 1.5-2.2-ჯერ აღემატება. ამის მიზეზი გაზზე მომუშავე ტრანსპორტია. საწყის წერტილთან შედარებით შუა წერტილში კონცენტრაცია უფრო მეტია.ამას განაპირობებს ვარაზის ხევიდან მომავალი დაბინძურებული ჰაერი. მესამე წერტილში კი ადგილი აქვს მეთაედებით ისევ კონცენტრაციის შემცირებას. ამის მიზეზი განიავების შედარებით მაღალი ხარისხია შუა წერტილთან შედარებით.



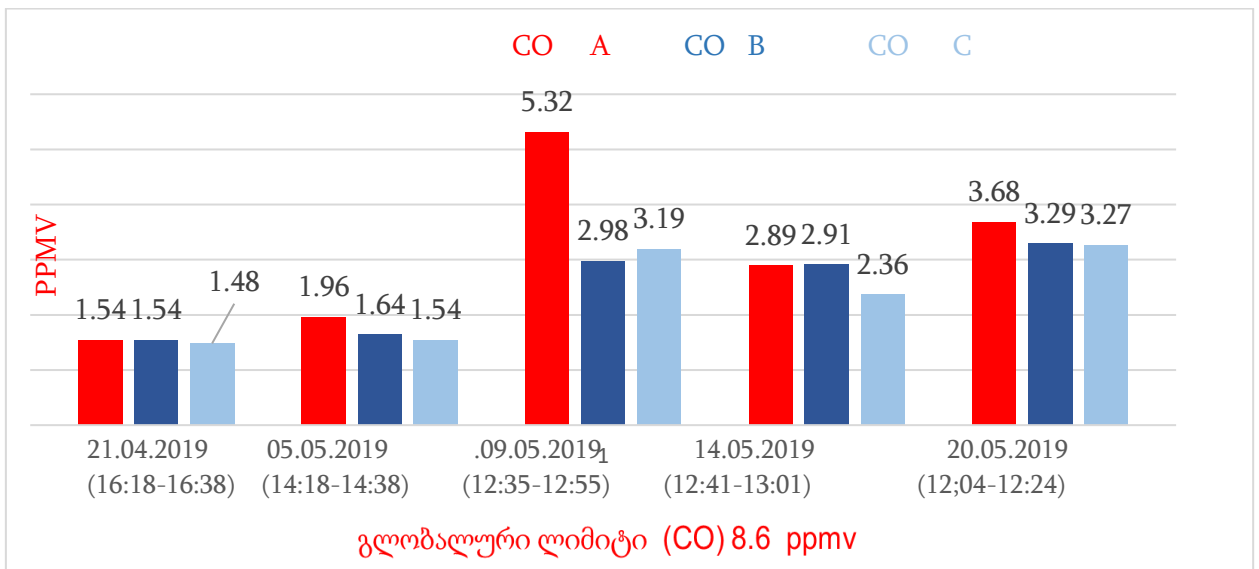
**დიაგრამა 3. CH<sub>4</sub>-ის გავრცელება ი.ჭავჭავაძის გამზირზე სხვადასხვა დღეს.**

CO<sub>2</sub> კონცენტრაცია თითქმის ყოველი ანალიზის დროს აღემატება გლობალურ საშუალოს. საწყის წერტილთან შედარებით შუა წერტილში კონცენტრაცია მცირდება რამდენიმე ათეული ppbv-ით. საბოლოო წერტილში მცირედით ისევ მატულობს, ამის გამომწვევი მიზეზიც ვარაზის ხევიდან მომდინარე დაბინძურებული ჰაერია.



**დიაგრამა 4. CO<sub>2</sub>-ის გავრცელება ი.ჭავჭავაძის გამზირზე სხვადასხვა დღეს.**

CO საწყისი წერტილიდან საბოლოო წერტილში მცირედით, მაგრამ მაინც მცირდება .



**დიაგრამა 5. CO-ის გავრცელება ი.ჭავჭავაძის გამზირზე სხვადასხვა დღეს.**

1) ვარაზის ხევის დასაწყისი

ცხრილი 5.1 მიღებული შედეგები პირველ წერტილში

საწყისი/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
05.06.2019	12:11-12:31	73.62	60.90	483.48	1.22	3.42	968
14.06.2019	11:55-12:15	102.30	89.46	487.14	1.14	3.32	1048
17.06.2019	12:19-12:39	71.73	83.56	451.56	1.14	3.20	1021
20.06.2019	15:36-15:56	39.88	65.45	477.58	1.01	3.36	1135
22.06.2019	14:53-15:13	190.93	97.32	481.30	1.43	3.33	883

ცხრილი 5.1 მიღებული შედეგები პირველ წერტილში ვარაზის ხეზე

საწყისი/თარიღი	დრო	ტემპერატურა °C	ტენიანობა RH%
05.06.2019	12:11-12:31	30.9	41.13
14.06.2019	11:55-12:15	31.1	33.7
17.06.2019	12:19-12:39	31.8	31
20.06.2019	15:36-15:56	30.1	42.3
22.06.2019	14:53-15:13	31.9	34.5

ცხრილი 5.2 პირველ წერტილში ტემპერატურა °C და ტენიანობა RH %

2) ვარაზის ხევის მხარეს უნივერსიტეტის კიბეებთან ქვემოთ

შუა/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
05.06.2019	12:11-12:31	202.80	83.59	493.85	1.64	3.41	968
14.06.2019	11:55-12:15	119.93	72.72	488.38	1.34	3.36	1048
17.06.2019	12:19-12:39	357.98	110.67	510.06	2.07	3.42	1021
20.06.2019	15:36-15:56	340.13	125.71	526.25	2.07	3.83	1135
22.06.2019	14:53-15:13	189.99	93.80	483.59	1.43	3.35	883

ცხრილი 6. 1 მიღებული შედეგები შუა წერტილში ვარაზის ხეზე



შუა/თარიღი	დრო	ტემპერატურა ° C	ტენიანობა RH%
05.06.2019	12:11-12:31	32.05	38.27
14.06.2019	11:55-12:15	33.2	30.7
17.06.2019	12:19-12:39	32.8	28.7
20.06.2019	15:36-15:56	32.7	35.4
22.06.2019	14:53-15:13	31.4	33.4

ცხრილი 6.2 შუა წერტილში ტემპერატურა ° C და ტენიანობა RH %

3)ვარაზის ხევის მხარეს უნივერსიტეტის კიბეებთან ზემოთ

საბოლოო/ თარიღი	დრო	NO ppbv	NO <sub>2</sub> ppbv	CO <sub>2</sub> ppmv	CO ppmv	CH <sub>4</sub> ppmv	მანქანების რაოდენობა
05.06.2019	12:11-12:31	52.85	16.10	470.40	0.99	3.39	968
14.06.2019	11:55-12:15	16.48	64.31	471.68	0.80	3.34	1048
17.06.2019	12:19-12:39	116.68	99.36	468.17	1.20	3.24	1021
20.06.2019	15:36-15:56	85.50	100.67	490.19	1.26	3.43	1135
22.06.2019	14:53-15:13	13.09	58.17	451.26	0.88	3.28	883

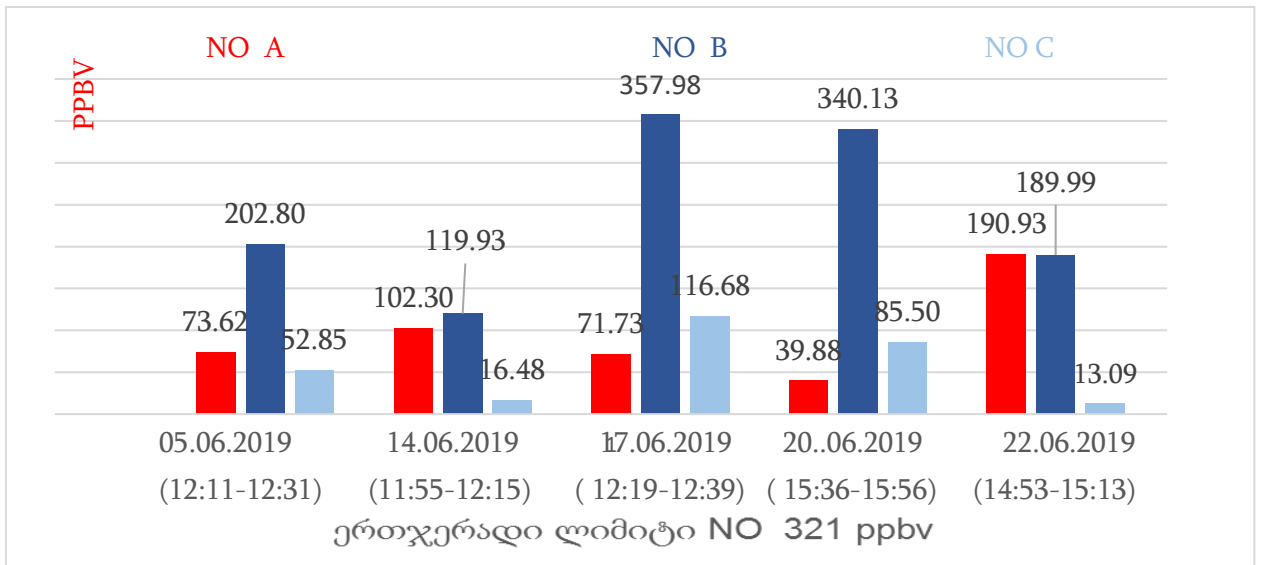
ცხრილი 7. მიღებული შედეგები ბოლო წერტილში ვარაზის ხეზე

საბოლოო/თარიღი	დრო	ტემპერატურა ° C	ტენიანობა RH%
05.06.2019	12:11-12:31	32.3	36.67
14.06.2019	11:55-12:15	33.4	29.7
17.06.2019	12:19-12:39	33.5	27.6
20.06.2019	15:36-15:56	32.6	34.4
22.06.2019	14:53-15:13	33.3	32

ცხრილი 7.1 შუა წერტილში ტემპერატურა ° C და ტენიანობა RH %

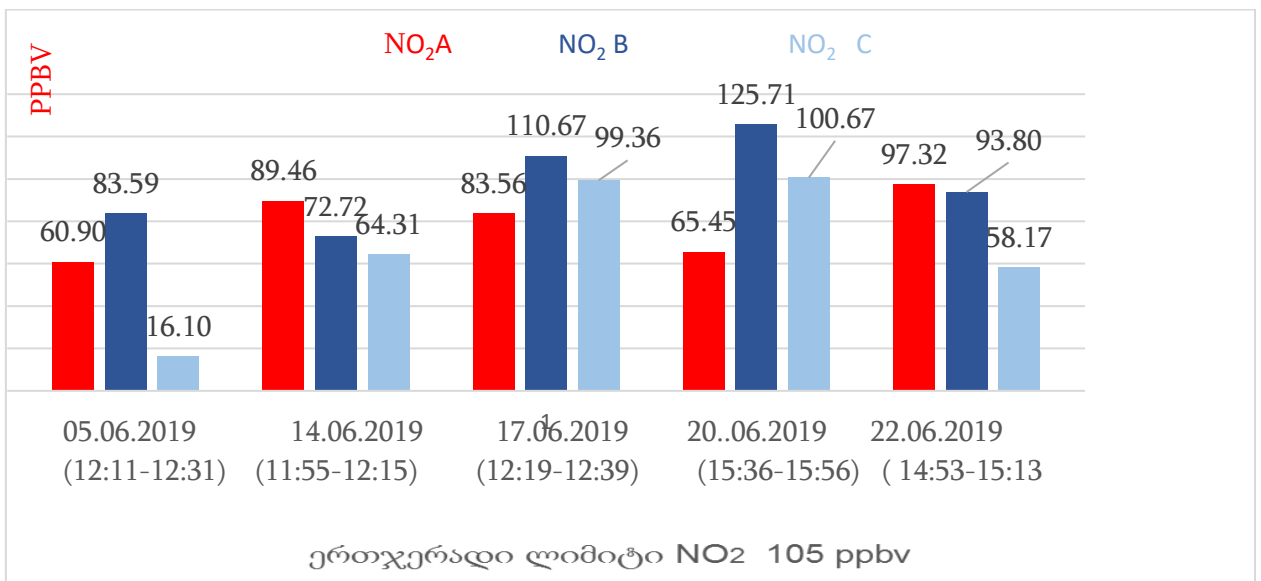
შედეგებიდან გამომდინარე საწყის წერტილთან შედარებით შუა წერტილში ყველა კომპონენტის კონცენტრაცია იზრდება ხოლო საბოლოო წერტილში მცირდება. ამის მიზეზი სავარაუდოდ ისაა, რომ საწყის წერტილში განთავსების ხარისხი მაღალია ვიდრე შუა

წერტილში გარდა ამისა იცვლება რელიეფი და მანქანების სიჩქარე. საბოლოო წერტილი ცენტრალური გზიდან იყო 15მ მოცილებით, თან შედარებით ამაღლებულ ადგილზე. ამ წერტილში ხდება ყველა ატმოსფეროს დამაბინძურებელი კომპონენტის კონცენტრაციის ვარდნა. თუმცა აქვე უნდა აღვნიშნოთ რომ CO კონცენტრაცია ჯდება დღიურ ლიმიტის ზღვარში სამივე წერტილში. CO<sub>2</sub> და CH<sub>4</sub> კონცენტრაცია სამივე წერტილში აღემატება გლობალურ საშუალოს. NO და NO<sub>2</sub> მხოლოდ შუა წერტილში აღემატება დღიურ საშუალოს. NO საწყისიდან შუა წერტილისკენ იზრდება 17-286ppbv-ით საბოლოო წერტილში კი მცირდება 241-129ppbv-ით.



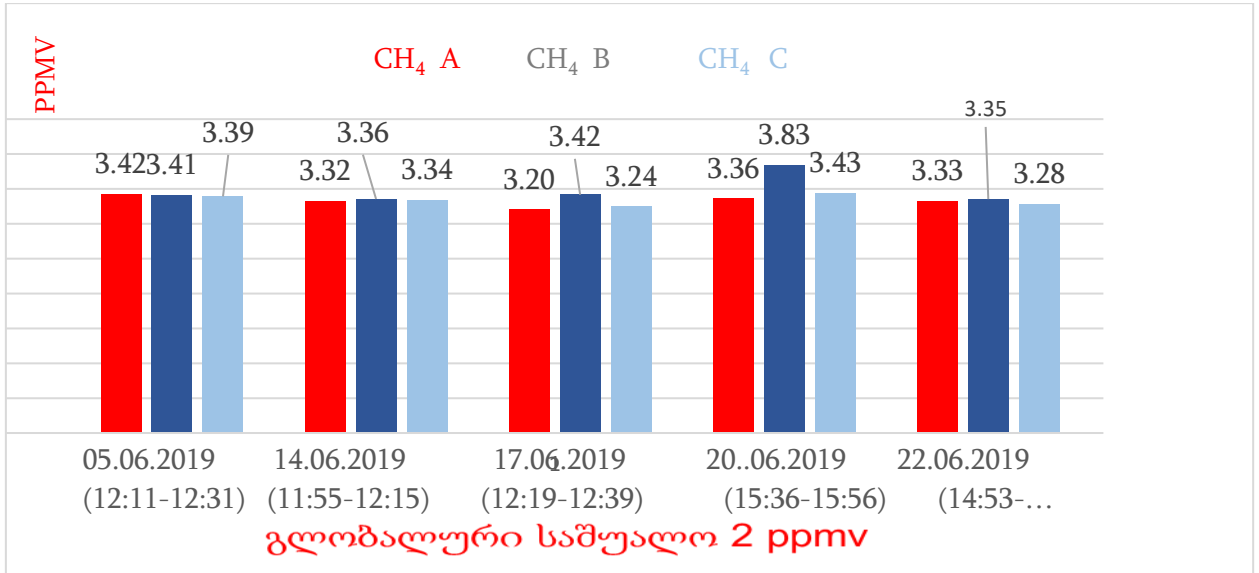
დიაგრამა 6. NO-ის გავრცელება ვარაზის ხევის ტერიტორიაზე სხვადასხვა დღეს..

NO<sub>2</sub> შედეგები მერყეობს სხვადასხვა დღეს აღებულ ნიმუშში საწყისი წერტილიდან იზრდება შუისკენ 23-60 ppbv-ით, საბოლოო წერტილში კი მცირდება 8-63 ppbv-ით.



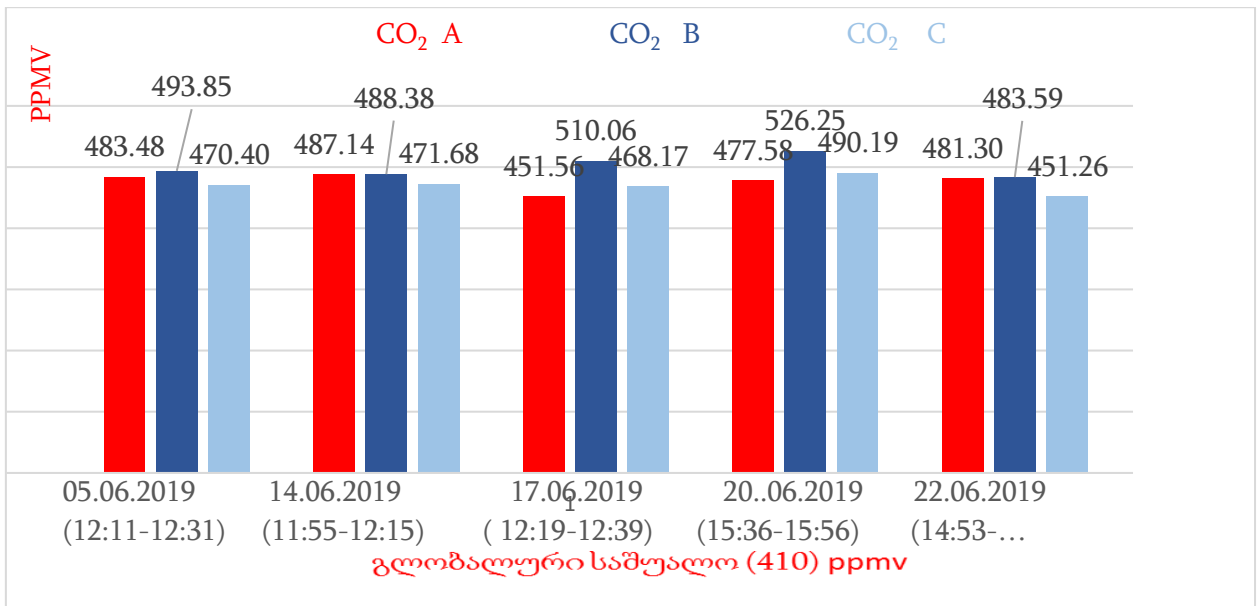
**დიაგრამა 7. NO<sub>2</sub>-ის გავრცელება ვარაზის ხევის ტერიტორიაზე სხვადასხვა დღეს.**

CO და CH<sub>4</sub> მსგავსი კანონზომიერებით იცვლება თუმცა ძალიან უმნიშვნელოდ. ამას კარგად ასახავს გრაფიკებიც.

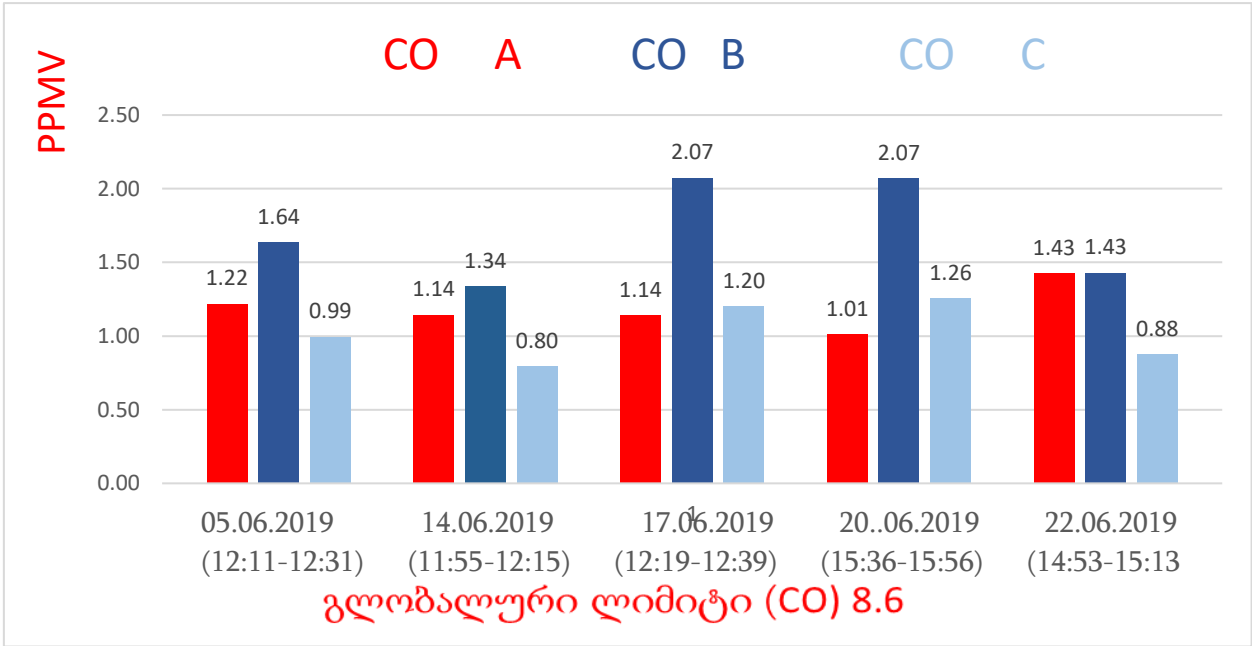


**დიაგრამა 8. CH<sub>4</sub>-ის გავრცელება ვარაზის ხევის ტერიტორიაზე სხვადასხვა დღეს.**

CO<sub>2</sub> იზრდება შუა წერტილისკენ 1-60 ppmv-ით და საბოლოო წერტილში მცირდება 17-36 ppmv-ით.



**დიაგრამა 9. CO<sub>2</sub> - ის გავრცელება ვარაზის ხევის ტერიტორიაზე სხვადასხვა დღეს**



### 3.4 დასკვნა

კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ი.ჭავჭავაძის გამზირზე, კერძოდ ივანე ჯავახიშვილის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიმდებარე ტერიტორიაზე:

1) განტვირთვის საათებშიც კი აჭარბებს გლობალურ საშუალოს  $\text{CH}_4$  და  $\text{CO}_2$  მეთანის კონცენტრაცია 1.5-2.2-ჯერ აღემატება გლობალურ საშუალო რაოდენობას. მისი კონცენტრაცია უმეტესად საწყისი წერტილიდან საბოლოო წერტილისკენ მცირედით, მაგრამ მაინც იზრდება,  $\text{CO}_2$ -ის კი დამოკიდებულია ნიმუშის აღების დროზე, როდესაც ნიმუშს ვიღებდით კრიტიკული საათების გასვლის შემდეგ არა უგვიანეს 20-40 წუთისა, მიღებული შედეგი თითქმის 12-ჯერ აღემატებოდა გლობალურ საშუალოს.თუ ნიმუშს ვიღებდით კრიტიკული საათების გასვლიდან არაუმეტეს 4 საათისა მიღებული შედეგები იყო გლობალურ საშუალოზე 80-90ppmv-ით მეტი. დანარჩენ წერტილში ხდებოდა, პირიქით კონცენტრაციის მატება  $\text{CH}_4$ -ის მსგავსად,რაც დაკავშირებულია ვარაზის ხევიდან მომდინარ დაბინძურებული ჰაერით.

2)  $\text{NO}$   $\text{NO}_2$  და  $\text{CO}$ -ის კონცენტრაციები ყველა ანალიზში მკვეთრად კლებულობდა შუა წერტილის მიმართულებით თუმცა საბოლოო წერტილში ძალიან უმნიშვნელოდ მაგრამ შუა წერტილთან შედარებით მატულობდა რასაც კვლავ ვარაზის ხევიდან მომდინარე დაბინძურებულ ჰაერი იწვევდა.

3) საერთო ჯამში საწყისი წერტილი არის ყველაზე მეტად დაბინძურებული  $\text{NO}$ , $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  და  $\text{CO}_2$ -ით, შუა წერტილი ყველაზე ნაკლებადაა დაბინძურებული.საბოლოო წერტილში კი ყველა ანალიზის დროს ყველაზე დიდი რაოდენობითაა  $\text{CH}_4$ , დანარჩენი აირების რაოდენობა კი უმნიშვნელოდ აღემატება შუა წერტილში არსებულ კონცენტრაციებს.

ვარაზის ხევის მიმდებარე ტერიტორიაზე ჩატარებულ ანალიზებმა გვიჩვენა რომ:

1) საწყის წერტილში  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  და  $\text{CO}$  შეესაბამება ერთჯერად ლიმიტს, ხოლო  $\text{CO}_2$  და  $\text{CH}_4$  აღემატება გლობალურ საშუალოს.

2) შუა წერტილში ხდება ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ყველა კომპონენტის კონცენტრაციის მატება, რაც გამოიწვია საწყის წერტილთან შედარებით განიავების დაბალ ხარისხმა, რელიეფმა და მანქანების სიჩქარემ .

3) საბოლოო წერტილში კვლავ, გარდა  $\text{CO}_2$  და  $\text{CH}_4$  ყველა აირი ჯდება ერთჯერად ლიმიტში.ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ ანალიზებსი ნაწილი ჩატარდა იმ პერიოდში როდესაც ჭავჭავაძის ქუჩაზე მიმდინარეობდა სამშენებლო სამუშაოები, აქედან გამომდინარე

ტრანსპორტის მოძრაობა იყო მეტად შეზღუდული რაზეც დათვლილი მანქანების რაოდენობაც მოწმობს. აქედან გამომდინარე ჩვეულებრივ დროს ცხადია გაცილებით დიდი რაოდენობით ტრანსპორტი მოძრაობს ამ ტერიტორიაზე, ამიტომ ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები ასახავს კონკრეტულად იმ პერიოდში არსებულ რეალურ შედეგს და არა საერთო შედეგს ვარაზის ხევის მიმდებარე ტერიტორიაზე.

## გამოყენებული ლიტერატურა

- [1]. §32. როგორია ატმოსფერო და როგორ არის მოწყობილი. ინფორმაცია და ფაქტები ატმოსფეროს შესახებ. დედამიწის ატმოსფერო
- [2]. D. E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement,“ Blackwell Publishing Ltd, 2006.
- [3]. გ. მაისურაძე, „საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და NO/CO-ს ერთობლივი კონვერსიით გაწმენდის შესაძლებლობა მოდიფიცირებული ბუნებრივი ცელითების მონაწილეობით,“ თბილისი, 2015.
- [4]. ე. კორძაია, „საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ხარისხობრივი მდგომარეობის შესწავლა და მისი დაბინძურებისგან დაცვის ზოგიერთი მეთოდი,“ თბილისი, 2012.5
- [5]. P. A. A. V. Faye McNeill, „Atmospheric and Aerosol Chemistry,“ USA, Canada, 2014
- [6]. Analytical Techniques for Atmospheric .Measurement General measurement methods 417-418
- [7]. How to run the NOx instrument, NOx chemiluminescence technique
- [8]. Chemiluminescence NOx and GFC NDIR CO Analyzers For Low Level Source Monitoring Basic NO-NO2-NOx Chemiluminescence Instrumentation
- [9]. ირმა ცხოვრებაძესაქართველოს ზოგიერთი რაიონის ატმოსფეროს ჰაერისა და რადიაციული ფონის მდგომარეობა და ახალშობილთა ჯანმრთელობა 2006 16-19]
- [10]. Cavity Ring-Down Spectroscopy Detection of CO2 in air Lab PM April/May 2013 1-7]
- [11]. “PRINCIPLES OF OPERATION OF A CHEMILUMINESCENT NOX ANALYZER” Basic NO- NO2-NOx Chemiluminescence Instrumentation