

ატმოსფერული ჰაერის ძირითად პოლუტანტებს, რომელთა წილ-
ზეც მოდის მავნე ნივთიერებათა გამონატყორცნების 98% გოგირდის დი-
ოქსიდი, აზოტის ოქსიდები, ნახშირჟანგი და მტვრის ნაწილაკები წარმო-
ადგენენ. ამასთან ერთად, ქალაქებისა და დასახლებების ატმოსფერულ
ჰაერში გამოიტყორცნება სხვა მავნე ნივთიერებებიც: ტყვია, ვერცხლის-
წყალი, კადმიუმი და სხვა მძიმე ლითონები (ავტომობილის გამონაბოლ-
ქვები, სადნობი ღუმელები), ნახშირწყალბადები, რომელთა შორის ძლი-
ერ სახიფათოა ბენზ(ა)პირენი, ალდეჰიდები (პირველ რიგში ფორმალდე-
ჰიდი), გოგირდწყალბადი, ტოქსიკური აქროლადი გამხსნელები (ბენზი-
ნი, სპირტები, ეთერები) და სხვ.

ევროკავშირისა და აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტოს (EPA) სტან-
დარტით ატმოსფერული ჰაერის სისუფთავის კრიტერიუმებად მიღებუ-
ლია ექვსი ძირითადი პოლუტანტი - ოზონი(O_3), მტვრის ნაწილაკები
(PM_{10} და $PM_{2.5}$), ნახშირჟანგი (CO), გოგირდის დიოქსიდი (SO_2), აზოტის
ოქსიდები (NO_x) და ტყვია (Pb). ეს პოლუტანტები ჩვენს მიერ მომდევნო
თავში იქნება განხილული.

არაორგანული პოლუტანტები

• ნახშირბადის ოქსიდები

ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO)

ნახშირბადის მონოოქსიდი ანუ ნახშირჟანგი (CO) წარმოიქმნება ნახ-
შირბადშემცველი ნაერთების არასრული წვის დროს. იგი ერთ-ერთი ყვე-
ლაზე ტოქსიკური აირადი გამაჭუჭყიანებელია.

CO ძლიერ ტოქსიკურად მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე, სხვაგვა-
რად მას “მხუთავ აირს” უწოდებენ. CO-თი მწვავე მოწამვლის დროს
ადამიანი დუნდება, ვითარდება თავბრუსხვევა, ღებინება, ძილიანობა,
გონების დაკარგვა და ლეტალური შედეგი უჟანგბადობის გამო. CO-ს
ასეთი მოქმედება გამოწვეულია მისი უნარით დაუკავშირდეს სისხლის
ჰემოგლობინის რკინას (წარმოიქმნება მეთემოგლობინი) და დაუკარგოს
მას მისი მთავარი ფუნქცია - ჟანგბადის გადატანის უნარი. ატმოსფერულ

ჰაერში CO-ს დაბალი კონცენტრაციისას ასეთი მოქმედება არ შეინიშნება, მაგრამ სახიფათოა გულ-სისხლძარღვთა და ანემიით დაავადებული ადამიანებისათვის.

ნახშირჟანგის ბუნებრივი ემისიის წყაროებია ვულკანის მოქმედება და ატმოსფეროში მეთანის ფოტოქიმიური დაჟანგვა. მისი ანთროპოგენური წარმოქმნა, უპირველეს ყოვლისა, საწვავის წვასთანაა დაკავშირებული. CO-ს მნიშვნელოვანი გამოტყორცნით ხასიათდებიან მეტალურგიული ქარხნები, განსაკუთრებით ბრძმედის აირი (30%-მდე), ფოლადსადნობი ელექტრორკალური ღუმელის გამონაბოლქვი აირი (15-25%), კონვერტერის აირი (80-85%), კოქსისა და გენერატორის აირები. ასევე მნიშვნელოვანია CO-ს გამოტყორცნა ატმოსფეროში საავტომობილო პარკის მიერ. CO-ს გამოყოფა განსაკუთრებით მაღალია ძრავის ამუშავების და ე.წ. “უქმი რეჟიმის” დროს. CO-ს გარემოში გამოყოფის შესაზღუდად მოწინავე ავტომწარმოებელი კომპანიები ავტომობილის მაყუჩში ამონტაჟებენ სპეციალურ კატალიზატორებს, რომლებიც ხელს უწყობენ საწვავის ბოლომდე, CO₂-მდე დაჟანგვას.

ცხრილი 11

ავტოტრანპორტის გამონაბოლქვი აირების ზეგავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე (ხ. ფრენჩის მიხედვით, 1992)

მაგნე ნივთიერება	ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების შედეგი
ნახშირბადის ოქსიდი	ეწინააღმდეგება სისხლის მიერ ჟანგბადის აბსორბციას, რაც ასუსტებს აზროვნებას, ანელებს რეფლექსებს, იწვევს ძილიანობას და შეიძლება იყოს გონების დაკარგვისა და სიკვდილის მიზეზი
ტყვია	ზემოქმედებს სისხლისგადამტან, ნერვულ და შარდსასქესო სისტემებზე იწვევს, სავარაუდოდ, ბავშვების გონებრივი მონაცემების დაქვეითებას, გროვდება ძვლებსა და სხვა ქსოვილებში, ამიტომ სახიფათოა ხაგრძლივი დროის განმავლობაში.
აზოტის ოქსიდები	შეუძლიათ გაზარდონ ორგანიზმის მგრძნობელობა ვირუსული დაავადებების (გრძიპის ტიპის) მიმართ, აღიზიანებენ ფილტვებს, იწვევენ ბრონქიტსა და პნევმონიას.
ოზონი	აღიზიანებს სასუნთქი გზების ლორწოვან გარსს, იწვევს ხველას, არღვევს ფილტვების მუშაობას, ამცირებს გაცივების დაავადებებისადმი ორგანიზმის წინააღმდეგობის უნარს, შეიძლება გაამწვავოს გულის ქრონიკული დაავადებები, ასევე გამოიწვიოს ასთმა და ბრონქიტი.
ტოქსიკური გამონატყორცნები (მძიმე მეტალები)	იწვევენ სიმსივნურ დაავადებებს, სასქესო სისტემის ფუნქციის დარღვევებსა და დეფექტებს ახალშობილებში.

ღია ატმოსფეროში ნივთიერებები სწრაფად გადაადგილდება და გან-
ზავდება, ამიტომ ავტომობილების გამონაბოლქვებში შემავალი CO ჰაერ-
ში საშიში რაოდენობით არ უნდა გროვდებოდეს. მიუხედავად ამისა, ზო-
გიერთ პირობებში CO-თი ჰაერის ლოკალურმა გაჭუჭყიანებამ შეიძლება
განსაკუთრებულად საშიშ ზღვრებს მიაღწიოს. მაგალითად, დიდი ქალა-
ქებისა და ავტოსტრადების თავზე, როდესაც მაღალი ატმოსფერული წნე-
ვისა და ტემპერატურული ინვერსიის გამო ჰაერის მასების გადაადგილე-
ბა იზღუდება ე.წ. “კანიონის ეფექტი” იქმნება. საქართველოში მოქმედი
კანონმდებლობით, ჰაერში CO ზღვ არის 0,02 მგ/ლ.

ნახშირორჟანგი (CO₂)

ნახშირბადის დიოქსიდი ანუ ნახშირორჟანგი ნორმალურ ბუნებრივ
პირობებში ატმოსფეროს მოცულობის დაახლოებით 0,03% შეადგენს.

CO₂-ის ბუნებრივი ემისიის წყარო მრავალგვარია - ვულკანების ამოფ-
რქვევა, სუნთქვის პროცესი, ორგანული ნაერთების მიკრობიოლოგიური
დაშლა, ტყის მასივების ხანძრები.

ბიოსფეროში მიმდინარე ნახშირბადის წრებრუნვა მნიშვნელოვან
როლს ასრულებს CO₂-ის გამოყოფისა და მისი შებოჭვის პროცესებში.

CO₂ ატმოსფეროში დიდი რაოდენობით გამოიტყორცნება ადამიანის
სამეურნეო მოღვაწეობის შედეგად. CO₂ ყველა ორგანული ნაერთისა და
ნახშირბადის შემცველი არაორგანული ნაერთების სრული წვის საბო-
ლოო პროდუქტს წარმოადგენს, ამიტომ “ანთროპოგენური CO₂” განსა-
კუთრებით დიდი რაოდენობით გამოიყოფა სხვადასხვა სახის საწვავის
წვის შედეგად.

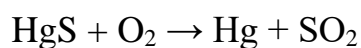
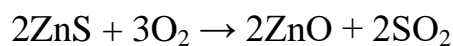
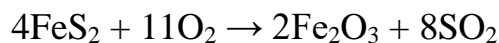
ერთის მხრივ CO₂-ის ემისიის ზრდა საწვავის შეუზღუდავი რაოდე-
ნობით წვის შედეგად, ხოლო მეორეს მხრივ CO₂-ის ფიქსაციის შეფერხება
მცენარეული საფარის შემცირების გამო (რაც თან სდევს ურბანიზაციას,
ტყეების გაჩეხვას და სხვა), იწვევს ატმოსფერულ ჰაერში CO₂-ის კონცენ-
ტრაციის გაზრდას, რის შედეგადაც ადგილი აქვს პლანეტის გლობალუ-
რი ეკოლოგიური პრობლემის - ე.წ. “სათბურის ეფექტის” წარმოქმნას,
რომელსაც შემდეგში განვიხილავთ.

- გოგირდის დიოქსიდი - SO₂

ატმოსფეროში SO₂-ის გამოყოფის ბუნებრივ წყაროს პირველ რიგში მიეკუთვნებიან ვულკანები, ტყის ხანძრები, გოგირდის შემცველი ნაერთების მიკრობიოლოგიური გადაქმნები და სხვ.

გოგირდი დედამიწაზე ფართოდ გავრცელებული ელემენტია. ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული გოგირდის ნაერთები სხვადასხვა ლითონებთან. მრავალი მათგანი ფასეულ მადნებს (ZnS, HgS, PbS, Cu₂S, FeS₂, CuFeS₂, MnS, Co, NiS, Ag₂S და სხვა) წარმოადგენს. ამ მადნების გადამუშავების შედეგად შავი და ფერადი მეტალების წარმოებაში გამოტყორცნილი აირები გოგირდის დიოქსიდის მნიშვნელოვან რაოდენობას შეიცავენ.

მაგალითად მოვიყვანოთ ZnS, FeS₂, HgS-იდან მეტალების მიღების მიზნით წარმართული რეაქციების ქიმიურ ტოლობებს:



თანამედროვე მრეწველობის დარგებიდან გოგირდის დიოქსიდის გამოტყორცნის მნიშვნელოვან წყაროებს წარმოადგენენ მეტალურგიული, ნავთობგადამამუშავებელი და ქიმიური მრეწველობები. ატმოსფეროში გოგირდის დიოქსიდის გამოტყორცნის მნიშვნელოვანი წილი მოდის სხვადასხვა სახის სათბობის წვის შედეგად. ქვანახშირი, საწვავი ფიქალეები, დიზელის საწვავი, მაზუთი და ბენზინი ხასიათდებიან მათში გოგირდის ნაერთების მინარევების არსებობით, რის შედეგადაც ასეთი სახის საწვავისა და ენერგომატარებლების წვისას ყოველწლიურად ატმოსფეროში მნიშვნელოვანი რაოდენობის გოგირდის ოქსიდები გამოიტყორცნება. მასაჩუტერსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის (აშშ) ექსპერტთა შეფასებით 2000 წელს SO₂ მსოფლიო გამოტყორცნამ 275 მლნ ტონა შეადგინა.

ატმოსფეროში გამოტყორცნილი SO₂ უცვლელი სახით საშუალოდ ორი კვირის მანძილზე შეიძლება არსებობდეს. დროის ამ მონაკვეთის განმავლობაში აირი ვერ ასწრებს გლობალური მასშტაბით გავრცელებას, ამიტომ შესაძლებელია, რომ ემისიის წყაროს ირგვლივ SO₂-მა ატმოსფეროს ლოკალური გაჭუჭყიანება გამოიწვიოს. გოგირდის დიოქსიდი აზო-

ტის ოქსიდებთან ერთად ატმოსფეროში მთელ რიგ ქიმიურ გარდაქმნებს განიცდის, რაც ე.წ. „მჟავურ წვიმებს“ იწვევს.

SO₂ ატმოსფეროს ტენთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის გოგირდმჟავას, რომელიც შლის ადამიანისა და ცხოველის ფილტვის ქსოვილებს. ეს ყველაზე ხშირად ვლინდება დიდ ქალაქებში ბავშვთა ფილტვების პათოლოგიის ანალიზისას. SO₂ განსაკუთრებით სახიფათოა, როცა ილექება ძალზე მცირე ზომის მტვრის ნაწილაკებზე და მისი საშუალებით შეაღწევს სასუნთქ გზების სიღრმეებში.

SO₂ ტოქსიკურად მოქმედებს მცენარეებზე. ჰაერთან ერთად იგი აღწევს მცენარეთა ფოთლებში, ამცირებს უჯრედთა სიცოცხლის უნარიანობას და მცენარე ხმება.

ცხრილი 12

ჰაერის გამაჟუჭყიანებელი ნაერთების ტოქსიკურობა მცენარეებისათვის
(ბონდარენკო, 1985)

მავნე ნივთიერება	დაზასიათება
გოგირდის დიოქსიდი	ძირითადი დამაჟუჭყიანებელი, მცენარეთა ასიმილაციური ორგანოების საწამლავი, მოქმედებს 30კმ-ის დაშორებითაც.
ფტორწყალბადი და ოთხქლორიანი სილიციუმი	ტოქსიკურია მცირე რაოდენობითაც, აზასიათებთ მიდრეკილება აეროზოლების წარმოქმნისადმი, მოქმედებს 5კმ-ის დაშორებითაც.
ქლორი, ქლორწყალბადი	მცენარეებს ძირითადად აზიანებენ ახლო მანძილიდან
ტყვიის ნაერთი, ნახშირწყალბადები, ნახშირბადის ოქსიდი, აზოტის ოქსიდები	აბინძურებენ მცენარეებს მრეწველობისა და ტრანსპორტის მაღალი კონცენტრაციის ადგილებში
გოგირდწყალბადი	უჯრედული და ფერმენტული საწამლავი
ამიაკი	მცენარეებს აზიანებს ახლო მანძილიდან

- აზოტის ოქსიდები (NO_x)

ცნობილია აზოტის შემდეგი სახის ოქსიდები - NO , NO_2 და N_2O_4 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_5 . გარემოსდაცვით მეცნიერებაში NO_x -ით ძირითადად აღნიშნავენ ორ ოქსიდს - NO (აზოტის მონოოქსიდი) და NO_2 (აზოტის დიოქსიდი). აღნიშნული ოქსიდები ძლიერტოქსიკური ნივთიერებებია - 0,5 მგ/ლ კონცენტრაციის დროს იწვევენ ფილტვებისა და სასუნთქი გზების მძიმე დაავადებებს. აზოტის მონოოქსიდი არ აღიზიანებს სასუნთქ გზებს და ამიტომაც მას ადამიანი ვერ შეიგრძნობს. ჩასუნთქვისას NO ჰემოგლობინთან წარმოქმნის მეთჰემოგლობინს, რითაც ირღევა სისხლის მიერ ჟანგბადის გადატანის პროცესი, რაც ადამიანის ხუთვას იწვევს.

აზოტის დიოქსიდის (NO_2) მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაცია ეროვნული სტანდარტით (ყოფილი სსრკ-ს ნორმები) დადგენილია 0,085 მგ/მ³-ის დონეზე მაშინ, როდესაც მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის რეკომენდაციებით ეს მაჩვენებელი 0,2 მგ/მ³-ია. (ანუ უფრო ლიბერალურია $0,2/0,085 \approx 2,5$ ჯერ). საინტერესოა, რომ აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტოს ჰაერის სტანდარტებში მისი დასაშვები კონცენტრაციაა 0,1 მგ/მ³ (ანუ 0.053 ppm).

NO და NO_2 წარმოადგენენ ანთროპოგენური წარმოშობის აზოტის ოქსიდებს, რომლებიც მაღალ ტემპერატურაზე სათბობის წვის დროს წარმოიქმნებიან. გარემოში NO_x -ის გამოყოფის ძირითადი წყაროა ქვანახშირისა და ნავთობის წვის პროცესები, ბენზინზე მომუშავე საავტომობილო ტრანსპორტი, ქიმიური და მძიმე მრეწველობის საწარმოები. აზოტის ოქსიდებით ანთროპოგენური დაბინძურება კრიტიკულ ზღვარს მჭიდროდ დასახლებულ სამრეწველო ქალაქებში აღწევს.

ემიიის წყაროდან დაცილებასთან ერთად NO -ს სულ უფრო მეტი რაოდენობა გადადის NO_2 -ში. გარემოსდაცვითი კუთხით აზოტის ოქსიდები განიხილება როგორც „მჟაური წვიმების“, „სათბურის ეფექტისა“ და ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნის ერთ-ერთ მნიშვნელოვანი კომპონენტი.

გარემოზე აზოტის ოქსიდების არასასურველი ზემოქმედება არაპირდაპირი გზითაც ხდება, კერძოდ ისინი იწვევენ ე.წ. მეორადი პოლუტანტების ფორმირებას, რომლებიც მაღალი ტოქსიკურობით გამოირჩევიან. ერთ-ერთი ასეთი პოლუტანტია ტროპოსფერული ოზონი.

ოზონი. ამ რეაქციათა პროდუქტებად ითვლებიან სხვადასხვა ტოქსიკური ორგანული ნივთიერებები - ალდეჰიდები, კეტონები და პეროქსიდები. ერთ-ერთი ასეთი ყველაზე ძლიერი გამაღიზიანებელი და მავნე ნივთიერებაა უძლიერესი დამჟანგველი - პეროქსიაცეტილნიტრატი ($\text{CH}_3\text{-CO-O-O-NO}_2$), რომელიც ფოტოქიმიური სმოგის დროს დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება და რომლის მოქმედება ადამიანებზე ფატალური შედეგით მთავრდება.

- **მყარი შეწონილი ნაწილაკები (PM_{10} და $\text{PM}_{2.5}$)**

ატმოსფეროს მრავალრიცხოვანი კონტამინანტებიდან ერთ-ერთი ძირითადი ადგილი მყარ შეწონილ ნაწილაკებს უჭირავს. ატმოსფერულ ჰაერში აღნიშნული ნაწილაკების შემცველობის ზრდა დაკავშირებულია ადამიანის ისეთი დაავადებების ზრდასთან, როგორიცაა გულის დაავადებები, ფილტვების ფუნქციის ცვლილება და ფილტვების სიმსივნური დაავადებანი.

ცხრილი 13

მყარი შეწონილი ნაწილაკების ფრაქციები ზომების მიხედვით

ფრაქციები	ზომები
PM_{10}	≤ 10 მკმ
$\text{PM}_{2.5}$	≤ 2.5 მკმ
PM_1	≤ 1 მკმ
ზემცირე ნაწილაკები (UFP ან UP)	≤ 0.1 მკმ
$\text{PM}_{10}\text{-PM}_{2.5}$	$2.5 \text{ მკმ} \div 10 \text{ მკმ}$

შენიშვნა: $1 \text{ მკმ} (\mu\text{m}) = 10^{-6} \text{ მ} = 10^{-4} \text{ სმ}$, PM_{10} - იგულისხმება მყარი შეწონილი ნაწილაკები, რომელთა დიამეტრი $\leq 10 \text{ მკმ}$, $\text{PM}_{2.5}$ - მყარი შეწონილი ნაწილაკები, რომელთა დიამეტრი $\leq 2.5 \text{ მკმ}$, $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2.5}$ - $2.5 \text{ მკმ} \div 10 \text{ მკმ}$ ინტერვალის ზომის ნაწილაკები.

ნაწილაკების ზოგადი კლასიფიკაციისათვის აღებულია მათი შეფარდებითი ზომები, რომლებიც წოდებულია როგორც ფრაქციები. იმის გამო, რომ ნაწილაკები ხშირ შემთხვევაში არასფერული ფორმით ხასიათდებიან (მაგ. ასბესტის ბოჭკო), არსებობს ნაწილაკების ზომის სხვადასხვა განსაზღვრება. ყველაზე ფართოდ გავრცელებული განსაზღვრება, რომე-

ლიც გამოყენებულია ევროპისა და აშშ-ს გარემოსდაცვითი სამსახურებისა და მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიერ არის ნაწილაკების აეროდინამიკური დიამეტრი. მყარი შეწონილი ნაწილაკების დიამეტრი მერყეობს 10 მილიმიკრონიდან 100 მკმ-მდე. 10 მკმ აეროდინამიკური დიამეტრის მქონე ნაწილაკი აირში გადაადგილდება როგორც 10 მკმ დიამეტრის ერთეულოვანი სიმკვრივის (1გ/სმ^3) სფერო.

ევროსაბჭოს კანონმდებლობით 1999/30/EC და 96/62/EC დირექტივების მიხედვით დადგენილია ატმოსფერულ ჰაერში PM_{10} კონცენტრაციის საშუალო წლიური და დღე-ღამური (24 სთ-იანი) ზღვრული დონე 2005 წლიდან და 2010 წლიდან, რომელიც მოცემულია ცხრილში 14.

US EPA-ს ჰაერის ხარისხის სტანდარტში PM_{10} და $\text{PM}_{2.5}$ დასაშვები კონცენტრაციები სხვაგვარადაა მოცემული (ცხრ. 15).

ცხრილი 14

PM_{10} კონცენტრაციები ატმოსფერულ ჰაერში ევროსაბჭოს კანონმდებლობის მიხედვით (1999/30/EC და 96/62/EC დირექტივები)

PM_{10}	პირველი ეტაპი	მეორე ეტაპი
	2005 წლის 1 იანვრიდან	2010 წლის 1 იანვრიდან
საშუალო წლიური	40 მკგ/მ ³	20 მკგ/მ ³
საშუალო დღე-ღამური (24სთ)	50 მკგ/მ ³	50 მკგ/მ ³

ცხრილი 15

PM_{10} და $\text{PM}_{2.5}$ დასაშვები კონცენტრაციები აშშ-ს EPA-ს ჰაერის ხარისხის სტანდარტში

პოლუტანტი	სტანდარტი	მოქმედების დრო
PM_{10}	150 მკგ/მ ³	24 სთ
$\text{PM}_{2.5}$	35 მკგ/მ ³	24 სთ
$\text{PM}_{2.5}$	15 მკგ/მ ³	წლიური