

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ვლადიმერ ჭავჭავანიძის სახელობის კიბერნეტიკის ინსტიტუტი

უცხოური გრანტით მიღებული პროექტები 2018 -2023წწ.

### დანართი 4

№	გრანტის გამცემი	გრანტის დასახელება	პროექტის დაწყების და დამთავრებ ის წლები	პროექტის ხელმძღვან ელი / კოორდინა ტორი	მოცულობა (თანხა)	სტატ უსი დასრ ულებ ული/ მიმდ ინარე	გრანტის კოდი
1	საერთაშორისო სამეცნიერო – ტექნოლოგიურ ი ცენტრი – ISTC	კობალტის ფუძიანი ოქსიდური მასალების თერმოელექტრული კონვერტაციის ეფექტურობის გაუმჯობესება დოპირებითა და მიკროსტრუქტურის მოდულაციით	2022-2025	გიორგი მუმლაძე	199 910 აშშ დოლარი	მიმდ ინარე	GE-2776
2	გერმანიის აკადემიური გაცვლის სამსახური (DAAD), გერმანია	“5G ქსელებიდან გამოსხივებული რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების მწერებზე ზემოქმედების გამოკვლევა”,	2023–2023	ვერა ჯელაძე		დასრ ულებ ული	“ევროკავშირ ის სტიპენდიები ქართველი მკვლევარები სთვის, 2023”, № 57655523
3	გერმანიის აკადემიური გაცვლის სამსახური (DAAD), გერმანია	„აზოსაღებარშემცვე ლი შუქმგრძნობიარე პოლარული პოლიმერები“	2023–2023	ირაკლი ჩაგანავა		დასრ ულებ ული	“ევროკავშირ ის სტიპენდიები ქართველი მკვლევარები სთვის, 2023”, № 57655523

4	ცენტრალური ევროპის კვლევითი ინფრასტრუქტურის კონსორციუმი – CERIC-ERIC. კვლევითი მივლინების გრანტი	იმპულსური რკალური განმუხტვის ეფექტის გავლენის შესწავლა ბიოლოგიური გამოყენების მაგნიტური ნანონაწილაკების ზედაპირულ მოდიფიკაციაზე	30-08-2019 - 30.08.2020	ვლადიმერ მიქელაშვილი	1100 ევრო	დასრულებული	20192124
5	მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების ცენტრის უკრაინაში – STCU	კიბოს უჯრედების თვითრეგულირებადი (კიურის ტემპერატურით ლიმიტირებული) მაგნიტური ჰიპერთერმიისთვის ახალი ნანომასალების შექმნა და კვლევა.	23.03.2018– 22.03.2020	არჩილ ჭირაქაძე	30 050 დოლარი	დასრულებული	7089
6	ცენტრალური ევროპის კვლევითი ინფრასტრუქტურის კონსორციუმის –CERIC-ERIC-ის კვლევითი მივლინების გრანტი	ახალი მართვადი ტენიკით მიღებული ბიოსამედიცინო გამოყენების რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების სტრუქტურისა და მორფოლოგიის კომპლექსური კვლევა	20/11/2017- 20/11/2019	ჯანო მარხულია	—	დასრულებული	20177016
7	შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის და STCU - უკრაინის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების ცენტრი	ნანომავთულების გაზრდის ახალი ტექნოლოგიების შემუშავება და აირების ზემგრძნობიარე სენსორების დამზადება.	01.06.2016– 01.06. 2018	დავით ჯიშიაშვილი	34 950 აშშ დოლარი	დასრულებული	SRNSF N04/05-2016, USTC #6204

8	შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის და STCU - უკრაინის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების ცენტრი	ექსტრემალურ სიტუაციებში ობიექტების განლაგებისა და ტვირთების გადაზიდვის დაგეგმარება	30/06/2017-30/11/2018	გ.სირბილ ამე-თსუ და გიორგი ბოლოთაშვილი - სტუ-ს კიბერნეტის ინსტიტუტი (თანამონაწილე ორგანიზაცია)	70 000 აშშ დოლარი	დასრულებული	STCU/GNSF № 6297
9	საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნოლოგიური ცენტრი – ISTC	ადრეულ სტადიაზე პროსტატის კიბოს ვიზუალიზაციის გამოკვლევა	01/03/2016-01/03/2018	ბესარიონ ფარცვანია	127 700 აშშ დოლარი	დასრულებული	G-2188

### ანოტაციები

1. "კობალტის ფუძიანი ოქსიდური მასალების თერმოელექტრული კონვერტაციის ეფექტურობის გაუმჯობესება დოპირებითა და მიკროსტრუქტურის მოდულაციით" (2022-2025 წწ., ხელმძღვ. გიორგი მუმლაძე)

ენერჯის მოხმარებაზე მზარდი მოთხოვნა და გარემოზე დაბინძურებისა და გლობალური დათბობის უარყოფითი ზემოქმედება დღეს მსოფლიოს მთავარ გამოწვევად იქცა. მსოფლიო ენერჯის მოხმარების დიდი რაოდენობა (მთლიანი ენერჯის 70%) იხარჯება გარემოში გაფანტული სითბოს სახით, რაც იწვევს გლობალურ გარემოდაცვით პრობლემებს. ამან გამოიწვია ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის გამომუშავების ალტერნატიული ტექნოლოგიების ზრდადი აქტივობა. მომავალი მწვანე და განახლებადი ენერჯეტიკისაა. თერმოელექტრიკებს, როგორც მწვანე ენერჯის მასალებს, შეუძლია გამოიმუშაოს სუფთა ენერჯია დაბალპოტენციური გაფანტული სითბოს პირდაპირი გადაქცევით მომგებიან ელექტროენერჯიად ე.წ. ზეებეკის ეფექტის საშუალებით. მოსალოდნელია, რომ ეფექტური თერმოელექტრული (TE) მასალების შემუშავება გამოიწვევს გარღვევას თერმოელექტრული გენერატორების (TEGs) ფართოდ გამოყენებაში ელექტროენერჯის გენერაციისთვის სხვადასხვა სისტემებში (სამრეწველო ღუმელები, ინსინერატორები, საავტომობილო

გამონაბოლქვი და ა.შ.) და განახლებადი ენერჯის წყაროებში გაფანტული სითბოსგან (მაგ., მზის და გეოთერმული). TEG-ები გარდაქმნის გაფანტულ სითბოს ელექტროენერჯად ტოქსიკური აირების გამოყოფისა და ვიბრაციის გარეშე; TEGs არის ჩუმი, უკიდურესად საიმედო და მოძრავი კომპონენტების გარეშე, რაც მათ იდეალურს ხდის მცირე, გამონაბოლქვის არმქონე და ნაკლებად ძვირი სიმძლავრეების წარმოებისთვის. ასე რომ, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ თერმოელექტრობა, როგორც ალტერნატიული და უმარტივესი მწვანე ტექნოლოგია, გამოყენებადი სითბოს პირდაპირ გარდაქმნაში ელექტროენერჯად. უახლესი თერმოელექტრული მასალები სითბოს ელექტროენერჯად გარდაქმნის პერსპექტიული ეფექტურობით უნდა ფლობდეს არა მხოლოდ მაღალ TE ეფექტურობას, არამედ იყოს სტაბილური მაღალ ტემპერატურაზე და შედგებოდეს არატოქსიკური და დაბალფასიანი ელემენტებისაგან, რაც მთავარი კრიტერიუმია დღევანდელი გლობალური ეკოლოგიური გამოწვევის წინაშე. მაღალი თერმოელექტრული გამომახილის მქონე ბოლოდროინდელმა აღმოჩენებმა  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ ,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_{1.8}\text{O}_y$  და  $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.7}\text{O}_y$  კობალტიტებში და სხვა ოქსიდებში გამოიწვია სხვადასხვა კვლევითი ჯგუფის უზარმაზარი ინტერესი. კობალტიტური თერმოელექტრული მასალები უპირატესობის მატარებელია, ავლენს ბევრ მიმზიდველ მახასიათებელს, როგორცაა (i) ქიმიური სტაბილურობა და თერმული გამძლეობა, (ii) სიიაფე, (iii) ეკომეგობრულობა და უსაფრთხო გამოყენება ჰაერში. მიუხედავად ამისა, მათი ტრადიციულ თერმოელექტრიკებთან შედარებით დაბალი ეფექტურობის გამო, კობალტიტების პრაქტიკული გამოყენება კვლავ პრობლემად რჩება. სათანადო დოპირება, ნანოსტრუქტურულიზაცია და დეფექტების ინჟინერია პერსპექტიული სტრატეგიებია თერმოელექტრული მასალების ფუნქციური თვისებების გასაძლიერებლად. სულ ცოტა ხნის წინ, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ჩვენმა ზეგამტარობის კვლევითმა ჯგუფმა წამოიწყო თერმოელექტრული კობალტიტური მასალების კვლევა საქართველოში — წარმატებით დაარსდა ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების პირველი ლაბორატორია საქართველოსა და კავკასიის რეგიონში. ჩვენი უახლესი შედეგები აჩვენებს, რომ პროექტის მონაწილეების მიერ შერჩეული სათანადო დოპანტების გამოყენება იწვევს კობალტიტებში თერმოელექტრული ეფექტურობის მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას. ამ შედეგების საფუძველზე პროექტის მონაწილეებმა წარადგინეს 4 საპატენტო განაცხადი საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნულ ცენტრში („საქპატენტი“). ქართულ ჯგუფს სომეხ კოლეგებთან თანამშრომლობის მრავალწლიანი გამოცდილება აქვს. ამ პროექტის მთავარი მახასიათებელია ის, რომ ქართველი და სომეხი პარტნიორების ძალები გაერთიანდება მასალების შემუშავებისა და მათი თერმოელექტრული თვისებების შესასწავლად. ქართულ-სომხური ერთობლივი ჯგუფის ამბიციური მიზანია მნიშვნელოვნად გაზარდოს კობალტისფუძიანი  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ ,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_{1.8}\text{O}_y$  და  $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.7}\text{O}_y$  თერმოელექტრული მასალების სითბოდან ელექტროენერჯაში გარდაქმნის ეფექტურობა დოპირებისა და მიკროსტრუქტურის ინჟინერიით ნანომასშტაბებში. ვიმედოვნებთ, რომ ამ პროექტის ინოვაციური მიდგომები გაკვაღავს პერსპექტიულ გზას თერმოელექტრული გენერატორების პრაქტიკული გამოყენებისა და კომერციალიზაციისკენ გაფანტული სითბოს აღდგენის მიერ,

პროექტის ჯგუფის მიერ შემუშავებული მაღალეფექტური თერმოელექტრული მასალების გამოყენებით.

## **2. " 5G ქსელებიდან გამოსხივებული რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების მწერებზე ზემოქმედების გამოკვლევა", (2023–2023 წ. – ხელმძღვ. ვერა ჯელაძე)**

პროექტის მიზანი იყო კომპიუტერული მოდელირებით რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების (RF-EMFs) ზემოქმედების შესწავლა მწერებზე (ფუტკარი, კრაზანა, ჩოქელა) 2.5 GHz-დან 100 GHz-მდე დიაპაზონში. პროექტის გარგლებში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები: მწერების მიკრო-კომპიუტერული ტომოგრაფიის საფუძველზე შეიქმნა ჰეტეროგენული, 3-ქსოვილიანი მწერების რეალისტური მოდელები. მწერების ელექტრომაგნიტური ველით დასხივების სიმულაციებით მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ამ ველების შთანთქმა მწერების სხეულის ქსოვილებში დამოკიდებულია დაცემული ტალღის მიმართულებაზე და პოლარიზაციაზე, სიხშირეზე და ასევე მწერის სხეულის თავისებურებებზე. მაღალი შთანთქმის კუთრი კოეფიციენტის (SAR - Specific Absorption Rate [W/Kg]) მნიშვნელობები დაფიქსირდა მწერების ქსოვილებში, განსაკუთრებით ტვინის ქსოვილებში 12 GHz, 25 GHz და 40 GHz სიხშირეებზე. SAR-ის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები დაფიქსირდა, როდესაც E-ველის პოლარიზაცია მიმართული იყო მწერების სიგრძის გასწვრივ. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით, განხილულ მწერებზე RF EMF-ების ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს არასასურველი გავლენა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ამ მწერების სასიცოცხლო ფუნქციების შესუსტება.

## **3. „აზოსაღებარშემცველი შუქმგრძობიარე პოლარული პოლიმერები“ ( 2023–2023 წ. – ხელმძღვ. ირაკლი ჩაგანავა)**

პროექტი ემსახურება მეტად პერსპექტიული ტექნოლოგიის განვითარებას ოპტიკისა და ფოტონიკის დარგში, კერძოდ პოლარიზაციული-პოლოგრაფიის სფეროში, რომლისთვისაც საკვანძო მნიშვნელობის მქონეა სინათლესთან ურთიერთმქედი მედიუმის ფოტოანიზოტროპული თვისებების გაუმჯობესების უზრუნველყოფა. მიმდინარე სამუშაოს ფარგლებში ამჟამად განხორციელდა მიზნობრივი მასალის შუქმგრძობიარე მაღალეფექტური აპრობირებული კომპონენტის MY-26 დასინთეზება მისი მარაგების დეფიციტის ნიველირებისათვის. დამზადდა ახალი ტიპის საკვლევი მასალების მაღალპოლარული კომპოზიციების სერია ჰიდროფილური აზოლოიგომერის (PAZO) მაღალმოლეკულურ პოლიმერთან (PVP1.3M) შეუღლებით კომპონენტებს შირის სუპრამოლეკულური ურთიერთქმედების საფუძველზე. ექსპერიმენტულად დადგინდა კომპონენტების კონცენტრაციის ზედა და ქვედა ზღვრები, რა დროსაც ხდება მასალის ჰიდროგელურ ფაზაში გადასვლა. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტში დასახული მიზნებისათვის კომპოზიციის სწორედ ასეთი მდგომარეობა გახლავთ ყველაზე სასურველი ლაბორატორიულ ჭურჭელში მიღებული ჰიდროგელი სამწუხაროდ არაერთგვაროვნებით გამოირჩევა მონაწილე მაკრომოლეკულების სტიქიური აგრეგაციის გამო მანამ სანამ ისინი ერთმანეთში სრულ

დიფუნდირებას მოასწრებდნენ, ამ გარემოების შედეგად მიღებული ჰიდროგელისაგან მექანიკურად ერთგვაროვანი პოლიმერული ფირის დამზადება მეტად არატექნოლოგიურია. თუმცა აღნიშნული ჰიდროგელური კომპოზიცია იძლევა საშუალებას დისოცირებულ იქნეს მაღალპოლარულ გამხსნელში, თავისუფლად დატანილიქნას ოპტიკურ სარჩულზე თანაბარი ფენით და გამხსნელის ფრთხილი აორთქლების შემდეგ წარმოიქმნას სასურველი ფოტოანიზოტროპული კომპოზიცია არსებითად მაღალი მახასიათებლებით როგორცაა: პოლარობა, ჰომოგენურობა, ამორფულობა და მიღწევადი ფოტოანიზოტროპია.

პროექტის დასკვნით ნაწილში, სარაგოსას უნივერსიტეტში, ასევე დასინთეზდა კომპონენტის ახალი სამი ვარიანტი, ისინი ეფუძვნებიან ადრე მოკვლეულ მაღალეფექტური აზოქრომოფორი MY-26 ფორმულას. მათ საფუძველზე სატესტო მასალების სერიები დამზადებულ და შესწავლილ იქნებიან საქართველოში.

#### **4. "იმპულსური რკალური განმუხტვის ეფექტის გავლენის შესწავლა ბიოლოგიური გამოყენების მაგნიტური ნანონაწილაკების ზედაპირულ მოდიფიკაციაზე" (2019–2020წწ., ხელმძღვ. ვლადიმერ მიქელაშვილი)**

აღნიშნული პროგრამის ფარგლებში 2019 წელს განხორციელდა კვლევითი გრანტი #20192124 – „იმპულსური ნაპერწკალური განმუხტვების ეფექტის კვლევა ბიოლოგიური გამოყენების მაგნიტური ნანონაწილაკების ზედაპირულ მოდიფიკაციაზე“, რომლის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა ელექტროჰიდრაული განმუხტვების გამოყენებით მიღებული ბიოლოგიური დანიშნულების რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების მარტივი, ეკონომიური და აღწარმოებადი სინთეზის და დახასიათების მეთოდების შემუშავება.

ამ მიზნით, გრაცის (ავსტრია) ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის SOMAPP (Soft Matter Application Lab) -ის ლაბორატორიაში მცირეკუთხოვანი რენტგენის გაბნევის (Small-angle x-ray scattering -SAXS), სინათლის დინამიკური და ელექტროფორეტიკული გაბნევის (Dynamic & electrophoretic light scattering – DLS, ELS) ტექნიკის მეშვეობით განხორციელდა კვლევა ჩვენს მიერ სინთეზირებულ ბიოლოგიური გამოყენების სხვადასხვა ბიოაქტიური მასალით შემოგარსულ/დაფარულ (ლომონმჟავა, დექსტრანი, ფოლიუმის მჟავა) რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების შემცველ სუსპენზიებზე. კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ჩვენს მიერ მიღებული ნანონაწილაკების ზომა 25-28 ნმ - ის ფარგლებშია (დადასტურდა SAXS-ით) და არის დიდი ხნის განმავლობაში სტაბილური (დადასტურდა DLS-ით). ასევე, სხვა დამატებითი ფიზიკურ ქიმიური თვისებების დახასიათების (რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი - XRD, ფურიე გარდაქმნის ინფრაწითელი სპექტროსკოპია - FTIR, ულტრაიისფერი/ხილული დიაპაზონის სპექტროსკოპია - UV/Vis) საფუძველზე დადგინდა, რომ ასეთი თვისებებით მიღებული რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკები შესაფერისი კანდიდატებია ბიოლოგიური გამოყენებისთვის, როგორცაა სიმსივნის თერაპია, კონტრასტული აგენტები მაგნიტურ რეზონანსულ ტომოგრაფიაში, წამლის მიზნობრივი მიწოდება, იმუნოთერაპია და ჰიპერთერმია.

**5. "კიბოს უჯრედების თვითრეგულირებადი (კიურის ტემპერატურით ლიმიტირებული) მაგნიტური ჰიპერთერმიისთვის ახალი ნანომასალების შექმნა და კვლევა" (2018–2020წწ., ხელმძღვ. არჩილ ჭირაქაძე)**

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში შემუშავდა და გამოიცადა მრავალი სახეობის ნანონაწილაკი კიბოს ლოკალური ჰიპერთერმიისთვის, მაგრამ მხოლოდ რამდენიმე მათგანი აკმაყოფილებს კიურის ტემპერატურის თერაპიულ დიაპაზონში ( $T^{\circ}C=41-45^{\circ}C$ ) შენარჩუნების, კრისტალურობის მაღალი ხარისხის, „ძლიერი“ მაგნიტური თვისებების, შემადგენლობის მკაცრად კონტროლირებადი ერთგვაროვნების, მონოდისპერსიულობის, კარგი ბიოთავსებადობისა და დაშლის პროდუქტების უვნებლობის მკაცრ მოთხოვნებს. მათ შორისაა ნიკელ-სპილენძის (Ni-Cu) და  $Ag_xLa_{1-x}MnO_3$ . კვლევებმა აჩვენა, რომ ჩვეულებრივზე უფრო დაბალ ტემპერატურებზე მასალები, მიღებული მიკროტალღოვანი სინთეზის და კალცინაციის გამოყენებით, ამჟღავნებს მაღალ მაგნიტურ თვისებებს და წარმატებით შეიძლება იქნეს გამოყენებული ლოკალური ჰიპერთერმიისთვის. მიღებული ნანონაწილაკების ტესტირება მოხდა როგორც ექსპოზირებული ცხოველების (თეთრი ვირთაგვები) ქცევით მაჩვენებლებზე დაკვირვებით, ასევე ტესტირების პროცესში სისხლის ჟანგბადით გაჯერების გაზომვით არაინვაზიური ოქსიმეტრიის გამოყენებით. ორივე ტესტირებული ნანომასალა ხასითდებოდა ტოქსიკურობის უფრო დაბალი დონით, ვიდრე კომერციულად ხელმისაწვდომი  $Fe_2O_3$  ნანონაწილაკები.

**6. "ახალი მართვადი ტექნიკით მიღებული ბიოსამედიცინო გამოყენების რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების სტრუქტურისა და მორფოლოგიის კომპლექსური კვლევა" (2017–2019წწ., ხელმძღვ. ჯანო მარხულია)**

რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების სინთეზი და მათ საფუძველზე საჭირო ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლების მქონე ბიოთავსებადი მაგნიტური ნანოკომპოზიტური მასალების მიღება და კვლევა დღეისათვის წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას. ამჟამად, ბიოსამედიცინო დანიშნულების მაგნიტური ნანონაწილაკების სინთეზის მთავარი ტექნოლოგიური გამოწვევებია ნანონაწილაკების ზომის, ფორმის და ზომების მიხედვით განაწილების ზუსტი კონტროლი. დამატებით ასევე მოითხოვება ნანონაწილაკების ბიოთავსებადობა და სხვადასხვა ფიზიოლოგიურ არეში კოლოიდური სტაბილურობა.

მოცემული კვლევის მიზანი იყო, კონტროლირებადი ქიმიური თანადალექვის რეაქციის მეშვეობით (ავტომატურ ქიმიურ რეაქტორში ოპტიმალური სინთეზის პირობების შერჩევის გზით), სხვადასხვა ორგანული მოლეკულებით (ლიმონმჟავა (CA), ფოლიუმის მჟავა (Fa), ოლეინის მჟავა (OA) და პოლი (ეთილენგლიკოლი) მონოლეატი (PEGMO) - 460 და 860 მოლეკულური წონით) მოდიფიცირებული რკინის ოქსიდის სუპერპარამაგნიტური ნანონაწილაკების (SPIONs) შემცველი ნანოსითხების (წყლის ბაზაზე) სინთეზი და კვლევა. მათ შორის, ფიზიოლოგიურთან ახლო წყლიან pH-არში, შემოუგარსავი რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების (BIONs) შემცველი, კოლოიდურად სტაბილური მაგნიტური ნანოსითხების მიღება და მათი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების შესწავლა. აღსანიშნავია, რომ ზემოაღნიშნული სინთეზით მიღებული მაგნიტური ნანოსითხის ცალკეული ნიმუშები

(როგორცაა ლიმონმჟავა და ფოლიუმის მჟავით სტაბილიზირებული მაგნიტური სითხეები (CA-SPIONs, FA-SPIONs)) ჰომოგენურობისა და სორბციული თვისებების გაუმჯობესების მიზნით დამატებით დამუშავდა ელექტროჰიდრაგლიკური განმუხტვებით.

კვლევითი სამუშაოს ფარგლებში დასახული მიზნების მისაღწევად განხორციელდა ჩვენს მიერ სინთეზირებული ნიმუშების კომპლექსური ანალიზი თანამედროვე სამეცნიერო კვლევის ტექნიკის გამოყენებით. კერძოდ, რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების ზომის, ზომების მიხედვით განაწილების, სედიმენტაციური და აგრეგატული მდგრადობის დასადგენად გამოყენებულ იქნა კვლევის ისეთი მეთოდები და ტექნიკა, როგორებიცაა: მცირეკუთხოვანი რენტგენული გაბნევა (SAXS) (SAXSPoint 2.0, Anton Paar), მცირეკუთხოვანი ნეიტრონული გაბნევა (SANS) (SANS diffractometer Yellow Submarine), სინათლის დინამიური გაბნევა (DLS) და სინათლის ელექტროფორეტიკული გაბნევა (ELS) Litisizer 500, Anton Paar).

პროექტის ფარგლებში, სტუ-ს ვლადიმერ ჭავჭავანიძის სახელობის კიბერნეტიკის ინსტიტუტში, ნანოკომპოზიტების ლაბორატორიაში, სინთეზირებული იქნა ზემოაღნიშნული ნიმუშები, რომლებზეც, პროექტის გეგმის მიხედვით, SAXS, DLS და ELS გაზომვები ჩატარდა გრაცის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის არაორგანული ქიმიის ინსტიტუტში (გრაცი ავსტრია), ხოლო SANS გაზომვები განხორციელდა ვიენის სახელობის ფიზიკის კვლევით ცენტრში (ბუდაპეშტი, უნგრეთი).

ამრიგად, მოცემული საგრნტო წინადადების ფარგლებში ჩვენ, ქიმიური თანადალექვის სინთეზის სტანდარტული პროცედურის მოდიფიცირების გზით, ავტომატური ქიმიური რეაქტორის მეშვეობით, წარმატებით განვახორციელეთ როგორც შემოუგარსავი ისე სხვადასხვა ორგანული მოლეკულით (OA, CA, PEGMO, FA) მოდიფიცირებული რკინის ოქსიდის სუპერპარამაგნიტური ნანონაწილაკების სინთეზი დამათ საფუძველზე სტაბილური მაგნიტური ნანოსითხეების მიღება (ფიზიოლოგიურ pH-თან ახლო წყლიან სადისპერსიო არეში). მაგნიტური ნანოსითხეების მიღების ეს გზა (დადგენილი ოპტიმალური პარამეტრებით) არის მარტივი, რეპროდუცირებადი, მასშტაბირებადი და ეფექტური სტრატეგია ფუნქციონალიზებული რკინის ოქსიდის მაგნიტური ნანონაწილაკების სინთეზისთვის. დადგენილ იქნა, რომ შემოუგარსავი მაგნეტიტის ნანონაწილაკების შემცველი ნანოსითხეები, ინარჩუნებენ კოლოიდურ მდგრადობას ელექტროსტატიკური სტაბილიზაციის გამო. ასეთი მაგნიტური ნანოსითხეები შეიძლება გამოყენებულიქნას ბიოსამედიცინო მიზნებისთვის, სადაც საჭიროა მაღალი ნაჯერი დამაგნიტებულობა წყლიან სადისპერსიო არეში (ნეიტრალურ ან ფიზიოლოგიურ pH-ზე). წყალში კარგი ხსნადობის, ბიოთავსებადობისა და ფუნქციური ჯგუფების არსებობის გამო, შესაძლებელია ბიოთავსებადი ორგანული მოლეკულებით მოდიფიცირებული (OA, CA, PEGMO, FA) მაგნიტური ნანოსითხეების დამატებითი ფუნქციონალიზაცია ბიოაქტიური მოლეკულებით ან სამკურნალო პრეპარატებით. ყოველივე ზემოთქმული იძლევა იმედისმომცემ პერსპექტივებს მიღებული მაგნიტური ნანოკომპოზიტური მასალები გამოყენებულ იქნას ბიომედიცინაში სხვადასხვა მიმართულებით.

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებისა და ანალიზის შედეგად, ავსტრიელ და უნგრელ პარტნიორებთან ერთად გამოქვეყნდა ორი სამეცნიერო



სტატია, კვლევის შედეგები ასევე მოხსენებულაქნა საერთაშორისო სამეცნიერო ფორუმზე – NANOTECH / BIOTECH FRANCE 2021.

**7. "ნანომავთულების გაზრდის ახალი ტექნოლოგიების შემუშავება და აირების ზემოქმედებაზე სენსორების დამზადება" (2016–2018წწ., ხელმძღვ. დავით ჯიშიაშვილი)**  
პროექტის ამოცანები:

- ა) პიროლიზური ტექნოლოგიის შემუშავება ნანომავთულთა გასაზრდელად  $N_2H_4$  და  $NH_4Cl$  ორთქლებში. მიკროტალღური ტექნოლოგიის შემუშავება;
- ბ) ნანომავთულთა თვისებების შესწავლა და მათი დამოკიდებულება ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე;
- გ) აირის სენსორების გამოსაცდელი სტენდის შექმნა, სენსორების დამზადება და გამოცდა;
- დ) ტექნოლოგიური პროცესების თეორიული მოდელირება და ტექნოლოგიური რეკომენდაციების შემუშავება;
- ე) გაზის სენსორების მარკეტინგული კვლევა გეოგრაფიული რეგიონების მიხედვით.

პროექტის მსვლელობისას დამზადდა ნანომავთულების არეზე დაფუძნებული აირის სენსორები. საუკეთესო შედეგები დაფიქსირდა ამიაკის სენსორისთვის  $In_2O_3$ -ის ნანომავთულების გამოყენებისას, რომელიც გრძობდა  $0.7$  ppm დონისამიაკს (რეაქციის დრო –  $29$  წმ, აღდგენის დრო –  $11$  წმ, ტემპერატურა –  $280^\circ C$ ). მეთანის მიმართ ყველაზე მგრძობიარე აღმოჩნდა  $InN$ -ით დეკორირებული  $In_2Ge_2O_7$ -ის ნანომავთულები, რომელთა დეტექტირების ზღვარი  $40$  ppm-ს აღწევს. ეს შედეგები ეთანადება აღნიშნული აირებისთვის ლიტერატურაში აღწერილ საუკეთესო პარამეტრებს. აღსანიშნავია, რომ ასეთი ნანოკრისტალებით დეკორირებული ნანომავთულები დღეს განიხილება, როგორც ყველაზე პერსპექტიული ნანომასალები აირის სენსორების დასამზადებლად და ჩვენი ზრდის ტექნოლოგია ასეთი ნანომასალების მიღების საშუალებას გვამძლევს.

ჩატარდა სენსორების ბაზრის მარკეტინგული კვლევა გეოგრაფიული სეგმენტების გათვალისწინებით. მიმდინარე პროექტის ფარგლებში შემუშავებული მეთოდების დაწერვით მიღებული პროდუქციის კონკურენტუნარიანობის იდენტიფიცირებისა და შეფასების მიზნით, პროდუქციის სავარაუდო ფასი და მახასიათებლები შეფასდა და შედარდა ბაზარზე წარმოდგენილ წამყვანი მწარმოებლებისა და მიმწოდებელი კომპანიების ანალოგიური მოწყობილობების მაჩვენებლებს.

ამრიგად, პროექტის შესრულების შედეგად შემუშავდა და შეფასდა პიროლიზური და მიკროტალღური ტექნოლოგია ნანომავთულთა დასამზადებლად; შესწავლილი იქნა ნანომავთულების სტრუქტურა შედგენილობა და თვისებების ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე დამოკიდებულება; თეორიული კვლევებით განისაზღვრა სინთეზისას მიმდინარე ქიმიური პროცესების პარამეტრები, განისაზღვრა მათი ალბათობა და შემუშავდა ტექნოლოგიური რეკომენდაციები; დამზადდა აირის სენსორები რომელთა მგრძობიარობაც ლიტერატურაში აღწერილ საუკეთესო სენსორების პარამეტრებს ეთანადება; ჩატარდა მარკეტინგული კვლევა

გეოგრაფიული სეგმენტების მიხედვით და შეფასდა ჩვენს მიერ შემუშავებული აირის სენსორების კომერციალიზაციის შესაძლებლობები.

#### **8. "ექსტრემალურ სიტუაციებში ობიექტების განლაგებისა და ტვირთების გადაზიდვის დაგეგმარება" (ხელმძღვ. გ. სირბილაძე-თსუ ; კიბერნეტიკის ინსტიტუტი-თანამონაწილე)**

პროექტი მიზნად ისახავდა შექმნილიყო ექსპერტიზის ცოდნაზე დაფუძნებული ინტელექტუალური მხარდაჭერის სისტემა კერძო ან სახელმწიფო ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც დაინტერესებული არიან ექსტრემალური და არანორმალური პროცესებით და უზრუნველყოფენ კატასტროფებით დაზარალებულ გეოგრაფიულ ტერიტორიებზე სამოქალაქო და სამხედრო ობიექტების მომარაგების ოპტიმალურ და უსაფრთხო მართვას. მიწისძვრები, ხანძრები და სხვა უბედური შემთხვევები, მასობრივი განადგურების იარაღი, ტერორისტული თავდასხმები და ა.შ. ; იმ ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოსახლეობის სწრაფ დახმარებას უსაფრთხო გზით, საინფორმაციო და სატელეკომუნიკაციო ქსელების აღდგენასა და განლაგებას.

როგორც კლასიკური მოდელირების ალტერნატივა, ჩვენ შევქმენით ახალი მიდგომა – ობიექტის არამკაფიო მდებარეობა/ტრანსპორტის პრობლემა ექსტრემალური გარემოსთვის, რომელშიც ვანვითარებთ არამკაფიო მეთოდებს და აგრეგაციებს ფორმირებისა დასაექსპერტო ცოდნის წარმოდგენისთვის.

პროექტის მთავარი პროდუქტი არის სადისტრიბუციო ქსელების და სასწრაფო დახმარების მენეჯერების ინტელექტუალური მხარდაჭერის სისტემა.

#### **9. " ადრეულ სტადიაზე პროსტატის კიბოს ვიზუალიზაციის გამოკვლევა" (2016–2018წწ., ხელმძღვ. ბესარიონ ფარცვანია)**

პროექტის მიზანი იყო პროსტატის კიბოს ვიზუალიზაციის ხელსაწყო საბუნებრივ პროტოტიპის შემუშავება და დამზადება. პროექტის კვლევის სფერო იყო პროსტატის კიბოს დიაგნოსტიკა. ტექნიკური მიდგომა ეფუძნებოდა ბიოლოგიურ ქსოვილებში და განსაკუთრებით პროსტატის ქსოვილში ინფრაწითელი გამოსხივების შეღწევის შესაძლებლობის გამოკვლევას. ამ მიზნით ჩვენ გამოვიყენეთ ინფრაწითელი გამოსხივების სხვადასხვა წყაროები, როგორცაა შუქდიოდები (LED) და ლაზერები, რომლებიც ასხივებენ ინფრაწითელ გამოსხივებას. გამოსხივების ტალღის სიგრძის ინტერვალი იყო 810-890 ნმ. ოპტიმალური გამოსხივების მისაღებად გამოკვლეულ იქნა სხვადასხვა გამოსხივების სიმძლავრეები. გამოსხივებული ინფრაწითელი სინათლის დეტექტირებას ხორციელდებოდა CCD კამერის გამოყენებით. ინფრაწითელი გამოსახულების მისაღებად იზოლირებული პროსტატა თავსდებოდა ინფრაწითელი სინათლის წყაროსა და CCD კამერის მატრიცას შორის. შემუშავებული და შექმნილია პროსტატის კიბოს ვიზუალიზაციისა და დიაგნოსტიკის მოწყობილობის საბუნებრივი მოდელი, სიმსივნის განვითარების ადრეულ სტადიაზე დასადგენად.

მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი ეფუძნება ახლო ინფრაწითელი გამოსხივების ბიოლოგიურ ქსოვილებში და განსაკუთრებით პროსტატის ქსოვილებში ინფრაწითელი

გამოსხივების შეღწევის უნარს. ინფრაწითელი სხივების მგრძობელი CCD კამერა გარდაქმნის ინფრაწითელ გამოსხივებას ელექტრო სიგნალად, რომელიც გადაეცემა კომპიუტერს. ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა კომპიუტრული პროგრამა, რომელიც გარდაქმნის ამ ინფორმაციას ხილულ გამოსახულებად. ცდების შედეგად ნაჩვენებია, რომ :

- პროსტატის ქსოვილი გამჭვირვალეა ინფრაწითელი გამოსხივებისთვის და ამ გამოსხივების მაქსიმალური შეღწევადობა შეინიშნება 840-860 ნმ ტალღის სიგრძის ინტერვალში.
- პროსტატის არასიმსივნურ ქსოვილში ინფრაწითელი სხივების შეღწევადობა გაცილებით მაღალია, მეტია, ვიდრე შეღწევადობა სიმსივნურ ქსოვილში.
- პროსტატის ჯანმრთელ ქსოვილში გასული ინფრაწითელი გამოსხივების ინტენსივობა წრფივად და მოკიდებულია ამ ქსოვილის სისქეზე.
- პროსტატის კიბოს ქსოვილში გასული ინფრაწითელი გამოსხივების ინტენსივობა უაღრესად არაწრფივად და მოკიდებული სიმსივნური პროსტატის ქსოვილის სისქეზე.
- ინფრაწითელ გამოსახულებაში სიმსივნური წარმონაქმნების შესაბამისი უბნების ოპტიკური სიმკვრივე დამოკიდებულია კიბოს აგრესიულობაზე. რაც უფრო მაღალია აგრესიულობა, მით უფრო მაღალია ოპტიკური სიმკვრივე.
- შემუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფა ზომავს ინფრაწითელი გამოსახულების სხვადასხვა პარამეტრებს და გამოიცნობს კიბოს წარმონაქმნს 95%-იანი ალბათობით. პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას გვაძლევს გამოვაკლინოთ 5 მმ-მდე ზომის სიმსივნური წარმონაქმნები.