

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტი

ლევან თურმანიძე

ოზონის კონცენტრაციის გაზომვა ატმოსფერულ ჰაერში  
ბიუჯეტური სენსორების და უპილოტო საფრენი აპარატების  
გამოყენებით



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

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

თბილისი

2021წ

# სარჩევი

ანოტაცია .....	3
შესავალი .....	4
1 ლიტერატურის მიმოხილვა .....	5
1.1 დედამიწის ატმოსფერო, მისი სტრუქტურა და შედგენილობა .....	5
1.2 ატმოსფეროს დაბინძურების წყაროები .....	9
1.3 ოზონი ტროპოსფეროში და სტრატოსფეროში .....	12
1.4 ოზონის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები.....	13
1.5 ოზონოსფერო, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა .....	14
1.6 ოზონის „ხვრელ“, მისი გამომწვევი მიზეზები .....	15
1.6.1 ფრეონების გამოყენება .....	17
1.7 მიწისპირა ოზონი, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა .....	19
1.8 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში .....	21
2 ექსპერიმენტალური ნაწილი .....	24
2.1 ბიუჯეტური სენსორების გამოყენება ატმოსფეროს ანალიზისთვის .....	24
2.1.1 ბიუჯეტური სენსორის მუშაობის პრინციპი .....	25
2.1.2 გარემოს ეროვნული სააგენტოს ანალიზატორის მუშაობის პრინციპი.....	27
3 ანალიზის მსველობა და შედეგები.....	29
3.1 უპილოტო საფრენი აპარატის გამოყენება.....	44
4 დასკვნები .....	45
5 გამოყენებული ლიტერატურა .....	46

## ანოტაცია

ატმოსფერო, რომელიც დედამიწის 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. ვინაიდან ამ პრობლემის დიდ ნაწილზე პასუხისმგებლები ვართ ადამიანები და ყოველდღიურად გამოვცდით ჩვენს თავზე ატმოსფეროს დაბინძურების შედეგად წარმოქმნილ საფრთხეებს, ამიტომ საჭიროა თითოეული ჩვენთაგანის ჩართულობა ამ საკითხის გარშემო. რადგანაც ატმოსფეროს ხარისხზე ზრუნვა დაკავშირებულია დიდ ხარჯებთან, ამიტომ წინამდებარე სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს გამოიცადოს ოზონის ბიუჯეტური სენსორის ვარგისიანობა ატმოსფეროს ანალიზისათვის. იმისთვის, რომ დადგენილ იქნას რამდენად ზუსტად ზომავს სენსორი, სენსორის მონაცემები შევადარეთ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემებს.

კვლევისთვის გამოყენებული იქნა Alphasense-ის წარმოების MOS-ს ტიპის ოზონის სენსორი, რომელიც უწყვეტ რეჟიმში ახდენდა მონაცემების ჩაწერას.

ნაშრომი შესრულებულ იქნა SMART|AtmoSim\_LAB-ის ბაზაზე.

## Abstract

The atmosphere, which is one of the major components of the Earth, is constantly changing. Such changes have become significant due to the increase of population and the growing scale of human activities. During so called industrialization period, within the last fifty years, atmospheric air pollution issue became particularly topical. Since we, humans, are responsible for much of this problem, and are, on a daily basis, experiencing the dangers posed by air pollution on each of us, everybody's involvement in the mentioned topical issue is required. Since, caring for atmospheric air quality is associated with high costs, the aim of this work is to test suitability of an ozone budget sensor for atmospheric air analysis. Objective of the work is to determine accurately of the measurements taken by this unit. The measured values have been compared with the data from the National Environment Agency.

An Alphasense's MOS-type ozone sensor capable of continuous data recording was used in the course of the study.

This study has been carried out on the SMART | AtmoSim\_LAB basis.

## შესავალი

ეკოლოგიური პრობლემები–ზოგადსაკაცობრიო მნიშვნელობისაა. შესაბამისად, ის უდიდეს როლს თამაშობს საზოგადოების ცხოვრებაში. უამრავი გლობალური პრობლემა დღეს გარემოში ადამიანის საქმიანობის შედეგია. ამ ტემპის შენარჩუნება კი სასწორზე დებს თანამედროვე ცივილიზაციას. დღესდღეობით ცივილიზაცია მიემართება სწრაფი განვითარებისკენ, როდესაც სწრაფ განვითარებაზე ვსაუბრობთ, აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ ის შესაძლო თანამდევი ნეგატიური გავლენა, რაც სწრაფმა განვითარებამ შეიძლება მოახდინოს ეკოლოგიურ გარემოზე. ეკონომიკურ განვითარებასთან ერთად იზრდება ნიადაგის, წყლის და ატმოსფერული ჰაერის ანთროპოგენული დაბინძურება.

საყურადღებო და მნიშვნელოვანია დაბინძურებისგან ატმოსფერული ჰაერის დაცვის საკითხი.

ზოგადად, ატმოსფეროს დაბინძურება არის ატმოსფერული ჰაერის შემადგენლობის ცვლილება მასში დამაბინძურებელი ნივთიერებათა არსებობის შედეგად. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას განაპირობებს როგორც ანთროპოგენური, ასევე ბუნებრივი დაბინძურების წყაროების ფუნქციონირება. მაგრამ უმთავრესი დამაბინძურებელი ანთროპოგენული წყაროებია:

- სატრანსპორტო გამონაბოლქვი
- სამრეწველო საქმიანობები
- სასოფლო-სამეურნეო აქტივობები
- ელექტრო ენერჯის წარმოება

საქართველოში ბევრი ეკოლოგიური პრობლემაა, მათ შორის ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ჰაერის ხარისხი. 2017 წლის კვლევის შედეგების მიხედვით საქართველოს მოსახლეობის 44% თვლის, რომ მათ დასახლებაში ჰაერი დაბინძურებულია.

ევროპის ბევრი წამყვანი ქალაქისგან განსხვავებით, თბილისში ჰაერის დაბინძურების პრობლემა მეტწილად ტრანსპორტით გამოწვეული დაბინძურებითა და საწარმოებით არის გამოწვეული. ავტოტრანსპორტის წილი ქვეყნის მთლიან გაფრქვევაში 62-78% – ს შეადგენს. გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს ინფორმაციით, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას უმთავრესად ავტოტრანსპორტი იწვევს. მრავალი კვლევით დადგინდა, რომ საქართველოში დამაბინძურებელი ნივთიერებების გამოყოფას ხელს უწყობს, როგორც ავტომობილის ტექნიკური პრობლემები, ისე საწვავის დაბალი ხარისხი

XXI საუკუნის საქართველოში ავტომობილი აღარ წარმოადგენს ფუფუნების საგანს, შესაბამისად მათი რაოდენობა დღითიდღე იზრდება. აქედან გამომდინარე აღსანიშნავია, რომ ბოლო წლებში იზრდება ავტოტრანსპორტის მიერ მოხმარებული საწვავის რაოდენობები და შესაბამისად იზრდება ამ სექტორის გავლენა ატმოსფეროზე.

ეკოლოგიური თვალთახედვით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ბენზინის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანები. მათზე მოდის გარემოს გლობალური დაბინძურების 40 % და ატმოსფეროში მოხვედრილი ანთროპოგენური ნივთიერებების 75-80 %. ერთი მანქანა წელიწადში საშუალოდ 4 ტ ჟანგბადს ხარჯავს და ატმოსფეროში გამოყოფს 800-900 კგ CO, 30-40 კგ NOx, 150-200 კგ ჰალოგენაწარმებს, ალდეჰიდებსა და სხვა ნორმირებულ ნივთიერებებს.

გარემოს დაბინძურება განაპირობებს ადამიანის ორგანიზმსა და მის გარემოში – ჰაერი, წყალი, ნიადაგი, ცხოველურ და მცენარეულ სამყაროში ტოქსიური ნივთიერებების დასაშვებ ნორმაზე მეტად მომატებას. გასათვალისწინებელი, რომ დაბინძურებული გარემო და ჰაერი პირდაპირ აისახება მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე. ბუნებრივია იზრდება სხვადასხვა ქრონიკული დაავადებების რიცხვიც. შესაბამისად საუბარია იმაზე, რომ თბილისში სისხლძარღვებისა და ქრონიკული დაავადებების ერთ-ერთი უმთავრესი მიზეზი ჰაერის დაბინძურებაა.

ადამიანის ჯანმრთელობა გენეტიკურ თუ სოციალურ-ეკონომიკურ ფაქტორებთან ერთად დიდად არის დამოკიდებული საცხოვრებელი და სამუშაო გარემოს მდგომარეობაზე. ადამიანის ჯანმრთელობას და გარემოს მდგომარეობას შორის პირდაპირი ურთიერთკავშირის დანახვა რთულია თუმცა, სულ უფრო ნათელი ხდება ამ კავშირის რეალობა. მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის მონაცემების მიხედვით ჯანსაღი გარემოს შენარჩუნებით ყოველწლიურად 13 მილიონი ადამიანის სიკვდილის თავიდან აცილებაა შესაძლებელი. დაავადებათა და ტრამვების 102 კატეგორიიდან 85-ის გამოწვევაზე გარემო ფაქტორებია პასუხისმგებელი.

„ჯანმრთელობისთვის უვნებელ გარემოში ცხოვრება ადამიანის ერთ-ერთი ძირითადი უფლებაა, ამ უფლების დაცვა მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობის შენარჩუნების მნიშვნელოვანი წინაპირობაა“.

## 1 ლიტერატურის მიმოხილვა

### 1.1 დედამიწის ატმოსფერო, მისი სტრუქტურა და შედგენილობა

ატმოსფერო - დედამიწის აიროვანი გარსია. ადამიანი ცხოვრობს და საქმიანობს ატმოსფეროს ოკეანის ფსკერზე, დღე-ღამეში 18-20 კგ ჰაერს ჩაისუნთქავს, რაც გაცილებით

მეტია გამოყენებული საკვებისა და წყლის მასაზე. ამიტომ ჰაერის ქიმიური შედგენილობა ადამიანის ჯანმრთელობის ერთ-ერთი მთავარი განმსაზღვრელი ფაქტორია[1].

ატმოსფეროს სისქე 3000 კილომეტრია. აქ გამოიყოფა 5 ფენა:

- ტროპოსფერო – 7-18 კმ;
- სტრატოსფერო – 50 კმ-მდე;
- მეზოსფერო – 85-100 კმ-მდე;
- თერმოსფერო – 500-1000კმ;
- ეგზოსფერო - 600-1000კმ-ის ზემოთ.

50 კმ სიმაღლეზე, ოზონის კონცენტრაცია შეინიშნება (ოზონსფერო).

ატმოსფერო დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის უმთავრესი პირობაა. მისი ქვედა საზღვარი დედამიწის ზედაპირია, ხოლო ზედა პირობითად 2000-3000 კილომეტრამდე ვრცელდება. ასეთ სიმაღლეზე ჰაერი ძალზე გაიშვიათებულია.

ატმოსფეროს ჰაერი ძირითადად ორი აირისგან - აზოტისა (78%) და ჟანგბადისაგან (21%) შედგება. გარდა ამისა, ჰაერში გაბნეულია ნახშიროჟანგი (1%-ზე ნაკლები, არგონი და სხვა). როგორც ცნობილია, ჟანგბადის გარეშე სუნთქვა, წვა, ლპობა; ნახშიროჟანგის გარეშე კი - ორგანულ ნივთიერებათა წარმოქმნა შეუძლებელია. ატმოსფერო შეიცავს აგრეთვე წყლის ორთქლს, მტვერს, ყინულის კრისტლებს. ატმოსფეროში არსებული აირების 80% ტროფოსფეროზე მოდის. ამიტომ ის ყველაზე მკვირი ფენაა. სწორედ აქაა თავმოყრილი 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.

**ცხრილი 1 - მოცემულია დედამიწის ატმოსფეროს შემადგენელი აირები**

ნივთიერება	აღნიშვნა	მოცულობა, %	მასა, %
აზოტი	N <sub>2</sub>	78,084	75,5
ჟანგბადი	O <sub>2</sub>	20,9476	23,15
არგონი	Ar	0,934	1,292
ნახშირორჟანგი	CO <sub>2</sub>	0,0314	0,046
ნეონი	Ne	0,001818	0,0014
მეთანი	CH <sub>4</sub>	0,0002	0,000084
ჰელიუმი	He	0,000524	0,000073
კრიპტონი	Kr	0,000114	0,003
წყალბადი	H <sub>2</sub>	0,00005	0,00008
ქსენონი	Xe	0,0000087	0,00004

**ტროპოსფერო** - (სიტყვა „ტროპოს“ ლათინურად ნიშნავს მობრუნებას გადაადგილებას). დაახლოებით 7-18 კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. ეს სახელწოდება ამ ფენამ მიიღო თავისი არამდგრადობის გამო, იგი არის ატმოსფეროს ყველაზე დაბალი მიწისპირა ფენა. მის ფარგლებში ტემპერატურა ერთ კილომეტრზე იცვლება 5-6 გრადუსით, ტროპოსფეროში თავმოყრილია ჰაერის მასის 4/5. მას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სიცხცხლისთვის და დედამიწაზე მიმდინარე სხვადასხვა პროცესებისთვის. მას სხვანაირად ამინდის ფაბრიკასაც უწოდებენ, ვინაიდან აქ ხდება ამინდის ფორმირება, ღრუბლების ჩამოყალიბება. ტროპოსფეროს მოუსვენრობა იმით აიხსნება, რომ იგი დედამიწასთან ყველაზე ახლოს მდებარეობს და ყველაზე მეტად განიცდის მის გავლენას, ტროპოსფეროს სიმაღლე ეკვატორთან მატულობს ხოლო პოლუსებთან მცირდება, მისი სიმაღლე ასევე იცვლება სეზონურად და დღეღამურად.

**სტრატოსფერო** - (ლათინურად „სტრატუმ“ - ფენა), დაახლოებით 40-50 კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. მასში თავმოყრილია ატმოსფერული აირების მხოლოდ 20%. სტრატოსფერო ღარიბია წყლის ორთქლით, ამიტომ აქ არ ვითარდება ღრუბლები და შესაბამისად არ გამოიყოფა ნალექი. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ოზონის შრე (20-25

კილომეტრზე), რომელიც შთანთქავს სიცოცხლისათვის ძალზე საშიშ ულტრაიისფერ სხივებს. ბოლო დროს შეინიშნება ოზონის შრის რღვევა, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ცოცხალ ორგანიზმებს. მათი წარმოქმნა ძირითადად დაკავშირებულია ატმოსფეროს ძლიერ გაჭუჭყიანებასთან.

**მეზოსფერო** - („მეზოს“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს საშუალოს). ანუ იგი წარმოადგენს შუა სფეროს, რომელიც დაახლოებით 85-100 კილომეტრის სიმაღლემდე ვრცელდება. იგი ხასიათდება სიმაღლეზე ტემპერატურის სწრაფი დაცემით, მის ზედა საზღვარს სადაც ყველაზე დაბალი ტემპერატურა დაიკვირვება მეზოპაუზა ეწოდება. ამ ფენიდან იწყება ტემპერატურის ხელახალი სწრაფი მატება. მეზოსფეროს ფარგლებში წარმოიქმნება ე.წ. „ვერცხლისებრი ღრუბლები“. ისინი ძირითადად შედგებიან ყინულის კრისტალებისაგან, თუმცა მათი წარმოშობა და გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე ჯერ ბოლომდე გარკვეული არ არის.

**თერმოსფერო** - იგი ვრცელდება 500-1000კმ სიმაღლემდე, მისი დამახასიათებელია ტემპერატურის სწრაფი მატება. ამ სფეროს იონოსფეროსაც უწოდებენ, იონიზაციის მაღალი ხარისხის გამო. სწორედაც, რომ იონოსფეროში აქვს ადგილი დედამიწის ერთ-ერთ ულამაზეს მოვლენას პოლარულ ნათებას. შემჩნეულია, რომ მზის ზოგიერთი უბნიდან დროგამოშვებით ამოიფრქვევა დამუხტულ ნაწილაკთა მძლავრი ნაკადი, გარკვეული დროის შემდეგ ეს ნაწილაკები შემოიჭრებიან ატმოსფეროს ზედა ფენებში და ეჯახებიან მის შემადგენლობაში მყოფ ნაწილაკებს რის შედეგადაც წარმოიქმნება პოლარული ნათება.

**ეგზოსფერო** - („ეგზო“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს გარეს). ატმოსფეროს ყველაზე გარეთა ფენა. იგი იწყება დაახლოებით 800 კმ-დან და პლანეტათშორის სივრცეში გადადის. ეგზოსფერო ძირითადად წყალბადის ატომებისგან შედგება, რომელთა სიჩქარეც იმდენად დიდია რომ პლანეტათშორის სივრცეში ატმოსფეროდან გაიტყორცნებიან. ამიტომ ეგზოსფეროს სხვანაირად გაბნევის სფეროსაც უწოდებენ. ეგზოსფეროში ტემპერატურა მნიშვნელოვნად მატულობს.

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 და გამოიყენება მცენარეების



მიერ ფოტოსინთეზისათვის. წყლის ორთქლი უზრუნველყოფს ნალექების წარმოშობას, მტვრის ნაწილაკები კი წარმოადგენს წყლის ორთქლის კონდენსაციის უმცირეს ბირთვებს.

## 1.2 ატმოსფეროს დაბინძურების წყაროები

ატმოსფერო, რომელიც დედამიწის 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 დამაბინძურებელი ნივთიერებების მოხვედრა ფიზიკურ გარემოში, რაც იწვევს მის ხარისხობრივ ცვლილებას, ცვლის ფიზიკურ სისტემებს და ზიანს აყენებს ან დისკომფორტს უქმნის ცოცხალ ორგანიზმებს

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას განაპირობებს როგორც ანთროპოგენური, ასევე ბუნებრივი დაბინძურების წყაროები:

ბუნებრივი	ანთროპოგენური
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ ქარის შედეგად მოტანილი მტვერი;</li><li>➤ ტყის ხანძრები;</li><li>➤ ჭაობებში არსებული მეთანის გაზი;</li><li>➤ ნარჩენებისგან წარმოშობილი ბაქტერიები და ვირუსები;</li><li>➤ კომეტების, ასტეროიდებისა და მეტეორების შეჯახების შედეგად წარმოშობილი კოსმოსური მტვერი;</li><li>➤ ვულკანური ამოფრქვევები.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ სატრანსპორტო გამონაბოლქვი;</li><li>➤ ენერგეტიკა;</li><li>➤ სასოფლო-სამეურნეო აქტივობები;</li><li>➤ სამრეწველო საქმიანობები;</li><li>➤ გამხსნელების გამოყენება.</li></ul>

უმთავრეს დამაბინძურებელ წყაროს წარმოადგენს ანთროპოგენური ფაქტორები, რადგან მათი მოქმედება უფრო მძლავრი და ხანგრძლივმოქმედია.

სატრანსპორტო გამონაბოლქვი - ტრანსპორტის მრავალფეროვანი სახეობებიდან, ეკოლოგიური თვალთახედვით, განსაკუთრებულ საყურადღებოა ბენზინის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანები. მათზე მოდის გარემოს გლობალური დაბინძურების 40 % და ატმოსფეროში მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების 75-80 %.

ერთი მანქანა წელიწადში საშუალოდ 4 ტ ჟანგბადს ხარჯავს და ატმოსფეროში გამოყოფს 800-900 კგ CO, 30-40 კგ NO<sub>x</sub>, 150-200 კგ ჰალოგენაწარმებს, ალდეჰიდებსა და სხვა ნორმირებულ ნივთიერებებს. დღეისათვის ავტოტრანსპორტზე მოდის ატმოსფეროში მოხვედრილი CO 65-70 %, NO<sub>x</sub> 30-45 %, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> 60-75 %.

ავტომობილების გამონაბოლქვის შემადგენლობა ძირითადად ისაზღვრება ავტომობილის მიერ საწვავის მასიური დანახარჯით. გარკვეულ მანძილზე საწვავის დანახარჯი ისაზღვრება მანქანის მოდელით. საშუალოდ ავტომობილების სხვადასხვა მოდელების მიერ მოხმარებული საწვავის სუმარული რიცხვით - 1კგ ბენზინის მოხმარება იწვევს დაახლოებით 16 კგ აირების ნარევის წამოქმენას[13].

**ცხრილი 2 - მოცემულია ავტომობილების გამონაბოლქვი აირების ქიმიური შედგენილობა**

გამონაბოლქვი აირები	განზომილება	ბენზინის ძრავი	დიზელის ძრავი
N <sub>2</sub>	%	74-77	76-78
O <sub>2</sub>	%	0,3-8,0	2,0-18,0
H <sub>2</sub> O	%	3,0-5,5	0,5-4,0
CO <sub>2</sub>	%	0,0-16,0	1,0-10,0
CO	%	0,1-5,0	0,01-0,5
აზოტის ოქსიდი	%	0,0-0,8	0,0002-0,5
ჰიდროკარბონატები	%	0,2-3,0	0,09-0,5
ალდეჰიდები	%	0,0-0,2	0,001-0,009
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	%	0.2 - 3.0	0.01 - 0.5
ჰვარტლი	გ/მ <sup>3</sup>	0,0-0,04	0,01-1,10

ძირითადი სატრანსპორტო დამაბინძურებლების მოქმედება[11]:

- **მეტალისა და ჭვარტლის მყარი ნაწილები**, რომლებიც მუქ შეფერილობას აძლევს სმოგს, აღწევს ცოცხალი ორგანიზმის ფილტვებში და აზიანებს მათ;
- **ნახშირწყალბადები** რეაქციაში შედის აზოტის ოქსიდებთან, წარმოადგენს სმოგის ერთ-ერთ კომპონენტს. იწვევს სასუნთქი გზების დაავადებებს;
- **აზოტის ოქსიდები** მონაწილეობენ ზედაპირული ოზონისა და მყარი ნაწილაკების წარმოქმნაში. იწვევს ფილტვების გაღიზიანებასა და იმუნიტეტის დაქვეითებას;
- **ნახშირჟანგი** წარმოიშობა ბენზინისა და მსგავსი საწვავის წვის შედეგად. არის უსუნო და უფერო. ორგანიზმში მოხვედრისას იერთებს ჟანგბადს და აფერხებს მის ტრანსპორტირებას ტვინისაკენ.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანი უპირატესობა აქვთ დიზელის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანებს. დიზელის ძრავაში საწვავი სრულად იწვის, რადგან ჭარბად მიეწოდება ჰაერი. ამიტომ გამონაბოლქვ აირებში შემცირებულია CO, ნახშირწყალბადების, ალდეჰიდებისა და სხვა მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციები.

ავტოტრანსპორტთან დაკავშირებული პრობლემები მართო გამონაბოლქვი აირებით არ შემოიფარგლება. გარემოს დაბინძურების მძლავრი წყაროებია ავტოსამრეცხაოები, ბენზინგასამართი სადგურები, ავტოფარეხები და სარემონტო სადგურები. ამჟამად მსოფლიოში 600 მლნ მეტი ავტომანქანაა, რომელთა უმრავლესობა გაუმართავია.

**ენერგეტიკა** - მეორე მსოფლიო ომამდე გლობალური მასშტაბით ელექტროენერჯის გამომუშავების, წარმოებისა და საყოფაცხოვრებო გათბობისთვის ენერჯის ძირითად წყაროს ნახშირი წარმოადგენდა. იმ პერიოდში პრაქტიკულად არ გამოიყენებოდა აირგამწმენდი დანადგარები, რაც განაპირობებდა ატმოსფერული ჰაერის მაღალ დაბინძურებას ჭვარტლით, მტვრით, გოგირდის ანჰიდრიდითა (გოგირდის დიოქსიდი) და აზოტის ოქსიდებით. ჰაერის დაბინძურება საგანგაშო მასშტაბებს აღწევდა მსხვილ ქალაქებში[10].

მოგვიანებით ემისიის შემცირების მიზნით მოხდა ერთი წიაღისეული საწვავის ჩანაცვლება შედარებით ნაკლები ემისიის მქონე სხვა წიაღისეული საწვავით მაგ. ნახშირი შეიცვალა ბუნებრივი აირით და ნავთობით, მაგრამ ჰაერის დაბინძურებს აღნიშნული ნედლეულის გამომუშავებაც იწვევს. ამ ნედლეულის მოხმარება იწვევს ქიმიური

შენაერთების გამოთავისუფლებას, რომლებიც ადამიანის ორგანიზმში ჰაერის მეშვეობით ხვდებიან. აღსანიშნავია, რომ ასეთი შენაერთების ორგანიზმში საჰაერო გზით მოხვედრის შედეგად მავნე ქიმიური ნივთიერებები 80-100-ჯერ მეტ უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ჯანმრთელობაზე, ვიდრე საკვებიდან მიღების შემთხვევაში.

**სასოფლო-სამეურნეო აქტივობები** - სოფლის მეურნეობა ერთ-ერთი სუფთა დარგი იქნებოდა, რომ არ მომხდარიყო მისი ქიმიზაცია. მოსავლიანობის გაზრდისა და მისი მავნებლებისაგან დაცვის მიზნით, მე-19 საუკუნის ბოლო წლებიდან დაწყებული, სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოყენებულ ქიმიურ საშუალებათა ასორტიმენტი და რაოდენობა სწრაფი ტემპით იზრდება. ამ შემთხვევაში, მრეწველობისაგან განსხვავებით, ტოქსიკური ნივთიერებები გარემოში წინასწარ განზრახული მიზნით ხვდება. დიდ დადებით ეფექტთან ერთად მინერალური სასუქებისა და შხამქიმიკატების მასიური გამოყენება ზიანს აყენებს გარემოს.

### 1.3 ოზონი ტროპოსფეროში და სტრატოსფეროში

ატმოსფეროში ოზონის კონცენტრაცია ეკოლოგიის ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია. ტროპოსფეროში ოზონი ანთროპოგენური დაბინძურების მაჩვენებელია, სტრატოსფერული ოზონი კი დედამიწაზე სიცოცხლის დამცველი ფარია, რადგან ინტენსიურად შთანთქავს მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებას. ატმოსფეროში ოზონის კონცენტრაციას გამოსახავენ მოცულობითი წილით, მკგ-ით ერთ მ<sup>3</sup> ჰაერში, ან დობსონის ერთეულებით (დ.ე. პირობითი სიდიდეა, რომელიც შეესაბამება ოზონის მოლეკულების იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 0.01 მილიმეტრი სისქის სუფთა ოზონის შრის წარმოსაქმნელად 0 გრადუს ცელსიუსსა და 1 ატმოსფერო ჰაერის წნევის პირობებში)[6].

ატმოსფეროში ოზონის განაწილების შესწავლა დაიწყო 1875 წლიდან. ადრე მიღებულ მონაცემებთან ერთად საინფორმაციო ბანკი მოიცავს მსოფლიოს 140 პუნქტში ორმოცდაათწლიანი სინქრონული დაკვირვების შედეგებს. ბოლო ოცდაათი წლის მანძილზე საინტერესო ინფორმაცია დაგროვდა კოსმოსური თანამგზავრების გამოყენებით.

ოზონის კონცენტრაცია ატმოსფეროში  $3 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-6} \%$ -ია, საერთო მასა კი  $3,1 \cdot 10^9$  ტ. ოზონის საერთო რაოდენობის 8-15 % ტროპოსფეროშია, სადაც მისი კონცენტრაცია დღე-

დამის, სეზონების და მეტეოროლოგიური პირობების მიხედვით იცვლება. მისი ძირითადი საცავი სტრატოსფეროა, სადაც მაქსიმალური კონცენტრაციები აღინიშნება გაზაფხულზე, მინიმალური შემოდგომა-ზამთრის სეზონში.

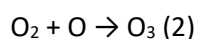
ტროპოსფეროსაგან განსხვავებით, ოზონის კონცენტრაცია სტრატოსფეროში სიმაღლის მიხედვით თავდაპირველად იზრდება, შემდეგ კი მცირდება. მისი მაქსიმალური კონცენტრაციები პოლარულ ზონაში დაფიქსირებულია 18-20 კმ სიმაღლეზე, საშუალო განედებში 22-23 კმ და ტროპიკებში 24-26 კმ. სტრატოსფეროს ზედა ფენებში, განსაკუთრებით მეზოსფეროში, ოზონის კონცენტრაცია მკვეთრად მცირდება და 70-100 კმ სიმაღლეზე მხოლოდ კვალის სახით გვხვდება.

დროსა და სივრცეში ოზონის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი მერყეობის გამო მისი მრავალწლიური გლობალური დინამიკის დადგენა ძნელია. მკვლევართა უმრავლესობის აზრით, 1970 წლიდან შეიმჩნევა ოზონის თანდათანობითი შემცირება წელიწადში 0,1-0,4 %-ით. სხვა მონაცემებით, ოზონოსფეროს სისქე წლიურად 0,5 დობსონის ერთეულით მცირდება.

#### 1.4 ოზონის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები

ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში (ტროპოსფეროში) გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები არა მარტო უშუალოდ ზემოქმედებენ ადამიანებსა და ეკოსისტემებზე, არამედ ისინი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და ადამიანის ჯანმრთელობისა და ეკოსისტემებისთვის კიდევ უფრო მავნე ნივთიერებებს წარმოქმნიან (მეორადი დამბინძურებლები). ამ გზით წარმოქმნილი ე.წ. მეორადი დამბინძურებლებიდან აღსანიშნავია მიწისპირა ოზონი. მიწისპირა ოზონი ნახშირწყალბადების ( $nC_xH_y$ ) აზოტის ოქსიდებსა ( $NO_x$ ) და

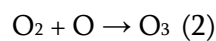
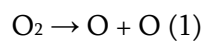
ჟანგბადთან ( $O_2$ ) ფოტოქიმიური რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება. მცირე რაოდენობით ოზონი წარმოიქმნება ელქექის, ნელი განმუხტვის და ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების დაჟანგვის დროს. მისი ძირითადი გენერატორი არის აზოტის ოქსიდები, რომელთა ფოტოდისოციაციას დაბალი ენერგია სჭირდება ( $\lambda < 400 \text{ ნმ}$ )[6].



ოზონის ფორმირების პროცესი კომპლექსურია და დამოკიდებულია მზის სინათლეზე, გეოგრაფიულ ფაქტორებსა და პირველად დამბინძურებლებზე. ანთროპოგენული გაფრქვევებისა და ფოტოქიმიური რეაქციების შედეგად წარმოქმნილი ოზონის კონცენტრაციის მატება ატმოსფეროს ქვედა ფენებში შეინიშნება ზაფხულის პერიოდში დღის სინათლეზე. ჰაერში არსებული ოზონისა და პირველადი

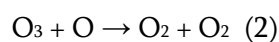
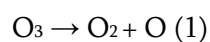
დამბინძურებლების რაოდენობრივი თანაფარდობა მერყეობს ადგილმდებარეობის, სეზონისა და ტემპერატურის შესაბამისად. ტროპოსფეროში გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების ზრდის ტენდენცია განსაზღვრავს ტროპოსფეროში მრავალწლიურ დინამიკას. 1907-1980 წწ მისი კონცენტრაცია 60 %-ით გაიზარდა, საშუალო წლიურმა ნამატმა კი 1-2 % შეადგინა. ამჟამად ტროპოსფეროში ოზონის ფონური კონცენტრაცია 20-30 მკგ/მ<sup>3</sup> -ია. სამრეწველო რაიონების ჰაერში მისი შემცველობა 1,5-1,7-ჯერ მეტია სოფლის რეგიონებთან შედარებით. ევროპის დიდი ქალაქების ჰაერში ოზონის კონცენტრაცია 2-4-ჯერ, აშშ კი 10-ჯერ და მეტად აღემატება ზღვ (120 მკგ/მ<sup>3</sup>). ლოს-ანჯელესის ჰაერში დაფიქსირებული იყო 1000 მკგ/მ<sup>3</sup> ოზონი. გარდა ბიოლოგიური ზიანისა, ტროპოსფეროში ოზონის კონცენტრაციის ზრდა ქმნის ტექნიკური ხასიათის სიძნელებებს - ძლიერდება ლითონთა კოროზია, იშლება რეზინის ნაკეთობები და სხვა.

სტრატოსფეროში ოზონი მზის ულტრაიისფერი სხივებით ( $\lambda < 244,5$  ნმ) მოლეკულური ჟანგბადის ფოტოდისოციაციის შედეგად წარმოიქმნება



"ფოტოქიმიური რეაქტორის" ეფექტურობა დამოკიდებულია მზის რადიაციაზე, ატმოსფეროში მინარევების ბუნებაზე და რაოდენობაზე. სავარაუდო შეფასებით ატმოსფეროში ოზონის დინამიკას განსაზღვრავს 120-მდე ქიმიური რეაქცია, რომლებშიც მინიმუმ 40 ნივთიერება მონაწილეობს.

სტრატოსფეროში ოზონის სინთეზის პარალელურად მიმდინარეობს ოზონის დაშლაც ( $\lambda 200-315$  ნმ)



ოზონის ფოტოდისოციაციის სიჩქარეს განსაზღვრავს ულტრაიისფერი სხივების ინტენსივობა. 40 კმ სიმაღლეზე ოზონის მოლეკულის სიცოცხლის ხანგრძლივობა 3 საათია, 15 კმ-ზე კი მეტია - 100 დღე-ღამეზე. სტრატოსფეროს ოზონის ნაწილი დიფუნდირდება ტროპოსფეროში, სადაც მონაწილეობს ოქსიდაციის პროცესებში.

## 1.5 ოზონოსფერო, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა

თანამედროვეობის ერთ-ერთ გლობალურ პრობლემას წარმოადგენს დედამიწის ოზონის შრის დაშლაც. მზის შორეული ულტრაიისფერი გამოსხივება, სპექტრის 200-320 ნმ უბანში ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ინტენსიურად შთანთქავს ოზონი. ამისათვის

საკმარისია ოზონის 3 მმ ფენა. მზის უფრო გრძელტალღიანი გამოსხივება ( $\lambda > 320$  ნმ), რომელიც აღწევს დედამიწამდე, უკვე არ არის საზიანო. ოზონის კონცენტრაციის 10 %-ით შემცირებით 288 ნმ სიგრძის ტალღების შთანთქმა მცირდება 50 %-ით. გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ოფიციალური მონაცემებით ოზონის შრის 1%-ით გაიშვიათება ნიშნავს მსოფლიოში 100 ათასი ადამიანის კატარაქტით და 10 ათასი ადამიანის კიბოთი დაავადებას [2]. ვარაუდობენ, რომ ოზონოსფეროს გათხელება მოჰყვება სხვა არასასურველი მოვლენებიც. კერძოდ, ოზონის შემცველობის განახევრების შემთხვევაში შემცირდება ინფრაწითელი გამოსხივების შთანთქმა. მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება ბიოლოგიურად აქტიურია და უარყოფითად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე (იმუნური სისტემის დაქვეითება, კანის სიღამწვრე და ავთვისებიანი დაავადებები, თვალის ბადურის ანთება, ფოტოსინთეზის დამუხრუჭება და სხვა).

სტრატოსფეროს ოზონთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები გამოწვეულია ატმოსფეროში ისეთი ქიმიური ნივთიერებების უზარმაზარი რაოდენობით მოხვედრით, როგორცაა ქლოროფტორნახშირბადები – (CFCs) და ჰალოგენები. ისინი წარმოქმნილია ადამიანის საქმიანობის შედეგად და როგორც მეცნიერები თვლიან, სწორედ ამ ნივთიერებებმა დაარღვია ოზონის შრის ბუნებრივი ბალანსი [3, 4].

## 1.6 ოზონის „ხვრელ“, მისი გამომწვევი მიზეზები

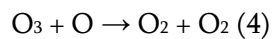
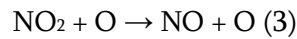
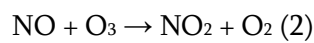
1985 წ. ჟურნალ "Nature" გამოქვეყნებულ სტატიაში ფაქტობრივი ინფორმაციის საფუძველზე ნაჩვენებია იყო ანტარქტიდაში ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირების ტენდენცია 1970- 1984 წწ. მიღებული მონაცემებით სადგურ ხალილ-ბეიში ოზონოსფეროს სისქე 320- დან 200 დ. ე-მდე შემცირდა. 1987 წ. სადგურ მაკ-მიორდზე დაფიქსირებული იყო ოზონოსფეროს კიდევ უფრო თხელი ფენა (100-120 დ.ე.). ოზონის მაქსიმალური დეფიციტი შეიმჩნევა გაზაფხულზე, 14-20 კმ სიმაღლეზე, სადაც მისი კონცენტრაცია 97-98 %-ით მცირდება. ეს მოვლენა ცნობილი გახდა "ოზონის ხვრელის" სახელწოდებით. ტერმინი არ არის ზუსტი, რადგან საქმე გვაქვს ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირებასთან და არა სრულ გაქრობასთან.

ანტარქტიდაში "ოზონის ხვრელის" საერთო ფართი 10-14 მლნ კმ<sup>2</sup> აღწევს. მოგვიანებით უფრო მცირე ფართობის ხვრელები აღმოჩენილ იქნა არქტიკისა და ზოგიერთი დიდი ქალაქის თავზეც.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით პრობლემა გლობალური მასშტაბისაა და მოსალოდნელი შედეგების გამო უაღრესად სერიოზულია. თვლიდნენ, რომ, თუ არ აღმოიფხვრა გამომწვევი მიზეზი, 2000 წლისათვის ოზონის კონცენტრაცია ატმოსფეროში

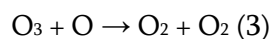
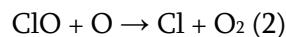
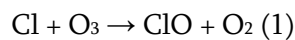
3-5 %-ით, 15-20 წ. შემდეგ კი 17 %-ით შემცირდებოდა. ამის შედეგად მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ინტენსივობა დედამიწაზე 3-ჯერ გაიზარდებოდა. ერთნიშნა პასუხის გაცემა კითხვაზე, თუ რატომ გაჩნდა "ხვრელი", რა არის მისი რეალური მიზეზი, შესაძლო ფაქტორების სიმრავლის გამო, არც ისე ადვილია.

სტრატოსფერული ოზონის კონცენტრაციის შემცირება, ზეზგერითი ავიაციის გამონაბოლქვ აირებში შემავალი NOx-ით, ნავარაუდები იყო ჰ. ჯონსტონის მიერ 1971 წ. ტროპოსფეროსაგან განსხვავებით, სტრატოსფეროში NOx აკატალიზებს ოზონის დაშლას. NOx-ის თანაობისას ილუპება ოზონი და მისი გენერატორი - ატომური ჟანგბადი.



ოზონოსფეროს შესაძლო დეგრადაციის პრობლემა მკვლევართა ინტერესის ცენტრში აღმოჩნდა. 1972-1975 წლებში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ NOx როლი ოზონოსფეროს შესაძლო დეგრადაციაში გაზვიადებული იყო. მცდარი პროგნოზი გამოწვეული იყო იმით, რომ სტრატოსფერული ავიაცია დაბალი ტემპით ვითარდებოდა, თანაც გამონაბოლქვ აირებში NOx -ის კონცენტრაცია ნავარაუდებზე ნაკლები აღმოჩნდა.

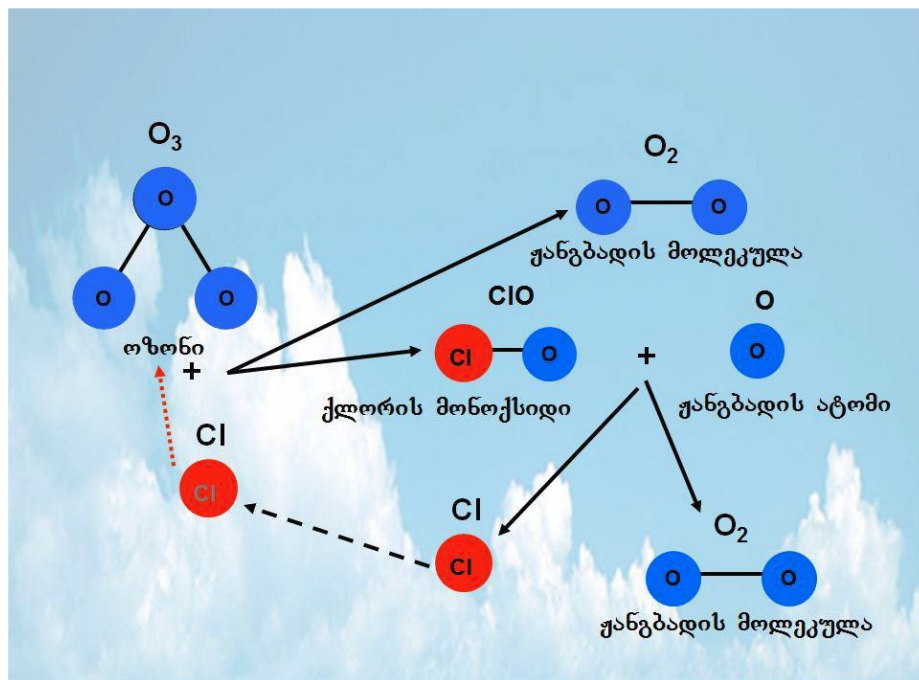
1974 წ. ამერიკელმა მკვლევარებმა მ. მოლინმა და შ. როულმა ოზონოსფეროს დეგრადაცია სტრატოსფეროში ფრეონების - ფთორქლორნახშირწყალბადების არსებობით ახსნეს. მათი აზრით, ფრეონების (CFCl3, CF2Cl2, შესაბამისად F-11 და F-12) ფოტოლისოციაციით წარმოქმნილ Cl-ს შეუძლია ოზონის კატალიზური დაშლა:



მოგვიანებით ფრეონების გავლენა ოზონოსფეროზე დადასტურდა ექსპერიმენტალური მონაცემებითაც. "ხვრელის" ზონაში, 19-20 კმ სიმაღლეზე ClO-ს კონცენტრაცია 100-300-ჯერ მეტი აღმოჩნდა ზომიერ სარტყელთან შედარებით. უარყოფითი კავშირი ატმოსფეროში ClO და O3 კონცენტრაციებს შორის აშკარაა სხვა ზონებშიც.



ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირების მიზეზი აღმოჩნდა პოლარული გაზაფხულის პერიოდში ანტარქტიდის თავზე მზის გამოსხივება სიმცირე, რომელიც საკმარისია, მხოლოდ სტრატოსფერული ღრუბლების კრისტალების დნობის და შესაბამისად ქლორისა და ბრომის ატომების გამოსათავისუფლებლად. ოზონის მოლეკულის წარმოქმნისათვის კი მზის გაცილებით მეტი ენერჯიაა საჭირო. შესაბამისად, მთელი პოლარული გაზაფხულის განმავლობაში ანტარქტიდის თავზე ხდება ოზონის მოლეკულების მხოლოდ დაშლის პროცესი, რაც იწვევს ოზონის შრის მკვეთრ გაიშვიათებას. როგორც სურათი 1-დან ჩანს ქლორისა და ბრომის ატომებით ოზონის მოლეკულის დაშლა ციკლურ ხასიათს ატარებს და თითოეულ ამ ატომს შეუძლია ათასობით ოზონის მოლეკულის განადგურება.



სურათი 1. ქლორის ატომებით ოზონის მოლეკულის დაშლა

### 1.6.1 ფრეონების გამოყენება

ფრეონები იაფი, უვნებელი, ინდიფერენტული, ცეცხლმედეგი ნივთიერებებია და ჰაერთან არ წარმოქმნიან ფეთქებად ნარევეს. ამან განაპირობა ამიაკის ნაცვლად მათი გამოყენება მაცივარ-დანადგარებში და კონდიციონერებში (ლათ. frigor - სიცივე).

ფრეონები ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ფენოქსასტების წარმოებაში, გამხსნელად, სუნამოების, საღებავების, მედიკამენტებისა და სხვა დანიშნულების ბალონებში. გასული საუკუნის 90-იან წლებში ფრეონების მსოფლიო წარმოებამ 2 მლნ ტ-ს მიაღწია.

ნაპოვნია ფრეონების ბუნებრივი წყარო- ვულკანური აირები. ისინი მეთანის ქლორნაწარმებთან ერთად მცირე რაოდენობით შეიცავენ  $\text{CFCl}_3$  და  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  (შესაბამისად  $2,7 \cdot 10^{-5}$  და  $3,6 \cdot 10^{-5}$  %). ადრეულ ატმოსფეროში ფრეონების კვალის არსებობაზე მიუთითებს მათი აღმოჩენა ანტარქტიდის ყინულების აირბუმტუკებში ( $4-17 \cdot 10^{-7}$  %). გამოყენების სპეციფიკიდან გამომდინარე ცხადია, რომ წარმოებული ფრეონები პრაქტიკულად მთლიანად იფანტება ტროპოსფეროში და დაახლოებით ერთი წლის შემდეგ ხვდება სტრატოსფეროში. სხვა ფაქტორებთან ერთად, ატმოსფეროში ფრეონების დაგროვებას ხელს უწყობს მათი ზემედეგობა. მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა 70 და 100 წლით არის შეფასებული.

ოზონის შრის დაშლის ყველაზე თვალსაჩინო ფაქტია ე.წ. “ოზონის ხვრელი”, რომელიც ყოველ წელს ჩნდება დედამიწის სამხრეთ პოლუსზე. ლაბორატორიულ, სახმელეთო, საავიაციო და თანამგზავრულ საშუალებათა გამოყენებით და სამეცნიერო დაკვირვებებზე დაყრდნობით დადგინდა, რომ ოზონის შრეს, რომელიც სასიცოცხლო ფარად აკრავს დედამიწას, ქლორისა და ბრომის შემცველი ქიმიური ნივთიერებები აზიანებენ (მაგ: ქლოროფტორნახშირბადები, მეთილბრომიდი, ჰიდროქლოროფტორნახშირბადები და ა.შ.). ამ დაზიანების სიდიდის პირდაპირპროპორციულია დედამიწამდე მოღწეული მზის მავნე ულტრაიისფერი გამოსხივება, რომელიც იწვევს: მზით დამწვრობას, კანის კიბოს, თვალის კატარაქტას, იმუნიტეტის დასუსტებას, ზღვებსა და ოკეანეებში კი მიკროორგანიზმებისა და ქვირითის დაზიანებას და ა.შ.

ასეთი სავალალო შედეგების შემცირების და ოზონის შრის განადგურებისგან გადარჩენის მიზნით მონრეალის ოქმის[5](„ოზონის შრის დამშლელ ნივთიერებათა შესახებ“) საშუალებით კაცობრიობამ ჯერ შეამცირა და შემდეგ მთლიანად ამოიღო ხმარებიდან ოზონის შრის დამშლელი ნივთიერებების უდიდესი ნაწილი და ეს პროცესი დღემდე გრძელდება.

მონრეალის ოქმით საქართველოს მიერ ნაკისრ ვალდებულებათა შესასრულებლად, დედამიწის ოზონის შრის დაცვის მიზნით სავალდებულოა საქართველოს ტერიტორიაზე ეტაპობრივად შემცირდეს ან შეწყდეს ისეთი ქიმიური ნივთიერებების წარმოება და გამოყენება, რომლებიც ზეგავლენას ახდენს ოზონის შრეზე და შლის მას.

## 1.7 მიწისპირა ოზონი, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა

მიწისპირა ოზონი წარმოადგენს უფერო და ძლიერ მომწამლავ აირს, რომელიც წარმოიქმნება დედამიწის ზედაპირიდან ოდნავ ზემოთ. იგი ითვლება ატმოსფერული ჰაერის მეორად დამაბინძურებელ წყაროდ. მიწისპირა ოზონი ასევე სმოგის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია. არსებობს სმოგის ორი ტიპი: გოგირდოვანი სმოგი და ფოტოქიმიური სმოგი. გოგირდოვან სმოგს ასევე ლონდონის სმოგს უწოდებენ, ხოლო ფოტოქიმიურს ლოს-ანჯელესისას[15].

ლონდონის ტიპის ტენიანი სმოგი – ნისლის, ბოლის და საწარმოო აირების ნარჩენების შეერთებით წარმოიქმნება, რომელიც წარმოიშვება დაბალი ტემპერატურის დროს გამათბობელი სისტემების ორთქლიდან და საყოფაცხოვრებო აირებისგან;

ლოს-ანჯელესის ტიპის მშრალი სმოგი – ფოტოქიმიური სმოგია, რომელიც პირველად შეამჩნიეს ლოს-ანჯელესში (აშშ) მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში. ფოტოქიმიური სმოგის წარმოშობას უკავშირებენ საავტომობილო ტრანსპორტის ძლიერ განვითარებას. ქიმიური რეაქციები, რომლებსაც მეორადი დამაბინძურებლების წარმოქმნამდე მივყავართ, ყველაზე ეფექტურად მიმდინარეობს მზის სინათლეზე, ამიტომ ჰაერის ასეთ დაბინძურებას ფოტოქიმიური სმოგი ეწოდება.

დედამიწის ზედაპირთან, ტროპოსფეროს ქვედა ნაწილში, არსებობს ოზონის ორი წყარო. ოზონის ნაწილი ტროპოსფეროში ხვდება სტრატოსფეროდან ტროპოპაუზის გარღვევისას. რადგანაც ამ პროცესს ახლავს ძლიერი ქარები. მეორე წყარო წარმოადგენს ოზონს, რომელიც წარმოქმნილია უშუალოდ ქვედა ტროპოსფეროში ნახშირწყალბადებიდან და აზოტის ოქსიდებიდან. წიაღისეული საწვავის წვა არის ტროპოსფერული ოზონის წარმოქმნელი უპირველესი დამაბინძურებელი წყარო. მითითებულ წინამორბედებს შეიძლება ჰქონდეთ როგორც ბუნებრივი, ისე ხელოვნური (ანთროპოგენური მოქმედების ხარჯზე) წარმოშობა. ოზონის პიკური კონცენტრაციები, წარმოქმნილი ქვედა ტროპოსფეროში ფოტოქიმიური რეაქციების შედეგად, ჩვეულებრივ მოდის ჰაერის მასების სტაბილურობის პერიოდში და შესაბამისად სავსაოდ დიდხანს შენარჩუნდება. ოზონის კონცენტრაციის გაზრდა ტროპოსფეროში დაკავშირებულია ოქსიდების ფარდობითი შემცველობის დამახასიათებელ ცვლილებასთან: ის იწყება მაშინ, როდესაც NO<sub>2</sub> და NO კონცენტრაციათა ფარდობა მაქსიმუმს აღწევს. ატმოსფეროში ოზონის დაგროვების დინამიკის ახსნა შეიძლება, თუ განვიხილავთ აზოტის ოქსიდების გარდაქმნის პროცესებს სხვადასხვა პირობებში[15].

ოზონი, როგორც ზემოთ არის ნახსენები, შესაძლოა წარმოიქმნას დედამიწის ზედაპირთან ახლოს, გამოწვეული ბუნებრივი ქიმიური რეაქციებისა და ადამიანის მიერ

წარმოებული დამაბინძურებელი აირებით. ამგვარად, დამაბინძურებლებისაგან წარმოქმნილი ოზონი „ცუდია“, რადგანაც უშუალოდ ურთიერთქმედებს ადამიანებზე, მცენარეებზე და ცხოველებზე. ოზონის გაზრდილი დონეები მავნებელია ძირითადად ცოცხალი სისტემებისათვის, რადგან მძაფრად მოქმედებს მრავალ სხვა მოლეკულაზე – შლის ან სახეს უცვლის (იხ. ქვემოთ). ამის გარდა, ოზონის რაოდენობის ზრდა ტროპოსფეროში იწვევს დედამიწის ზედაპირის დათბობას.

მიწისპირა ოზონის ზემოქმედების ეფექტები ადამიანის ჯანმრთელობაზე[15]:

- ოზონი იწვევს სასუნთქი ორგანოების გაღიზიანებას, ხველებას, სიმძიმეს მკერდის არეში; ეს შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე საათი და გადავიდეს მტკივნეულ ფაზაში;
- ოზონი ამცირებს ფილტვების ფუნქციას, ფილტვის ფუნქციის დაქვეითება შეიძლება გახდეს იმ სპორტსმენების პროფესიული დაავადება, რომლებიც გარეთ, ღია ჰაერზე ვარჯიშობენ;
- ოზონი იწვევს ასთმის განვითარებას და ზრდის ამ დაავადების შეტევათა რაოდენობას;
- ოზონი იწვევს ალერგიას ფართოდ გავრცელებული ნივთიერებების მიმართ, როგორცაა მტვერი, ტარაკნები, ყვავილის მტვერი, შინაური ცხოველები;
- ოზონი აზიანებს ფილტვის ქსოვილს; თუ ოზონის ზემოქმედება განმეორდა, მაშინ ეს იწვევს ფილტვის ქსოვილში ცვლილებებს და ჯანმრთელობის ხანგრძლივ პრობლემებს;
- ოზონი აღრმავებს ბრონქიტს და ფილტვების ემფიზემას;
- ოზონი მნიშვნელოვნად აქვეითებს ინფექციების მიმართ იმუნიტეტს;
- განსაკუთრებით საშიშია ოზონის ზემოქმედება ბავშვებზე; მათი ფილტვები შესაძლებელია ძლიერ დაზავდეს ოზონის ზემოქმედებით და ეს უარყოფითად აისახოს მათ განვითარებაზე.

მიწისპირა ოზონი მნიშვნელოვნად მოქმედებს მიმოცვლის პროცესებზე, მაგალითად, ფოტოსინთეზზე. ოზონის ზემოქმედების მეტად მნიშვნელოვან შედეგს, როგორც ცალკე, ისე აზოტისა და გოგირდის ოქსიდებთან ნარევიში, წარმოადგენს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის, ტყის ზრდის შემცირება.

ოზონის საშიშროება, უპირველეს ყოვლისა, არის მისი, როგორც ძალიან ძლიერი დამჟანგველის ეფექტი[16]. ლაბორატორიული ცდებისას მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ ოზონი განსაკუთრებით ძლიერ შლის სპილენძს, ბრინჯაოს და კირქვას, რაც სერიოზულ საფრთხეს უქმნის, როგორც ისტორიულ ისე თანამედროვე არქიტექტურასა და ძეგლებს.

ამის მაგალითი იტალიაა, სადაც კირქვისაგან აგებული იტალიური არქიტექტურის ძეგლები იშლება საშუალოდ წელიწადში 5 მმ<sup>2</sup> სიჩქარით. რაც შეეხება სპილენძის ძეგლებს, რაც ძირითადად არის ქანდაკებები და შენობის გარკვეული დეტალები, ვითარება კიდევ უფრო რთულია. ოზონი იტალიის ტერიტორიის მხოლოდ 3%-ზე არ ჟანგავს სპილენძს, ხოლო ქვეყნის ტერიტორიის 97% ამგვარი ზემოქმედების ქვეშაა, რაც ნიშნავს, რომ იტალიაში არსებული სპილენძის ძეგლები ყოველ წელს კარგავს 6 გ სპილენძს 1 მ<sup>2</sup>-ზე.

## 1.8 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგს სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო აწარმოებს. საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგი დაიწყო გასული საუკუნის სამოციანი წლების ბოლოს. წლების განმავლობაში დაკვირვება წარმოებდა სტაციონარულ არაავტომატურ სადგურებზე. 2013 წლიდან გარემოს ეროვნულმა სააგენტომ თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად დაიწყო დაკვირვების ქსელის მოდერნიზაცია. საქართველოში ამოქმედდა პირველი ავტომატური სადგური. 2016 წლიდან რეგიონებში, ისევე როგორც დედაქალაქში დაიწყო არაავტომატური სადგურების შეცვლა თანამედროვე ავტომატური სადგურებით და ამასთანავე, ახალი სადგურების მონტაჟი. 2016 წელს ამოქმედდა ახალი ავტომატური სადგურები თბილისში, ჭიათურასა და ბათუმში, ხოლო 2017 წელს კი - ქუთაისსა და ბათუმში. დღეისთვის საქართველოში უკვე 8 ავტომატური სადგური ფუნქციონირებს[17].

ავტომატურ სადგურებზე 24 საათის განმავლობაში უწყვეტ რეჟიმში მიმდინარეობს ატმოსფერული ჰაერის დამბინძურებლების შემცველობის მონიტორინგი. ავტომატური სადგურებიდან ინფორმაციის მოწოდება უწყვეტად მიმდინარეობს, ხოლო არაავტომატური სადგურებიდან კი - თვეში ერთხელ.

ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის დადგენის მიზნით, საქართველოს ტერიტორიაზე 2015 წლიდან ასევე, წელიწადში ოთხჯერ, ტარდება ინდიკატორული გაზომვები. მეთოდოლოგიის შესაბამისად გარკვეული პერიოდის (ორი კვირა) განმავლობაში სხვადასხვა დასახლებული პუნქტების წინასწარ შერჩეულ წერტილებში წარმოებს ინდიკატორული მილაკების განთავსება. ხდება სხვადასხვა დამბინძურებლებზე (აზოტისა და გოგირდის დიოქსიდები, ოზონი და ბენზოლი) სინჯების აღება. შემდეგ მილაკების ანალიზი ტარდება დიდი ბრიტანეთის გაერთიანებული სამეფოს აკრედიტირებულ ლაბორატორიაში. მიღებული კონცენტრაციების მნიშვნელობების შეფასება წარმოებს

ევროკავშირის ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის ინდექსებთან ჰარმონიზებული სისტემით[18].

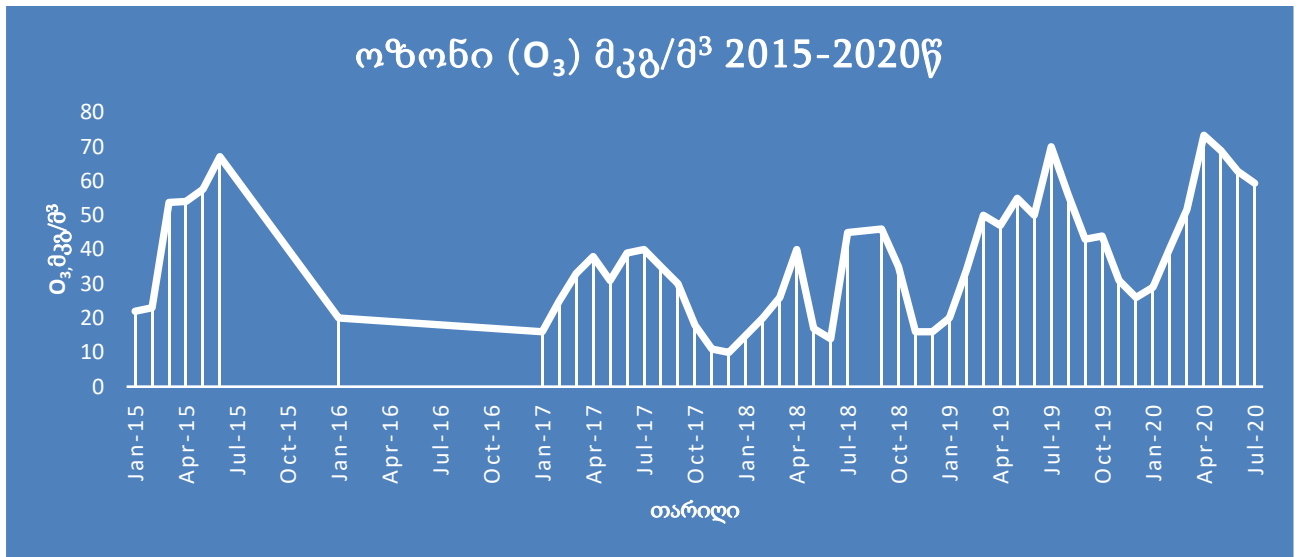
2010 წლიდან თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის გაზომვა დაიწყო. იმავე წელს დაიწყო ქუთაისსა და ბათუმში ნახშირბადის მონოოქსიდის, ხოლო რუსთავში ნახშირბადის მონოოქსიდისა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის გაზომვები. 2014 წელს ქუთაისში დამატებულ იქნა ტყვიის, ხოლო რუსთავში მტვერის და ტყვიის გაზომვები.

**ცხრილი 3 - ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვების პუნქტების რაოდენობა.**

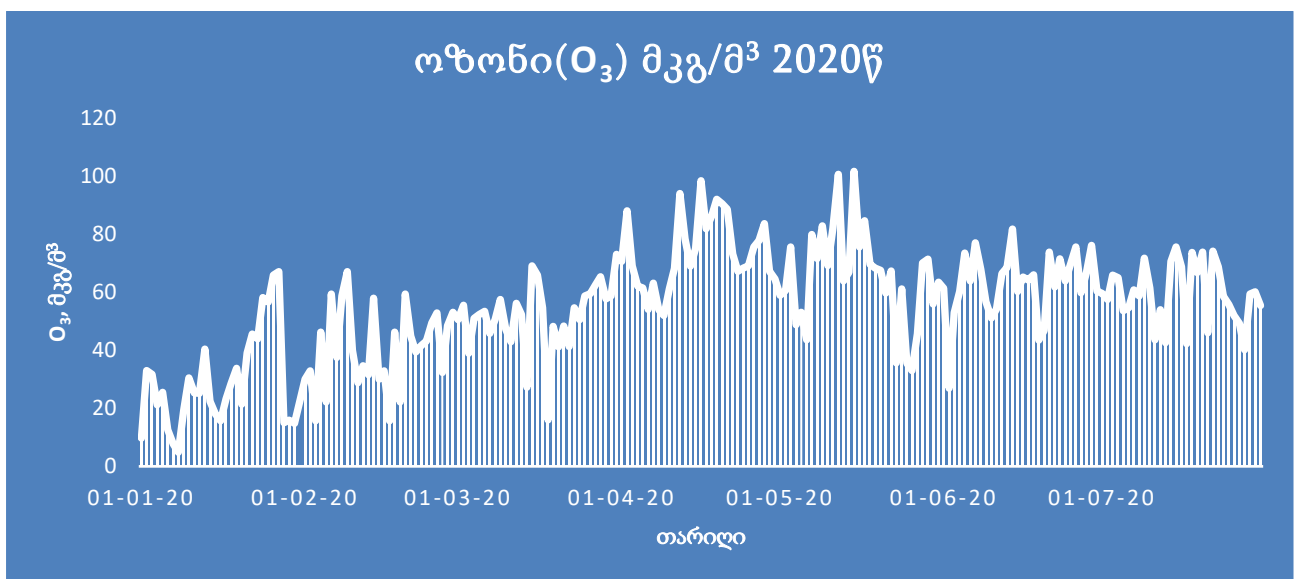
ქალაქის დასახელება	არაავტომატური ჯიხურების რაოდენობა	ავტომატური სადგურების რაოდენობა
თბილისი	-	4
რუსთავი	1	-
ქუთაისი	1	1
ბათუმი	1	2
ზესტაფონი	1	-
ჭიათურა	-	1
სულ.	4	8

თბილისში განისაზღვრება შემდეგი დამაბინძურებელი ნივთიერებები: მტვერი, ნახშირბადის მონოოქსიდი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის ოქსიდები, მიწისპირა ოზონი და ტყვია; ბათუმში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი და ნახშირბადის მონოოქსიდი; ქუთაისში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის მონოოქსიდი და დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და ტყვია; ზესტაფონში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და მანგანუმის დიოქსიდი; რუსთავში - მტვერი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და ტყვია.

გრაფიკი 1. ოზონის კონცენტრაცია 2015-2020წ(გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები).



გრაფიკი 2. ოზონის კონცენტრაცია 2020წ(გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები).



## 2 ექსპერიმენტალური ნაწილი

### 2.1 ბიუჯეტური სენსორების გამოყენება ატმოსფეროს ანალიზისთვის

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 ენერჯიებისა და კლიმატის ინსტიტუტის - ტროპოსფეროს (ინსტიტუტის აბრევიატურაა FZJ IEK-8) და თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტს შორის. ლაბორატორია განთავსებულია თსუ II კორპუსის 353 ოთახში.

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.

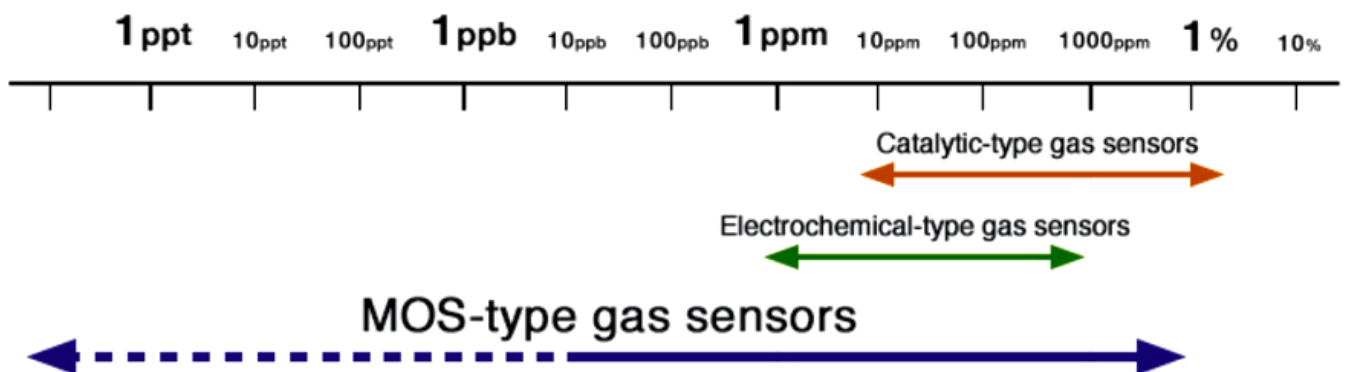
სენსორები, რომლებიც გამოვიყენეთ ჰაერის ხარისხის მონიტორინგისთვის გამოიყენება ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის შეფასებისა და კონტროლისთვის. ამ ტიპის სენსორები ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ახალი ტენდენციაა და შეუძლია ხელი შეუწყოს ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის სადგურებს განვითარებაში. ბიუჯეტური სენსორები იყენებენ 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.

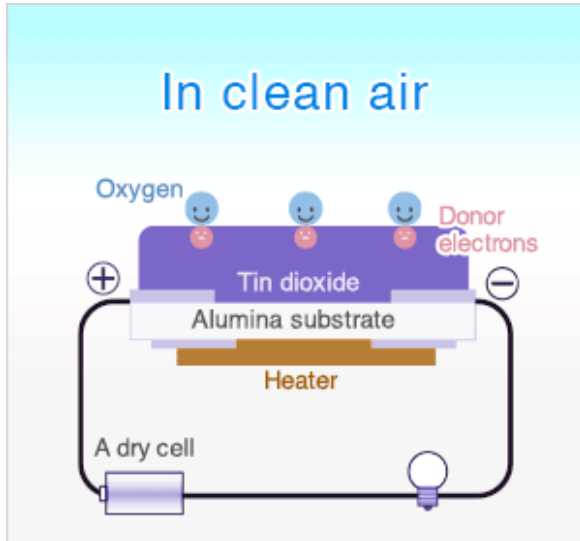
### 2.1.1 ბიუჯეტური სენსორის მუშაობის პრინციპი

ოზონის განსაზღვრისთვის ჩვენს ექსპერიმენტში გამოვიყენეთ Alphasense-ის P-ტიპის ლითონის ოქსიდის ნახევარგამტარული სენსორები (MOS). რომელსაც შეუძლია აირების მრავალფეროვანი სპექტრის დადგენა. მისი როლი განსაკუთრებით დიდია CO, H2S და VOC-ების (არასტაბილური ორგანული ნაერთების) გამოვლენისთვის. მისი მუშაობის ტემპერატურული დიაპაზონია 0-120°C, და გააჩნია კონცენტრაციის ფართო დიაპაზონის გაზომვის უნარი(იხ.სურათი 2).

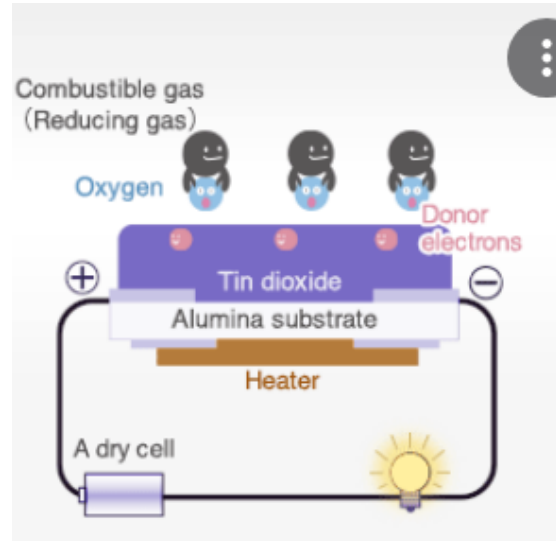


სურათი 2. MOS ტიპის სენსორის გაზომვის დიაპაზონის შედარება სხვა ტიპის სენსორებთან

### ნაბიჯი პირველი



### ნაბიჯი მეორე



სურათი 3. MOS-სენსორის მუშაობის პრინციპი

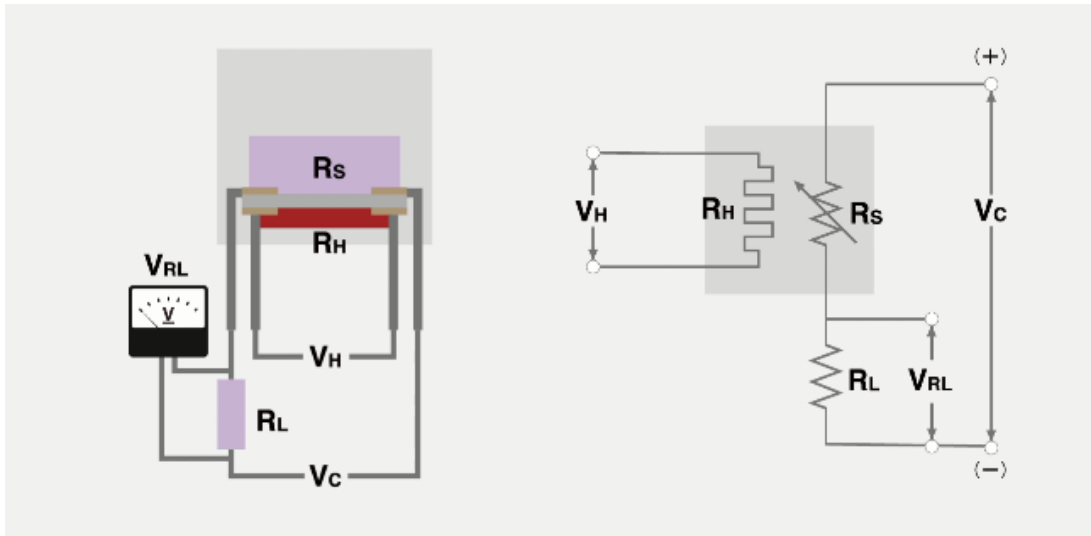
ნაბიჯი პირველი - სუფთა ჰაერში დონორ ელექტრონები კალის დიოქსიდში იზიდავს ჟანგბადს, რომელიც ადსორბირდება მგრძნობიარე მასალის ზედაპირზე, რაც ხელს უშლის ელექტრონების ნაკადს.

ნაბიჯი მეორე - სუფთა ჰაერში წარმოქმნილი ადსორბირებული ჟანგბადის კონტაქტისას ოზონთან, ადსორბირებული ჟანგბადის ზედაპირული სიმკვრივე იკლებს. რის შედეგადაც ელექტრონები გამოიყოფა კალის დიოქსიდში, რაც ელექტრონების დინებას აძლევს ადდგენის საშუალებას.

როდესაც ჰაერში ნახევარგამტარული ნაწილაკები (როგორც წესი, კალის დიოქსიდი) მაღალ ტემპერატურაზე თბება, ჟანგბადი ადსორბირდება მგრძნობიარე მასალის ზედაპირზე თავისუფალი ელექტრონების ჩაჭერით. ამგვარად წარმოქმნილი გამოფიტვის ფენა მეტწილად დამოკიდებულია გამოყენებული ნახევარგამტარული ნაწილაკების რადიუსზე. თუ ის ისეთივე მცირეა, როგორც ჩვეულებრივ გამოიყენება გაზის სენსორებში (ათობით ნანომეტრი), გამოფიტვა შეიძლება გაგრძელდეს თითოეული ნაწილაკის მთელ არეზე (მოცულობის შემცირება, მაღალი მგრძნობელობა). თუ ზომა გაცილებით დიდია, მეორეს მხრივ, გამოფიტვა ხდება პირობითად თითოეული ნაწილაკის პერიფერიაზე (რეგიონალური გამოფიტვა, დაბალი მგრძნობიარე)[21].

სუფთა ჰაერში წარმოქმნილი ადსორბირებული ჟანგბადი დაიხარჯება ოზონთან კონტაქტისას, რის შედეგადაც შემცირდება წინალობა(R), წინალობის შემცირება გამოიყენება ოზონის კონცენტრაციის შესაფასებლად. ოზონის არარსებობისას სენსორი

აღადგენს წინაღობის თავდაპირველ დონეს. გამოვლენის ასეთი მექანიზმი გაზის სენსორებში მოქმედებს კალის დიოქსიდის საფუძველზე (სენსორის სქემა იხ.სურათი 4).



სურათი 4. MOS ტიპის სენსორის სქემა

სენსორის წინაღობის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$R_s = (V_c - V_{RL}) / V_{RL} * R_L$$

$R_s$  – Sensor resistance

$V_H$  – Heater voltage

$V_c$  – circuit voltage

$R_H$  – Heater resistance

$R_L$  – fixed Load resistor

$V_{RL}$  – the sensor output signal is measured as the voltage

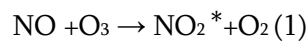
### 2.1.2 გარემოს ეროვნული სააგენტოს ანალიზატორის მუშაობის პრინციპი

მოდელი T265 შექმნილია ოზონის კონცენტრაციის გასაზომად.

ატმოსფერული ანალიზების ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ქიმიური მეთოდი არის ქემილუმინესცენციური მეთოდი. ქემილუმინესცენცია, ეს არის ქიმიური რეაქციის შედეგად სინათლის გამოსხივების მოვლენა. ფლოუორესცენტული ნივთიერებები წარმოადგენენ რეაქციის საწყის რეაგენტებს, ან პროდუქტებს. ეს მოვლენა საშუალებას

გვაძლევს განვსაზღვროთ ატმოსფეროს შემადგენლობაში შემავალი მრავალი ნივთიერება. ქემილუმინესცენციური მეთოდით იკვლევენ მაგალითად O<sub>3</sub>-ის შემცველობას მისი რეაქციით სხვადასხვა თხევად თუ მყარ საღებავთან. ეს მეთოდები ძალზე სწრაფი და მარტივია, უფრო ზუსტი და საიმედო შედეგებისთვის, იყენებენ O<sub>3</sub>-ის NO-სთან ქემილუმინესცენციურ რეაქციას, ასევე შებრუნებითაც, NO და NO<sub>2</sub>-ის შემცველობა იზომება მათი O<sub>3</sub>-თან რეაქციით.

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 ადგზნებულ მდგომარეობაში მყოფ NO<sub>2</sub>-ად, რომელიც შემდგომში ასხივებს ჭარბ ენერგიას ფოტონების სახით. გამოსხივებული ენერგია პირდაპირპროპორციულია ოზონის კონცენტრაციის.



NO<sub>2</sub>\*-ის გამოსხივების ინტენსივობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, რადგანაც ტემპერატურის გავლენით იცვლება ადგზნებული აზოტის დიოქსიდის წარმოქმნის სიჩქარე (კერძოდ, იზრდება ტემპერატურის გაზრდისას). გამოსხივებული ტალღის სიგრძეა 590 ნმ-დან 1100 ნმ-მდე.[1]



სურათი 5. ოზონის ანალიზატორი მოდელი T265.

### 3 ანალიზის მსველობა და შედეგები

კვლევები ჩატარებულ იქნა - SMART|AtmoSim\_LAB-ის ბაზაზე, როგორც ზევითაა აღნიშნული გაზომვებისთვის გამოვიყენეთ Alphasense-ის P- ტიპის ლითონის ოქსიდის ნახევარგამტარული სენსორები (MOS)(იხ.სურათი 6). კვლევის პერიოდი მოიცავდა 1 აპრილიდან - 7 ივლისის პერიოდს. გაზომილ მონაცემებს ვადარებდით გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჯიხურებიდან აღებულ მონაცემებს, სადაც დამონტაჟებული იყო ოზონის (O<sub>3</sub>)ანალიზატორი (Model T265 with NumaView™ Software Chemiluminescence O<sub>3</sub> Analyzer)(იხ.სურათი 7). მონაცემების ექსპორტირება ხდებოდა “Grafana labs”-ის, ხოლო დამუშავება “Microsoft Excel”-ის საშუალებით.



სურათი 6. „USM SOWA „



სურათი 7. წერეთლის სადგური

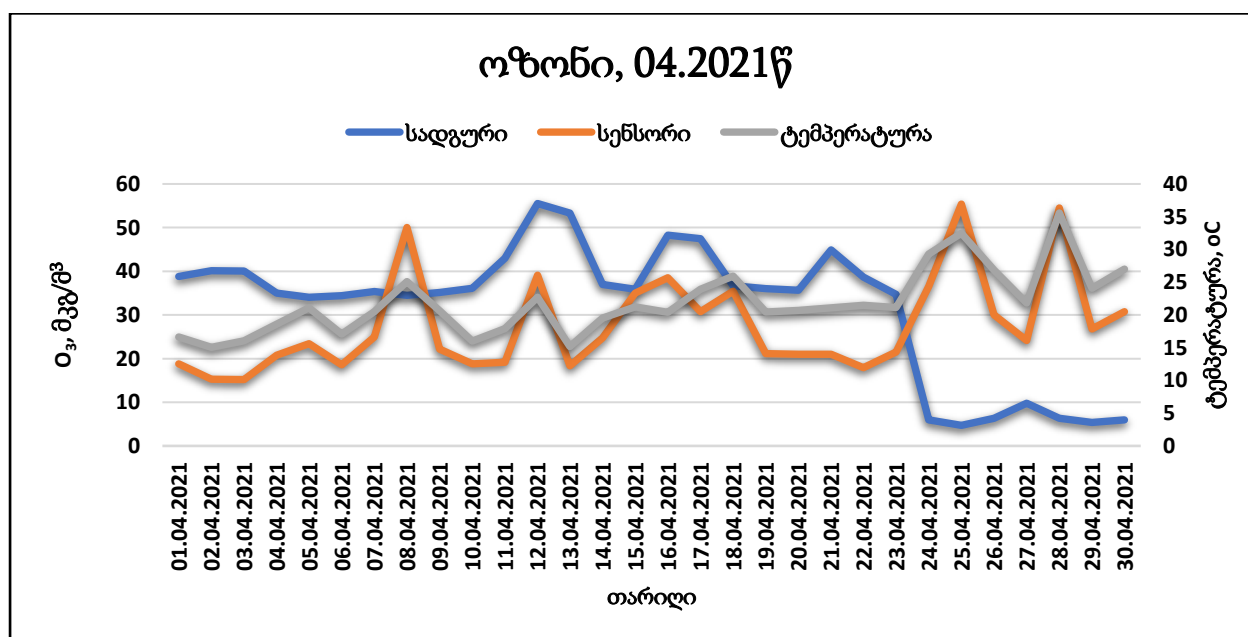
#### ილიას ბაღში არსებული გარემოს ეროვნული სააგენტოს სადგური

2021 წლის აპრილი-მაისის პერიოდში ჩვენი სენსორი დამონტაჟებული იყო ილიას ბაღში არსებულ გარემოს ეროვნული სააგენტოს სადგურზე. ამ პერიოდის განმავლობაში აღნიშნულ სადგურში არ იზომებოდა ოზონი. შესაბამისად ვერ მოხერხდა ჩვენი სენსორის მონაცემებისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემების შედარება. ამიტომ ჩვენი მონაცემები შევადარეთ 2020 წლის აპრილი-მაისის პერიოდის, იგივე ლოკაციიდან აღებულ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემებს(იხ. გრაფიკი 3;4). კვლევის პერიოდში მიღებული შედეგების სტატისტიკური დამუშავების შედეგად დადგინდა, რომ ჩვენი საკვლევი სენსორი აჩვენებს დაახლოებით 15-ჯერ გადიდებულ შედეგებს სადგურის

მონაცემებთან შედარებით. ამიტომ შემოვიტანეთ კოეფიციენტი-15 და ჩვენი ყველა მონაცემი გავყავით 15-ზე. გრაფიკზე 3 და 4 წარმოდგენილია კოეფიციენტით დაკორექტირებული მონაცემები.

როგორც მესამე და მეოთხე გრაფიკზე ჩანს, მიუხედავად იმისა, რომ შედარებულია სხვადასხვა წლის მონაცემები, სადგურის და სენსორის საშუალოები მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისგან.

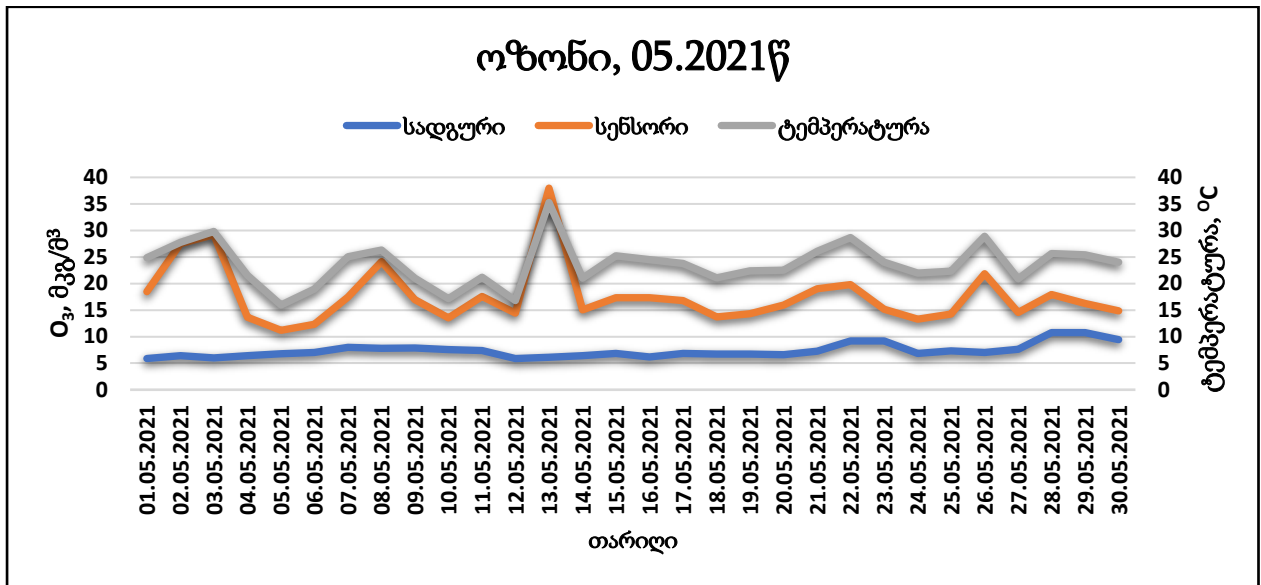
გრაფიკი 3. ბიუჯეტური სენსორით 2021 წლის აპრილის თვეში გაზომილი ოზონის კონცენტრაციის შედარება სადგურის 2020 წლის აპრილის მონაცემებთან



სადგურის საშუალო - 31,8 მკგ/მ³

სენსორის საშუალო - 27,7მკგ/მ³

გრაფიკი 4. ბიუჯეტური სენსორით 2021 წლის მაისის თვეში გაზომილი ოზონის კონცენტრაციის შედარება სადგურის 2020 წლის აპრილის მონაცემებთან



სადგურის საშუალო - 7,4 მკგ/მ<sup>3</sup>

სენსორის საშუალო - 17,7მკგ/მ<sup>3</sup>

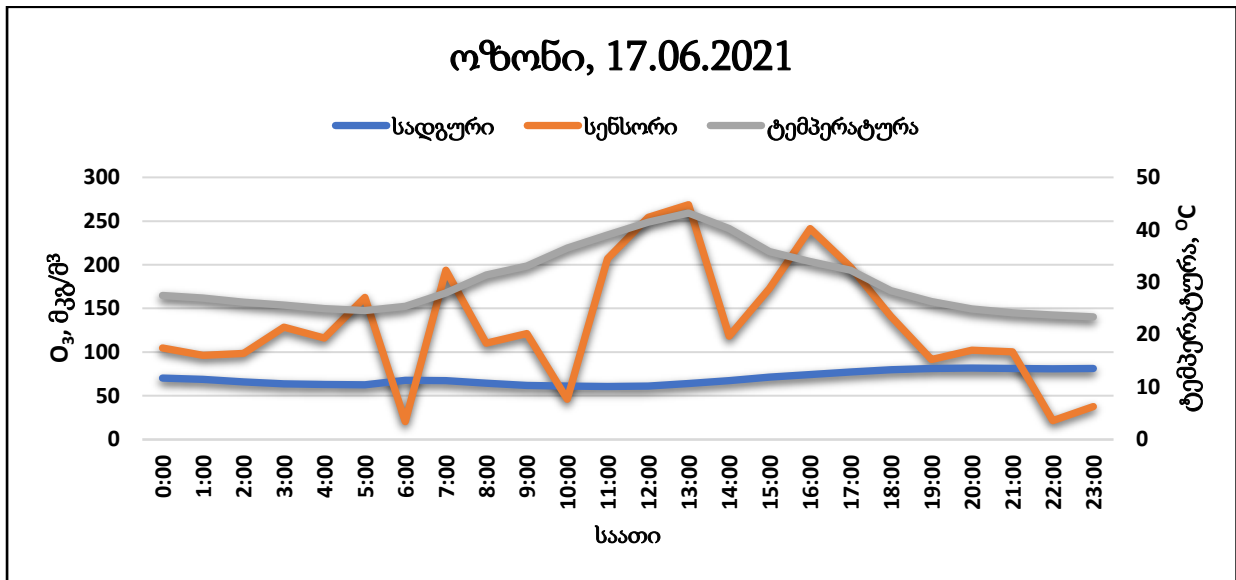
#### წერეთლის გამზირზე არსებული გარემოს ეროვნული სააგენტოს სადგური

წერეთლის გამზირზე არსებულ გარემოს ეროვნული სააგენტოს სადგურზე ჩვენი საკვლევი სენსორები დავამონტაჟეთ 2021 წლის 17 ივნისს. გაზომვების პერიოდი მოიცავდა 17 ივნისიდან 7 ივლისის პერიოდს. ვაწარმოებდით 24 საათიან გაზომვებს. აღნიშნული სადგურის ოზონის სენსორიც მუშაობდა გამართულად, შესაბამისად მოგვეცა საშუალება ერთმანეთისთვის შეგვედარებინა სადგურისა და ჩვენი სენსორის მონაცემები.

აღნიშნული სადგურის შერჩევა მოხდა იმ კუთხით, რომ იგი დგას გზის პირას და აწერეთლის ქუჩა ერთ-ერთი პირველია დაბინძურების კუთხით თბილისში.

ჩვენი სენსორი 24 საათის განმავლობაში იღებდა წუთში ერთ ანათვალს, მონაცემების ექსპორტირებას ვახდენდით “Grafana labs”-ის საშუალებით. ვინაიდან წერეთლის სადგურში არსებული ანალიზატორი იღებდა საათში ერთ ანათვალს, შედარებისთვის მოგვიწია ჩვენი მონაცემების გასაშუალოება. როგორც ზევითაა აღნიშნული ამ შემთხვევაშიც ჩვენი სენსორი იძლეოდა გადიდებულ შედეგებს, ამიტომ მონაცემების დამუშავებისას შემოვიტანეთ კოეფიციენტი -15. მონაცემების ანალიზი იხილეთ გრაფიკებზე 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26.

**გრაფიკი 5. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 17.06.2021 წლის მონაცემების შედარება**



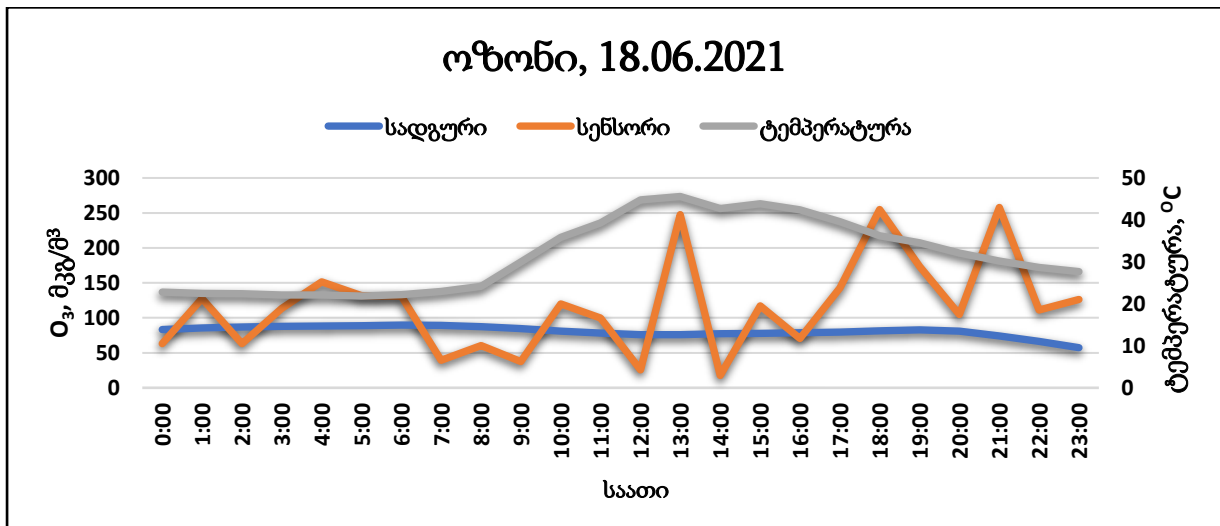
ექსპერიმენტის ცდომილება - 87%;

სადგურის საშუალო - 70 მკგ/მ<sup>3</sup>;

სენსორის საშუალო - 131მკგ/მ<sup>3</sup>;

კორელაციის კოეფიციენტი - -0,3.

გრაფიკი 6. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 18.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 44%;

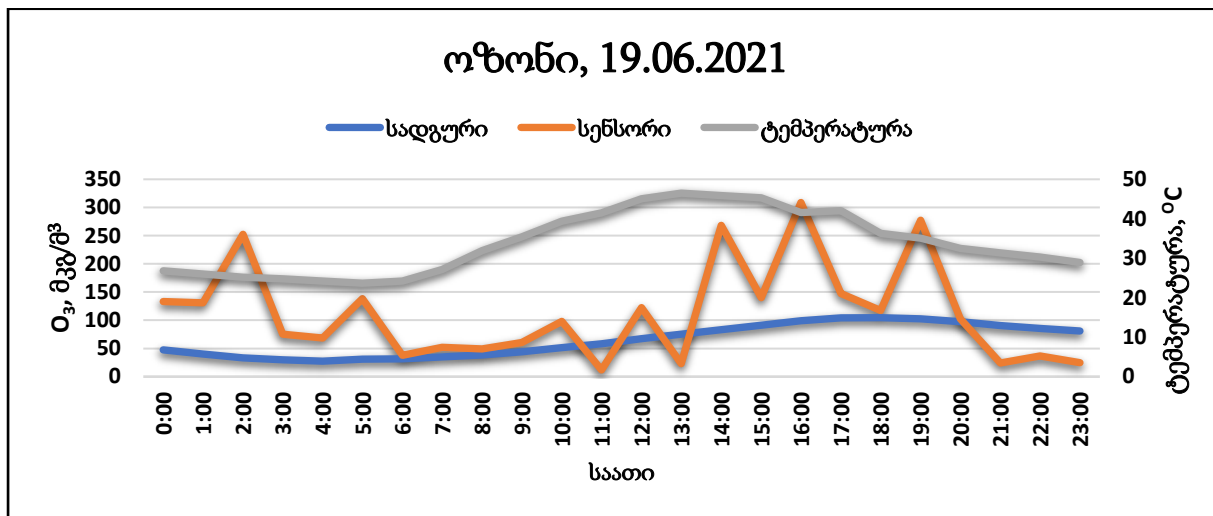
სადგურის საშუალო - 81 მკგ/მ<sup>3</sup>;

სენსორის საშუალო - 116მკგ/მ<sup>3</sup>;

კორელაციის კოეფიციენტი - -0,2.

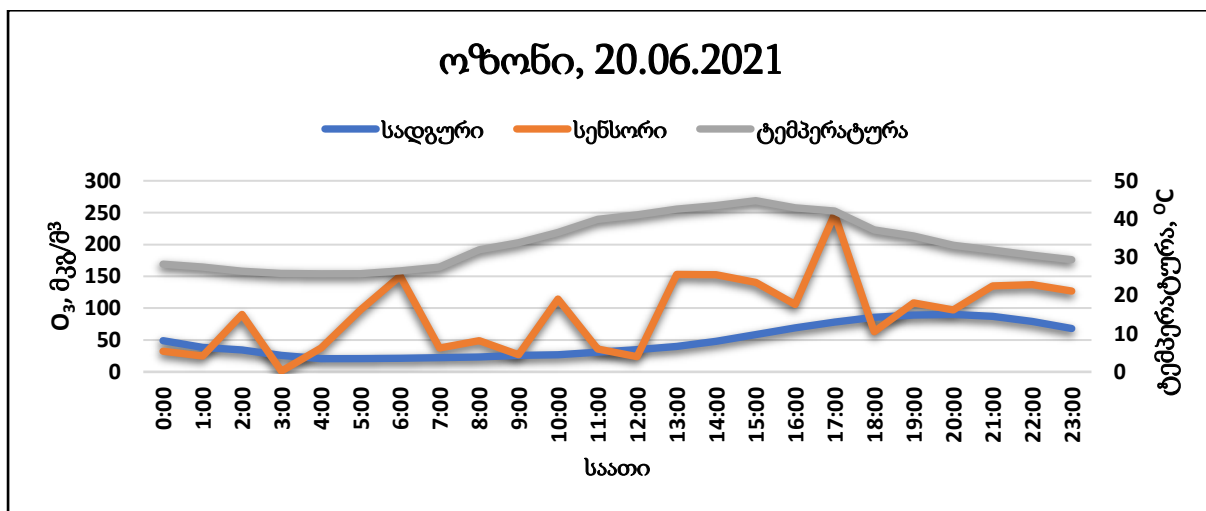


გრაფიკი 7. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 19.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



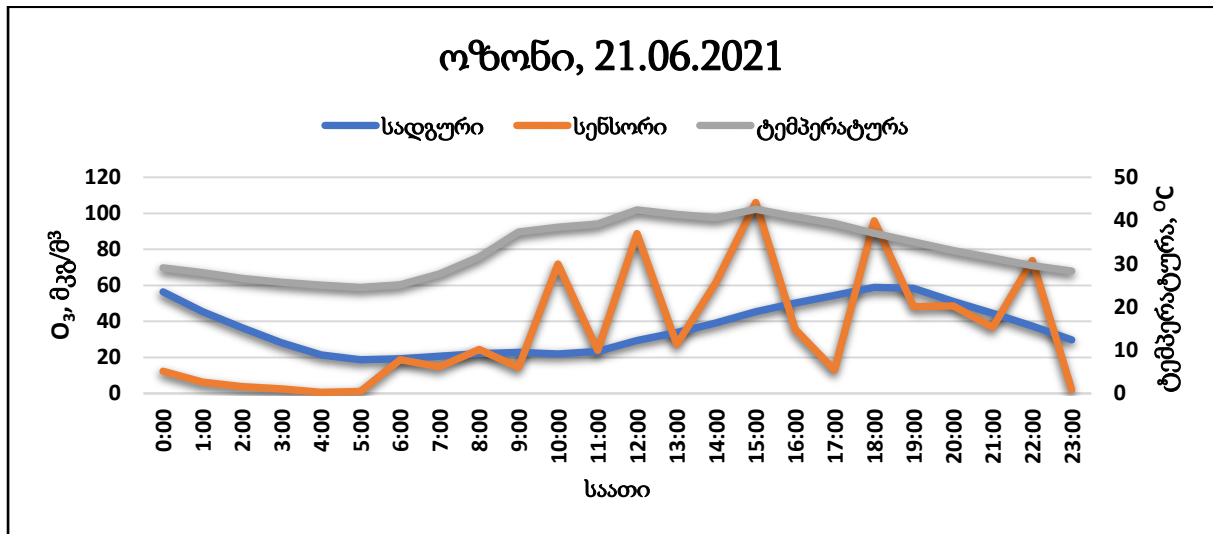
ექსპერიმენტის ცდომილება - 75%;  
 სადგურის საშუალო - 64 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 112 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,3.

გრაფიკი 8. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 20.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



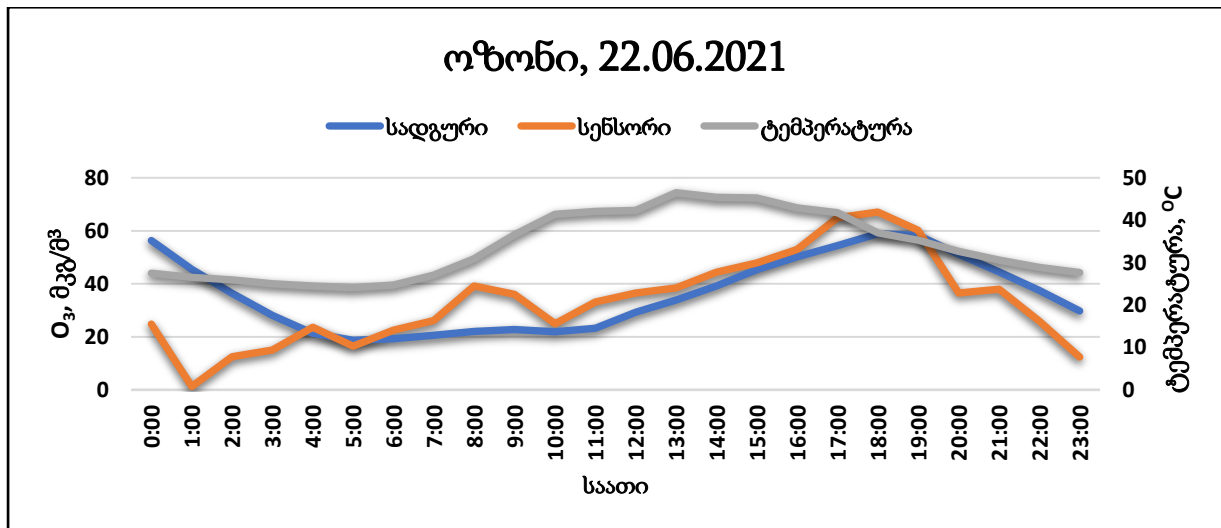
ექსპერიმენტის ცდომილება - 87%;  
 სადგურის საშუალო - 49 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 91 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,5.

გრაფიკი 9. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 21.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



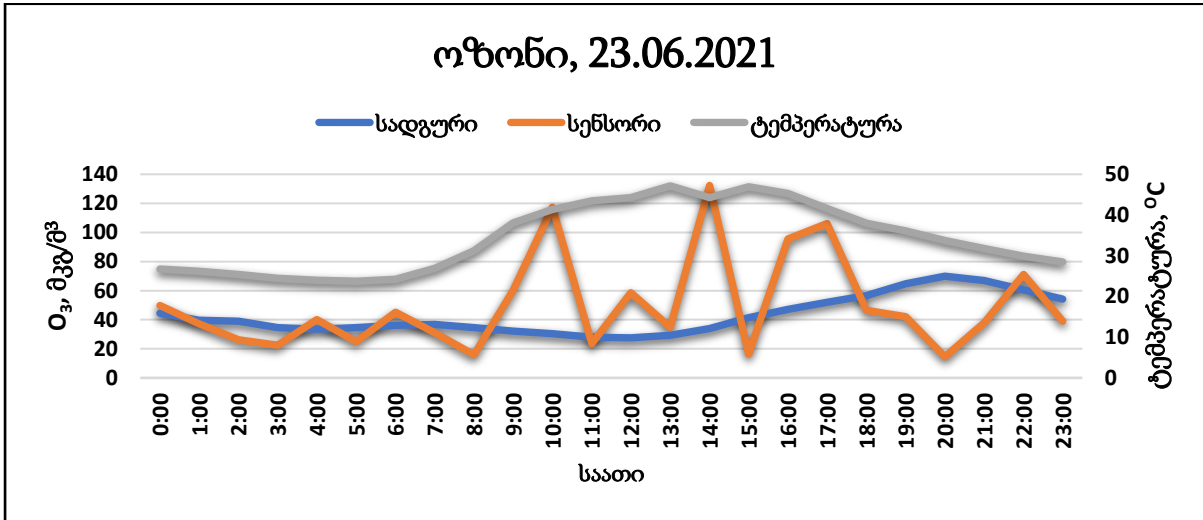
ექსპერიმენტის ცდომილება - 4%;  
 სადგურის საშუალო - 36 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 35 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,3.

გრაფიკი 10. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 22.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



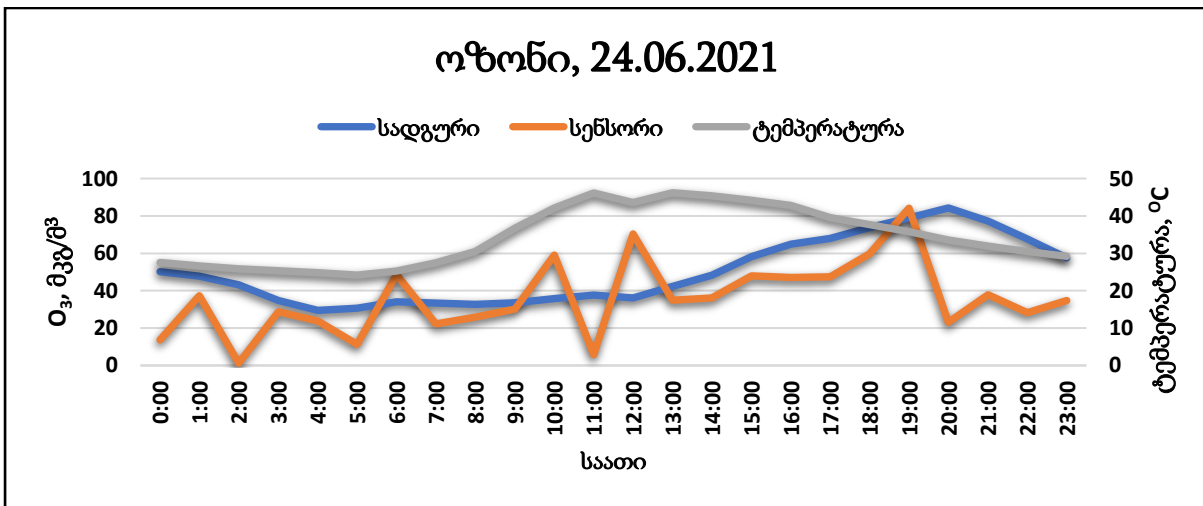
ექსპერიმენტის ცდომილება - 8%;  
 სადგურის საშუალო - 36 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 33 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,5.

გრაფიკი 11. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 23.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



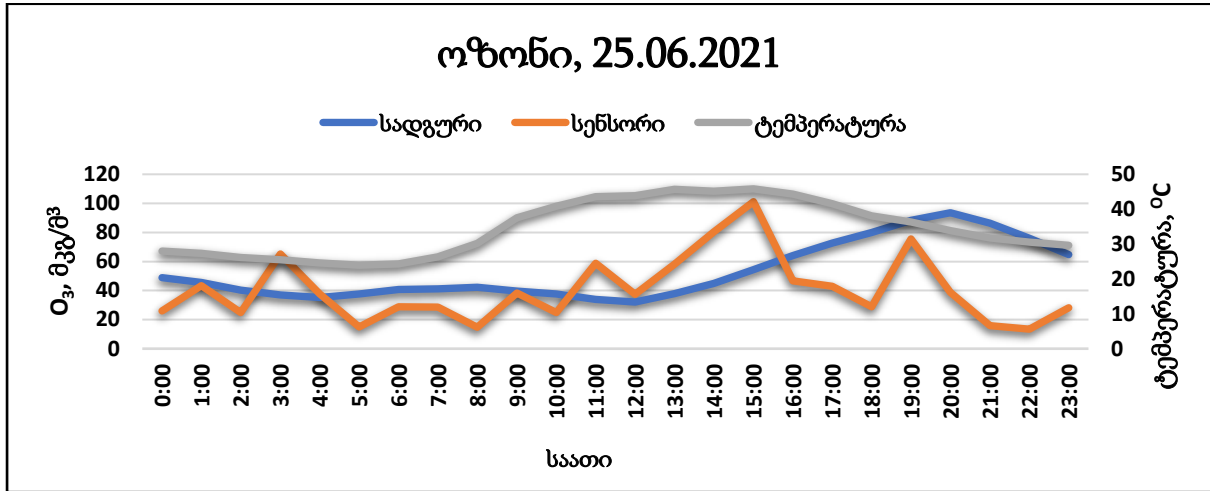
ექსპერიმენტის ცდომილება - 16%;  
 სადგურის საშუალო - 43 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 49 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,1.

გრაფიკი 12. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 24.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 28%;  
 სადგურის საშუალო - 50 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 35 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,4.

გრაფიკი 13. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 25.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



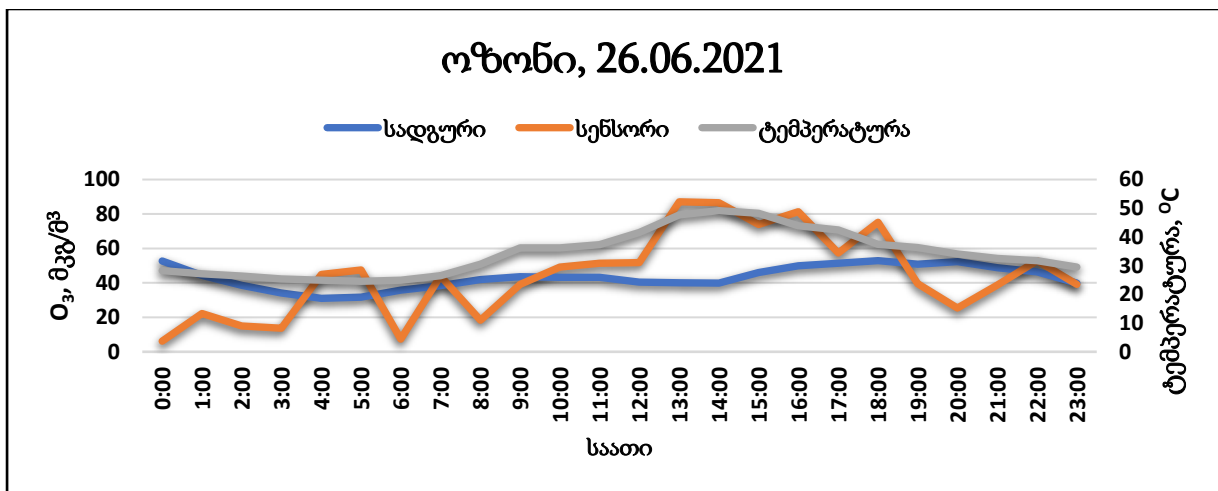
ექსპერიმენტის ცდომილება - 24%;

სადგურის საშუალო - 53 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 41 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,1.

გრაფიკი 14. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 26.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



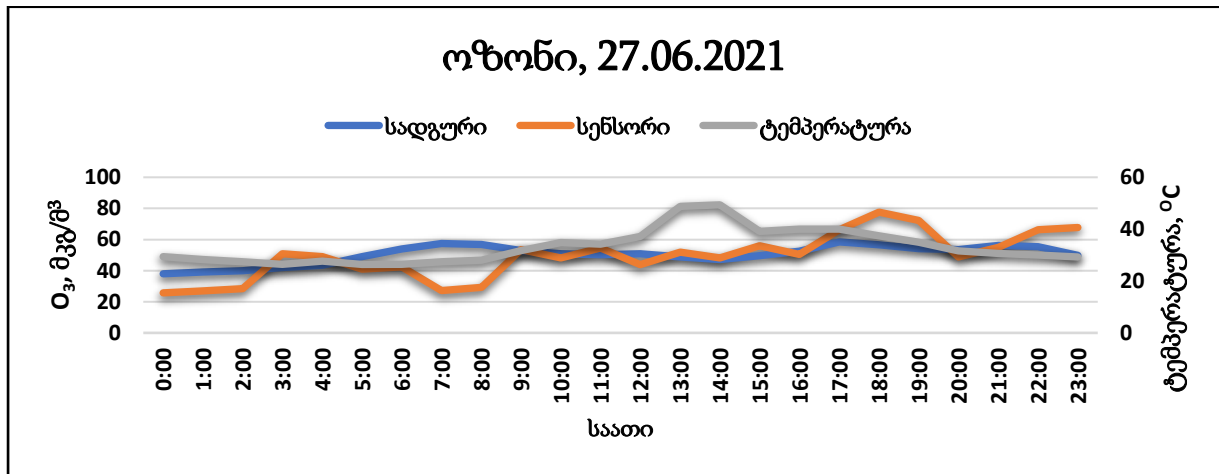
ექსპერიმენტის ცდომილება - 3%;

სადგურის საშუალო - 43 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 44 მკგ/მ3;

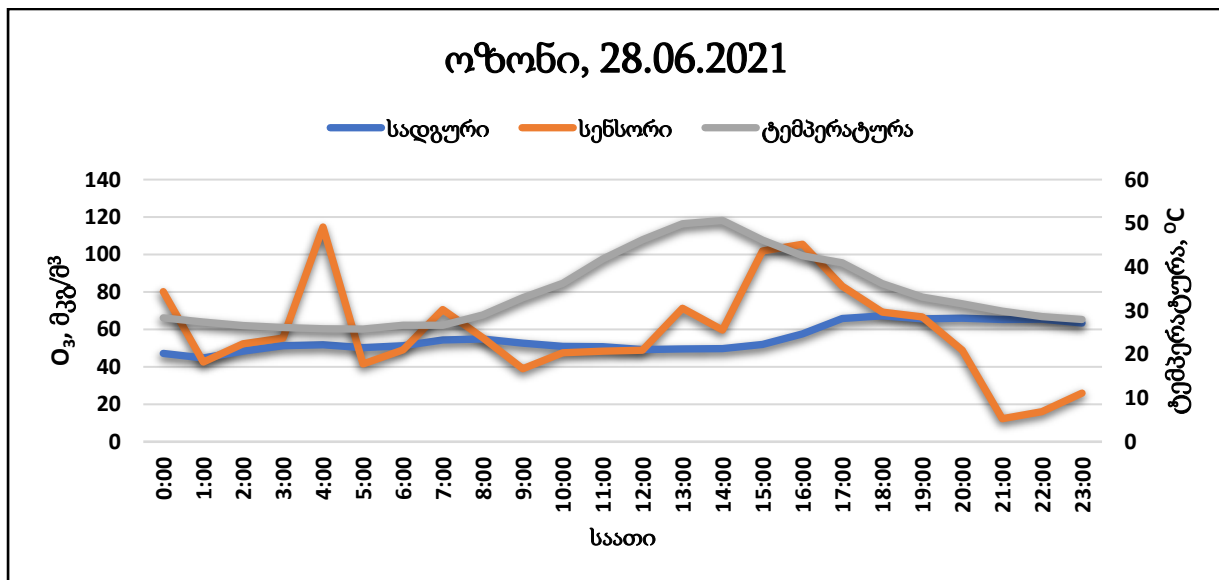
კორელაციის კოეფიციენტი - 0,2.

გრაფიკი 15. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 27.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 2%;  
 სადგურის საშუალო - 50 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 49 მკგ/მ3;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,5.

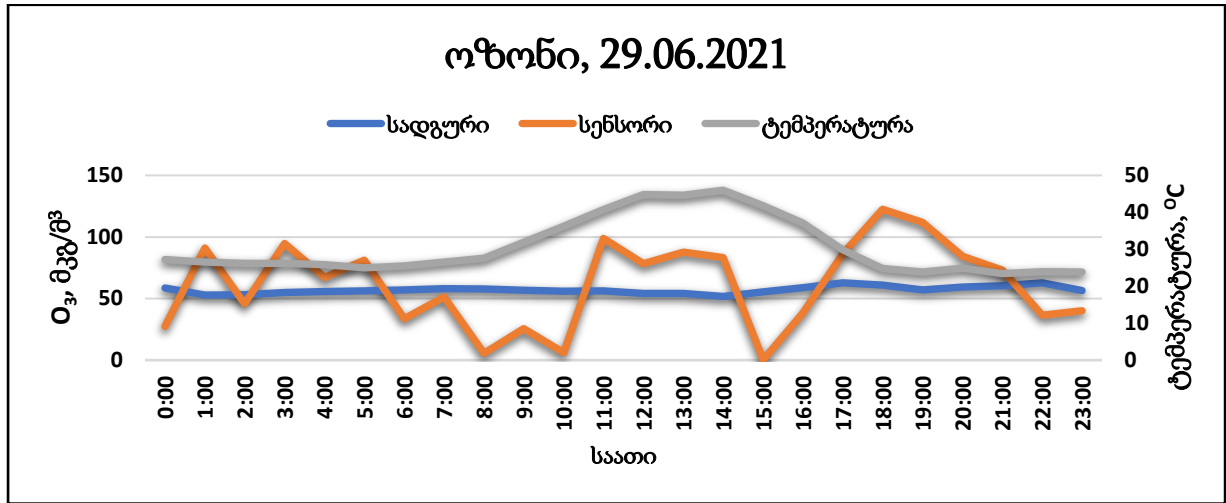
გრაფიკი 16. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 28.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 6%;  
 სადგურის საშუალო - 55 მკგ/მ3;  
 სენსორის საშუალო - 59 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,2.

გრაფიკი 17. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 29.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



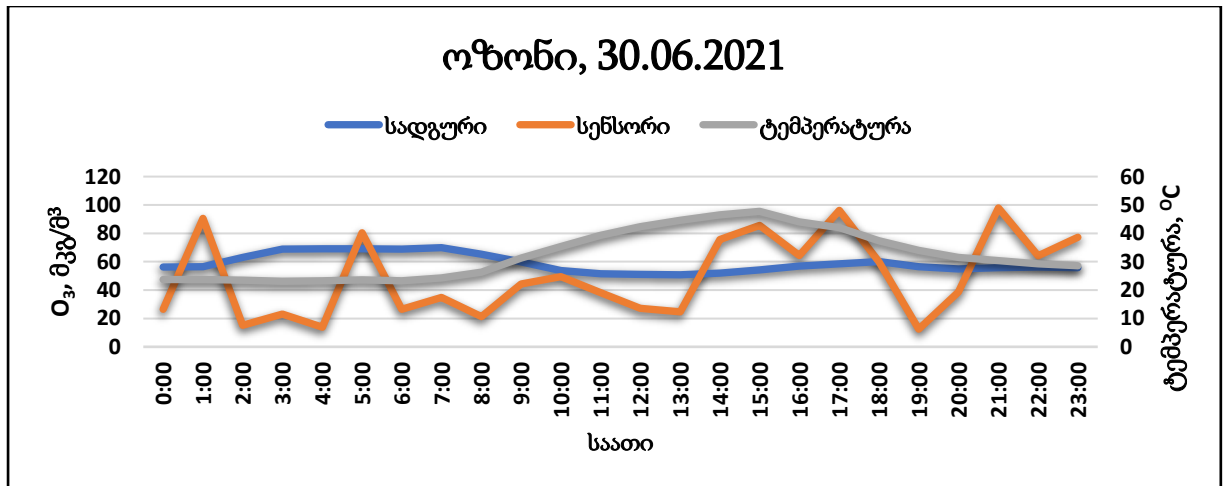
ექსპერიმენტის ცდომილება - 7%;

სადგურის საშუალო - 57 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 61 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,1.

გრაფიკი 18. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 30.06.2021 წლის მონაცემების შედარება



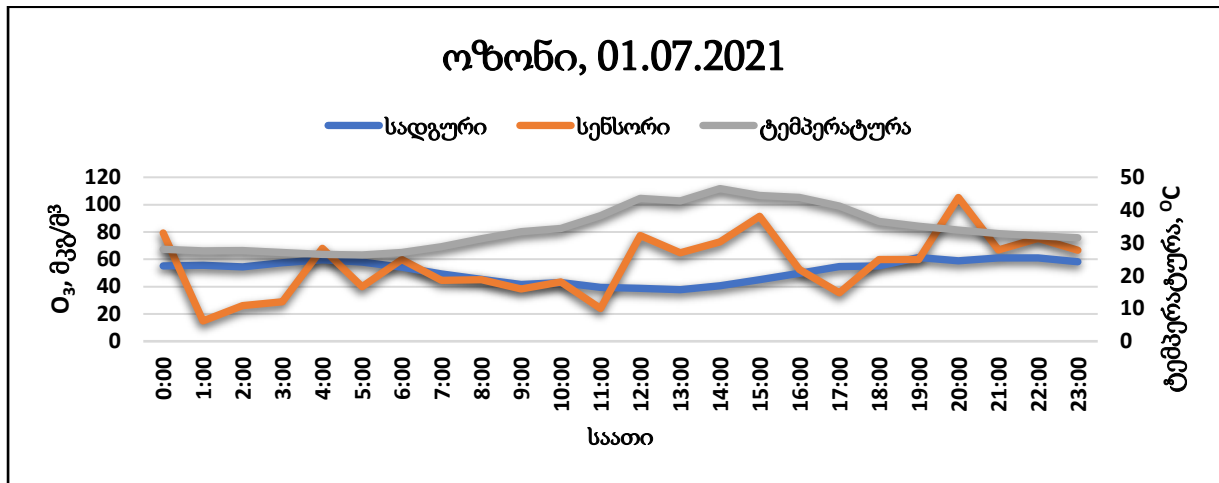
ექსპერიმენტის ცდომილება - 16%;

სადგურის საშუალო - 59 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 50 მკგ/მ3;

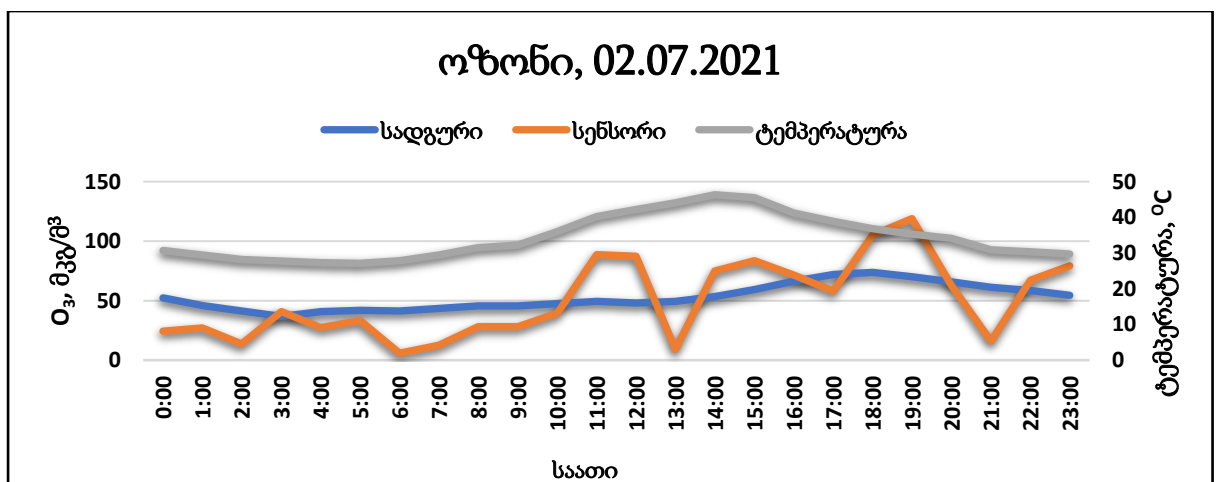
კორელაციის კოეფიციენტი - 0,3.

გრაფიკი 19. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 01.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



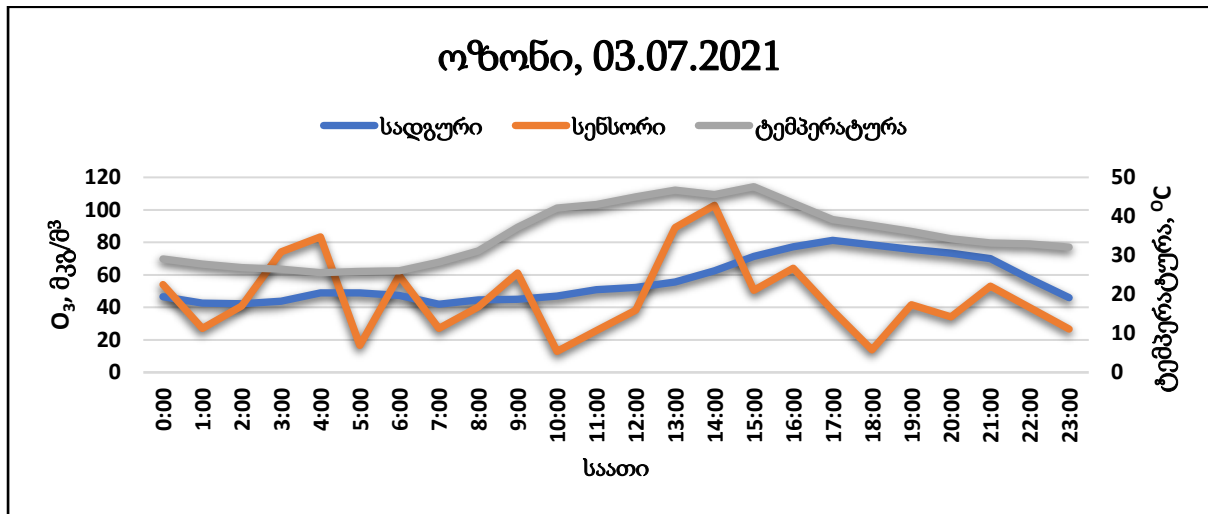
ექსპერიმენტის ცდომილება - 9%;  
 სადგურის საშუალო - 52 მკგ/მ<sup>3</sup>;  
 სენსორის საშუალო - 56 მკგ/მ<sup>3</sup>;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,1.

გრაფიკი 20. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 02.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 5%;  
 სადგურის საშუალო - 53 მკგ/მ<sup>3</sup>;  
 სენსორის საშუალო - 50 მკგ/მ<sup>3</sup>;  
 კორელაციის კოეფიციენტი - 0,6.

გრაფიკი 21. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 03.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



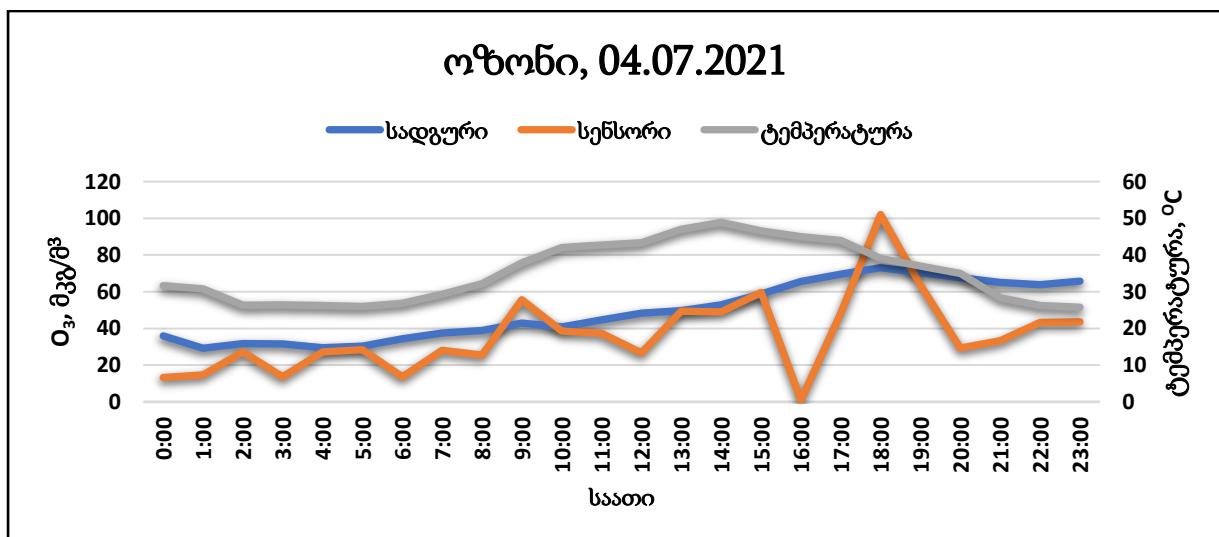
ექსპერიმენტის ცდომილება - 18%;

სადგურის საშუალო - 56 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 46 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,1.

გრაფიკი 22. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 04.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 26%;

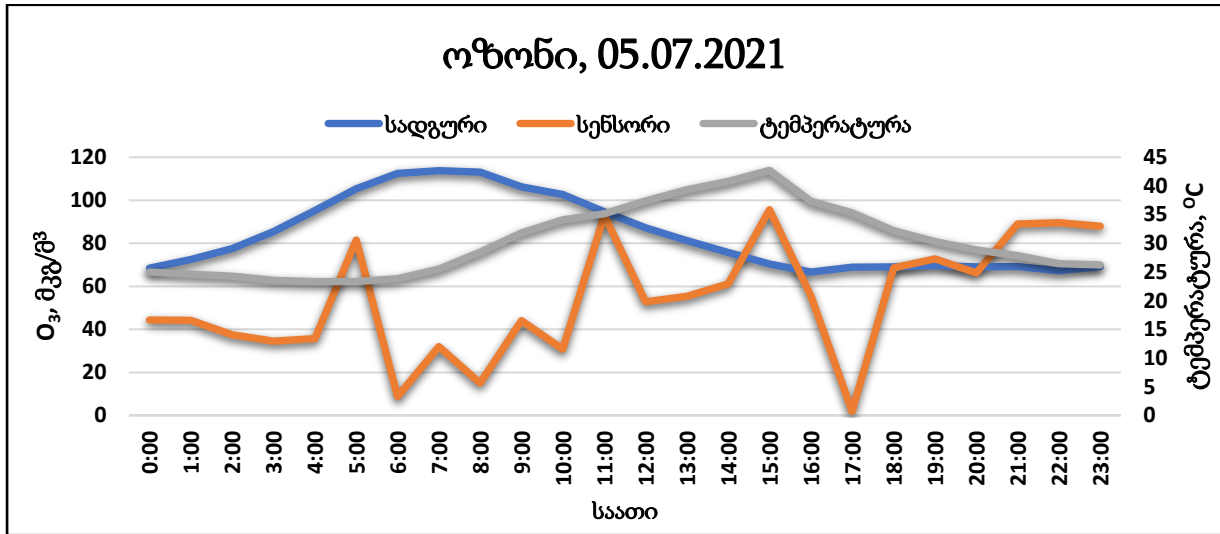
სადგურის საშუალო - 49 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 36 მკგ/მ3;



კორელაციის კოეფიციენტი - 0,6.

გრაფიკი 23. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 05.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



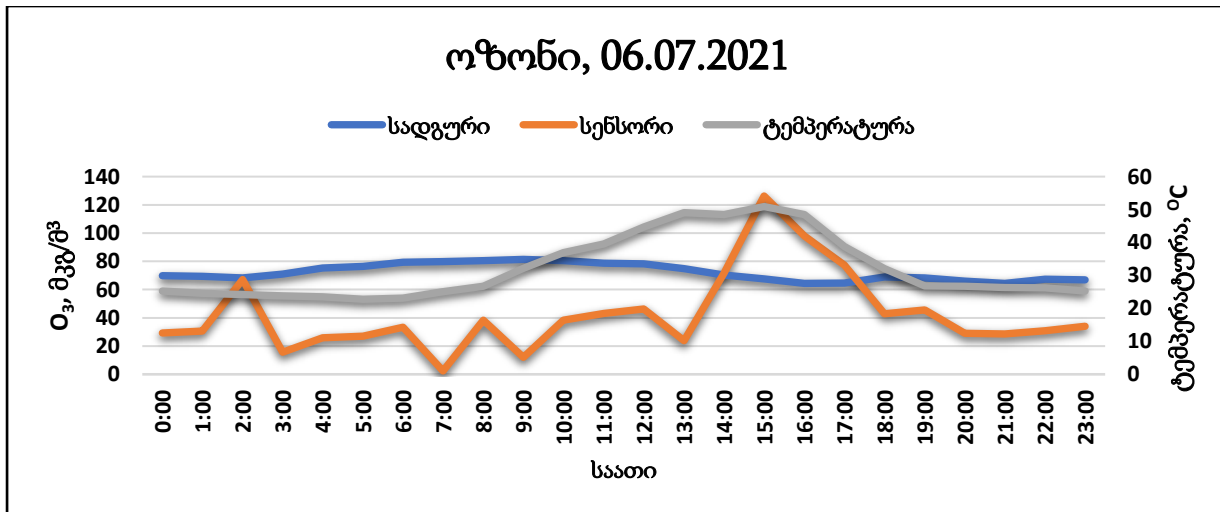
ექსპერიმენტის ცდომილება - 35%;

სადგურის საშუალო - 84 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 54 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,4.

გრაფიკი 24. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 06.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



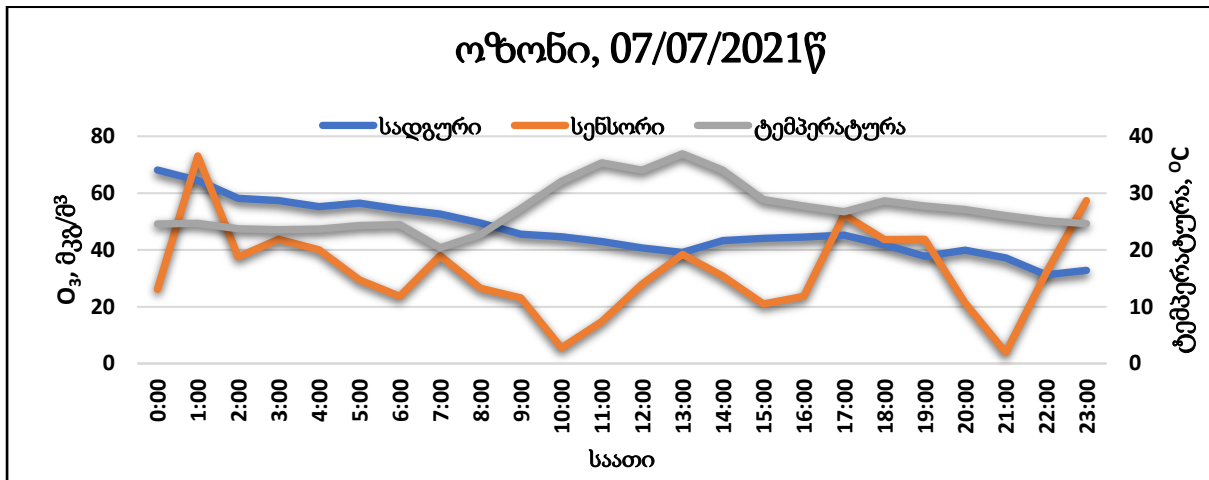
ექსპერიმენტის ცდომილება - 41%;

სადგურის საშუალო - 72 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 42 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - -0,5.

გრაფიკი 25. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 07.07.2021 წლის მონაცემების შედარება



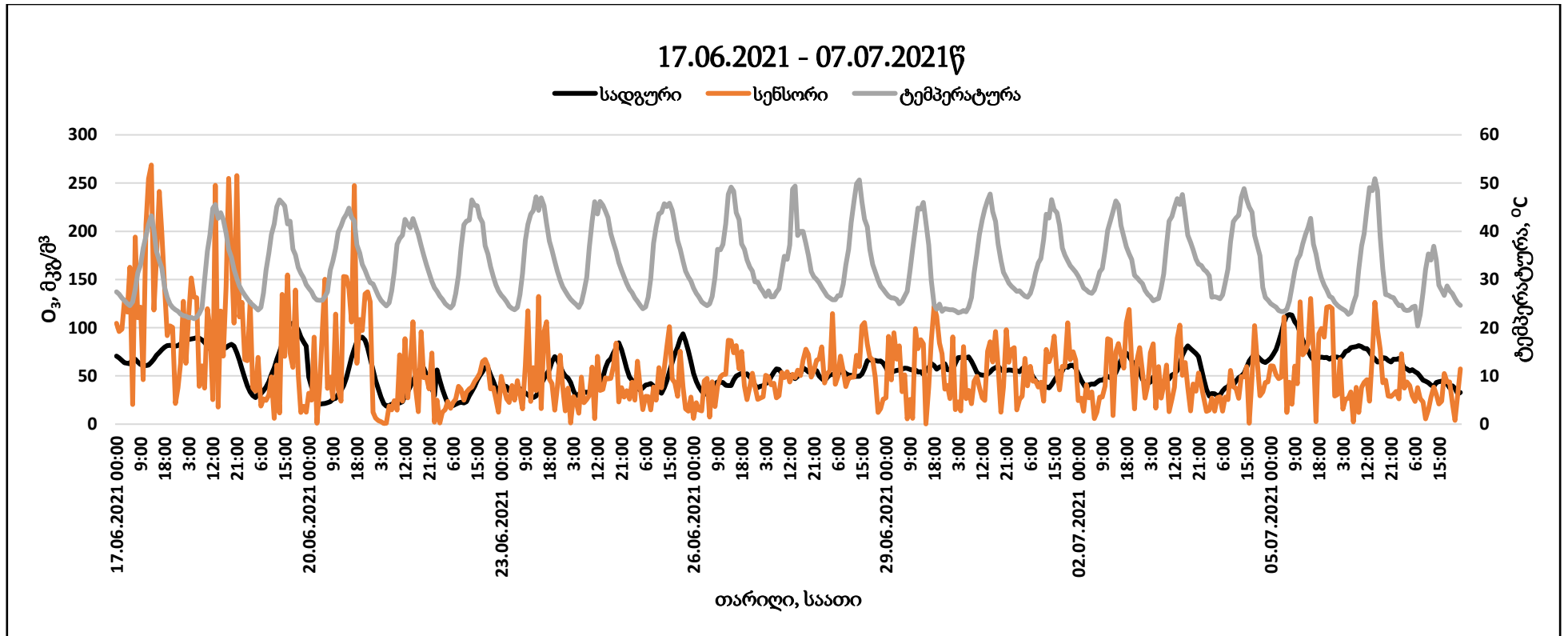
ექსპერიმენტის ცდომილება - 31%;

სადგურის საშუალო - 47 მკგ/მ3;

სენსორის საშუალო - 32 მკგ/მ3;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,2.

გრაფიკი 26. საკვლევი სენსორისა და გარემოს ეროვნული სააგენტოს 17.06.2021 - 07.07.2021 წლის პერიოდის მონაცემების შედარება



ექსპერიმენტის ცდომილება - 3%;

სადგურის საშუალო - 55 მკგ/მ<sup>3</sup>;

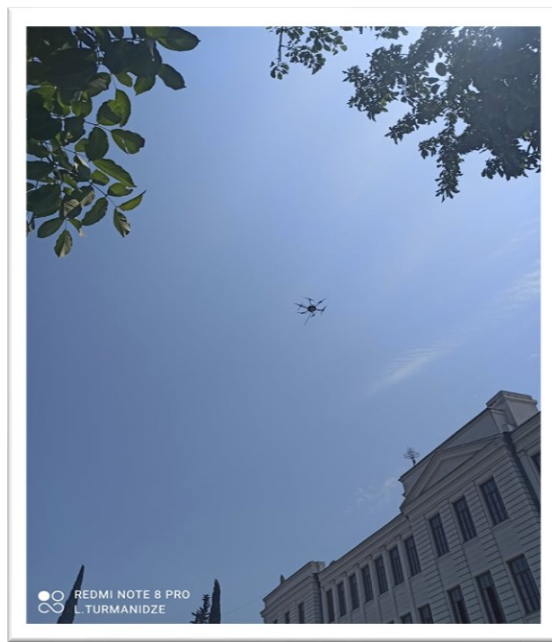
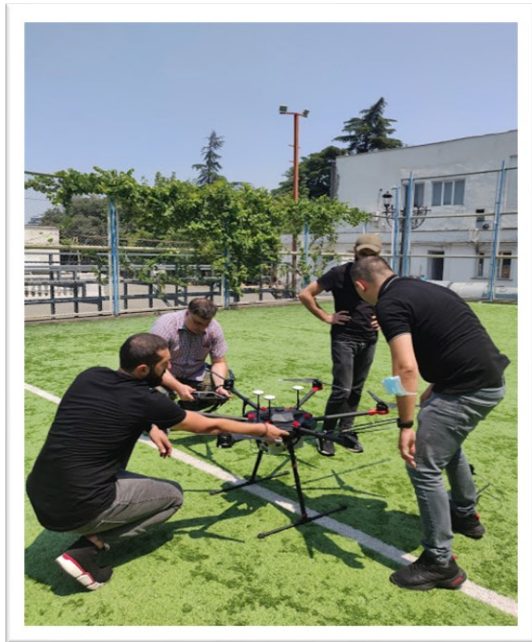
სენსორის საშუალო - 57 მკგ/მ<sup>3</sup>;

კორელაციის კოეფიციენტი - 0,3.

### 3.1 უპილოტო საფრენი აპარატის გამოყენება

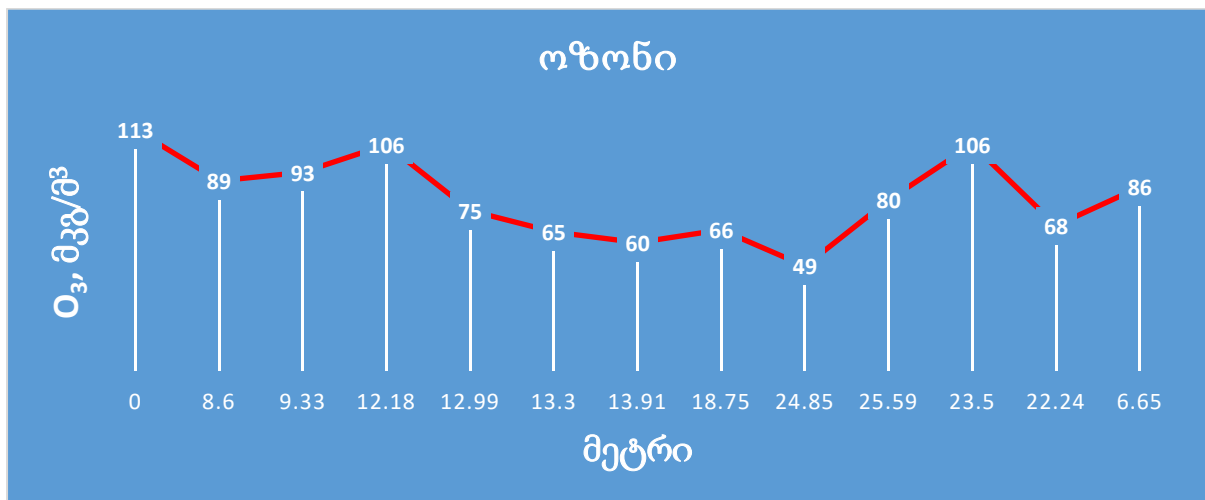
2021 წლის 13 ივლისს გამოვიყენეთ უპილოტო საფრენი აპარატი „Drone DJI M600 Pro“, რომელზეც მიმაგრებული გვეყონდა ზემოთ აღნიშნული სენსორი „USM SOWA „ რათა მოგვეხდინა ატმოსფეროს ოზონით დაბინძურების შეფასება. თუ როგორ იცვლებოდა ოზონის კონცენტრაცია სიმაღლის მიხედვით. კვლევის შედეგები იხ.გრაფიკი 27-ზე.

აღნიშნული ფრენა განხორციელდა დრონის სპეციალისტების დახმარებით ივანე ჯავახიშვილის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ეზოში.



სურათი 8. უპილოტო საფრენი აპარატის გამოყენება

გრაფიკი 27. უპილოტო საფრენი აპარატის გამოყენებით გაზომილი ოზონის კონცენტრაცია



როგორც გრაფიკი 27-დან ჩანს დრონის აფრენის მაქსიმალური სიმაღლე იყო 25-26 მეტრი. სიმაღლის მატებასთან ერთად ოზონის კონცენტრაცია ძირითადად მცირდებოდა. მხოლოდ 12 და 23 მეტრზე შეინიშნებოდა ოზონის კონცენტრაციის მომატება, რაც დიდი ალბათობით ქარით იყო განპირობებული.

#### 4 დასკვნები

##### ცხრილი 4. ბიუჯეტური სენსორის დადებითი და უარყოფითი მხარეები

დადებითი	უარყოფითი
ბიუჯეტური	ხმაურიანი სიგნალი
კომპაქტური	გადიდებული შედეგები
სწრაფი	კორელაციის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობა

- წერეთლის სადგურის მონაცემებით 2015 წლიდან 2020 წლამდე ადგილი არ ჰქონია ოზონის კონცენტრაციის გადაჭარბებას ზღვრულ დასაშვებ ნორმასთან(120მკგ/მ<sup>3</sup>);
- ბიუჯეტური სენსორი აჩვენებს მიახლოებით 15-ჯერ გადიდებულ შედეგებს, რაც განპირობებული შეიძლება იყოს კოდით, რომლის საშუალებითაც ხდება ოზონის კონცენტრაციის დათვლა;
- საშუალო მონაცემებსა და ექსპერიმენტის ცდომილებაზე დაყრდნობით შეიძლება ითქვას, რომ სენსორის და სადგურის მონაცემები ახლოსაა ერთმანეთთან, მაგრამ კორელაციის კოეფიციენტებს გათვალისწინებით ჩანს, რომ სენსორის და გარემოს მონაცემების კორელაცია თითქმის არ ემთხვევა ერთმანეთს;
- იმის გათვალისწინებით, რომ სენსორი იძლევა გადიდებულ შედეგებს შეიძლება ითქვას, რომ ოზონის კონცენტრაციის განსაზღვრისთვის ბიუჯეტური სენსორები არ გამოდგება, მანამ სანამ აღნიშნული პრობლემა არ იქნება გამოსწორებული.

## 5 გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “2006 by Blackwell Publishing LTD
- [2] Нецветаев А.Г. Экологическое право. Учебно-практическое пособие//Московский;
- [3] ქაჯაია გ. გარემოყენებითი ეკოლოგიის საფუძვლები. გარემოს დაცვის ეკოლოგიური პრინციპები, თბილისი 2002წ. გვ.145-162;
- [4] Twenty questions and Answers About the Ozon Layer. Scientific Assessment of Ozone Depletion. 2000. pp.9-32;
- [5] ოზონის შრის დაცვა მონრეალის ოქმი;
- [6] გურამ სუპტაშვილი, „გარემოს ქიმია“ (ეკოქიმია). 2009 თსუ გამომცემლობა;
- [7] ქ. კორძაია, ნ. მეგრელიშვილი. თავი 2. ატმოსფერული ჰაერის ხარისხი. კარი II - ჰაერის დაცვა, საქართველოს ეროვნული მოხსენება გარემოს მდგომარეობის შესახებ, საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტრო, თბილისი, გამომცემლობა შპს „ტორი პლიუსი— 2011;
- [8] კვლევის ანგარიში 2017 მესამე რაუნდი, საზოგადოებრივი მომსახურებით საქართველოს მოსახლეობის კმაყოფილების დონის კვლევა;
- [9] რუბრიკა „ორჰუსის ცენტრი საქართველოში“;
- [10] შოთაძე მ. ქალაქ თბილისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების პრობლემა- ეროვნული გარემოსდაცვითი პრიორიტეტი. საქართველოს სტრატეგიული კვლევებისა და განვითარების ცენტრი, 2003,ბიულეტენი №80. გვ. 20-41;
- [11] ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების კამპანიის ფარგლებში სსიპ გარემოსდაცვითი ინფორმაციისა და განათლების ცენტრის მიერ დამზადებული ბუკლეტი 2018წ;
- [12] ქ. კორძაია, „საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ხარისხობრივი მდგომარეობის შესწავლა და მისი დაბინძურებისგან დაცვის ზოგიერთი მეთოდი,“ თბილისი, 2012;
- [13] The Composition of Exhaust Gases from Diesel, Gasoline and Propane Powered Motor Coaches-Martin A. Elliott , Gerge J. Nebel & Fred G. Rounds -Journal of the Air Pollution Control Association <https://doi.org/10.1080/00966665.1955.10467686>
- [14] გიორგი მაისურაძე „საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და NO/CO-ს ერთობლივი კონვერსიით გაწმენდის შესაძლებლობა მოდიფიცირებული ბუნებრივი ცეოლითების მონაწილეობით“ 2015წელი.
- [15] ნ.მუმლაძე, თ.მეგრელიძე „ოზონის შრე და მისი დაცვა“ 2017წელი.
- [16] ა. ამირანაშვილი, თ. ბლიაძე, ვ. ჩიხლაძე „ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში“ 2012წელი;

[17] ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის პორტალი; <https://air.gov.ge>

[18] 'საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების წელიწადეული' 2017წელი;

[19] A. O' Keefe and D. A. G. Deacon. Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources;

[20]Fargo MOS sensor operationg Principles

<https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/mos-type.html>