

ბიოდიზელის საწვავის მიღების ტექნოლოგიები და მათი კომერციალიზაცია

კახა ქარჩხაძე

*სადისერტაციო ნაშრომი წარდგენილია ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისა და მედიცინის ფაკულტეტზე ბიოქიმიის
დოქტორის აკადემიური ხარისხის მინიჭების მოთხოვნების შესაბამისად*

ბიოქიმიის და მოლეკულური ბიოტექნოლოგიის სადოქტორო პროგრამა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: დავით მიქელაძე - პროფესორი, ბიოლოგიის
მეცნიერებათა დოქტორი

თანახელმძღვანელი: ნათელა ხეცურიანი, პროფესორი, ქიმიის მეცნიერებათა
დოქტორი

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი

თბილისი, 2025

განაცხადი

როგორც წარდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის „ბიოდიზელის საწვავის მიღების ტექნოლოგიები და მათი კომერციალიზაცია“ ავტორი, ვაცხადებ, რომ ნაშრომი წარმოადგენს ჩემს ორიგინალურ ნამუშევარს და არ შეიცავს სხვა ავტორების მიერ აქამდე გამოქვეყნებულ, გამოსაქვეყნებლად მიღებულ ან დასაცავად წარდგენილ მასალებს, რომლებიც ნაშრომში არ არის მოხსენიებული ან ციტირებული სათანადო წესების შესაბამისად.

კახა ქარჩხაძე



თარიღი

19 დეკემბერი, 2024 წ.

აბსტრაქტი

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს განახლებადი ბიორესურსებისაგან ბიოდიზელის მიღების ტექნოლოგიების ქიმიური და ფიზიკური საფუძვლების კვლევა და დამუშავება, მათი ოპტიმიზაცია ბიოდიზელის წარმოებისთვის, ბიოდიზელის საწარმოო ნედლეულის ანალიზი და შემადგენელი კომპონენტების დეტექცია, წარმოებული ბიოდიზელის შენახვის ვადის და ხარისხის სტაბილურობის დროის გაზრდა და საბოლოო ჯამში ბიოდიზელის ინდუსტრიული წარმოებისათვის ოპტიმალური სამეცნიერო საფუძველის მომზადება.

ჩვენს მიერ ჯერ ლაბორატორიულ პირობებში და შემდეგ საწარმოო-საპილოტე დანადგარზე მიღებულ იქნა ბიოდიზელი B100 და შესწავლილ იქნა მისი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები საერთაშორისო EN 14214 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად. მომზადდა ბიოსაწვავების საცდელი ნიმუშები და შესწავლილ იქნა მათი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები. დადგენილია, რომ ჩვენს მიერ მიღებული საცდელი ნიმუშების პარამეტრები სრულად შეესაბამება EN590 და EN14214 სტანდარტების მოთხოვნებს.

გავაანალიზეთ ნევთობდიზელის და ბიოდიზელის საწვავების და მათი ბლენდების B0, B5, B10 და B20 ნახშირწყალბადების ჯგუფური შედგენილობა „PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2“ ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე. მივიღეთ დადებითი შედეგი, რომ ბიოდიზელის და მისი ნავთობდიზელთან ბლენდების ჯგუფური შედგენილობა აკმაყოფილებს საერთაშორისო სტანდარტებს.

საცდელ ნიმუშებში B0, B5, B10 და B20 ინდივიდუალური ნახშირწყალბადების შესწავლა განხორციელდა გაზურ ქრომატოგრაფზე NetChromv2. შესწავლილი და იდენტიფიცირებულია საკვლევ ობიექტებში შემავალი ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები. მიღებული შედეგები ASTM D7096 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისია.

ბიოდიზელის შენახვის პერიოდისა და ხარისხის სტაბილურობის გასაუმჯობესებლად და ამ საწვავის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შესანარჩუნებლად, ჩვენ შევიმუშავეთ ბიოდიზელის ახალი ორიგინალური შემადგენლობის - ნანობიოდიზელი მიღების ტექნოლოგია.

გაანალიზებული იქნა სუფთა ბიოდიზელის (ანუ B100-ის) და ნანო-ბიოდიზელის ნახშირწყალბადების ჯგუფური შედგენილობა PerkinElmer SPECTRUM ვერსიის 10.4.2 ინფრაწითელი სპექტრომეტრის გამოყენებით, შედეგები ნათლად უჩვენებს რომ მათი სპექტრები იდენტურია.

შესწავლილი იქნა ახალი ტიპის ბიოდიზელის, ნანო-ბიოდიზელის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების სტაბილურობის, და შესაბამისად, ხარისხის შენარჩუნების უნარი, ნანო-ბიოდიზელის საწვავის ნიმუში ინახებოდა ქიმიის ლაბორატორიაში, ქიმიურ კონუსურ მინის კოლბაში, რომელიც დაფარული იყო სტანდარტული შუშის თავსახურით 20-25°C ტემპერატურის დიაპაზონში.

ოთხი წლის განმავლობაში 2018-2022 წწ. რეგულარულად ვახდენდით საცდელი ნიმუშების სპექტრალურ ანალიზს ინფრაწითელი სპექტრომეტრის და გაზური ქრომატოგრაფის საშუალებით. დავადგინეთ, რომ საცდელმა ნიმუშებმა შენახვის პერიოდში ცვლილება არ განიცადა და სრულად შეინარჩუნა ხარისხობრივი მახასიათებლები 4 წლის განმავლობაში. ბიოსაწვავის ამგვარი სტაბილურობის შედეგი სამეცნიერო ლიტერატურაში დღემდე არაა აღწერილი.

ჩვენი კვლების ფარგლებში საქართველოში პირველად იქნა მიღებული ბიოდიზელი მეორადი (მოხმარებული) მცენარეული ზეთებიდან და მიღებული კვლევების და რეკომენდაციების საფუძველზე 2018 წელს პირველად საქართველოში და სამხრეთ კავკასიაში გაიხსნა და ამუშავდა პირველი ბიოდიზელის ქარხანა.

ბიოდიზელის წარმოების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის მნიშვნელოვანი იყო შეგვემუშავებინა მეთოდი დეტექციისათვის, თუ რომელი მცენარეების ზეთებისაგან შედგება ბიოდიზელის საწარმოში მიღებული წარმოებისთვის განკუთვნილი მოხმარებული საკვები ზეთი.

ამ მიზნით დამუშავებული იქნა პჯრ ტექნოლოგიით ზეთოვანი კულტურების დეტექციის მეთოდი, რომელიც მზესუმზირას (*Helianthus annuus* L.) ნუმუშებზე ჩატარდა და გვიჩვენა რომ ეს არის სწრაფი და საიმედო მეთოდი სხვა არსებულ მეთოდებთან შედარებით.

საბოლოოდ, ნაშრომის ფარგლებში შემუშავებული იქნა ბიოდიზელის მიღების მეთოდები, ტექნოლოგიები და რეკომენდაციები რომელიც მნიშვნელოვანი

სამეცნიერო ბაზა იქნება ბიოდიზელის ფართომასშტაბიანი წარმოების ინდუსტრიისათვის.

ძირითადი სამიზნო სიტყვები: ბიოდიზელი, განახლებადი ენერგია, ნაწარმი ბიოდიზელი, პჯრ დეტექცია, ბიოსაწვავი.

Abstract

The purpose of the presented work is to research the chemical and physical properties of biodiesel derived from renewable bioresources, develop and optimize the technologies for biodiesel production, analysis of biodiesel production raw materials and detection of constituent components, increase the long-term storage and quality stability of the produced biodiesel and ultimately prepare an optimal scientific basis for the industrial production of biodiesel.

Biodiesel B100 was first prepared in laboratory conditions and then on a production-pilot plant and studied its physicochemical characteristics, fully meeting the requirements of the international EN 14214 standard. Test samples of biofuels were prepared and their physicochemical characteristics were studied. It has been established that the parameters of the test samples we obtained fully comply with EN590 and EN14214 standards requirements.

We analyzed the group composition of petroleum diesel and biodiesel fuels and their blends (B0) and B5, B10, and B20 hydrocarbons on the “PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2” infrared spectrometer. We obtained a positive result that the group composition of biodiesel and its blends with petroleum diesel meets international standards.

The study of individual hydrocarbons B0, B5, B10, and B20 in the test samples was carried out on a gas chromatograph NetChromv2. Individual hydrocarbons contained in the test objects were studied and identified. The results obtained comply with the requirements of the ASTM D7096 standard.

To improve the long-term storage and quality stability of biodiesel and to preserve the physical and chemical properties of this fuel, we have developed a technology for obtaining a new original composition of biodiesel - nano biodiesel.

The hydrocarbon group composition of pure biodiesel (i.e. B100) and nano-biodiesel was analyzed using a PerkinElmer SPECTRUM version 10.4.2 infrared spectrometer, the results clearly show that their spectra are identical.

For four years, 2018-2022, we regularly conducted spectral analysis of test samples using an infrared spectrometer and gas chromatography. We determined that the test samples did not change during storage and fully maintained their quality characteristics for 4 years. .

Within the framework of our research, biodiesel was obtained for the first time in Georgia from secondary (used) vegetable oils, and based on the research and recommendations received, in 2018, the first biodiesel plant in Georgia and the South Caucasus was opened and put into operation.

To optimize the biodiesel production process, it was important to develop a method for detecting which plant oils are in the feedstock, i.e. the used cooking oil intended for production at the biodiesel plant.

For this purpose, a method for detecting oilseed crops using PCR technology was developed, which was carried out on sunflower (*Helianthus annuus* L.) samples and showed that this is a fast and reliable method compared to other existing methods.

Finally, within the framework of the work, methods, technologies, and recommendations for obtaining biodiesel were developed, which will be an important scientific basis for the large-scale biodiesel production industry.

Key Words: biodiesel, renewable energy, nano-biodiesel, PCR detection, biofuel.

მ ა დ ლ ო ბ ა

წარმოდგენილი სადისერტაციო კვლევა შესრულებულია:

- ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტში,
- თსუ პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის ნავთობქიმიის ლაბორატორიაში,
- კომპანიაში შპს „ბიოდიზელი ჯორჯია“

დისერტაციაზე მუშაობის პერიოდში თანამშრომლებისგან ვგრძნობდი დიდ ყურადღებას, თანადგომას და პროფესიულ მხარდაჭერას, რისთვისაც მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო მათ.

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო ჩემი სადისერტაციო კვლევის ხელმძღვანელს, ქიმიური ბიოლოგიის ინსტიტუტის დირექტორს, აკადემიკოსს, ბატონ დავით მიქელაძეს, რომელმაც მომცა საშუალება, შემესრულებინა კვლევები ქიმიური ბიოლოგიის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში. ჩემი სადისერტაციო კვლევა მისი უშუალო მეთვალყურეობით და ხელმძღვანელობით განხორციელდა.

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო ჩემი სადისერტაციო კვლევის თანახელმძღვანელს, ქალბატონ ნათელა ხეცურიანს, თსუ პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის ნავთობქიმიის ლაბორატორიის გამგეს, ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორს, მის მიერ გაწეული უდიდესი შრომისთვის, საკუთარი ცოდნის და გამოცდილების გაზიარებისთვის, რაც ჩემთვის იყო უდიდესი გამოცდილება. მისი თანადგომის გარეშე ჩემი სადისერტაციო ნაშრომი სადათანადოდ ვერ შესრულდებოდა.

ასევე, დიდი მადლობა მინდა გადავუხადო შპს „ბიოდიზელი ჯორჯიას“, სადაც რეალურ რეჟიმში მიმდინარეობდა ექსპერიმენტები და სამეცნიერო ინოვაციების დანერგვა ინდუსტრიაში.

ს ა რ ზ ე ვ ი

სარჩევი	VIII
სურათების და ცხრილების ჩამონათვალი	XI
აბრევიატურების ჩამონათვალი	XIII
შესავალი	1
სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა	6
1.1. განახლებადი ენერგიის წყაროები.....	9
1.2. ჰიდრო ენერგია.....	10
1.3. მზის ენერგია.....	11
1.4. ქარის ენერგია	11
1.5. ბიომასის ენერგია	12
1.6. გეოთერმული ენერგია.....	13
1.7. ბიოსაწვავის სახეები	14
1.7.1 თხევადი ბიოდაწვავები -----	16
1.8. ბიოდიზელის ისტორია -----	17
1.9. ბიოდიზელის წარმოების ძირითადი ტექნოლოგიები -----	19
1.9.1. პიროლიზი -----	20
1.9.2. მიკროემულსიფიკაცია-----	20
1.9.3. ტრანსეთერიფიკაცია -----	21
1.9.4. მიკროტალღური მეთოდი -----	22
1.9.5. სუპერკრიტიკული მეთოდი -----	23

1.10. ბიოდიზელის ეკონომიკა	25
1.11. ბიოდიზელის წარმოების პროცესი	26
1.12. ბიოდიზელი, როგორც პერსპექტიული საწვავი	28
1.13. ბიოდიზელის ნედლეული - მცენარეული ზეთები	37
1.14. ბიოდიზელის წარმოების ნედლეული	39
მასალები და მეთოდები	42
2.1. დიზელის და ბიოდიზელის კვლევის მეთოდები	45
2.2. ბიოდიზელის კვლევის სტანდარტები	46
2. 3. სახეობების დეტექცია პჯრ-ზე დაფუძნებული ტექნოლოგიით	48
2.3.1. მენერეული ზეთების პჯრ ანალიზი	49
2.3.2. დნმ-ის ექსტრაქცია	50
2.3.3. სტანდარტული CTAB მეთოდი	50
2.3.4. მოდიფიცირებული CTAB მეთოდი	51
2.4. ბიოინფორმატიული პჯრ ანალიზი	51
2.4.1. პჯრ ანალიზი	52
2.4.2. აგაროზას გელზე ელექტროფორეზი	53
2.5. სტატისტიკური ანალიზი	54
მიღებული შედეგები და მათი განხილვა	55
3.1. მეცნიერული სიახლე	56
3.2. ბიოდიზელის საწვავი შიგა წვის ძრავებში	57
3.3. ბიოდიზელის და მათი ბლენდების შენახვის ხანგრძლივობა	65
3.3.1. ბიოდიზელის საწვავის სტაბილურობა	68
3.4. ნანო-ბიოდიზელი	69

3.5. ბიოდიზელის ნედლეულში ზეთების დეტექცია.....	70
3.6. დნმ ექსტრაქციის ეფექტური მეთოდები	72
3.7. ჩასმული და ორმაგი პჯრ შემუშავება ზეთების დეტექციისთვის	77
3.8. ბიოდიზელის ნედლეულში მზესუმზირას ზეთის დეტექცია	82
3.9. ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა -----	89
დასკვნები.....	92
გამოყენებული ლიტერატურა	93
დანართები	104

სურათების და ცხრილების ჩამონათვალი

სურათი 1. ენერგო რესურსების პროგნოზი 2040 წლამდე-----	7
სურათი 2. ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარება -----	8
სურათი 3. ცხიმოვანი მჟავების ტრანსეთერიფიკაცია-----	21
სურათი 4. ბიოდიზელის მიღების მიკროტალღური მეთოდი-----	22
სურათი 5. ბიოდიზელის წარმოება სუპერკრიტიკული მეთოდით -----	23
სურათი 6. ბიოდიზელის წარმოება ეთერიფიკაციის მეთოდით -----	24
სურათი 7. პირველი ბიოდიზელის ქარხანა საქართველოში -----	27
სურათი 8. რუდოლფ ქრისტიან კარლ დიზელი (1858 – 1913)-----	29
ცხრილი 1. მცენარეული ზეთების ცხიმოვანი მჟავების შედგენილობა და თვისებები -----	30
სურათი 9. ბიოდიზელის ნედლეულის ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობა -----	31
ცხრილი 2. დიზელის (EN 590) და ბიოდიზელის (EN 14214 და ASTM 6751) საწვავების ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები -----	32
ცხრილი 3. ბიოდიზელის ევროპული სტანდარტი -----	35
ცხრილი 4. დიზელის საწვავის სტანდარტი -----	36
სურათი 10. ტრიგლიცერიტების ეთერიფიკაცია-----	42
ცხრილი 5. ბიოდიზელის საექსპლოატაციო თვისებები-----	43
სურათი 11. ბიოდიზელის საპილოტე დანადგარი -----	44
ცხრილი 6. საპილოტე დანადგარში მიღებული ბიოდიზელი -----	44
ცხრილი 7. პჯრ-ში გამოყენებული ოლიგონუკლეოტიდური პრაიმერები -----	52
ცხრილი 8. ბიოდიზელის B100, B 20 და ნავთობდიზელის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები -----	58
სურათი 12. ბიოდიზელის B100 ინფრაწითელი სპექტრი -----	59
სურათი 13. ნანო ბიოდიზელის და B100 ბიოდიზელის სპექტრები-----	59
სურათი 14. ევროდიზელის და B20 საწვავის სპექტრები -----	60

ცხრილი 9. ბიოდიზელის B100, B20 და ნავთობის დიზელი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები -----	61
ცხრილი 10. ბიოდიზელი B100, B20 და ნავთობის დიზელი -----	62
ცხრილი 11. მინერალური დიზელის და ბიოდიზელის ბლენდების ფიზიკური და ქიმიური თვისებები. -----	63
სურათი 15. ნავთობდიზელის საწვავის (B0) და ბიოდიზელის ნარეკების B5, B10, B20) შედარება -----	64
ცხრილი 12. ნავთობდიზელი სუფთა ბიოდიზელი და მათი ბლენდები-----	66
სურათი 16. სუფთა ბიოდიზელის B100 და ნანობიოდიზელის შედარება -----	67
სურათი 17. სუფთა ნავთობდიზელის B0 დ B20 ბიოდიზელის შედარება-----	68
სურათი 18. ნანო-ბიოდიზელის სპექტრული ანალიზები 2018-2021 წლებში -----	69
სურათი 19. მზესუმზირის ჰელიანთინინის გენის პჯრ-ით დეტექცია -----	70
სურათი 20. მზესუმზირის თესლიდან და ზეთებიდან დნმ-ის ექსტრაქციის CTAB პროტოკოლების შედარება -----	72
სურათი 21. მცენარის ნაკრებისა და ნუკლეოსპინის ნაკრების შედარება დნმ-ის ექსტრაქციისათვის -----	74
სურათი 22. წინასწარ კონცენტრირებული მზესუმზირის სხვადასხვა ზეთის პჯრ-ტესტირება -----	75
ცხრილი 13. ნუკლეოსპინის, ქიაგენის სურსათის, ზეთის ნაკრებებით და მოდიფიცირებული CTAB-ის მეთოდით მიღებული ზეთის ექსტრაქტების დნმ-ის კონცენტრაცია და სისუფთავე. -----	78
სურათი 23. პირველადი (a, c, e), ჩასმული (b, d, ხაზები 1-9; f, ხაზები 1-14) და ორმაგი (b, d, ხაზები 10-18) პჯრ-ები -----	80
სურათი 24. სხვადასხვა ზეთების დნმ-ების პირველადი (a) და ჩასმული (b) პჯრ-ები პრაიმერებით heli188f/heli188r (a) და heli162f/ heli162r (b). ნიმუშები -----	81
სურათი 25. მზესუმზირის ზეთიდან და UCO-დან ნუკლეოსპინის ნაკრებით (და მოდიფიცირებული მიღებული დნმ-ების მეორე პჯრ-ები -----	82

აბრევიატურების ჩამონათვალი

B0 ნავთობდიზელი, მინარევების გარეშე

B100 ბიოდიზელი, მინარევების გარეშე

B5 ნავთობდიზელთან 5% ბიოდიზელის ბლენდი

B20 ნავთობდიზელთან, 20% ბიოდიზელის ბლენდი

BP ბრიტიშ პეტროლეუმ British Petroleum

ASTM - American Society for Testing and Materials-ში ტესტირების და მასალების საზოგადოება

EN - European Standards – ევროპული სტანდარტები

IEA - International Energy Agency -საერთაშორისო ენერგიის სააგენტო

UCO - Used cooking oil – მოხმარებული საკვები ზეთი

WCO - Waste cooking oil – ნარჩენი საკვები ზეთი

Crude oil - ნედლი ზეთი

extra virgin oil - ექსტრა ვირჯინი

refined oil- რაფინირებული ზეთი

პჯრ - პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქცია

რდ-პჯრ - რეალური დროის პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქცია

Nested PCR - ჩასმული პჯრ

bp – base pair (ფუძეთა წყვილი)

TAE (Tris-Acetate-EDTA) - ტრის-აცეტატ-ედტა

CTAB - ცეტილ ტრიმეთილ ამონიუმის ბრომიდი

UV - ულტრაიისფერი გამოსხივება

dNTP - დეზოქსირიბონუკლეოტიდ ტრიფოსფატი

NucleoSpin Food Kit - ნუკლეოსპინის ნაკრები

Qiagen DNeasy plant mini kit - ქიაგენის მცენარის ნაკრები

Olive Oil DNA Isolation Kit - ზეთის ნაკრები

ASTM D6751 - ამერიკული ბიოდიზელის სტანდარტი

EN 14214 - ევროპული ბიოდიზელის სტანდარტი

შესავალი

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს ბიოდიზელის საწვავის წარმოების სისტემატიურ კვლევებს, რომელიც პირველად ჩატარდა საქართველოში ქვეყანაში ალტერნატიული საწვავის - ბიოდიზელის წარმოების დანერგვის მიმართულებით.

თანამედროვე მსოფლიოში ბიოდიზელის წარმოება განუხრელად იზრდება და მრავალი ქვეყნისთვის, სტრატეგიულ მნიშვნელობას იძენს. შესაბამისად ბიოდიზელის წარმოების და ბიოდიზელის მიღების ბიოქიმიური ტექნოლოგიების შესწავლა და დამუშავება თანამედროვე მსოფლიოს მეცნიერებისა და ინდუსტრიის ერთ-ერთი სწრაფად განვითარებადი, ეკონომიკური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი მიმართულებაა.

ბიოდიზელი, როგორც ბიორესურსებისაგან მიღებული ნავთობდიზელის ალტერნატიული საწვავი, რომელიც ასევე განახლებადი, კარბონ-ნეიტრალური და ეკო-მეგობრული საწვავია, მთელ მსოფლიოში მრავალმილიარდიანი ინდუსტრიაა. ბიოდიზელის ინდუსტრიაში ახალი ქვეყნები და კომპანიები ერთვებიან და ეს ტენდენცია განსაკუთრებით შეიმჩნევა 21 საუკუნეში, როდესაც უფრო და უფრო მეტი ქვეყანა ცდილობს საკუთარი, დამოუკიდებელი ენერგოსექტორი გააძლიეროს და ენერგომოუკიდებლობა განავითაროს (BP, Energy Outlook 2023).

დღეისათვის, უკვე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ბიოდიზელის განვითარება მნიშვნელოვანი გახდა ქართული სახელმწიფოსთვისაც, ამის დასტურია ისიც, რომ ბიოდიზელის განვითარება შეტანილია „საქართველოს კლიმატის ცვლილების 2030 წლის სტრატეგიის 2024-2025 წლების სამოქმედო გეგმაში“, რომელიც მომზადებულია საქართველოს მთავრობის 2019 წლის 20 დეკემბრის №629 დადგენილების თანახმად (<https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/32027>).

აქედან გამომდინარე, ბიოდიზელის წარმოების, მისი მიღების ბიოქიმიური მეთოდების შესწავლა და ამ სტრატეგიული საწვავის წარმოების ტექნოლოგიების მეცნიერული კვლევა და კომერციალიზაცია, საქართველოსათვის სტრატეგიული განვითარების მნიშვნელობის მქონე ამოცანა გახდა.

ბიოდიზელის ქიმიური და ფიზიკური მახასიათებლები ძალიან ახლოა ნავთობისგან მიღებული დიზელის საწვავის მახასიათებლებთან, რაც საშუალებას

იძლევა ბიოდიზელი გამოყენებული იქნეს პრაქტიკულად ყველა იმ სფეროში და სეგმენტში სადაც ნავთობდიზელი გამოიყენება. ამ საწვავებს შორის მთავარი განსხვავება და ბიოდიზელის დიდი უპირატესობა არის ის, რომ ბიოდიზელი არის ეკო-მეგობრული, მიღება განახლებადი რესურსებისაგან და ის კარბონ-ნეიტრალური საწვავია. ბიოდიზელის წარმოებას და გამოყენებას აქვს კარბონ-ნეიტრალური (ჩაკეტილი) ნახშირბადის ციკლი და შესაბამისად, ბიოდიზელი, განსხვავებით ნავთობდიზელისაგან, არ მატებს ნახშირორჟანგს, ანუ დედამიწაზე სათბურის ეფექტის გამომწვევ ფაქტორს, ატმოსფეროს (Simionescu et al, 2019).

ბიოქიმიური თვალსაზრისით ბიოდიზელი ეს არის ცხიმოვანი მჟავების მონოალკილის ეთერები, რომლებიც მიიღება, ძირითადად, განსაკუთრებით ინდუსტრიული მასშტაბით, ტრანსეთერიფიკაციის რეაქციით ქიმიურად მორეაგირე მცენარეული ზეთების და სპირტის (მეთილის, ეთილის სპირტები) არეში კატალიზატორის თანაობისას (Pahl, 2005).

წინამდებარე ნაშრომის მიზანი არის ბიოდიზელის მიღების ტექნოლოგიების ქიმიური და ფიზიკური საფუძვლების კვლევა, მათი ოპტიმიზაცია ბიოდიზელის წარმოებისთვის, ბიოდიზელის საწარმოო ნედლეულის ანალიზი, ნედლეულში შემავალი ზეთების დეტექცია, ასევე წარმოებული ბიოდიზელის შენახვის ხანგრძლივობის გაზრდის ტექნოლოგიის შემუშავება და საბოლოო ჯამში ბიოდიზელის ინდუსტრიული მასშტაბით წარმოებისათვის ოპტიმალური სამეცნიერო საფუძველის მომზადება და რეკომენდაციების მომზადება.

წინამდებარე ნაშრომის ფარგლებში ჩვენს მიერ დამზადებული იქნა ბიოდიზელის საცდელი ნიმუშები როგორც მეორადი, მოხმარებული ზეთის ისე რაპსის (ლათ: *Brassica napus*) ნედლეულის საფუძველზე. საკვლევ ობიექტებად შერჩეული იქნა ნავთობდიზელი, (ანუ საერთაშორისო აბრევიატურით B0), ბიოდიზელი B100 – (ანუ სუფთა ბიოდიზელი, მინრევების გარეშე) და ბიოდიზელის B6, B10 და B20 ნარევები ნავთობდიზელთან საერთაშორისოდ მიღებული პრაქტიკის შესაბამისად.

ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა საკვლევი ობიექტების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები. შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ჩვენს მიერ მიღებული ეთერიფიკაციის მეთოდით მიღებული ბიოდიზელის და ზემოთაღნიშნული ბლენდების ფიზიკური

და ქიმიური თვისებები აკმაყოფილებს ASTM D 14214 სტანდარტების მოთხოვნებს, ხოლო ჩატარებულმა სპექტრულმა ანალიზმა თვალნათლივ აჩვენა, რომ ჩვენს მიერ მიღებული ბიოდიზელისა და შესადარებელი ნავთობდიზელის სპექტრები იდენტურია.

ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა ბიოდიზელის ახალი, ორიგინალური გაუმჯობესებული შემადგენლობა - ნანობიოდიზელი, რომელიც შესწავლილია, გაანალიზებულია და შედარებულია სუფთა ბიოდიზელთან B100. როგორც ამ მასალების ინფრაწითელმა სპექტრულმა ანალიზმა გვიჩვენა B100-ისა და ბიოდიზელის ნანო-კომპოზიციის ნახშირწყალბადების ჯგუფური შედგენილობა იდენტურია.

ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ბიოდიზელი B100 და ნანო-ბიოდიზელის, ქიმიური და ფიზიკური პარამეტრების სტაბილურობა და შენახვის ხანგრძლიობა. ჩვენ ოთხი წლის განმავლობაში ვინახავდით ამ ბიოსაწვავების ნიმუშებს ქიმიის ლაბორატორიაში, სადაც საწვავი განთავსებული იყო ქიმიურ კონუსურ მინის კოლბაში, რომელიც დახურული იყო მიხეხილთავიანი სახურავით 20-25°C ტემპერატურის პირობებში. ტესტირება 2018 წლის თებერვალში დაიწყო და საწვავის ხარისხის პარამეტრები რეგულარულად მოწმდებოდა. ჯგუფური შემადგენლობა ისაზღვრებოდა „PerkinElmer SPECTRUM“ ვერსია 10.4.2. IR სპექტრომეტრით ხოლო ინდივიდუალური ნახშირწყალბადების დეტექცია იდენტიფიცირებული იქნა NETCHROM, "Cristallux" 4000M გაზური ქრომატოგრაფით, რომელიც აღჭურვილი იყო საკუთარი პროგრამული უზრუნველყოფით.

მიღებულმა შედეგებმა ცხადყო, რომ ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდით დამზადებული ბიოდიზელი და ნანობიოდიზელი - ოთხი წლის განმავლობაში ინარჩუნებს მის მაღალ ხარისხს და ყველა ფიზიკურ და ქიმიურ პარამეტრებს არსებული სტანდარტების ფარგლებში. ამგვარი შედეგი სამეცნიერო ლიტერატურაში ჯერჯერობის არაა აღწერილი.

ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა, აგრეთვე, ქარხნული წესით ბიოდიზელის საწარმოში დამზადებული ბიოდიზელის ნიმუშები, რომლებიც მიღებული იყო ბიოდიზელის საწარმოში მეორადი მოხმარებული საკვები ზეთის გადამუშავების გზით. აღნიშნულ საწარმოში, ისევე როგორც ბიოდიზელის წარმოების ინდუსტრიაში

არსებული უმრავლესი ქარხნებში, ბიოდიზელის საწარმოო ნედლეულია მეორადი მოხმარებული ზეთი, (ინგ. Used Cooking Oil -UCO) რაც წარმოადგენს სხვადასხვა მცენარეების ზეთების ნარევს.

ცნობილია, რომ გლობალური ბიოდიზელის 95% იწარმოება სხვადასხვა საკვები ზეთებიდან, ხოლო მათ შორის მოხმარებული საკვები ზეთის წილი შეადგენს (10%). შესაბამისად, ბოლო წლებში მეტი ყურადღება ეთმობა მოხმარებული საკვები ზეთების ხელმეორედ გამოყენებას კვების მრეწველობაში, საკვები ზეთების სიმცირის გამო (Brahma et al, 2022).

ბიოდიზელის საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაციისათვის მნიშვნელოვანია ბიოდიზელის ნედლეულის, ანუ ქარხანაში შემოტანილი მცენარეული ზეთების ანუ UCO-ს შედგენილობის დადგენა.

საკვებ ზეთებს აქვთ სხვადასხვა მახასიათებლები, როგორიცაა ცხიმოვანი მჟავების ტიპები, ნაჯერი და უჯერი, ასევე განსხვავებულია მათი მოლეკულური წონა, ენერგომეცველოვა, (კგ/კმოლ) და წვის სითბო მჯ. კჯ. ასევე მათი კუთრი წონა და სხვა მნიშვნელოვანი ისეთი ტექნიკური მახასიათებლები, შესაბამისად ბიოდიზელის წარმოების პროცესში მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ ნედლეულში კონკრეტული ზეთების არსებობა და მათი პროცენტული თანაფარდობა. ამიტომ წინამდებარე ნაშრომში დიდ ყურადღება დაეთმო და დამუშავდა პჯრ ტექნოლოგიით ზეთოვანი კულტურების დეტექცია ბიოდიზელის საწარმოო ნედლეულში, რომელიც გამოიცადა მზესუმზირას (*Helianthus annuus* L.) ნუმუშებზე. ეს მეთოდი ასევე შესაძლებელია გავრცელდეს სხვა ზეთოვანი მცენარეების კულტურებზე. ეს მეთოდი ახალი, უნიკალური და სწრაფი მეთოდია სხვა მეთოდებთან შედარებით, რაც მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური სიახლეა ბიოდიზელის ინდუსტრიისთვის.

მიღებული კვლევების საფუძველზე შემუშავებული იქნა ბიოდიზელის წარმოების ოპტიმალური ტექნოლოგია და რეკომენდაციები, რის საფუძველზეც პირველად საქართველოში და სამხრეთ კავკასიაში განხორციელდა ბიოდიზელის ქარხნის ინსტოლაცია, სადაც დაინერგა ჩვენს მიერ შემუშავებული ტექნოლოგიები წარმატებით ამუშავდა სტაბილურად ზრდის პროდუქციას www.biodiesel.ge.

ამრიგად, წარმოდგენილი ნაშრომის ფარგლებში გაანალიზდა ბიოდიზელის მიღების არსებული და პერსპექტიული ტექნოლოგიები, ბიოდიზელის და მისი ბლენდების ფიზიკურ ქიმიური თვისებები, შემუშავებული იქნა ორიგინალური მეთოდი ბიოდიზელის საწვავის ხანგრძლიობის მნიშვნელოვანი გარზრდისათვის მისი მახასიათებლების სრული შენარჩუნებით, დამუშავდა პჯრ ტექნოლოგიით ზეთოვანი კულტურების დეტექცია და შემუშავებული იქნა საქართველოში ბიორესურსებიდან ბიოდიზელის წარმოების ოპტიმალური ბიოტექნოლოგია, რითაც ჩაეყარა საფუძველი ამ მნიშვნელოვანი პროდუქტის მასშტაბურ წარმოებას საქართველოში.

სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა

დღეისათვის ბიოდირექტის წარმოება ალტერნატიულ განახლებად ენერგიის წყაროებს შორის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მიმართულებაა. ბიოდირექტის, ანუ მეთილის ეთერის, როგორც ერთ-ერთი ყველაზე უფრო პერსპექტიული ალტერნატიული საწვავის მიღების ბიოქიმიური მეთოდი მე-19 საუკუნიდანაა ცნობილი, მაგრამ მისი საწვავად გამოყენების იდეა აქტუალური გარდა მე-20 საუკუნის 70-იან წლებში, ნავთობის კრიზისის დროს, როდესაც მსოფლიოში ნავთობის ფასები მკვეთრად გაიზარდა და ბევრ ქვეყანაში საწვავის დეფიციტი შეიქმნა. პრაქტიკულად სწორედ მაშინ დაიწყო ბიოსაწვავის პირველი მსხვილი საწარმოების შექმნა, რამაც თანდათან სტრატეგიული მნიშვნელობაც შეიძინა. ამას თან დაერთო გლობალური დათბობა და კლიმატის ცვლილება, რაც თანამედროვე მსოფლიოს მწვავე პრობლემად იქცა, რომლის მთავარი მიზეზი სწორედ ნამარხი ნახშირწყალბადების (გაზი, ნავთობი) სულ უფრო ინტენსიური მოხმარებაა (Mittelbach Martin, Remschmidt Claudia, 2010).

ტრადიციული ენერგორესურსები, რომლებიც განიხილება როგორც ნამარხი, (წიაღისეული) ნახშირწყალბადები, ნავთობი, ბუნებრივი აირი ქვანახშირი - მუდმივად მცირდება, ამიტომ ენერგომატარებლების დაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარება, ასევე ემისიების ნორმების გამკაცრება და გარემოს დაბინძურება ის ფაქტორებია, რომლებიც აიძულებს მსოფლიოს ენერგო სექტორს აითვისოს ენერგიის ახალი, ალტერნატიული, განახლებადი ენერგიის წყაროები.

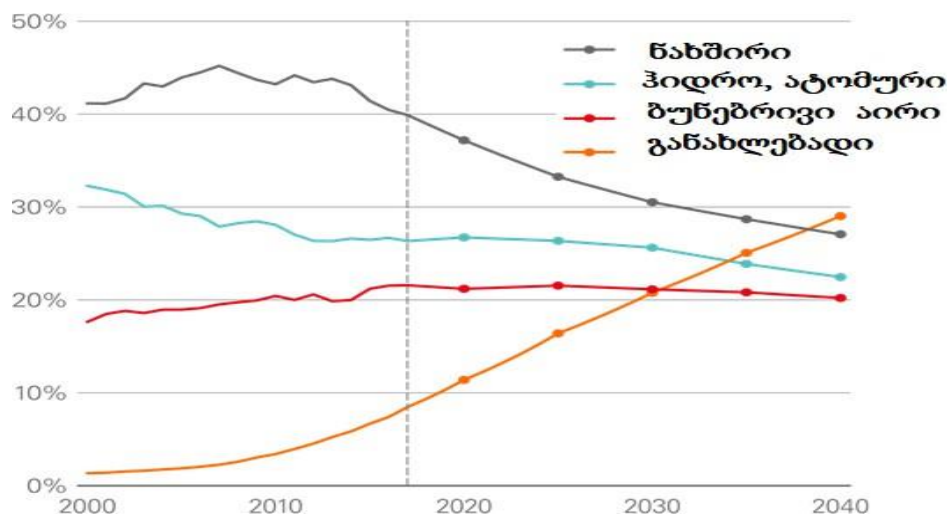
დღეისათვის საწვავის ბაზრის განვითარების ძირითად ტენდენციად ბიოენერგეტიკა ითვლება, რომელიც უახლოესი 30-40 წლის განმავლობაში მსოფლიო სისტემის ენერგიით უზრუნველყოფის განვითარებაში უპირატესობას შეინარჩუნებს (Wyman, 2018).

ამასთან ერთად განახლებადი ენერგიის წყაროების განვითარება გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური მექანიზმია. მსოფლიოში 2040 წლისთვის განახლებადი ენერგიის წყაროების წილი გლობალური, პირველადი ენერგიის მოხმარებაში გაიზრდება 14%-მდე და ეს

ტრენდი მკვეთრადაა გამოხატული, რომელიც აისახება აშშ, ევროკავშირის და სხვა მოწინავე ქვეყნების ენერგეტიკის განვითარების პროგრამებში (Speigh, 2011).

BP Energy Outlook 2023 წლის ანგარიშში წარმოდგენილია ენერგო რესურსების პროგნოზი 2040 წლამდე, სადაც მსოფლიო ენერგეტიკულ ბაზარზე ენერგიის განახლებადი წყაროების მკვეთრი გაზრდაა ნაგარაუდები ხოლო სათბური აირების შემცირება 50%-ითაა გათვალისწინებული. (სურათი 1.)

ეს ტენდენციები ენერგიის განახლებადი წყაროების გამოყენებასთანაა დაკავშირებული და მსოფლიო ენერგო სექტორის დაბალ ნახშირბადშემცველ ენერგიის წყაროებზე გადასვლის აუცილებლობას იქვევს, ეს კი თავის მხრივ მრავალ ბენეფიტს მოიტანს როგორც ეკონომიკური ასევე ეკოლოგიური თვალსაზრისით. განახლებადი ენერგიების პოზიტიური ტრენდი სტაბილურია და BP-ის პროგნოზით 2040 წლისთვის განახლებადი ენერგიების წილი გადააჭარბებს ტრადიციული ენერგიის წყაროებიდან მიღებულ ენერგიებს.

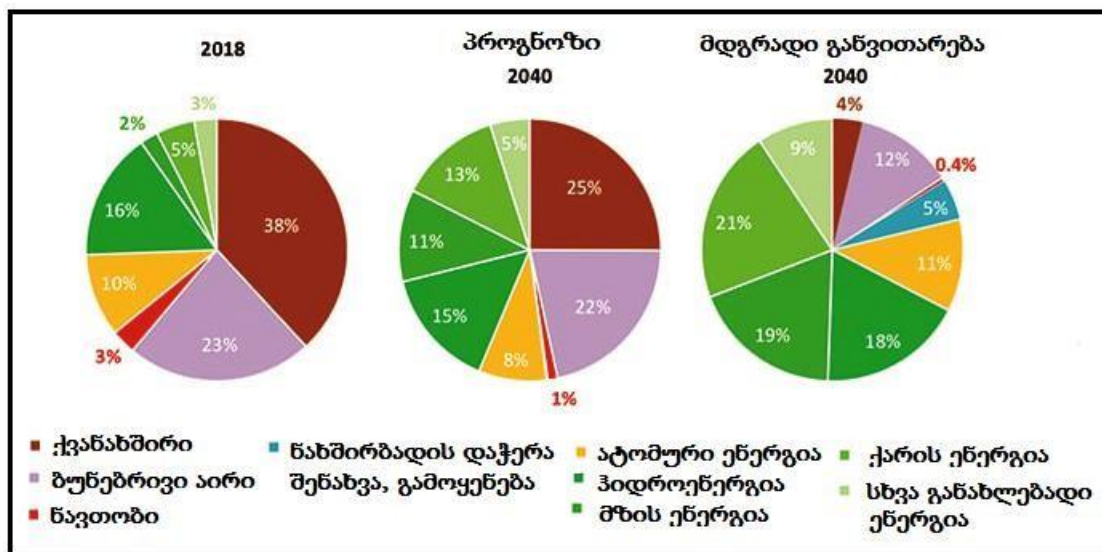


სურათი 1. ენერგო რესურსების პროგნოზი 2040 წლამდე

დღევანდელ მსოფლიოში, ნებისმიერ ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებაში ენერგეტიკულ რესურსებს მნიშვნელოვანი როლი აკისრია. ძირითადი ენერგეტიკული რესურსები კვლავ წარმოდგენილია ტრადიციული ეგერგორესურსებით, როგორიცაა ქვანახშირი, ნავთობი, ბუნებრივი აირი, ხოლო ნავთობი კვლავ განიხილება როგორც ენერგიის ის ძირითადი წყარო, რომელიც

სხვადასხვა შიგაწვის ძრავების მქონე სატრანსპორტო საშუალებებს (საავტომობილო, საჰაერო, საზღვაო, სარკინიგზო და სხვ) უზრუნველყოფს საწვავით.

დღეისათვის მსოფლიოში ნავთობური წარმოშობის შიგა წვის ძრავების საწვავების წლიური მოხმარება შეადენს 1,8 მლრდ ტონას. 2019 წლის მონაცემებით პირველადი ენერგიის მსოფლიო მოხმარება 1,3 % გაიზარდა. სურათზე 2 წარმოდგენილია ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარების პროგნოზი 2040 წლამდე (World Energy Outlook 2019).



სურათი 2. ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარება

საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს International Energy Agency (IEA) ანგარიშის მიხედვით, რომელიც ერთ-ერთი ყველაზე უფრო სანდო მონაცემებს აქვეყნებს, ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში მსოფლიოში (არსებული პანდემიის მიუხედავად) განახლებადი ენერგიის წყაროების ზრდამ 45%-ს მიაღწია. ეს არის ყველაზე დიდი პროცენტული ზრდა ყოველწლიური გათვლებით 2019 წლის შემდეგ. საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს (IEA) ანგარიშის მიხედვით 2020 წელს სწორედ ალტერნატიული, განახლებადი ენერგიის წყაროები იყო ენერგიის ერთადერთი წყარო, რომელზედაც მოთხოვნა გაიზარდა, მაშინ როდესაც ყველა სხვა საწვავის მოხმარება შემცირდა <https://www.tadviser.ru/index.php/> ამგვარად კიდევ უფრო აქტუალური გახდა განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან ბიოსაწვავის მიღება და გამოყენება.

დღეისათვის მსოფლიოში ნავთობური წარმოშობის შიგა წვის ძრავების საწვავების წლიური მოხმარება შეადენს 1,8 მლრდ ტონას. 2019 წლის მონაცემებით პირველადი ენერგიის მსოფლიო მოხმარება 1,3 % გაიზარდა. სურათზე 2 წარმოდგენილია ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარების პროგნოზი 2040 წლამდე (World Energy Outlook 2019).

1.1. განახლებადი ენერგიის წყაროები.

განახლებადი, ალტერნატიული ენერგიის წყაროების განვითარება ენერგეტიკის ინოვაციურ მიმართულებად ითვლება. ენერგიის ალტერნატიული, განახლებადი წყაროების ათვისება მინიმალურად მოქმედებს გარემოზე და ისინი ითვლება დღემდე არსებული ენერგიის ძირითადი წყაროების - ნავთობის და ნავთობპროდუქტების ალტერნატივად.

ნავთობი და ნავთობპროდუქტები, ესაა ენერგიის კომპლექსური წყარო, რომლის მზარდი ინტენიური გამოყენება მე-20 საუკუნის დასაწყისში იღებს სათავეს და მზარდი ტრენდი ახასიათებს, რაშიც დიდი როლი მსოფლიო ინდუსტრიულ რევოლუციას მიუძღვის. ნავთობი და ტრადიციული ენერგიის წყაროები უდიდესი მნიშვნელობის მქონე იყო და პრაქტიკულად ის განაპირობებდა მსოფლიო ეკონომიკას და გეოპოლიტიკას. მე-20 საუკუნის ბოლოს და ჩვენს საუკუნეში კი დადგა დრო, როცა ნახშირწყალბადების და ნავთობის მოხმარებიდან მსოფლიო ენერგეტიკა განახლებადი ენერგიის წყაროების მზის, ქარის, წყლის, გეოთერმული და ბიომასის, მათ შორის ბიოდიზელის ენერგიის გამოყენებაზე იღებს აქცენტს.

გარდა ზემოაღნიშნული ფაქტორებისა, წიაღისეული საწვავის მოხმარების დიდი უარყოფითი თვისება ისაა, რომ ის აბინძურებს გარემოს და დიდი რაოდენობით მავნე ემისიებს და ნარჩენებს წარმოქმნის. წიაღისეული რესურსების გამოყენება უფრო ინტენსიურს ხდის გლობალური დათბობის პროცესს სათბური აირების გამოყოფის გამო. წიაღისეული საწვავის წვის დროს გამოიყოფა გარემოსათვის მავნე ნივთიერებები და სათბური გაზები, რომლებიც ქმნის „სათბურის ეფექტს“ და იწვევს გლობალურ დათბობას. ამგვარად ალტერნატიული, განახლებადი რესურსების დანერგვა ერთი მხრივ ზემოთ განხილული

გარემოსდაცვითო პრობლემების მოგვარებას შეუწყობს ხელს და მეორე მხრივ კი მსოფლიოს აძლევს საშუალებას ენერგორესურსებზე გაზრდილი მოთხოვნა დააკმაყოფილოს. განახლებადი, ალტერნატიული ენერგიის წყაროები დაფუძნებულია ისეთ პროცესებზე რომლებიც დედამიწაზე ბუნებრივად მიმდინარეობს, ციკლური ხასიათი აქვთ და ტრადიციული (წიაღისეული) ენერგიის წყაროებისაგან განსხვავებით ამოუწურავია. განახლებადი ენერგიების ძირითადი წყაროებია: მზის, ქარის, მდინარეების და ბიომასის, გეოთერმული და სხვა ენერგიები. ალტერნატიული განახლებადი ენერგიის წყაროები ეფექტურია და მათი დანერგვით მრავალი ბენეფიტი შეიძლება მიიღოს მსოფლიო ეკონომიკამ და ამასთან ერთად შერბილდება ისეთი გლობალური კატაკლიზმები, როგორიცაა კლიმატის ცვლილება, გლობალური დათბობა და სხვა.

ბიოდიზელი, მისი ტექნოლოგიების განვითარება და ბიოდიზელის წარმოების ზრდა და მისი მასშტაბური დანერგვა სხვადასხვა სეგმენტში, სწორედ ის საშუალებებია, რომლებსაც შეუძლიათ პოზიტიური, მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანოს თანამედროვე მსოფლიოში მიმდინარე ამ გლობალური დათბობის პროცესებში.

1.2. ჰიდრო ენერგია

განახლებადი ენერგიის ისტორიულად მიღებული და კლასიკური ფორმაა წყალი და მისი ენერგია, რაც პირველ რიგში თანამედროვე ეპოქაში ჰიდროელექტროსადგურების განვითარებაში გამოიხატება და ელექტროენერგიის გამომუშავებასთანაა დაკავშირებული. საქართველო, ამ მხრივ მდიდარია ჰიდრო რესურსებით და ელექტროენერგიის 80% სწორედ ჰიდროელექტროსადგურების მიერაა გამომუშავებული. <https://www.geostat.ge/ka/modules/categories/81/energetika>

წყლის ენეგიის გამოყენება კი თავის მხრივ მიკრო, საშუალო და დიდ ჰესებთანაა დაკავშირებული. მიკრო და მცირე ჰესები გარემოზე არ ახდენენ დიდ მავნე გავლენას ხოლო დიდი ჰესები, რომლებიც დიდი ზომის და მოცულობის რეზერვუარებს მოითხოვენ, მაინც გარკვეული აზრით, აზიანებს გარემოს და ცვლის მიკროკლიმატს, ამიტომ იმგვარი ჰიდროელექტროსადგურების დაგეგმარება და აშენება, რომლებიც დიდ წყალსაცავებს მოითხოვენ, კვლავ დებატების საგანია.

1.3. მზის ენერგია

ყოველ საათში დედამიწაზე იმდენი მზის ენერგია აღწევს, რაც მთელი მსოფლიოს ენერგეტიკული მოთხოვნის ერთი წლის მანძილზე დასაკმაყოფილებლად იქნება საკმარისი. არსებობს მზის ენერგიის გამოყენების პასიური და აქტიური მეთოდები. პასიური გამოყენება ენერგიის ათვისებისთვის სპეციალური ტექნოლოგიების არსებობის აუცილებლობას არ გულისხმობს. მზის აქტიური გამოყენება შესაძლებელია სპეციალური მოწყობილობებით, რომლებიც მზის ენერგიას თბურ ან ელექტროენერგიად გარდაქმნის, რაც საქართველოშიაც დღეს წარმატებით ვითარდება და უკვე ასახულია ენერგეტიკულ ბალანსში <https://www.geostat.ge/ka/modules/categories/864/sakartvelos-energetikuli-balansi-2023>

საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობის გათვალისწინებით, მზის ეფექტური და ხანგრძლივი გამოსხივება საკმაოდ მაღალია. საქართველოს უმეტეს რაიონებში მზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა 250-დან 280 დღემდე მერყეობს, რაც წელიწადში დღის ხანგრძლივობის მიხედვით, დაახლოებით 1900-2200 საათს შეადგენს. საქართველოში მზის ენერგიის სრული წლიური პოტენციალი 34 ათასი ტონა პირობითი სათბობის ექვივალენტურია. “NASA”-ს მონაცემებით, საქართველოში, მაისიდან ოქტომბრამდე წყლის გასაცხელებლად საჭირო ენერგიის 100%-ით უზრუნველყოფა შესაძლებელი (<https://weg.ge/en/studies> - 2023).

1.4. ქარის ენერგია

მსოფლიოში ქარის ენერგიისგან ელექტროენერგიის წარმოება მე-19 საუკუნის მიწურულიდან დაიწყო. პირველი სადგური ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ოჰაიოში 1888 წელს გაიხსნა. ქარისგან ელექტროენერგიის წარმოება ევროპაში განსაკუთრებით პოპულარული მეორე მსოფიო ომის დროს გახდა, როდესაც წიაღისეულ საწვავზე ხელმისაწვდომობის დროებითმა შეზღუდვამ ენერგომატარებლებზე ფასების მკვეთრი მატება გამოიწვია.

ქარისაგან წარმოებულმა ელექტროენერგიამ 2012 წელს 240 მლნ მეგავატ საათი შეადგინა. ამავე რაოდენობის ენერგიის წარმოება წიაღისეული საწვავიდან

დაახლოებით 4%-ით გაზრდიდა მავნე ნივთიერებების(CO₂) გაფრქვევას. იმავე რაოდენობის ელექტროენერგიის წარმოებას, რასაც ერთმეგავატანი ქარის ტურბინა აწარმოებს 20 წლის განმავლობაში 29000 ტონა ქვანახშირი ან 92000 ბარელი ნავთობი სჭირდება („განახლებადი ენერგიის ეროვნული სამოქმედო გეგმა საქართველო“, 2019).

საქართველოს ქარის ენერგიის მნიშვნელოვანი პოტენციალი აქვს, რომლის საშუალო წლიური რაოდენობა 4 მლრდ კილოვატსაათამდეა შეფასებული. პირველი ქარის ელექტროსადგური საქართველოში 2016 წელს შევიდა ექსპლუატაციაში. მისი სიმძლავრე 20,6 მეგავატია, და 84,1 მლნ კილოვატსაათ ელექტროენერგიას გამოიმუშავებს. ამ რაოდენობას 18000 ოჯახის ელექტრომომარაგება შეუძლია.

1.5. ბიომასის ენერგია

ბიომასის ენერგიას განეკუთვნება ყველა ის ენერგია, რომელიც მიიღება ბიოლოგიური ორგანიზმების, მცენარეების და ცხოველებისაგან. ბიოენერგიის სახეობებიც მრავალფეროვანია და მოიცავს მყარ, აირად და თხევად ნედლეულს. <https://www.undp.org/ka/georgia/>.

ბიოგაზი უჟანგბადო გარემოში სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების დაშლით წარმოიქმნება. ეს ორგანული ნივთიერებები კი ხშირ შემთხვევაში ნაგავსაყრელებზე განთავსებული ნარჩენებია. ბიოგაზის მისაღებად გამოიყენება მცენარეული, საყოფაცხოვრებო და ცხოველური ნარჩენები. ბიოგაზი სპეციალურ მოწყობილობებში - ბიორეაქტორებში - ნედლეულის გადამუშავების შედეგად მიიღება. გამოიყენება გათბობის სისტემებში და ტრანსპორტში საწვავად (ნარჩენების მართვის კოდექსი, 2023).

სხვადასხვა სახის ბიომასიდან მიღებული თხევადი ბიოსაწვავი, სულ უფრო მეტ მნიშვნელობას იძენს მსოფლიოში. ბიოსაწვავი განიხილება, როგორც ნავთობისაგან მიღებული საწვავის ეფექტური ალტერნატივა; ასევე, კლიმატის ცვლილების, გლობალურ დათბობასთან ბრძოლის და ენერგოუსაფრთხოების უზრუნველყოფის ერთ-ერთ პერსპექტიულ საშუალებად. ბიოსაწვავის სამრეწველო წარმოებას და გამოყენებას საფუძველი გასული საუკუნის დასაწყისში ჩაეყარა, მაგრამ აქტუალური მეოცე საუკუნეში წარმოქმნილი სიტუაციის გამო გახდა.

ინდუსტრიალიზაციის პროცესს მუდმივად თან ახლავს ენერგეტიკის განვითარება. ყოველ ახალ ეტაპზე არსებული რესურსების გამოყენების მეტი სრულყოფა და დახვეწა ხდება. ოცდამეერთე საუკუნის საზოგადოების სოციალურ-ეკონომიური მდგომარეობა პრაქტიკულად სრულად განისაზღვრება მისი ენერგეტიკული მდგომარეობით.

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის მონაცემებით, კაცობრიობის რიცხვი 21-ე საუკუნის ბოლოს 10-12 მილიარდს მიაღწევს და ბუნებრივია, რომ მოსახლეობის ზრდა გამოიწვევს ენერგიაზე მოთხოვნილების გაზრდასაც, რომლის დაკმაყოფილების წყარო შესაძლებელია განახლებადი ენერგია გახდეს. „განახლებადი ენერგია 2008“ ეს არის სპეციალური რეგულაცია, რომლის მიზანია საქართველოში განახლებადი ენერგიის ახალი წყაროების გამოყენების ხელშეწყობა.

საქართველოში დღეისათვის არსებული განახლებადი ენერგიის წყაროების პოტენციალი ნაკლებად არის გამოყენებული. თუმცა სახელმწიფოს სწორი პოლიტიკის და გათვლების შემთხვევაში ეს სფერო აუცილებლად გამოიწვევს დაინტერესებას (საქართველოს კანონი განახლებადი წყაროებიდან ენერგიის წარმოებისა და გამოყენების წახალისების შესახებ, 2019).

1.6. გეოთერმული ენერგია

გეოთერმული ენერგია დაკავშირებულია დედამიწის ღრმა ქანების სითბურ ენერგიასთან. ცხელი წყაროები და გეიზერები წარმოიქმნება წყლისგან, რომელიც ცხელდება მაგმური ქანებისაგან, ან დედამიწის ღრმა ფენების ცხელი ქანებისგან (Buntebarth et al. 2004).

გეოთერმული ენერგია ელექტრო ენერგიის საწარმოებლად გამოყენება, რის დროსაც ცხელი წყლის ჰაბურდილები იბურდება და ცხელი წყალი და ორთქლი ამ ჰაბურდილებიდან გამოდის. ცხელი წყალი (ან წყლის ორთქლი) ატრიალებს ტურბინებს და თერმული ენერგია ელექტროენერგიად გარდაიქმნება.

1.7. ბიოსაწვავის სახეები

ბიოსაწვავი თანამედროვე ენერგეტიკის განვითარების ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს, რომელიც ენერგიის განახლებადი წყაროებიდან მიიღება. საწვავის წარმოების ტრენდების და თანამედროვე ტენდენციების შესწავლისას ნათელი გახდა რომ უახლოეს 20-30 წელიწადში ენერგიის მნიშვნელოვანი სწორედ წყარო ბიოსაწვავი გახდება და სხვა სახის ენერგომატარებლებს ჩაანაცვლებს. ამიტომ ბიოსაწვავის ინდუსტრიის განვითარების საკითხი სულ უფრო აქტუალურია. ბიოსაწვავი თერმული, ქიმიური ან ბიოქიმიური დამუშავებით მიიღება მყარი, თხევადი ან აირადი ნედლეულისგან.

ბიოსაწვავების მისაღებად გამოიყენება:

- სატყეო მეურნეობის ან გადამამუშავებელი წარმოების ნარჩენები;
- ენერგეტიკული მცენარეები - მაღალი მოსავლიანობის მქონე მცენარეები, რომლებიც ითესება სპეციალურად ენერგეტიკული მიზნებისთვის;
- სოფლის მეურნეობის ნარჩენები - მცენარეული და ცხოველური ნარჩენები;
- საყოფაცხოვრებო ნარჩენები - საკვების წარმოების და გამოყენების დროს მიღებული ნარჩენები;
- ინდუსტრიული ნარჩენები.

განასხვავებენ თხევად ბიოსაწვავს (შიგაწვის ძრავებისთვის, მაგალითად ბიოეთანოლი, ბიომეთანოლი, ბიოდიზელი), მყარ ბიოსაწვავს (ბრიკეტი, პელეტი), და აირადი წარმოშობის ბიოსაწვავს (ბიოაირი, ბიოწყალბადი). ბიოსაწვავის არსებული კლასიფიკაცია დაფუძნებულია გამოყენებული ნედლეულის სახეებზე.

პირველი თაობის ბიოსაწვავს განეკუთვნება ბიოსაწვავი, რომელიც მიიღება სოფლის მეურნეობის პროდუქტებისაგან, ან მათი ნარჩენებისაგან: სიმინდი, ხორბალი, კარტოფილი და ა.შ. პირველი თაობის ბიოსაწვავს მიეკუთვნება ბიოეთანოლი და ბიოდიზელი. ექსპერტთა უმრავლესობა პირველი თაობის ბიოსაწვავის წარმოების გაზრდის წინააღმდეგია, რადგანაც ეს გამოიწვევს სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების დეფიციტს.

მეორე თაობის ბიოსაწვავი სპეციალური კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ მეორე თაობის ბიოდიზელს და ბიოეთანოლს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები: ის შეიძლება პირდაპირ იქნას მიწოდებული ავტოტრანსპორტის

საწვავით მომარაგების გამანაწილებელ ინფრასტრუქტურაში. მეორე თაობის ბიოსაწვავი მცირე რაოდენობით შეიცავს გოგირდსა და არომატულ ნახშირწყალბადებს და წიაღისეულის ენერგომატარებლებთან შედარებით მისი გამონაბოლქვი ატმოსფეროში 30-50%-ით ნაკლებია. მზის და ქარის გენერაციებთან შედარებით მას უფრო მაღალი პოტენციალი აქვს, რადგან მცენარეები ყოველთვის ხელმისაწვდომია. მეორე თაობის ბიოსაწვავის წარმოება შესაძლებელია გამოყენების ადგილზე. მეორე თაობის ბიოსაწვავი თვისებებით უტოლდება ბუნებრივი აირიდან მიღებულ სინთეზურ საწვავს (Moosmann, et al. 2019).

მეორე თაობის ბიოსაწვავი არასასურსათო პროდუქტებიდან იწარმოება და შესაბამისად არ ახდენს გავლენას კვების ბაზარზე.

მესამე თაობის ბიოსაწვავს განეკუთვნება ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებისგან, ერთუჯრედიანი მიკროორგანიზმებისგან, და მიკროწყალმცენარეების ბიომასისგან მიღებული ბიოსაწვავი. ისინი წარმოიქმნება ბიომასისაგან, რომელიც არ გამოიყენება ადამიანის საკვებად, ან სხვა საჭიროებისათვის. წყალმცენარეების გამოყვანა ხდება, როგორც ღია ტიპის წყალსაცავებში, ასევე მცირე ზომის ბიორეაქტორებში ელექტროსადგურების სიახლოვეს. ამ ნედლეულისაგან ბიოსაწვავის წარმოება გამართლებულია, რადგან წყალმცენარეები სპეციალურად ენერგეტიკული მიზნით გამოყავთ და მას მსოფლიოში განახლებადი წყაროებიდან ბიოსაწვავის მისაღებად პერსპექტიულ ნედლეულად განიხილავენ. ეს პირველ რიგში გაანპირობებულია წყალმცენარეების სწრაფი გამრავლებით, რაც უხვ ბიომასას გვაძლევს. დედამიწაზე ყოველდღიურად წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებების დაახლოებით 80% სწორედ წყალმცენარეებზე მოდის (www.agronews.ge access 2024).

სხვა ბიოლოგიურ ნედლეულთან შედარებით არსებობს წყალმცენარეების ენერგიის წყაროდ გამოყენების მთელი რიგი უპირატესობები: მათი წარმოება არ მოითხოვს განსაკუთრებულ ძალისხმევას და ხარჯებს. წყალმცენარეები იზრდება სწრაფად და მოკლე დროში იძლევა დიდი მოცულობის ბიომასას. წყალმცენარეები იზრდება როგორც ზღვის, ასევე მტკნარ (როგორც სუფთა, ასევე დაბინძურებულ) წყალში. მათ ჭირდება მხოლოდ წყალი და სინათლე. წყალმცენარეებისაგან ბიოსაწვავის მიღება ალტერნატიული ენერგეტიკის ერთ - ერთი ახალი მიმართულებაა, რომელიც ბოლომდე შესწავლილი არ არის.

ბიოსაწვავის გამოყენების უპირატესობები

არსებობს მრავალი უპირატესობა, რომელსაც ვიღებთ ბიოსაწვავის ენერგიის გამოყენებით. ამ უპირატესობებს შორისაა:

- ეს არის განახლებადი ენერგიის სახეობა;
- ამცირებს ატმოსფეროში მავნე ემისიების გაფრქვევას;
- ამცირებს წიაღისეული ენერგორესურსებზე დამოკიდებულებას;
- ბიოდიზელი მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ნავთობდიზელის ცეტანურ მაჩვენებელს;
- აუმჯობესებს საწვავის შემზეთ თვისებებს.

1.7.1. თხევადი ბიოსაწვავი

თხევადი ბიოსაწვავი მზადდება ისეთი ბიომასისგან რომელთაც აქვთ ბენზინის, დიზელის და ნავთობპროდუქტებით დამზადებული სხვა საწვავების მსგავსი მახასიათებლები. დღევანდელ მსოფლიოში ყველაზე გავრცელებული თხევადი ბიოსაწვავი არის ბიოეთანოლი და ბიოდიზელი.

ბიოეთანოლი - ეს არის ალტერნატიული საწვავი, რომელიც წარმოადგენს ჩვეულებრივ ეთილის სპირტს, ხოლო ტერმინი “ბიო” ნიშნავს, ის მიიღება მცენარეული ნედლეულისგან, როგორიცაა შაქრის ლერწამი, ხორბალი, შაქრის ჭარხალი, სიმინდი, კარტოფილი და ასევე სოფლის მეურნეობის სხვა პროდუქტები.

ბიოდიზელის წარმოებისთვის, რომლის ნედლეულია მცენარეული ზეთი, ყველაზე შესაფერისი მცენარეა რაპსი (*Brassica napus*), გარდა ამისა ბიოდიზელის წარმოების ნედლეულად ასევე გამოიყენება ცხოველური ცხიმი ან ნარჩენი ზეთები. ამ ორი ბიოსაწვავის დიდი უპირატესობა ტრადიციულ, ნავთობისაგან მიღებულ საწვავთან შედარებით არის მათი შესაძლებლობა ჩაანაცვლონ ტრადიციული წიაღისეული (ნამარხი) ენერგომატარებლებისაგან მიღებული საწვავის მნიშვნელოვანი ნაწილი შიგა წვის ძრავების მქონე სხვადასხვა მექანიზმებში და სატრანსპორტო საშუალებებში.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველო მთლიანად იმპორტირებულ ნახშირწყალბადებზე და ნავთობპროდუქტებზეა დამოკიდებული, რომლის ოდენობა

მუდმივად იზრდება, ცხადი გახდება საკუთარი, ამასთან ეკო-მეგობრული საწვავის წარმოების მნიშვნელობა და აუცილებლობა (Khetsuriani et al., 2016).

საწვავის 90% შიგა წვის ძრავებში გამოყენება, ძირითადად სატრანსპორტო საშუალებებში. საავტომობილო ინდუსტრიაში გამოყენებული საწვავების გარემოზე ეკოლოგიური ზემოქმედება განისაზღვრება ჰაერში, წყალში და ნიადაგში გამოფრქვეული ნამუშევარი აირების ტოქსიკურობით და სათბური აირების ემისიით. საწვავის შედგენლობა უნდა უზრუნველყოფდეს გამონაბოლქვ აირებში ტოქსიკური კომპონენტების მინიმიზირებას. საავტომობილო საწვავების ფიზიკურ-ქიმიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ნორმირება სახელმწიფო და საქარხნო ნორმატიული დოკუმენტაციით ხდება, რაც უზრუნველყოფს გარემოსთვის საწვავების ეკოლოგიური უსაფრთხოების დონეს (Koc et al. 2009).

ავტოტრანსპორტის გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედება ვლინდება ძირითადად „სათბურის ეფექტისა“ და გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების სახით, რაც ადამიანის ჯანმრთელობაზე მნიშვნელოვან უარყოფით გავლენას ახდენს. როგორც გამოკვლევები ცხადყოფს, სწორედ ავტოტრანსპორტის წილად მოდის ქვეყნის მასშტაბით 74%, ხოლო თბილისში 79% ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ემისიები. მხოლოდ ბოლო 10 წლებში რესპირატორული და ონკოლოგიური დაავადებების რაოდენობა 20% -ითაა გაზრდილი საქართველოში.

საკმარისია აღინიშნოს რომ ერთი ავტომობილი წლიურად შთანთქმავს ატმოსფეროდან საშუალოდ 4 ტონა ჟანგბადს, ამასთან გამონაბოლქვის სახით გააფრქვევს 800კგ ნახშირბადის მონოოქსიდს (CO), 40კგ აზოტის ჟანგეულებს და 200კგ სხვადასხვა ნახშირწყალბადებს (ბენზოლი - 27 ათასი ტონა; ფორმალდეჰიდი - 17,5 ათასი ტონა; ბენზ(ა)პირენი 1,5ტ და სხვ.). მთლიანად მავნე ნივთიერებების საერთო რაოდენობა კი აჭარბებს 20 მლნ.ტონას. ამ თვალსაზრისით ბიოდიზელის, როგორც ალტერნატიული და ეკო-მეგობრული საწვავის მნიშვნელობა კიდევ უფრო იზრდება მთელს მსოფლიოში.

1.8. ბიოდიზელის ისტორია

მცენარეული ზეთების გამოყენება დიზელის ტიპის შიგა წვის ძრავებში საუკუნეზე მეტ ისტორიას ითვლის. თვით რუდოლფ დიზელი, ამ ძრავის

გამომგონებელი, პირველად სწორედ მცენარეულ ზეთს იყენებდა, ძრავის საწვავად. ცნობილი ფაქტია, რომ 1900 წელს პარიზის მსოფლიო გამოფენაზე მის მიერ წარმოდგენილი დიზელის ძრავა მუშაობდა მცენარეულ ზეთზე, კონკრეტულად არაქისის (ლათ.: *Arachis hypogaea*) ზეთზე.

რიგი ევროპული ქვეყნები, პირველ რიგში საფრანგეთი, რომელიც გასული მე-20 საუკუნის დასაწყისში გეგმავდა მის აფრიკულ კოლონიებში დიდი რაოდენობით არაქისის მოყვანას, რათა მისი ზეთი საწვავად გამოყენებული ყოფილიყო შიგაწვის ძრავებში. ასევე, იტალია, გერმანია და დიდი ბრიტანეთი იმ პერიოდში ინტენიურად განიხილავდნენ დიზელის ტიპის ძრავებში, რომლებიც უკვე უფრო და უფრო იკრებდნენ ძალებს და პოპულარობას და ფართოდ ვრცელდებოდნენ, გამოყენებინათ მცენარეული ზეთები - არაქისის, (*Arachis hypogaea*) მზესუმზირას (*Helianthus*) რაპსის (*Brassica napus*) და სხვა ზეთოვანი კულტურების ზეთი.

მეცნიერული გამოგონებები ინდუსტრია და გეოპოლიტიკა მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან. მე-20 საუკუნის დასაწყისში უკვე ასევე ძალას იკრებდა ნავთობის ინდუსტრია. ნავთობისგან მიღებული საწვავის, განსაკუთრებით ნავთობის მძიმე ფრაქციის პროდუქტების ფასი უფრო იაფი იყო ვიდრე მცენარეული ზეთებისა. ამიტომ ინტერესი მცენარეული ზეთების მიმართ მისი საწვავად გამოყენების მიზნით თანდათან შემცირდა.

მე-20 საუკუნის 20-იან და 30-იან წლებში ნავთობპროდუქტები საწვავის სფეროში დომინანტები გახდნენ, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, იყო რიგი მცდელობები მეორე მსოფლიო ომის დროს ზეთების საწვავად გამოყენებისა როდესაც საწვავის მოწოდების ლოჯისტიკური სქემები დაირღვა.

პირველი სერიოზული შემოხრუნება მცენარეული ზეთების მიმართ მათი საწვავად გამოყენების მიზნით, მოხდა 1970-იან წლებში, როდესაც მსოფლიო ნავთობის კრიზისის წინაშე აღმოჩნდა, როდესაც ნავთობპროდუქტების, მათ შორის ბენზინის და დიზელის საწვავის იმპორტის სქემები დაირღვა. შესაბამისად, პრაქტიკულად ყველა ქვეყნისთვის კვლავ აქტუალური გახდა საკუთარი, ადგილობრივად წარმოებული საწვავის განვითარება, უფრო მეტიც ამ პროცესმა მთელი რიგი ქვეყნებისთვის სტრატეგიული მნიშვნელობაც შეიძინა.

ამას დაემატა ის ეკოლოგიური ბენეფიტები, რაც მცენარეული ზეთის საწვავად გამოყენებას შეუძლია მოიტანოს. (ნავთობის დამაბინძურებელი თვისებები უფრო და უფრო ცხადი და ყოვლისმომცველი გახდა მსოფლიოში).

მიუხედავად აღნიშნული ბენეფიტებისა და უპირატესობებისა, ინდუსტრიაში გამოყენებისთვის, განსაკუთრებით ტრანსპორტის სექტორში, მცენარეულ ზეთებს, ნავთობპროდუქტებთან მიმართებაში გარკვეული ნაკლოვანებებიც გააჩნდათ, რაც გადაწყვეტას მოითხოვდა (Srivastava A, Prassad R., 2000).

პირველ რიგში ეს იყო მცენარეული ზეთების მაღალი სიბლანტე, რომელიც გაცილებით, (10-ჯერ და უფრო მეტად მეტად მაღალია) ნავთობის საწვავთან შედარებით, ასევე ზეთის მაღალი აფეთქების ტემპერატურა, რაც შიგა წვის ძრავებისთვის შეიძლება პრობლემატური იყო. ამიტომ, დიზელის ტიპის განვითარების გარიჟრაჟზე, მე-19 საუკუნის ბოლოს და მე-20 საუკუნის დასაწყისში, მსოფლიო ინდუსტრიას ორი სტრატეგიული გზა ჰქონდა, ან შიგა წვის დიზელის ტიპის ძრავები უნდა განეგმებინათ იმ მიმართულებით, რომ მცენარეულ ზეთების საწვავად გამოყენება მასშტაბურად დაწყებულიყო, ან მცენარეულ ზეთებზე დამყარებული საწვავი უნდა განეგმებინათ და გადაემუშავებინათ ისე, რომ ეს მცენარეულ ბაზაზე დამზადებული საწვავი მორგებოდა შიგა წვის ძრავების საექსპლოატაციო პარამეტრებს (Austrian Biofuel Institute, 2003).

პირველი სტრატეგია, მცენარეული ზეთებზე მომუშავე ძრავების განვითარების მიმართულებით, კომერციულ თვალსაზრისით არ აღმოჩნდა გამართლებული, მეორე მიმართულების სტრატეგია კი, რომელიც გულისხმობდა მცენარეული ზეთები ისე გადამუშავებულიყო, რომ მისგან მიღებული პროდუქტი ნავთობისაგან მიღებული საწვავის ანალოგიური ყოფილიყო, ეფექტური აღმოჩნდა და მასშტაბური განვითარებაც ჰპოვა (Mittelbach et Renschmidt, 2010).

1.9. ბიოდიზელის წარმოების ძირითადი ტექნოლოგიები

მცენარეული ზეთებისაგან საწვავის მიღების მიზნით ზეთების გარდაქმნის ძირითადად სამი გზა განიხილებოდა: პიროლიზი, მიკროემულსიფიკაცია და ტრანსეთერიფიკაცია. (Schwab et al., 1987) რასაც შემდგომში დაემატა, მიკროტალღური და სუპერკრიტიკულ არეში ტრანსეთერიფიკაციის მეთოდი.

1.9.1. პიროლიზი როგორც ცნობილია ესა არის თერმული დაშლის რეაქცია რომელიც მიმდინარეობს უჟანგბადო არეში. პიროლიზის გამოყენება მცენარეული ზეთებისაგან საწვავის მისაღებად დაიწყო მეორე მსოფლიო ომის დროს როდესაც სამხედრო ნაწილების ტექნიკის საწვავით მომარაგება სტაბილურად ვერ ხერხდებოდა. რადგან სტანდარტული ნავთობის საწვავი არ მოიპოვებოდა ნებისმიერი, თუნდაც არასტანდარტული საწვავის მიღება იყო აუცილებელი (Schwab et al., 1987).

თუმცა მოგვიანებითაც, მეორე მსოფლიო ომის შემდეგაც, იყო მცდელობები პიროლიზის გამოყენება მცენარეული ზეთების გადასამუშავებლად. შედეგად მიიღებოდა ალკანები, ალკადინები, არომატიკა, კარბოქსილის მჟავები, რომელთა ნაერთი მთელი რიგი პარამეტრებით მსგავსი იყო ნავთობისგან მიღებული სტანდარტული დიზელის საწვავისა (Lima et al., 2004).

მიუხედავად იმისა, რომ პიროლიზის შედეგად ცეტანური რიცხვი გაიზარდა და გოგირდის და წყლის შემცველობა ნორმის ფარგლებში იყო, მიღებული საწვავის სიბლანტე ძალიან მაღლი რჩებოდა და საწვავის თანამედროვე სტანდარტების მოთხოვნებს მნიშვნელოვნად აღემატებოდა. გარდა ამისა, თერმული დაშლის დროს ჟანგბადის მოცილება აქვეითებდა ისეთ მნიშვნელოვან კომპონენტს, როგორიცაა საწვავის სრული წვა შიგა წვის ძრავაში (Ma and Hanna, 1999).

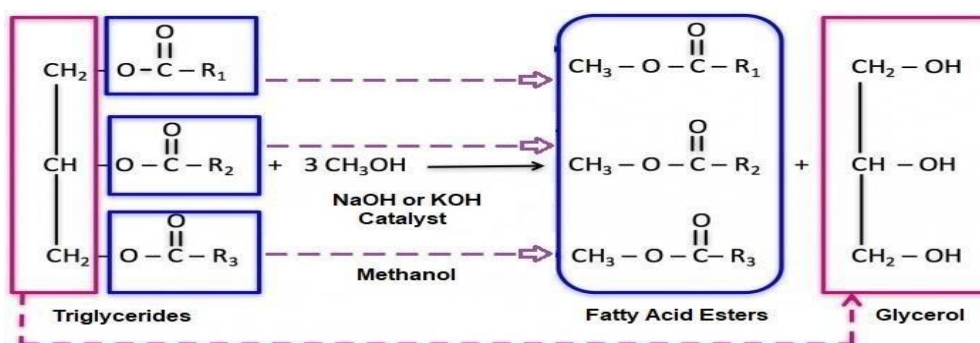
1.9.2. მიკროემულსიფიკაცია

მიკროემულსიფიკაციის მეთოდი ბიოდიზელის წარმოებაში დამყარებულია ორი ურთიერთხსნადი სითხის თერმოდინამიულ წინასწორობაზე, კონკრეტულ შემთხვევაში მცენარეული ზეთის და სხვადასხვა სპირტის შერევაზე, რომლის დროსაც მიკროემულსიის ზომებო 100 დან 1000 ნგსტრემამდე დიაპაზონშია (Srivastava and Prasad, 2000).

მიუხედავად იმისა, რომ ამგვარი ბიოდიზელის გამოყენება დიზელის ტიპის ძრავებში შესაძლებელია, როგორც გამოკვლევებმა აჩვენეს მიკროემულსიფიკაციის მეთოდით მიღებული ბიოდიზელის გამოყენება ძრავებში არასრული წვის პრობებში ხდება. (Pryde, 1984; Ziejewski et al, 1984)

გარდა ამისა ამ მეთოდით მიღებული საწვავის ცეტანური რიცხვი უფრო დაბალია ვიდრე ნავთობდიზელისა და დაბალ საექსპლოატაციო თვისებებს უზვენებს გარემოს შედარებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში (Maurer, 1998).

1.9.3. ტრანსეთერიფიკაცია მცენარეული ზეთების და ერთატომიანი სპირტების (ეთანოლი, მეთანოლი) რეაქცია, კერძოდ ტრიგლიცერიდების და დაბალი სპირტების რეაქციის კატალიზატორის თანაობისას შედეგად მიიღება გლიცეროლი და ცხიმოვანი მჟავების ეთერები, რაც დღეს საფუძვლად უდევს ბიოდიზელის ინდუსტრიულ წარმოებას. თანამდროვე ინდუსტრიისთვის ესოდენ დიდი მნიშვნელობის რეაქცია, ეთერიფიკაციის რეაქცია ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნეში იყო აღწერილი (Duffy, 1852). საბოლოოდ ეთერიფიკაციის რეაქცია უკვე მე-20 საუკუნის 40-იან წლების ბოლოს ჩამოყალიბდა როგორც ბიოდიზელის წარმოებისთვის ყველაზე უფრო მისაღები მეთოდი (Bradshaw, 1941).



სურათი 3. ცხიმოვანი მჟავების ტრანსეთერიფიკაცია

ეთერიფიკაციის მეთოდი რამოდენიმე ათული წელი მივიწყებული იყო, რაც ნავთობის ინდუსტრიის და ნავთობისაგან მიღებული დიზელის საწვავის შედარებითი სიიაფით და ხელმისაწვდომობით იყო განპირობებული, მაგრამ გასული საუკუნის 70-იანი წლების ნავთობის მსოფლიო კრიზისის შედეგად კვლავ აქტუალური გახდა როგორც ინდუსტრიაში, ისევე სამეცნიერო საზოგადოებაში. შედეგად გაჩნდა პირველი პატენტები მცენარეული ზეთების მეთილის ეთერის დიზელის ძრავებში გამოყენების მიმართულებით (Hartman, 1980; Tanaka et al., 1980)

ამავე პერიოდში მცენარე რაპსის (*Brassica napus*) ზეთის მეთილის ეთერი RME წარმატებით იქნა გამოცდილი დიზელის ძრავებში ავსტრიასა და გერმანიაში (Mittelbach et al., 1983). 1985 წელს უკვე პირველი ბიოდიზელის საწარმო ამუშავდა

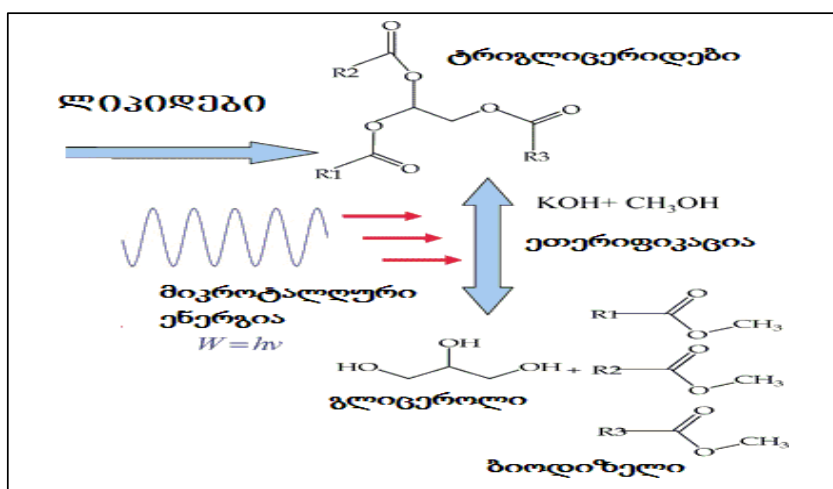
ავსტრიაში ქ. ზილბერბერგში, რასაც მოყვა მსხვილი ბიოდიზელის ქარხნების ამუშავება გერმანიაში ქ. ლეერში და საფრანგეთში, ქ. რუენში.

ბიოდიზელის შემდგომ სწრაფ განვითარებას ხელი შეუწყო იმ ფაქტმა, რომ მსხვილი ავტოინდუსტრიის წარმომადგენლები, მე- 20 საუკუნის 80-იანი წლებიდან უკვე იძლეოდნენ გარანტიებს ბიოდიზელის საწვავად გამოყენებაზე მათ ავტომობილებსა და ტექნიკაში (Maxon et al, 2001).

დღეისათვის თანამედროვე ტექნიკაში ბიოდიზელი ფართოდაა გამოყენებული მსოფლიოს მოწინავე ქვეყნებში, როგორც ევროპაში ისე აშშ-ში. ბიოდიზელი გამოიყენება როგორც სუფთა, ისე ბლენდირებული, ანუ შერეული სახით ნავთობდიზელთან სხვადასხვა პროცენტით. ევროპაში ფართოდაა გავრცელებული ბიოდიზელის 5% ბლენდი, ხოლო აშშ-ში ყველაზე უფრო ფართოდაა წარმოდგენილი ბიოდიზელის 20% მინარევი.

1.9.4. მიკროტალღური მეთოდი

ბიოდიზელის მიღების ტექნოლოგიები ტრადიციული ეთერიფიკაციის მეთოდის დახვეწის პარალელურად, ინტენსიურად ვითარდება. ერთ-ერთი საინტერესო მიმართულებაა მიკროტალღური ენერგიის გამოყენება მცენარეული ზეთების ეთერიფიკაციისათვის ბიოდიზელის მისაღებად. განსაკუთრებით ეფექტური აღმოჩნდა ეს მეთოდი მეორადი საკვები ზეთების ეთერიფიკაციისათვის <http://www.biodieselmagazine.com/articles/265450/ever-evolving-biodiesel-technology-developments> .

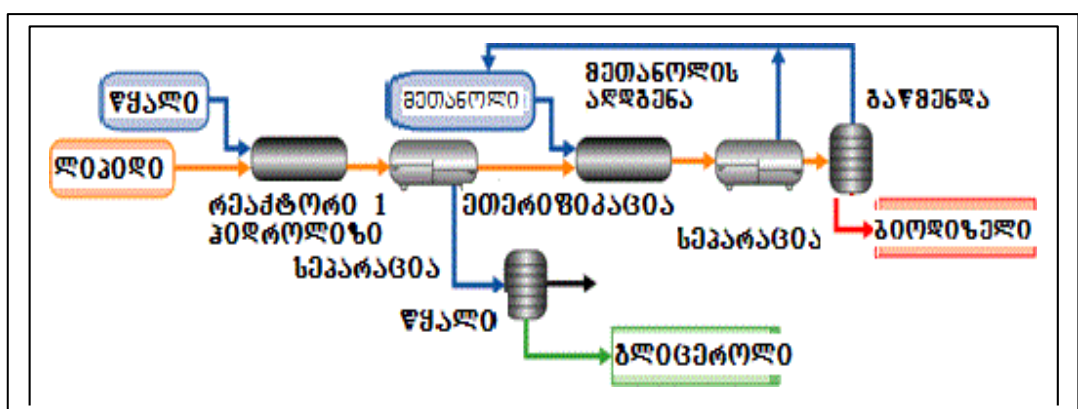


სურათი 4. ბიოდიზელის მიღების მიკროტალღური მეთოდი

1.9.5. ბიოდიზელის მისაღებად სუპერკრიტიკული მეთანოლის პროცესით ტექნოლოგიის მთავარი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ტრანსეთერიფიკაციის პროცესი მიმდინარეობს კატალიზატორების გამოყენების გარეშე.

ეს მეთოდი უზრუნველყოფს ზეთის ცხიმოვანი მჟავების სწრაფ ეთერიფიკაციას სუპერკრიტიკული მეთანოლის არეში, სადაც ტრანსესტერიფიკაციისა და ეთერიფიკაციის რეაქციები მიმდინარეობს წარმატებით და სწრაფად, კატალიზატორების გარეშე, გარდა ამისა, წყლის შემცველობა და ნედლეულის ხარისხი საბოლოო შედეგზე, ანუ ბიოდიზელის ხარისხზე არ ახდენს გავლენას. დადასტურებულია, რომ ცხიმოვანი მჟავები თითქმის მთლიანად მუშავდება ყოველგვარი კატალიზატორების გარეშე სუპერკრიტიკულ მეთანოლში და სუპერკრიტიკულ ეთანოლში, სხვადასხვა ტემპერატურაზე (200-400 °C) და 200 ბარი წნევის ქვეშ.

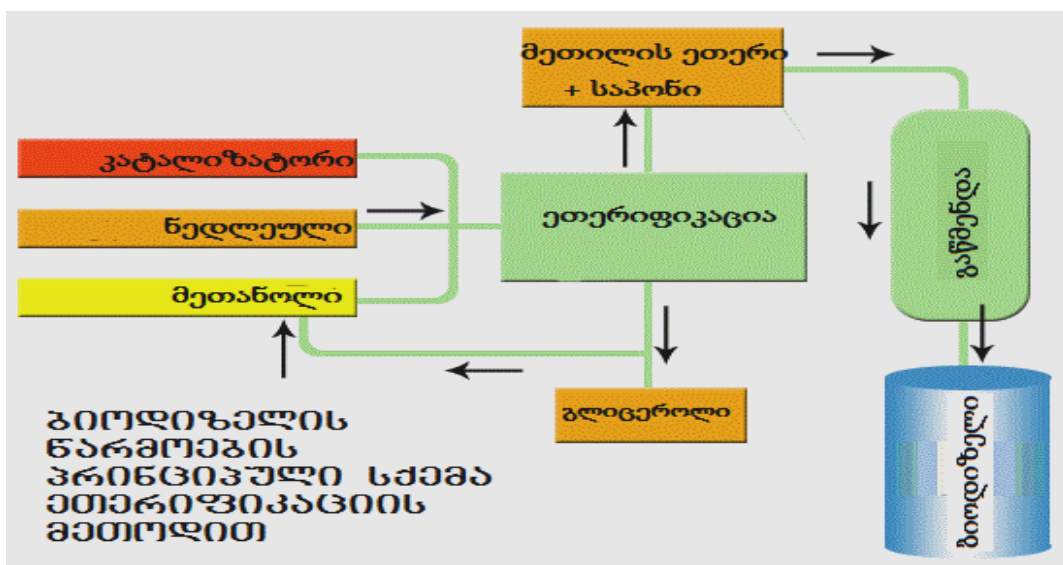
კატალიზატორის ტრადიციული მეთოდი გულისხმობს ორ აუცილებელ საფეხურს - გაწმენდას და რეცხვას, ხოლო სუპერკრიტიკული მეთოდისთვის ეს ორი ნაბიჯი აღარ არის საჭირო და საერთო დრო მცირდება 4-10 წუთამდე. ყოველივე ამან შეიძლება მნიშვნელოვნად შეამციროს წარმოების ხარჯები და ბიოსაწვავის საბოლოო ფასიც. სუპერკრიტიკული მეთანოლის მეთოდი შედარებით ადვილად მისაღებია მრეწველობისთვის ტექნოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით, იგი საშუალებას იძლევა ბიოდიზელის წარმოებისთვის გამოიყენონ როგორც ახალი, ასევე ისეთი ნედლეული, რომელშიც ისეთი მინარევებია წყლისა და თავისუფალი ცხიმოვანი მჟავების სახით.



სურათი 5. ბიოდიზელის წარმოება სუპერკრიტიკული მეთოდით

ამგვარი ნედლეული, ტრადიციული ტრანსეთერიფიკაციის რეაქციის დროს, რომელიც 55-57 გრადუს ცელსიუსზე მიმდინარეობს აუცილებლად მოითხოვს ნედლეულის წინასწარ მომზადებას და გაწმენდას, ეს კი თავის მხრივ ეკონომიკური თვალსაზრისით აძვირებს წარმოებას. რაც შეეხება სუპერკრიტიკულ მეთოდს, იგი ამ დროს მაღალი ტემპერატურისა და მაღალი წნევის პირობებში მიმდინარეობს და არ არის საჭირო საჭირო ნედლეულის წინასწარი დამუშავება, ამიტომ ეს ახალი მეთოდი – ცხიმოვან მჟავებს ტრანსეთერიფიკაცია სუპერკრიტიკულ სითხეებში, დიდი პოტენციალის მქონეა, რათა ის გამოყენებული იქნეს ინდუსტრიაში ბიოდიზელის წარმოებისთვის (Khetsuriani et al. 2017).

რადგან ჩვენი კვლევის მიზანი იყო ბიოდიზელის ტექნოლოგიების მიღება და მათი შემდგომი კომერციალიზაციის მიზნით არსებული ტექნოლოგიებიდან აქცენტი ავიღეთ ცხიმოვანი მჟავების ტრანსეთერიფიკაციის მეთოდზე, რომელიც ყველაზე უფრო მისაღებია საწარმოო პროცესისათვის.



სურათი 6. ბიოდიზელის წარმოება ეთერიფიკაციის მეთოდით

ტრანსეთერიფიკაციის მეთოდის მიხედვით საწარმოო ხაზის აწყობა, მისი ფუნქციონირება და ექსპლუატაცია შედარებით უფრო დაბალხარჯიანია და მისაღებია ვიდრე სხვა ტექნოლოგიები, ამიტომ ჩვენს მიერ სწორედ ტრანსეთერიფიკაციის

გზით ბიოდიზელის მიღება და ამ ბიოტექნოლოგიის მასშტაბური წარმოებისათვის მომზადება იყო კვლევის ძირითადი მიმართულება.

ბიოდიზელის ტექნოლოგიების განვითარება და მათგან ყველაზე უფრო ეფექტური მეთოდის შერჩევა და წარმოებაში დანერგვა ფართო პერსპექტივებს უჩენს ალტერნატიული, განახლებადი ენერგიის წარმოების განვითარებას საქართველოში და მთელს მსოფლიოში (Karchkhadze, Khetsuriani, 2024).

1.10. ბიოდიზელის ეკონომიკა. საწვავის ფასები ყოველდღიურად იზრდება, რაც აძვირებს ოპერირებას შიდა დონეზეც კი, რადგან ყველა ის სფერო, სადაც ნავთობპროდუქტები გამოიყენება, შესაბამისად ძვირდება. საკითხის გადაჭრის ერთადერთი გზა არის საწვავის ალტერნატივა წყაროს ძებნა, რომელიც განახლებადი და, ამავე დროს, იაფია.

დღეისათვის ბიოდიზელი არის ამ პრობლემის ყველაზე უფრო ეფექტური გადაწყვეტა. ბიოდიზელი არის საწვავი, რომელიც მზადდება მცენარეული ზეთებისაგან და ასევე ცხოველური ცხიმებისაგან. მცენარეებს ანიჭებენ უპირატესობას, რადგან მათი ზეთებისაგან ბიოდიზელის წარმოება უფრო ადვილი და იაფია.

კომერციული მასშტაბით, ყველაზე მეტად გამოიყენება სოიო, მზესუმზირის თესლი, კანოლა და სხვა რეციკლირებული მცენარეული ზეთები. ბიოდიზელის წარმოება სწრაფად ვითარდება, რადგან ის ზოგადად ენერგიის მოხმარების უფრო იაფი და ეფექტური გზაა და მისი წარმოება ეკოლოგიურად უფრო სუფთა პროცესია, ნაკლები დამაბინძურებლებით, ნავთობის გადამუშავებთან შედარებით. ბიოდიზელს აქვს ჩაკეტილი ნახშირბადის ციკლი და მისი ემისიები ნულოვანია. ის ასევე დადებითად მოქმედებს ატმოსფეროში სათბურის აირების დონის შემცირებაზე. წიაღისეული საწვავის ემისიები, კი როგორც ცნობილია წარმოქმნის დიდი რაოდენობით სათბურის აირებს, რაც მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს დღეს არსებულ კლიმატის ცვლილებას და გლობალურ დათბობას.

წიაღისეული საწვავის მარაგების მუდმივი შემცირების გამო, მათი ღირებულება პროპორციულად გაიზრდება. მეორეს მხრივ, ბიოდიზელის წარმოება შედარებით იაფია, და მისი ფასიც სტაბილურია, აუცილებელია საწყისი კაპიტალი აღჭურვილობის შესაძენად, მაგრამ ამის შემდეგ გამოყენებული მასალები იაფია და

ადვილად ხელმისაწვდომი. მიმწოდებელი ჩვეულებრივ კარნახობს ბიოდიზელის კომერციულ ხარჯებს იმის მიხედვით, თუ სად და რა რაოდენობით მოიპოვებს მას ნედლეულს.

1.11. ბიოდიზელის წარმოების პროცესი

პროცესი მოიცავს ორგანული ზეთების მოლეკულური სტრუქტურის ქიმიურ ცვლილებას. მას სჭირდება კატალიზატორი და სპირტი. ორგანული ზეთი თბება განსაზღვრულ ტემპერატურამდე ქიმიური რეაქციის დასაწყებად და შემდეგ ემატება კატალიზატორი და სპირტი. ამის შემდეგ მიმდინარეობს მათი შერევა დაახლოებით ერთი საათის განმავლობაში. შედეგად მიიღება ბიოდიზელი და გლიცერინი. (K. Karchkhadze, N. Khetsuriani, 2021)

ქვეყნის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების და ნახშირწყალბადოვანი წარმოშობის ენერგომატარებლების დაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარების უმნიშვნელოვანესი მექანიზმი ენერგიის არატრადიციული განახლებადი წყაროების გამოყენებაა. ენერგიის განახლებადი წყაროებიდან და მეორადი საკვები ზეთების გამოყენებით შესაძლებელია ბიოდიზელის საწვავის წარმოება, რაც დადებით გავლენას მოახდენს ქვეყნის ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ მდგომარეობაზე და გაზრდის მის ენერგოდამოუკიდებლობას.

ავტოტრანსპორტის სფეროში ეკოლოგიური მოთხოვნების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს გამონახოლქვში CO_2 რადიკალურად შემცირება. ლიდერი სახელმწიფოები, როგორც არი აშშ, ჩინეთი და ევროკავშირი ყოველწლიურად ამკაცრებენ გამონახოლქვ ემისიებში CO_2 -ის ნორმებს სატრანსპორტო საშუალებების ყველა სახეობისთვის, რაც განაპირობებს მათი ეკონომიურობის მნიშვნელოვან ზრდას, ასევე ახალი ეკოლოგიურად სუფთა საწვავების დამზადების აუცილებლობას.

მნიშვნელოვანია რომ ეკონომიკური თვალსაზრისით ყოველთვის მომგებიანია ბიოდიზელის წარმოებისთვის გამოიყენებული იქნეს განახლებადი ბიონარჩენები, რომლის გამოყენებასაც თან ახლავს ატმოსფეროში CO_2 -ის შემცირება, ხოლო ძრავაში მისი წვის დროს მცირდება მავნე ნაერთების (CO , CH) შემცველობა ნავთობდიზელთან შედარებით. ბიოდიზელი მსოფლიოში ფართოდ გამოიყენება როგორც სუფთა ასევე ნარევების სახით ძრავის მოდიფიკაციის გარეშე.

ნიშანდობლივია, რომ საქართველოში პირველი ბიოდიზელის ქარხანა, რომელიც 2018 წელს გაიხსნა ბიოდიზელს აწარმოებს სწორედ ნაჩენი ბიომასისაგან, კერძოდ მოხმარებული მეორადი ზეთისაგან.



სურათი 7. პირველი ბიოდიზელის ქარხანა საქართველოში

პირველი ქართული ბიოდიზელის ქარხანა აწარმოებს სუფთა ბიოდიზელს, ანუ საერთაშორისო აბრევიატურით B100 მარკის საწვავს. ამ საწვავის შერევით (ბლენდირებით) დიზელის საწვავთან მიიღება მსოფლიოში უკვე აპრობირებული და ფართოდ გავრცელებული B5, B10, B20 და B100 მარკის ბიოდიზელს, რომლის წვისას მცირდება ატმოსფეროში ტრანსპორტის სექტორიდან ემისიების რაოდენობა:

- გამონაბოლქვი ნახშირწყალბადების ნაწილაკების - 50%-ით;
- ნახშირორჟანგის 30%-ით;

10% ბიოდიზელი ანუ B10 ამცირებს 20%-მდე თბური აირების წარმოქმნას, ზრდის ცეტანის რიცხვს, ამცირებს გამონაბოლქვ აირებში ტოქსიკური ნივთიერებების რაოდენობას და საწვავის ხარჯს.

როგორც ცნობილია, საავტომობილო ტრანსპორტის სწრაფმა განვითარებამ გამოიწვია გარემოს – ატმოსფეროს, წყლისა და ნიადაგის მნიშვნელოვანი დაბინძურება. ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირები შეიცავს ოთხმოცამდე ტოქსიკურ ნივთიერებას – არასრული წვის პორდუქტების, მალ შორის აზოტის და ნახშირბადის ოქსიდებს სახით.

ბიოენერგეტიკის განვითარების ტენდენციების ანალიზი მოწმობს ბიოსაწვავის ინდუსტრიის განვითარების პერსპექტივებს, რომელიც განახლებადი რესურსების,

კერძოდ, ბიომასის, რაშიც იგულისხმება ყველა ორგანული ნივთიერება, როგორც მცენარეული ასევე ცხოველური წარმოშობის, ასევე მათი ცხოველმოქმედების შედეგად მიღებული ნარჩენები, საფუძველზე მსოფლიოს უზრუნველყოფს უფრო ეკონომიური და ეკოლოგიური საწვავით.

1.12. ბიოდირექტი, როგორც პერსპექტიული ბიოსაწვავი

ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მექანიზმი არატრადიციული, ენერგიის განახლებადი წყაროების გამოყენებაა. ეს ტენდენციები უკვე მკვეთრად აისახა აშშ-ს, ევროკავშირის და სხვა მოწინავე ქვეყნების ენერგეტიკის განვითარების პროგრამებში, სადაც 2030-წლისათვის, სრულ ენერგეტიკულ ბალანსში, განახლებადი ენერგიის წყაროების წილის 20%-მდე გაზრდაა ნაგარაუდები.

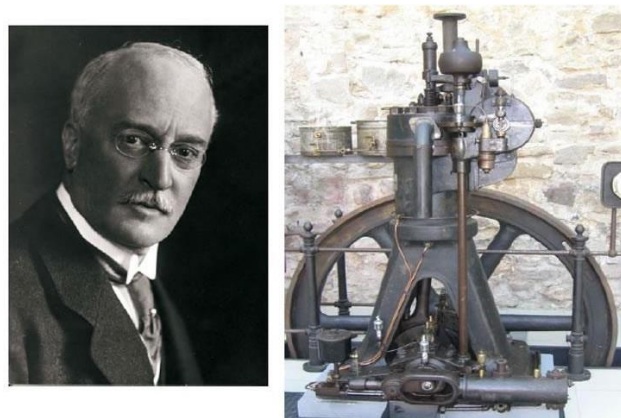
ნავთობის მარაგების შემცირების გამო ნავთობური წარმოშობის ენერგომატარებლების დაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარება, მრეწველობის და გადამუშავების ტექნოლოგიების განვითარებასთან დაკავშირებული გამონაბოლქვი ნაერთების ნორმების გამკაცრება, ეკოლოგიური გარემოს დაბინძურება აიძულებს მსოფლიოს აითვისოს ენერგიის ახალი განახლებადი წყაროები. ერთ-ერთ ასეთ პერსპექტიულ მიმართულებას თანამედროვე ბიოენერგეტიკა წარმოადგენს, რომელიც მოითხოვს ფუნდამენტალურ და გამოყენებით კვლევებში მონაწილე მეცნიერების მაქსიმალურ კონცენტრაციას თანამედროვე მეთოდოლოგიის და ტექნოლოგიის განვითარებაზე.

მსოფლიოში ფართო გამოყენება მოიპოვა მცენარეული ზეთების (რაპსი, სოიო, არახისი, პალმა, სიმინდი, მზესუმზირა, ზეთისხილი) საფუძველზე დირექტის ძრავების მანქანებისთვის ალტერნატიული საწვავის წარმოებამ. ამ მიმართულებით მიმდინარეობს სამეცნიერო და პრაქტიკული მუშაობა, როგორც შეზღუდული პოტენციალის, ისე ნახშირწყალბადების (ნავთობი, ბუნებრივი აირი) დიდი მარაგის მქონე ქვეყნებში.

განახლებადი ენერგიის - მცენარეული ზეთების ალტერნატიულ საწვავად გამოყენების ისტორია დაიწყო მე-20 საუკუნიდან, როდესაც რუდოლფ დირხელმა და მის მიერ გამოგონილმა ძრავამ, რომელსაც მის პატენტსაცემად დირხელის ძრავა

დაერქვა, მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრა მსოფლიოს დღევანდელი სახე. დიზელის ძრავები მუშაობს ყველა სახის - სახმელეთო, საჰაერო, წყალზე და წყალქვეშ ტრანსპორტზე; დიზელის ძრავები ემსახურება სამოქალაქო და სამხედრო ტექნიკას, ენერგეტიკას, ინდუსტრიის პრაქტიკულად ყველა სფეროს. ის ფაქტი, რომ დიზელის ძრავას საბოლოო დიზაინი არა მცენარეული ზეთის, არამედ ნავთობის ერთ-ერთი ფრაქციის საწვავად მოხმარებას მიესადაგა, გახდა მიზეზი იმისა, რომ დიზელის ძრავების ფართოდ გავრცელების პარალელურად, ნავთობის ინდუსტრიის განვითარებამაც მნიშვნელოვან მასშტაბებს მიაღწია და ალბათ არ იქნება გადაჭარბებული, თუ ვიტყვით, რომ რუდოლფ დიზელმა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრა XX საუკუნის სახე, მისი ინდუსტრია და თვით გეოპოლიტიკაც.

1912 წელს რუდოლფ დიზელი წერდა - „მცენარეული ზეთის გამოყენება ძრავების საწვავად დღეს შეუძლებელია მნიშვნელოვნად არ მიგვაჩნდეს, მაგრამ დროთა განმავლობაში მცენარეული ზეთის საწვავი ისეთივე მნიშვნელოვანი გახდება, როგორც დღეს ნავთობის პროდუქტებია“. სხვათაშორის, რუდოლფ დიზელის პირველი ძრავები არაქისისგან მიღებულ ზეთზე მუშაობდა



სურათი 8. რუდოლფ ქრისტიან კარლ დიზელი და შიგა წვის ძრავა (1858 – 1913)

რუდოლფ დიზელი იყო გენიალური გერმანელი მეცნიერი, ინჟინერი და გამომგონებელი, მან გამოიგონა და დააპატენტა ახალი ტიპის კომპრესიით აალებადი შიგაწვის ძრავა, რომელსაც მისივე სახელი ეწოდა. მის მიერ გამოგონებულმა ძრავამ მნიშვნელოვნად განსაზღვრა მე-20 საუკუნის მსოფლიო ინდუსტრიის განვითარება. ძრავის ფორმა და დიზაინი ტექნოლოგიების განვითარების კვალდაკვალ შეიცვალა და დაიხვეწა, მაგრამ უცვლელი დარჩა ძრავის მუშაობის პრინციპი - შეკუმშული

საწვავის კომპრესიით აალება, რომელიც რუდოლფ დიზელმა ჯერ კიდევ 1893 წელს გამოიგონა (Pahl, 2005). სწორედ ეს გახდა იმ კვლევების საფუძველი, რომლებიც მოგვიანებით ბიოდიზელის საწვავის შექმნით დასრულდა. კვლევები მიზნად ისახავდა დიზელის სატრანსპორტო ძრავების და ენერგეტიკული დანიშნულების დანადგარებისთვის გაუმჯობესებული ეკოლოგიური და ეკონომიური მახასიათებლების მქონე ენერგომატარებლების სფეროს გაფართოებას.

დიზელის ძრავებისთვის პერსპექტიულად ითვლება მცენარეული ზეთის ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაციით ბიოდიზელის საწვავის მიღება.

მცენარეული ზეთები ძირითადად ტრიაცილგლიცერიდებისგან შედგება. ამასთან უნდა აღინიშნოს რომ ბიოდიზელის წარმოებისთვის, დიდი მნიშვნელობა აქვს ნედლეულს, კერძოდ მჟავებს, რომელი შეიძლება იყოს როგორც ნაჯერი, ისე უჯერი.

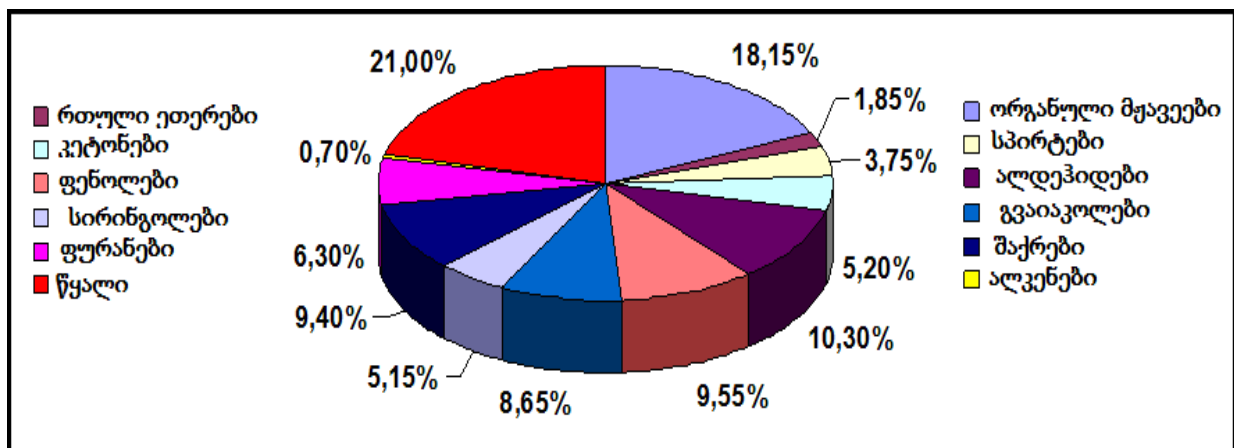
ცხრილში 1 მოყვანილია ზოგიერთი მცენარეული ზეთების ცხიმოვანი მჟავის შემადგენლობა და თვისებები.

ცხრილი 1. მცენარეული ზეთების ცხიმოვანი მჟავების შედგენილობა და თვისებები

მჟავების დასახელება	ფორმულა	მოლეკულური წონა, კგ/კმოლ	წვის სითბო, მჯ/კგ	ატომების მასური შედგენილობა, %		
				C	H	O
მირისტინის	C ₁₄ H ₂₈ O ₂ ნაჯერი	228,375	36,3	73,6	12,4	14,0
პალმიტინის	C ₁₆ H ₃₂ O ₂ ნაჯერი	256,429	37,1	74,9	12,6	12,5
პალმიტოლეინის	C ₁₆ H ₃₀ O ₂ უჯერი	254,413	36,6	75,5	11,9	12,6
მარგარინის	C ₁₇ H ₃₄ O ₂ ნაჯერი	270,456	37,5	75,5	12,7	11,8
სტეარინის	C ₁₈ H ₃₆ O ₂ ნაჯერი	284,483	37,8	76,0	12,8	11,2
ოლეინის	C ₁₈ H ₃₄ O ₂ უჯერი	282,467	37,3	76,0	12,1	11,3
ლინოლის	C ₁₈ H ₃₂ O ₂ უჯერი	280,451	36,8	77,1	11,5	11,4
ლინოლინის	C ₁₈ H ₃₀ O ₂ უჯერი	278,435	36,4	77,6	10,9	11,5
არაქინის	C ₂₀ H ₄₀ O ₂ ნაჯერი	312,536	38,3	76,9	12,9	10,2
გადოლეინის	C ₂₀ H ₄₀ O ₂ უჯერი	310,521	37,9	77,4	12,3	10,3
ბეგენის	C ₂₀ H ₃₈ O ₂ ნაჯერი	349,590	38,6	77,6	13,0	9,4
ერუკის	C ₂₂ H ₄₄ O ₂ უჯერი	338,574	38,4	78,0	12,5	9,5
ლიგნოცერინის	C ₂₄ H ₄₈ O ₂ ნაჯერი	368,644	39,1	78,2	13,1	8,7
ნერვონოვის	C ₂₄ H ₄₆ O ₂ უჯერი	366,628	38,9	78,6	12,7	8,7

შიგა წვის ძრავის საწვავად იყენებენ მცენარეულ ზეთებს, ცხიმოვანი მჟავების ეთერებს და ნავთობურ დიზელთან მათ ნარევებს. ტრიაცილგლიცერიდების მეთილის სპირტით ეთერიფიკაციის რეაქცია კატალიზატორის თანაობისას სამ სტადიად მიმდინარეობს და მიიღება ცხიმოვანი მჟავების ეთერები და თავისუფალი გლიცერინი.

ბიოდიზელის დამზადების ტექნოლოგიურ ციკლში განსაკუთრებული ადგილი ენიჭება მის გამოცდას და ხარისხის კონტროლს. ბიოდიზელის ხარისხის შეფასებისთვის იყენებენ ევროპულ EN 14214 და ამერიკულ ASTM D6751 სტანდარტულ მეთოდებს. განახლებადი მცენარეული ზეთების ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობა გრაფიკულად წარმოდგენილია სურათზე 9.



სურათი 9. ბიოდიზელის ნედლეულის შედგენილობა

მცენარეული ზეთების და მათი წარმოებულების კვლევებისთვის იყენებენ ქრომატოგრაფიულ, ინფრა წითელ და ელექტრონულ სპექტრალურ მეთოდებს. კვლევებმა აჩვენა, რომ ბიოდიზელის შედგენილობა დამოკიდებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ხრისხზე, ადგილზე და აღმოცენების პირობებზე. ამასთან ერთი და იგივე ტიპის მცენარეულ ზეთში სხვადასხვა სახის ცხიმოვანი მჟავების შემცველობა შეიძლება საკმაოდ ფართო ინტერვალში მერყეობდეს. მაგალითად რაპსის (*Brassica napus*) ზეთებში ოლეინის მჟავის შემცველობა შეიძლება იყოს 8,0-60,0%, ლონოლინის მჟავის 11,0-23,0%, ერუკის მჟავის-2,0-60,0%.

მცენარეული ზეთების ეთერიფიკაციით მიღებული ბიოდიზელის მახასიათებლების შესწავლამ აჩვენა, რომ მათი საექსპლოატაციო თვისებები სტანდარტულ დიზელის საწვავის თვისებებს უახლოვდება. აქვთ კარგი აალების

ტემპერატურა და ნავთობდიზელზე მაღალი ცეტანის რიცხვი (56-58), რაც დიზელის ძრავებში მათი გამოყენების საშუალებას იძლევა. აშშ ყველაზე უფრო გავრცელებულია ბიოდზელის საწვავი B20, რომელიც აბალანსებს დიზელის საწვავის და გამოყოფილი აირების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. ბიოდზელის საწვავი B20 არ საჭიროებს დიზელის ძრავის ცვლილებას. ცხრილში 2 წარმოდგენილია ნავთობდიზელის და ბიოდზელის საწვავების მახასიათებლების სხვადასხვა სტანდარტები.

ცხრილი 2. დიზელის(EN 590) და ბიოდზელის (EN 14214; ASTM 6751)

საწვავების ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მაჩვენებლები	EN 590	EN 14214	ASTM D 6751
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ³	820-845	860-900	-
კინემატიკური სიბლანტე 40°C-ზე,მმ²/წმ	2,0-4,5	3,5-5,0	1,8-6,0
აფეთქების ტემპერატურა °C,(ა/ნ)	55	101	100
გოგირდის შემცველობა,მგ/კგ (ა/უ)	50	10	15
კოქსვადობა 10% ნარჩენის(მას.% ა/უ)	0,3	0,3	0,1
ცეტანის რიცხვი(ა/ნ)	51	51	45
ნაცრიანობა, % (ა/უ)	0,01	0,02	0,02
წყლის შემცველობა, მგ/კგ (ა/უ)	200	200	200
საერთო დაბინძურება, მგ/კგ (ა/უ)	24	24	-
კოროზია სპილენძის ფირფიტაზე(50°C-ზე)	1 კლასი	1 კლასი	1 კლასი
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ (ა/უ)	0,1	0,5	0,8
იოდის რიცხვი, გ იოდი/100გ (ა/უ)	-	120	-
ეთერების შემცველობა,მას.%(ა/ნ)	-	96,5	96,0
მეთანოლის შემცველობა, მას.%(ა/უ)	0,2	0,2	0,2
გლიცერინის შემცველობა, მას.%(ა/უ)	-	0,25	0,24

ბიოდზელის თბოუნარიანობა (37,2მჯ/კგ) დაბალია სტანდარტული დიზელის თბოუნარიანობაზე, რის გამოც ბიოდზელზე მომუშავე ძრავის სიმძლავრე დაახლოებით 3-4%-ით მცირდება, საწვავის დანახარჯი კი 2-3% იზრდება.

თუმცა ბიოდიზელზე მუშაობისას ხდება ძრავის ნაწილების შეზეთვა, რაც 60%-ით ზრდის ძრავის და საწვავის ტუმბოს მომსახურების ვადას. მცირდება ატმოსფეროში გამონახოლქვი აირების რაოდენობა: ჭვარტლის 50%; ნახშირორჟანგის 10-12%; მეთანის - 20%; არ შეიცავს გოგირდს. ბიოდიზელის აალების ტემპერატურა $>100^{\circ}\text{C}$, რაც ტრანსპორტირების და შენახვის დროს მისი უსაფრთხოების მაღალ ხარისხზე მიუთითებს. ბიოდიზელი წყალში მოხვედრისას ზიანს არ აყენებს ფლორას და ფაუნას, მთლიანად განიცდის ბიოლოგიურ დეგრადაციას, მდინარეებისა და ტბების დაბინძურება მინიმუმამდე მცირდება.

ბოლო წლებში ბიოდიზელის წარმოებამ სერიოზულ მასშტაბებს მიაღწია: 2023 წლის მონაცემებით, ევროკავშირში წარმოებულ იქნა 9,1 მილიონი ტონა ბიოდიზელი. ლიდერი ამ სფეროში გერმანიაა, სადაც წინა წელს 2.5 ტონა ბიოდიზელი აწარმოეს. ასევე მნიშვნელოვანია საფრანგეთის წილი - 1,9 მლნ ტონა. ბალტიის ქვეყნებში 165 ათასი ტონა ბიოდიზელი იქნა წარმოებული, პოლონეთში - 323 ათასი ტონა, აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებში - ბულგარეთში, რუმინეთში, სლოვაკეთში - 250 ტონაზე მეტი.

არანაკლები ინტერესია ბიოსაწვავის მიმართ აშშ-ი, სადაც ქვეყნის 260 საწარმოში ბოლო 5 წლის განმავლობაში 8,9 მილიონი ტონა ბიოდიზელია წარმოებული (World Energy Outlook, 2019). ყველა ამ ქვეყნის გამოცდილება ცხადყოფს, რომ ბიოდიზელის წარმოებით ქვეყანა იღებს განახლებად ალტერნატიულ საწვავს და ამცირებს ნავთობზე მის დამოკიდებულებას. უფრო მეტიც, ეკოლოგიურად სუფთა საწვავის გამოყენება დადებით გავლენას ახდენს გარემოზე, მცირდება ნავთობის დიზელის გამოყენება, ე.ი. ხდება ენერგოდაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარება, იზრდება ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობა, იქმნება ახალი საწარმოები და, შესაბამისად, სამუშაო ადგილები.

მცენარე რაპსის (ლათ.: *Brassica napus*) ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების, არატოქსიკურობის და ბიოდეგრადაციის უნარის გათვალისწინებით მას ხშირად იყენებენ საპოხი მასალების კომპონენტებად ჰიდრაულიკური სისტემებისთვის, მანქანის, ანტიკოროზიულ, ინდუსტრიულ, ტრანსმისიულ და სხვ ზეთებში. კვლევამ აჩვენა, რომ მცენარეული ზეთები ტრიბომექანიკური თვისებებითაც მნიშვნელოვნად აღემატებიან ნავთობურ ზეთებს.

ბიოდიზელის საწვავს იყენებენ ევროპისა და ამერიკის მრავალ ქვეყანაში. ამჟამად მოხმარებული საწვავის 10-15% ბიოდიზელზე მოდის და ეს რაოდენობა შემდეგში კიდევ უფრო გაიზრდება. 2009 წლიდან ევროპის ქვეყნები (2003 წლის კონვენციით) ვალდებული არიან აწარმოონ და მოიხმარონ ბიოსაწვავი, 2020 წლისთვის კი ტრანსპორტის სფეროში გამოყენებული ნავთობის მეხუთედი შეცვალონ ბიოსაწვავით. ამჟამად მოთხოვნილება ბიოსაწვავზე აღემატება მის წარმოებას. ამიტომ, რომ მცენარეული ზეთის წარმოების გაზრდა ნებისმიერი ქვეყნისთვის ერთ ერთ მთავარი ამოცანაა.

საგულისხმოა, რომ ბიოდიზელის გარდა რაპსის ზეთი აქტიურად გამოიყენება საპნის, ტყავის, ქსოვილების, ლაქსაღებავების, პოლიგრაფიულ, ქიმიურ და სხვ. მრეწველობაში. შალგის ზეთი წარმატებით გამოიყენება აგრეთვე როგორც საკვები ზეთი, რადგან დიდი რაოდენობით შეიცავს ოლეინის, ლინოლის და სხვა უჯერ ცხიმოვან მჟავებს, რომლებიც მის ბიოლოგიურ ფასეულობას განსაზღვრავს. შალგის ზეთში შემავალი უჯერი ცხიმოვანი მჟავები დიდ როლს ასრულებენ ცხიმების მიმოცვლის რეგულირებაში, ამცირებენ ქოლესტერინის დონეს, ტრომბის წარმოქმნის შესაძლებლობას და მთელ რიგ სხვა დაავადებებს, მათ შორის სიმსივნურსაც. აღსანიშნავია, რომ რაპსის ზეთს, რომელიც არ შეიცავს ერუკის მჟავას და ძალიან მცირე რაოდენობით შეიცავს გლუკოზას, თავისი ცხიმოვან-მჟავური შედგენილობით და გემოთი უთანაბრებენ ზეთიხილის ზეთს. მიუხედავად ღირებულებების ერთნაირი კატეგორიისა რაპსის ზეთი ბევრად უფრო სასარგებლოა ადამიანისთვის, ვიდრე მზესუმზირის და სოიოს ზეთი. თესლიდან ზეთის წარმოების გარდა შალგის კულტურის უპირატესობას ისიც განსაზღვრავს, რომ იგი დიდი რაოდენობით შეიცავს ცილებს და შესაძლებელია მისგან მეცხოველეობისთვის და მეფრინველეობისთვის საჭირო ამინომჟავებით დაბალანსებული მწვანე საკვების დამზადება (სილოსი, კონცენტრატი და სხვ.). რაფის მოშენება ნიადაგს ამდიდრებს ორგანული ნაერთებით, რომლებიც აუმჯობესებენ ნიადაგის სტრუქტურას, ქიმიურ შედგენილობას, ფიტოსანიტარულ მდგომარეობას და იცავენ წყლით და ქარით გამოწვეული ეროზიისგან, ამცირებენ მიწიქვეშა და ზედაპირული წყლების დაბინძურებას, ხელს უწყობენ რადიექტიული ნივთიერებებით დაავადებული მიწების რეკულტივაციას. რაფსი უნივერსალური გამოყენების კულტურაა, როგორც

სარეველა ყველგან ხარობს და თითქმის ყველა კონტინენტზე ითესება. მისი საშუალო მოსავლიანობა შეადგენს ერთ ჰექტარზე 3 ტონას.

ბიოსაწვავად ასევე შესაძლებელია გამოვიყენოთ სამეურნეო საქმიანობის სფეროს მეორადი ნარჩენები და საზოგადოებრივი კვების ობიექტების მეორადი ზეთები.

ცხრილი 3. ბიოდიზელის ევროპული სტანდარტი EN 14214

მახასიათებელი	ერთეული	გამოცდის მეთოდები	სტანდარტული მნიშვნელობები
ეთერების შემცველობა	%	EN 14103-03	96.5 min
სიმკვრივე 15 °C-ზე	კგ/მ³	EN ISO 12185	860 -900
სიმკვრივე °API	-	ASTM D 4052	-
კინემატიკური სიბლანტე 40 °C	მმ²/სწმ	EN ISO 3104	3.5 – 5.0
აფეთქების ტემპერატურა	°C	EN ISO 3679	101 min
გოგირდის შემცველობა	მგ/კგ	EN ISO 20884	10 max
ცეტანის რიცხვი	-	EN ISO 5165	51 min
ნაცრიანობა	% (m/m)	ISO 3987	0.02 max
წყლის შემცველობა	%	EN ISO 1297	0.05 max
სრული დაბინძურება	-	EN 12662	24max
კოროზიული აქტივობა (3 საათი 50°C-ზე)	-	EN ISO 2160	1 კლასი
ჟანგვითი სტაბილურობა, 110°C	-	EN 14112	8 min
მჟავიანობა	მგ KOH/გ	EN 14104	0.5 max
მეთანოლის შემცველობა	%	EN 14110	0.2 max
მონოგლიცერიდების შემცველობა	%	EN 14105	0.7 max
დიგლიცერიდების შემცველობა	%	N 14105	0.2 max
ტრიგლიცერიდების შემცველობა	%	N 14105	0.2 max
თავისუფალი გლიცერინი	%	N 14105	0.02 max
საერთო გლიცერინი	%	N 14105	0.25 max
I ჯგუფის მეტალები (Na+K)	Mg/kg	EN 14538	5 max
II ჯგუფის მეტალები (Ca+ Mg)	Mg/kg	EN 14538	5 max
ფოსფორის შემცველობა	Mg/kg	EN 14107	4 max
ცივი გაფილტვრის ტემპერატურა	°C	EN 116	+ 15 max

აღსანიშნავია, რომ განახლებადი წყაროებიდან მიღებული საწვავის ღირებულება ტრადიციულ ნედლეულთან შედარებით ჯერჯერობით უფრო მაღალია, ამიტომაც რომ ევროპის ქვეყნებში ბიოდიზელის წარმოება სახელმწიფოს მიერ მწარმოებლების ხელშეწყობით ხორციელდება. გამოიყენება საგადასახადო შეღავათები და დოტაციები. ვინაიდან ბიოსაწვავის გამოყენების დროს ნავთობდიზელთან შედარებით ატმოსფეროში გამონაბოლქვი მავნე აირები გაცილებით ნაკლებია, მას არ აკისრებენ აქციზებს და ეკოლოგიურ გადასახადებს. მრავალმა განვითარებულმა ქვეყანამ მცენარეული ზეთებიდან ბიოსაწვავის მიღების მიმართულებით წარმოებული სამეცნიერო კვლევების დაფინანსება გაზარდა.

ცხრილი 4. დიზელის საწვავის სტანდარტი EN 590

მახასიათებელი	ერთეული	სტანდარტული მნიშვნელობები	გამოცდის მეთოდები
ცეტანი რიცხვი	51.0	-	EN ISO 5165
ცეტანის ინდექსი	46.0	-	EN ISO 4264
სიმკვრივე 15 °C-ზე	კგ/მ³	820-845	EN ISO 12185
პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები	%	11	EN 12916
გოგირდის შემცველობა	მგ/კგ	<10.0	EN ISO 20846
აფეთქების ტემპერატურა	°C	55	EN ISO 2719
კოქსვადობა	%	0,3	EN ISO 10370
წყლის შემცველობა	მგ/კგ	200	EN ISO 12937
ნაცრიანობა	%	<0,01	EN ISO 6245
მნიშვნელოვანი დაბინძურება	მგ/კგ	24	EN 12662
კოროზიული აქტივობა (3 საათი 50°C-ზე)	-	1 კლასი	EN ISO 2160
ცხიმოვანი მჟავები და მეთილის ეთერი	%	5	EN 14078
ჟანგვითი სტაბილურობა	კგ/მ³	25	EN ISO 12205
კინემატიკური სიბლანტე 40 °C	მმ²/წმ	2,0 - 4,5	EN ISO 3104
დისტილაცია			EN ISO 3405
250 °C-მდე	%	<65	„
350 °C-მდე	%	90	„
95% გამოიხდება	°C	360	„

1.13. ბიოდიზელის ნედლეული - მცენარეული ზეთები

ბიოდიზელის წარმოებაში ყველაზე მისაღები ეკონომიკური თვალსაზრისით არის მოხმარებული საკვები ზეთი. ამგვარ ტიპის ზეთი აერთიანებს სხვადასხვა ზეთოვანი კულტურების ზეთებს. ბიოდიზელის საწარმოში, როგორც წესი წარმოებისთვის მიღებული მეორადი, ანუ მოხმარებული საკვები ზეთი შედგება სხვადასხვა მცენარეების ზეთების ნარევისაგან. შესაბამისად ბიოდიზელის წარმოების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის მნიშვნელოვანია განისაზღვროს რომელი მცენარეების ზეთებისაგან შედგება ბიოდიზელის საწარმოში მიღებული წარმოებისთვის განკუთვნილი მოხმარებული საკვები ზეთი.

ჩვენი გამოკვლევა, პჯრ ტექნოლოგიით ზეთოვანი კულტურების დეტექცია, სწორედ ამ მიზანს ემსახურება. ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდი, რომელიც მზესუმზირას (*Helianthus annuus* L.) ნუმუშებზეა ჩატარებული, სრულიად ახალი, უნიკალური და ამასთან ერთად სწრაფი მეთოდია და სხვა არსებულ მეთოდებთან შედარებით. საბოლოო ჯამში ისაა იაფი მეთოდი, რომელიც მნიშვნელოვანი საწარმოო და ტექნოლოგიური სიახლე იქნება ბიოდიზელის წარმოების ინდუსტრიისთვის.

ჩვენ შევისწავლეთ ეს მეთოდი მზესუმზირას მაგალითზე. დღეისათვის მზესუმზირა (*Helianthus annuus* L.) მსოფლიოში ერთ-ერთი მთავარი ზეთოვანი კულტურაა. იგი ფართოდ არის გაშენებული სხვადასხვა ქვეყანაში და გლობალური წარმოების თვალსაზრისით მესამე ადგილზეა ზეთოვან თესლებს შორის და მეოთხე ადგილზე მცენარეულ ზეთებს შორის. მზესუმზირას კულტურა ზეთის (დაახლოებით 44%) და ცილის (დაახლოებით 16%) მაღალი შემცველობის გამო მიეკუთვნება როგორც ზეთოვან, ასევე ცილოვან სახეობებს. ეს არის ჯანსაღი საკვები ნივთიერებების, მინერალების, ანტიოქსიდანტებისა და ვიტამინების მდიდარი წყარო (Pilorgé, 0202; Kaya, 2024) .

ამიტომ, მზესუმზირა ხშირად გამოიყენება, როგორც საერთო ინგრედიენტი ბევრ გადამამუშავებულ საკვებ პროდუქტში, როგორიცაა კარაქი, გრანოლა, მარცვლეული, პური, პურპროდუქტები, ნარევი, მაკარონი და ა.შ. გარდა ამისა, მზესუმზირის ინგრედიენტები შეიძლება იყოს დამამუშავებულ საკვებში დაბინძურების გამო. რაც შეშფოთებას იწვევს. თუმცა, მზესუმზირა საკვები ალერგენებს მიეკუთვნება.

მგრძნობიარე პირების მიერ მზესუმზირის საკვების მიღებამ შეიძლება გამოიწვიოს სხვადასხვა სიმპტომები, მსუბუქიდან მძიმემდე. გარდა ამისა, მზესუმზირამ შეიძლება გამოიწვიოს სიცოცხლისთვის საშიში ანაფილაქსიური რეაქციები (Yagami, 2010; Axelsson et al. 1994).

ზუსტი ინფორმაცია მოხმარებულ საკვებ ზეთებში მზესუმზირის არსებობის შესახებ დაეხმარება ბიოდიზელის წარმოებას პროცესის ოპტიმიზაციისათვის (Samara et al. 2023; Kumar et al., 2011).

საკვები ზეთები, ადამიანის დიეტის მნიშვნელოვანი სუბსტრუქტული კომპონენტია და ეს ზეთები, ზოგადად, მრავალი ზეთოვანი კულტურიდან მიიღება, ამასთან ერთად ეს ზეთები ხშირად შერეული სახით გამოიყენება (Mannucci et al, 2023).

მეორადი მოხმარებული ზეთები კვების ინდუსტრიიდან (რესტორნები, კვების ობიექტები) გროვდება და რეგულაციით მხოლოდ ტექნიკური მიზნებისთვის უნდა იქნეს გამოყენებული და მასში შემავალი ტოქსინები აღარ უნდა მოხვდნენ ადამიანის კვებით ჯაჭვში (Jin et al. 2022; Zhao, et al., 2015).

დღეს ბიოდიზელის წარმოებისთვის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და კომერციულად მომგებიანი ნედლეული არის მოხმარებული საკვები ზეთი, UCO. ბიოდიზელი ითვლება ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ, განახლებად, ეკოლოგიურად სუფთა და ნახშირბადის ნეიტრალურ ალტერნატიულ ბიოსაწვავად. ბიოდიზელის წარმოება სტაბილურად იზრდება, განსაკუთრებით 21-ე საუკუნეში და ბიოდიზელი იკავებს უფრო და უფრო ფართო სეგმენტს საწვავის ბაზარზე მთელ მსოფლიოში. (BP Energy outlook, 2023).

ბიოდიზელი გარდა იმისა რომ ეკო-მეგობრული საწვავია, ის ასევე მაღალი ხარისხის საწვავია; შესაბამისად, ბიოდიზელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ინდუსტრიის ნებისმიერ სეგმენტში, სადაც გამოიყენება მინერალური, ანუ ნავთობზე დაფუძნებული დიზელის საწვავი. ბიოდიზელის გამოყენების სხვადასხვა სეგმენტებს შორის ყველაზე დიდი კომპონენტია შიგა წვის ძრავებში, ანუ ტრანსპორტის სექტორში მისი გამოყენება (Streimikiene, 2019).

ბიოდიზელს შეუძლია მნიშვნელოვნად შეამციროს ჰაერის დაბინძურება და თავიდან აიცილოს ეკოლოგიური კატასტროფები. ბიოდიზელის კიდევ ერთი

მნიშვნელოვანი უპირატესობა არის ის ფაქტი, რომ ბიოდიზელი ბიოდეგრადირებადია როგორც ნიადაგში, ასევე წყალში.

როგორც გამოკვლევები ცხადყოფს, ბიოდიზელში შემავალი ნახშირბადის ნაერთების თითქმის 89% შეიძლება ბიოდეგრადირდეს ერთი თვის განმავლობაში.

ბიოდიზელი არის ძალიან ეფექტური გამოსავალი ურბანულ გარემოში გარემოს დაცვის კუთხით, განსაკუთრებით ატმოსფერული ჰაერის სისუფთავის შესანარჩუნებლად, რადგან ბიოდიზელის გამოყენება ურბანულ გარემოში ამცირებს პოლიციკლური არომატული ნაერთების ემისიებს 85%, ხოლო ეს ნივთიერებები, იდენტიფიცირებულია, როგორც ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უკიდურესად საზიანო, კანცეროგენული ნაერთები (Yuan, et al., 2007).

1.14. ბიოდიზელის წარმოების ნედლეული

ცნობილია, რომ მსოფლიოში ბიოდიზელის 95% იწარმოება სხვადასხვა საკვები ზეთებიდან. მათ შორის მოხმარებული საკვები ზეთის წილი UCO შეადგენს (10%). შესაბამისად, ბოლო წლებში მეტი ყურადღება ეთმობა მოხმარებული საკვები ზეთების ხელმეორედ გამოყენებას კვების მრეწველობაში, საკვები ზეთების სიმცირის გამო (Brahma, et al. 2022).

UCO მოხმარებული საკვები ზეთების შედგენილობა მოიცავს სხვადასხვა მცენარეულ ზეთებს, რომლებიც გამოიყენება კვების მრეწველობაში. საკვებ ზეთებს აქვთ სხვადასხვა მახასიათებლები, როგორიცაა ცხიმოვანი მჟავების სახეობები და მათი პროცენტული თანაფარდობა, სიმკვრივე. მნიშვნელოვანია ისეთი ტექნიკური მახასიათებლები, როგორიცაა აალების ტემპერატურა და კინემატიკური სიბლანტე. ეს ფაქტორები საბოლოოდ გავლენას ახდენს ამ ზეთებისგან დამზადებული ბიოდიზელის ხარისხზე და ტრანსესტერიფიკაციის პროცესზე, რომელიც ყველაზე გავრცელებული მეთოდია ბიოდიზელის წარმოების ინდუსტრიაში. ამიტომ, მცენარეული ზეთებიდან ბიოდიზელის წარმოებას სჭირდება კარგად დაგეგმვა და ნედლეულის, ანუ მოხმარებული საკვები ზეთის ზუსტი ანალიზი, სადავ გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს UCO-ს შემადგენლობის განსაზღვრას ბიოდიზელის წარმოების პროცესის დაწყებამდე (Dulawat et al. 2020).

მზესუმზირასგან მიღებული ზეთი მეორე ადგილზეა კონკრეტული სახეობის მცენარეული ზეთისაგან ბიოდიზელის წარმოების თვალსაზრისით და ის საერთო რაოდენობის 13% -ს შეადგენს.

მზესუმზირის ზეთის ფართოდ გავრცელების გამო, ის არის მოხმარებული საკვები ზეთის UCO-ს ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტი, ამიტომ UCO-ს სწრაფი და საიმედო ანალიზი მზესუმზირის ზეთის გამოვლენაზე ძალიან მნიშვნელოვანია ბიოდიზელის წარმოების დაგეგმვისთვის. ეს შეეხება ისეთ საწარმოო პროცესის მნიშვნელოვან დაგეგმვას, როგორიცაა კერძოდ, კატალიზატორების რეგულირებისთვის ტრანსეთერიფიკაციისთვის.

შესაბამისად დაიგეგმება პროცესი, რომელსაც შეუძლია უზრუნველყოს, მაღალი ხარისხის და ეკონომიკურად მომგებიანი პროცესი ბიოდიზელის წარმოების ტექნოლოგიისათვის, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ინდუსტრიისთვის. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, მზესუმზირის ნებისმიერ შერეულ ზეთში საიმედო და ეფექტური აღმოჩენა გადამწყვეტია ბიოდიზელის წარმოებისთვის.

ზეთის ავთენტურობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ზეთოვანი ინგრედიენტების იდენტურობის შემოწმება. დღეისათვის შემუშავებულია სხვადასხვა მიდგომა საკვები ზეთების ავთენტურობის დასადგენად. გამოვლენის ანალიზური მეთოდები ხშირად მოიცავს ბირთვულ მაგნიტურ-რეზონანსულ სპექტროსკოპიას, მაღალი ხარისხის თხევად ქრომატოგრაფიას, გაზური ქრომატოგრაფიას და მასს-სპექტრომეტრიას (Sudhakar et al., 2023).

ეს მეთოდები ეფუძნება საკვები ზეთების ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებს და აანალიზებს სხვადასხვა კომპონენტების შემცველობას, როგორიცაა ცხიმოვანი მჟავები, ტოკოფეროლები, ამინომჟავები და სტეროლები. თუმცა, ამ მეთოდებში მონაცემთა ანალიზი რთულია, რადგან საკვები ზეთის ქიმიური შემადგენლობა დამოკიდებულია ჯიშებზე, სეზონებზე და ადგილმდებარეობაზე. უფრო მეტიც, ამ მეთოდების გამოვლენის საზღვრები საკმარისი არ არის საკვები ზეთების ავთენტურობის უზრუნველსაყოფად. (Cao, et al., 2017; Zhang et al., 2012; Pan et al. 2023).

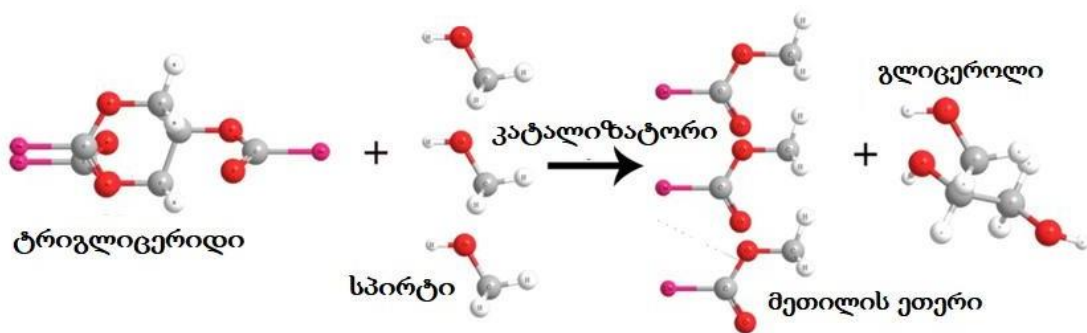
მოლეკულური მეთოდები მოიცავს დნმ-სა და ცილაზე დაფუძნებულ ტექნიკას. დნმ-ზე დაფუძნებული პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქციის (PCR) ტექნოლოგია

ნაჩვენებია, როგორც პერსპექტიული ინსტრუმენტი გადამუშავებული საკვების ავთენტურობისა და საანალიზო მასალაში მისი მიკვლევადობის შესამოწმებლად. მას აქვს უპირატესობა ცილაზე დაფუძნებულ მეთოდებთან შედარებით, რადგან დნმ მოლეკულები უფრო სტაბილური მოლეკულებია, ვიდრე ცილები, რომელთა სტრუქტურა იცვლება საკვების გადამუშავების პროცესში. PCR საშუალებას იძლევა სახეობების ზუსტი იდენტიფიკაცია მათი სპეციფიკური დნმ-ის თანმიმდევრობითი ანალიზის მეშვეობით და ის ნაკლებად არის დამოკიდებული ჯიშებზე ან გარემო პირობებზე. ბოლო წლებში PCR მეთოდები წარმატებით გამოიყენება ზეთოვანი თესლების იდენტიფიკაციისა და საკვები ზეთების მიკვლევადობისთვის. (Su et al. 2019)

წინამდებარე ნაშრომში წარმოდგენილია მეორად (მოხმარებულ) ზეთებში კონკრეტული სახეობის მცენარის ზეთების დეტექციის ახალი მეთოდი, რომელიც დამყარებულია დნმ-ის ექსტაქციასა და პჯრ ამპლიფიკაციაზე და დამუშავდა მზესუმზირას (*Helianthus annuus* L.) ზეთებზე. როგორც ჩვენმა მონაცემებმა აჩვენა, ეს მეთოდი ეფექტურია ამ მცენარეული ზეთების დეტექციისთვის, რაც საფუძველს იძლევა მოხდეს მისი ექსტრაპოლირება სხვა ზეთოვანი კულტურების დეტექციისთვის.

მასალები და მეთოდები

მსოფლიოში ბიოდიზელის საწვავის წარმოების ძირითადი მეთოდებია: მცენარეული ზეთებიდან გამოყოფილი ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაცია ან მცენარეული ზეთების ჰიდრირება და ჰიდროგადამუშავება. ეთერიფიკაციის პროცესი ეფუძნება ორგანული მჟავების ურთიერთქმედებას სპირტებთან კატალიზატორების თანაობისას, რაც იწვევს ეთერების წარმოქმნას. რეაქცია მიმდინარეობს ნუკლეოფილური ჩანაცვლების მექანიზმის მიხედვით. (სურ. 10)



სურათი 10. ტრიგლიცერიდების ეთერიფიკაცია

დიზელის საწვავის გამოყენებისას მავნე გამონაბოლქვის რაოდენობის შემცირების ერთ-ერთი გზა საწვავის ნაწილის ბიოსაწვავით ჩანაცვლება. კვლევა დაკავშირებულია ბიოდიზელის საწვავის წარმოებასთან შემდეგი მეთოდებით: მცენარეული ზეთების პერეეთერიფიკაცია (ტრანსესტერიფიკაცია); მცენარეული ზეთისგან გამოყოფილი ცხიმოვანი მჟავების ესტერიფიკაცია; ბიოდიზელის საწვავის მისაღებად გამოიყენებოდა მეორადი საკვები ზეთები, ერთატომიანი და ორატომიანი სპირტები. დადგენილია მცენარეული ზეთის ტრანსესტერიფიკაციის ოპტიმალური პარამეტრები: ტემპერატურა; ნედლეულის თანაფარდობა (ზეთი/სპირტი); შერევის სიჩქარე; დრო; მიღებული ბიოდიზელის საწვავის ნიმუშების მახასიათებლები შესწავლილი EN14214 სტანდარტების მოთხოვნებთან „ავტომობილების საწვავი. ცხიმოვანი მჟავების მეთილის ეთერები დიზელის ძრავებისთვის. ზოგადი ტექნიკური მოთხოვნები“ და EN 590 სტანდარტი „ევრო დიზელის საწვავი. ტექნიკური მახასიათებლები“. ბიოდიზელის საწვავის ფიზიკო-ქიმიური მახასიათებლებიდან გამომდინარე, მისი მიღების ოპტიმალური გზაა მცენარეული

ზეთების ტრანსესტერიფიკაცია. თუმცა, ყველა სახის საწვავი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც შერეული ეკოლოგიურად სუფთა დიზელის საწვავის კომპონენტები. ბიოდიზელის მიღების მეთოდი: მეორადი მცენარეული საკვები ზეთებიდან გამოყოფილი ორგანული მჟავები (C15-C17) გამოიყენება საწვავის წარმოებისთვის. სინთეზისთვის აგრეთვე გამოყენებული იყო ერთატომიანი სპირტი (მეთანოლი) და ტუტე კატალიზატორი. ჯერ ხდება „დისოლვერში“ ზეთის შერევა კალიუმის ტუტესთან და მიიღება მეტოქსიდი (კატალიზატორი), ხოლო შემდეგ რეაქტორში ხდება კატალიზატორისა და ნედლეულის (მეორადი მცენარეული საკვები ზეთები) შერევა შესაბამისი ტემპერატურის პირობებში დადგენილი დროის ხანგრძლიობის გათვალისწინებით. ამის შემდეგ ხდება დაყოვნება, რის შედეგადაც ხდება ბიოდიზელისა და გლიცერინის ნარევის დაყოფა. რეაქტორში ქვემოთ გამოილექება გლიცერინი, რომელიც მოცილდება სარეაქციო არეს, ხოლო მიღებული ბიოდიზელის ვაკუუმური გაწმენდის შემდეგ ხდება მისი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების შესწავლა ზემოთ აღნიშნული საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად. საწვავის მიღების შემდეგ შესწავლილ იქნა პროდუქტის ძირითადი მახასიათებლები და ჩატარდა პროდუქტების სპექტრალური ანალიზი. ცხრილი 5. ბიოდიზელის და მეორადი ზეთის ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაციით მიღებული საექსპლოატაციო თვისებები მახასიათებლები.

ცხრილი 5. ბიოდიზელის და მეორადი საკვები ზეთის ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაციით მიღებული საექსპლოატაციო თვისებები მახასიათებლები

მაჩვენებლები	ბიოდიზელი	ცხიმოვანი მჟავები
სიმკვრივე 20°C, კგ/მ ³	914.0	909.78
სიბლანტე 40°C	23.250	27.995
აფეთქების ტემპერატურა დახურულ ტიგელში °C	112	117
გოგირდის შემცველობა, ppm	–	10
შემზეთი თვისებები 60°C mkm	202	157

სინთეზირებული საწვავის ძირითადი კომპონენტებია კვების ობიექტების მეორად ზეთში შემავალი ცხიმოვანი მჟავების ეთერები. გაზური ქრომატოგრაფიის

საშუალებით შესწავლილია ბიოდიზელის საწვავის ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შედგენილობა.

ბიოდიზელის ლაბორატორიული კვლევების შემდეგ ეთერიფიკაციის პროცესის მოდელირება განვახორციელეთ BK 5000 საპილოტე დანადგარში (მწარმოებელი კომპანია Biolat BG, ბულგარეთი) წარმადობით 40 ლ/საათში. ეთერიფიკაციის პროცესი და საპილოტე დანადგარის წარმადობა მაქსიმალურად მოახლოებულია საწარმოო სიმძლავრეებს, რაც საშუალებას გვაძლევს ბიოდიზელის წარმოების ტექნოლოგია და მისი პარამეტრები მაქსიმალურად მივუსადაგოთ საწარმოო პროცესების მიზნებს და მოთხოვნებს.



სურათი 11. საპილოტე დანადგარი BK 5000

ცხრილი 6. საპილოტე დანადგარში მიღებული ბიოდიზელის მახასიათებლები

მაჩვენებლები	ბიოდიზელი	გამოცდის მეთოდები
ეთერების შემცველობა, %	96,5	EN 14103
სიმკვრივე 20°C, კგ/მ³	914.0	EN ISO 12185
კინემატიკური სიბლანტე 40°C, sSt	23.250	EN ISO 3104
აფეთქების ტემპერატურა დახურულ ტიგელში, °C	112	ISO 3679
გოგირდის შემცველობა, ppm	–	EN ISO 20884
შემზეთი თვისებები 60°C mkm	202	ASTM D2266
ცეტანის რიცხვი	51	ASTM D 613

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბიოდიზელის შემზეთი თვისებები. მინერალური დიზელის საწვავიდან გოგირდის მოცილების შემთხვევაში, ის კარგავს თავის შემზეთ

თვისებებს. მიუხედავად იმისა, რომ ბიოდიზელი გოგირდს არ შეიცავს, ის ხასიათდება კარგი შემზეთი თვისებებით, რაც ძრავის მუშაობის ხანგრძლიობას ზრდის. ეს გამოწვეულია მისი ქიმიური შედგენლობით და ჟანგბადის შემცველობით. მაგალითად, სატვირთო მანქანა გერმანიიდან შევიდა გინესის რეკორდების წიგნში, რომელმაც 1,25 მილიონ კილომეტრზე მეტი გაიარა ბიოდიზელის საწვავით თავისი ორიგინალური ძრავით. ამასთან ერთად ბიოდიზელი ხასიათდება მაღალი აალების ტემპერატურით $> 150^{\circ}\text{C}$, რაც ბიოსაწვავს შედარებით უსაფრთხო ნაერთად აქცევს; შედარებისთვის რაქსის ზეთის საწვავი აალებდა 320°C .

2.1. დიზელის და ბიოდიზელის კვლევის მეთოდები. ბიოდიზელის საწვავის ხარისხის შეფასებისთვის გამოყენებული იქნა საერთაშორისო ევროპული EN 14214 და ამერიკული ASTM D6751 სტანდარტები. ბიოდიზელის საწვავის ხარისხის შესწავლისთვის ზოგად ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებთან ერთად გამოყენებული იქნა გაზური ქრომატოგრაფიის, ქრომატო-მას-სპექტრომეტრიის, და ინფრაწითელი სპექტრომეტრიის მეთოდები.

ბიოდიზელის წარმოების ძირითადი სტადიები, როგორც ცნობილია, არის ეთერიფიკაციის პროცესისთვის ნედლეულის მომზადება და ტრიგლიცერიდების მეთილის სპირტით ეთერიფიკაციის რეაქცია, რომელის შედეგადაც კატალიზატორის თანაობისას მიიღება ცხიმოვანი მჟავების ეთერები და თავისუფალი გლიცერინი. ჩვენი კვლევისას ლაბორატორიულ პირობებში ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ეტაპები ჩატარდა ქიმიურ ლაბორატორიაში და საპილოტე დანადგარზე არსებული სამუშაო წესებით. საპილოტე დანადგარზე დამზადებული ბიოსაწვავის და ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდების ჩატარების საფუძველზე შემოთავაზებული იქნება ადგილობრივი ნედლეულიდან მიღებული ბიოსაწვავის ოპტიმალური პარამეტრები და შემუშავდება ოპტიმალური ტექნოლოგიური სქემები ბიოდიზელის წარმოებისთვის.

ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გამოყენებული იქნა შემდეგი ძირითადი ტექნიკური საშუალებები: სპექტრომეტრი ი.წ.-ფურიე (Perkin Elmer, მწარმოებელი აშშ), ულტრათერმოსტატი U-10 (მწარმოებელი უნგრეთი); სასწორი AS 160.R2 (RADWAG, ნავთობის გამოსახდელი აპარატი (აშშ); მუფელის ღუმელი LR-202

(უნგრეთი); ნავთობის ანალიზატორი OCMA-350 (Horiba, იაპონია); თერმოსტატები (უნგრეთი); ვაკუუმთერმოსტატები; ულტრა-კრიოსტატი TUP №180 (გერმანია); როტაციული ამორთქლებელი (უნგრეთი); კოქსვადობის ხელსაწყო; წყლის გამოსახდელი აპარატი (გერმანია); ბიოდოზელის წარმოების პილოტური დანადგარი (ბულგარეთი).

კვლევის ობიექტად აღებულია მეორადი მცენარეული ზეთებიდან მიღებული ბიოდოზელი და „სოკარის“ ფირმის ნავთობდოზელის და ევროდოზელის საავტომობილო საწვავები, ასევე ბიოდოზელის/ნავთობდოზელის ნარეგები 5, 10, და 20%-იანი დანამატებით.

2.2. ბიოდოზელის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების ანალიზი და შესაბამისი საერთაშორისო სტანდარტები

ბიოდოზელის ფიზიკურ - ქიმიური მახასიათებლები შესწავლილი იქნა ASTM-D და EN სტანდარტების მოთხოვნების მიხედვით. საცდელი ბიოსაწვავების ნიმუშების ფიზიკური - ქიმიური მახასიათებლები განისაზღვრა EN590 და ASTM D 14214.

1. სიმკვრივის განისაზღვრა ASTM D 4052-22 სტანდარტის მიხედვით. ASTM D 4052.

Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter <https://www.bsj.org.jm/sites/D4052>

2. ფრაქციული შედგენილობის კვლევა განხორციელდა ASTM D 86-93 Standard Test Method for Distillation of Petroleum products <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D86-93.htm> გამოსახდელ ხელსაწყოზე

3. წყლის მასური წილის განსაზღვრა მოხდა ASTM D4928 - 12(2018) 6 სტანდარტის შესაბამისად. Standard Test Method for Water in Crude Oils by Coulometric Karl Fischer Titration. <https://www.astm.org/d4928-12r18.html>

4. მჟაური რიცხვის განსაზღვრა ნავთობპროდუქტებში პოტენციომეტრული მეთოდით. ASTM D664-18e2. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometer Titration. <https://www.astm.org/d0664-18e02.html>

5. კინემატიკური სიბლანტის განსაზღვრა ASTM D 445. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). <https://www.astm.org/standarts ASTM-D445-21.pdf>
6. დიზელის საწვავის ცეტანის რიცხვის განსაზღვრა ASTM D 613. Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil. <https://www.astm.org/standards/d613>
7. აფეთქების ტემპერატურის განსაზღვრა ASTM D 6450. Standard Test Method for Flash Point by Continuously Closed Cup. <https://www.astm.org/standards/d6450>
8. ნავთობპროდუქტებში ნაცრიანობის განსაზღვრა ASTM D 482. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. <https://www.astm.org/d0482-19.html>
9. სტანდარტული ტესტ - მეთოდი ბენზინში, ნავთში, საავიაციო ნავთში და სხვა გამოხდილ საწვავებში მერკაპტანული გოგირდის განსაზღვრა პოტენციომეტრიული მეთოდით. ASTM D 3227-92. Standard Test Method for Mercaptan Sulfur in Gasoline, Kerosine, Aviation Turbine, and Distillate Fuels (Potentiometric Method). <https://www.astm.org/3227-92>.
10. ნავთობპროდუქტები – საავტომობილო საწვავებში გოგირდის შემცველობის განსაზღვრა ISO 20846:2019 სტანდარტის შესაბამისად. Petroleum products – Determination of sulfur content of automotive fuels — Ultraviolet fluorescence method. <https://www.iso.org/standard/74314.html>
11. გაყინვის ტემპერატურის განსაზღვრა ASTM D97-17b სტანდარტით. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products. <https://www.astm.org/d0097-17b.html>
12. კოროზიული აქტივობა (ცდა სპილენძის ფირფიტაზე) განსაზღვრა ASTM D130 Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products. გამოყენებით. <https://www.astm.org/d0130-19.html>
13. საცდელ ნიმუშებში ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები განსაზღვრა CRISTALLUKS-4000M მოდელის გაზურ ქრომატოგრაფზე, „NetChrom v2“, პროგრამული უზრუნველყოფით და ალურ-იონიზაციური დეტექტორით (აირმატარებელი სვეტში აზოტი, დეტექტორში წყალბადი), სვეტის ტემპერატურა 40-2450C, 250C ბიჯით. მყარი ფაზა: 100% dimethyl polysiloxane; Cat#70199; Serial #1650246; (Made in USA) სვეტის სიგრძე 10მ, დიამეტრი 0,53მმ. ანალიზის ხანგრძლივობა 30წთ. შესწავლილი და იდენტიფიცირებულია საკვლევ ობიექტებში

შემაჯალი ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები; კვლევა განხორციელდა ASTM D-7096-19 სტანდარტის „ Standard Test Method for Determination of the Boiling Range Distribution of Gasoline by Wide –Bore Capillary Gas Chromatography“ შესაბამისად.
<https://www.astm.org/d7096-19.html>

14. საცდელი ნიმუშების ჯგუფური შედგენილობა განისაზღვრა „PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2“. ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე ფართო დიაპაზონში (450–4000cm⁻¹).

2.3. მცენარეულ ზეთებში სახეობების დეტექცია პჯრ-ზე დაფუძნებული ტექნოლოგიით

ბიოდიზელის წარმოებისათვის ყველაზე უფრო ფართოდ გავრცელებული და ეკონომიკურად მომგებიანი ნედლეულია მეორადი, ანუ მოხმარებული საკვები ზეთი - UCO. როგორც წესი კვების ინდუსტრიიდან მიღებული და წარმოებისთვის განკუთვნილი მეორადი, ანუ მოხმარებული საკვები ზეთი შედგება სხვადასხვა მცენარეების ზეთების ნარევისაგან.

ჩვენი ამოცანა იყო დაგვემუშავებინა მეორად ზეთში არსებული ზეთივანი მცენარეების სახეობები. ეს მეთოდი დავამუშავეთ მზესუმზირას (*Helianthus annuus* L.), მაგალიზე, რადგან ის შეადგენს მეორადი მოხმარებული ზეთის - ანუ საწარმოო ნედლეულის ძირითად ნაწილს და ამ სახეობაზე დამუშავებული მეთოდი შემდგომში გამყენებული იქნებოდა სხვა ზეთოვანი კულტურების სახეობებზეც. მზესუმზირის (*Helianthus annuus* L.), ზეთი, ასევე ცივი დაწურვის მზესუმზირის ზეთი შეძენილი იქნა თბილისის (საქართველო) ადგილობრივი ბაზრიდან. თესლის დაფქვა ხდებოდა ელექტრო საფქვავით (IKA-Werke GmbH & Co. KG, გერმანია) ერთგვაროვანი წვრილი ფქვილის მისაღებად.

მოხმარებული საკვები ზეთი (UCO) მოწოდებულ იქნა საქართველოს ბიოდიზელის მწარმოებელი კომპანია შპს „ბიოდიზელ ჯორჯია“ -დან, ხოლო ნედლი მზესუმზირის ზეთი მოწოდებულ იქნა ადგილობრივი კომპანია შპს „აგროპრო -დან. გარდა ამისა, სუპერმარკეტებიდან შეძენილი იქნა ექსტრა ვირჯინი და

რაფინირებული მზესუმზირის ზეთები, ასევე რაფინირებული სოიოს და სიმინდის ზეთი. ყველა ზეთი ინახებოდა მაცივარში (4°C) ანალიზამდე.

2.3.1. ზეთების წინასწარი კონცენტრირება

ნიმუშების აღებამდე ხდებოდა ზეთის ენერგიულად შენჯღღრევა. ჩატარდა ზეთის ნიმუშების სხვადასხვა მოცულობის ტესტირება. დნმ-ის ექსტრაქციამდე ზეთის ნიმუშები წინასწარ იყო კონცენტრირებული, გარდა 700 მკლ ზეთისა, რომელიც უშუალოდ გამოიყენებოდა. გამოყენებული იყო ზეთის კონცენტრირების ორი პროტოკოლი. პირველი მეთოდი (წინასწარი კონცენტრირება I) გამოიყენებოდა 24 მლ, 48 მლ, 150 მლ და 300 მლ ზეთების კონცენტრირებისთვის და ჩატარდა ცენტრიფუგირებით 25 მლ სინჯარებში 18,000 გ-ზე 30 წთ-ის განმავლობაში 4 °C -ზე, ცენტრიფუგა 3-16PK Sigma-ს გამოყენებით (Sigma-Aldrich, Merck, Darmstadt, Germany), როგორც ადრე იყო აღწერილი (Costa et.al. 2009).

მეორე პროტოკოლი (წინასწარი კონცენტრირება II) გამოყენებული იყო 700 მკლ, 12 მლ, 24 მლ და 48 მლ ზეთის ნიმუშების კონცენტრირებისთვის და შემუშავებული იყო ამ კვლევაში (Kutateladze et al., 2024). წინასწარი კონცენტრირების პროტოკოლი II მოიცავდა ზეთის ნიმუშების რამდენიმე ცენტრიფუგირებას 2 მლ-იან სინჯარებში 16000 გ-ზე 20 წთ-ის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე MiniSpin plus ცენტრიფუგის გამოყენებით (Eppendorf, ჰამბურგი, გერმანია). ცენტრიფუგაციის რაოდენობა დამოკიდებული იყო გაანალიზებული ზეთის საბოლოო მოცულობაზე, იმის გათვალისწინებით, რომ ცენტრიფუგაში თავსდებოდა მაქსიმუმ თორმეტი 2 მლ ტესტის სინჯარა. ყოველი ცენტრიფუგაციის შემდეგ, ზეთის ზედა ნაწილი გადაღვრილი იყო და ქვედა ნაწილები (დაახლოებით 300 მკლ) შეგროვდა ორ 2 მლ-იან სინჯარაში და კვლავ ცენტრიფუგირებულ იქნა 16000 გ-ზე 20 წუთის განმავლობაში. სუპერნატანტი გადაღვრილ იქნა და ფსკერზე დარჩენილი ზეთები (დაახლოებით 300 მკლ - 500 მკლ) დაექვემდებარა დნმ-ის ექსტრაქციას. აღსანიშნავია, რომ ნალექი გამოჩნდა მხოლოდ ნედლი და ცივი დაწურვის ზეთის ნიმუშებში ცენტრიფუგაციის შემდეგ.

2.3.2. დნმ-ის ექსტრაქცია

წინამდებარე ნაშრომში დნმ-ის ექსტრაქციისთვის გამოყენებული იქნა ოთხი კომერციული ნაკრები და ცეტილ ტრიმეთილ ამონიუმის ბრომიდზე (CTAB) დაფუძნებული მეთოდების ორი ვარიაცია. გენომური დნმ-ები გამოყოფილი და გამოყოფილი იქნა 100 მგ მზესუმზირის, სიმინდის და სოიოს ფქვილისგან DNeasy მცენარეთა მინი ნაკრებით (Qiagen, გერმანია). გარდა ამისა, მზესუმზირის ფქვილიდან დნმ-ის გამოსაყოფად გამოყენებულ იქნა ორი CTAB მეთოდი.

ზეთის ნიმუშები ექსტრაგირებულ იქნა სამი კომერციული ნაკრებით: NucleoSpin Food Kit (MACHEREY-NAGEL, Düren, Nordrhein-Westfalen, გერმანია), DNeasy mericon Food Kit (Qiagen, Hilden, გერმანია), ზეითუნის ზეთის დნმ-ის ექსტრაქციის ნაკრები (Norgen Biotek Corp, Thorold), ონტარიო, კანადა) მწარმოებლის ინსტრუქციის მიხედვით. გარდა ამისა, ზეთების დნმ-ის მიღებისთვის გამოყენებული იქნა ორი CTAB პროტოკოლი. პირველი სტანდარტული CTAB მეთოდი აღწერილი იყო ადრე (Datukishvili et al., 2010), ხოლო მეორე შეცვლილი CTAB პროტოკოლი შემუშავებული იყო ამ კვლევაში (Kutateladze et al., 2024).

2.3.3. სტანდარტული CTAB- მეთოდი

სტანდარტული CTAB მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: 100 მგ ჰომოგენიზებულ ნიმუშს ემატება 500 მკლ CTAB ბუფერი (20 გ CTAB/ლ, 1.4 M NaCl, 0.1M Tris-HCl, 20 mM EDTA) და 20 μ M პროტეინკინაზა K (20 მგ/მკლ). 65°C-ზე 1 სთ-ით ინკუბაციის შემდეგ ემატება 20 μ M რნმ-აზა A (10mg/ml) და ხდება ინკუბაცია 65°C-ზე 10 წთ-ის განმავლობაში. ცენტრიფუგირება ხდება 16000გ-ზე 10წთ-ის განმავლობაში და სუპერნატანტი დამუშავდა 500 μ ლ ქლოროფორმით ორჯერ. ზედა ფაზა გადაგვაქვს ახალ სინჯარებში და ვამატებთ ორ მოცულობა CTAB პრეციპიტაციურ ხსნარს (5გ/ლ CTAB, 0,04M NaCl) და ვაინკუბირებთ 1 სთ-ის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე. შემდეგ ხდება ცენტრიფუგირება 16000გ-ზე 5წთ-ის განმავლობაში, სუპერნატანტს ვღვრით და ნალექს ვხსნით 350 მკლ 1.2M NaCl-ში და ვამატებთ 350 მკლ ქლოროფორმს. შემდეგ 16000გ-ზე 10 წთ-ის განმავლობაში ხდება ცენტრიფუგირება, ზედა ფაზა გადაგვაქვს ახალ სინჯარებში და ვამატებთ 0,6 მოცულობა იზოპროპანოლს და ვაჩერებთ 10 წთ-ის განმავლობაში

ოთახის ტემპერატურაზე და ვაცენტრიფუგირებთ ხსნარს მაქსიმალურ სიჩქარეზე 10 წთ-ის განმავლობაში. ვღვრით სუპერნატანტს და ნალექს ვრეცხავთ 500 მკლ ეთანოლით (70% v/v). ცენტრიფუგირების შემდეგ სუპერნატანტს ვღვრით ფრთხილად, ნალექს ვაშრობთ და დნმ-ს ვხსნით 100 მკლ სტერილურ დეიონიზებულ წყალში.

2.3.4. მოდიფიცირებული CTAB მეთოდი

400 მკლ წინასწარ კონცენტრირებული ზეთის თითოეული ნიმუში შერეული იყო 500 მკლ CTAB ბუფერთან (20 გ CTAB/ლ, 1.4 M NaCl, 0.1 M Tris-HCl, 20 mM EDTA) და დაემატა 20 μ L პროტეინაზა K (20 მგ/მლ). ინკუბაცია მოხდა 65 °C -ზე 1 სთ-ის განმავლობაში, დროდადრო მორევით. შემდეგ დაემატა 1 მლ ქლოროფორმი და ნარევი ცენტრიფუგირებულ იქნა 16,000 გ-ზე 15 წთ-ის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე. ზედა ფაზა გადატანილ იქნა ახალ სინჯარაში და კვლავ დამუშავდა 1 მლ ქლოროფორმით. 16,000 გ-ზე 15 წთ-ის განმავლობაში ცენტრიფუგაციის შემდეგ წყლის ფაზა შერეული იყო (წინასწარ გაცივებული -20 °C-მდე) 0.6 მოცულობა იზოპროპანოლთან და ინკუბირებული იყო -20 °C-ზე ღამით. შემდგომში, 16,000 გ-ზე 20 წთ-ის განმავლობაში ცენტრიფუგაციის შემდეგ ზედნადები გადაღვრილი იქნა და ნალქი გაირეცხა 500 მკლ წინასწარ გაცივებული (-20 °C) ეთანოლის ხსნარით (70% v/v). ცენტრიფუგაციის შემდეგ, სუპერნატანტი ფრთხილად იქნა გადაღვრილი, ნალექი გააშრეს და დნმ გაიხსნა 50 მკლ - 100 მკლ TE ბუფერში. თითოეული ნიმუშისთვის ექსტრაქცია გაკეთდა დუბლიკატი ანალიზებით. მიღებული დნმ-ების კონცენტრაცია და სისუფთავე გაანალიზდა NanoDrop One Microvolume UV-Vis სპექტროფოტომეტრით (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA).

2.4. ბიოინფორმატიული ანალიზი და პჯრ-პრაიმერების დიზაინი

ხელმისაწვდომი ლიტერატურისა და გამოქვეყნებული GenBank მონაცემთა ბაზების (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide>) საფუძველზე, მზესუმზირის 11S შემნახველი ცილის G3-D1 (ჰელიანთინი) (GenBank acc.no. M28832.1) დნმ-ის თანმიმდევრობა შეირჩა მზესუმზირის სპეციფიკურ გენად (Hernández et al., 2005). Primer-BLAST 43. (Ye et al., 2012) და PrimerQuest კომპიუტერული პროგრამები

(<https://eu.idtdna.com/PrimerQuest>) გამოიყენებოდა ოლიგონუკლეოტიდური პრაიმერების და პრაიმერების წყვილების დიზაინისათვის ჩადგმული პჯრ-ის სისტემებისთვის, რომლებიც დამიზნებული იყო მზესუმზირის ჰელიანთინინის გენს. გარდა ამისა, პრაიმერები, რომლებიც დამიზნებული იყო ეუკარიოტული 18S რიბოსომური რნმ-ის გენს, აღებული იყო წინა პუბლიკაციებიდან (Zhang et al., 2015; Duan et al., 2021). ამ კვლევაში გამოყენებული პჯრ-პრაიმერები ნაჩვენებია ცხრილში 1. ყველა პრაიმერი იყო სინთეზირებული და გაწმენდილი კომპანია Integrated DNA Technologies -ის მიერ (კორალვილი, აიოვა, შეერთებული შტატები).

2.4.1 პჯრ ანალიზი

პჯრ-ამპლიფიკაცია ჩატარდა 25 მკლ მოცულობაში, რომელიც შეიცავდა: 1× Taq ბუფერს, 1.5 mM MgCl₂, 0.2 mM თითოეულ dNTP-ს (დეზოქსინუკლეოტიდ ტრიფოსფატს), 1.25 ერთეულ Taq დნმ-პოლიმერაზას (New England BioLabs, Ipswich, Massachusetts, USA), თესლიდან ან ზეთიდან მიღებულ 1 მკლ ან 2 მკლ დნმ-ის ექსტრაქტს და 0.5 μM თითოეულ პრაიმერს. თუმცა, 18S140 და 18S167 პრაიმერების კონცენტრაცია იყო 0.4 μM. გარდა ამისა, ჩასმულ (nested) და ორმაგ (double) პჯრ-მეთოდებში მეორე პჯრ-რეაქციაში მატრიცულ დნმ-ად გამოყენებულ იქნა 2 მკლ 1-ლი პჯრ-ის ნარევი. უნდა აღინიშნოს, რომ სტერილური წყალი გამოიყენებოდა, როგორც უარყოფითი კონტროლი ყველა პჯრ-ში.

ცხრილი 7. პჯრ-ში გამოყენებული ოლიგონუკლეოტიდური პრაიმერები

პრაიმერი	სიქვენსი 5'→3'	სამიზნე გენი	ამპლიკონის ზომა (bp)	ლიტერატურა
heli160f	TCAACGCCCCACAATCTTCTC	helianthinin	160	Kutateladze et al., 2024
heli160r	CTTCCTTGTTTCATTGGCTCTCT			
heli162f	CTTCCCAGGCTGACTTTGTAA	helianthinin	162	Kutateladze et al., 2024
heli162r	GAAGATTGTGGGCGTTGATTG			
heli177f	CCTTCCTACGTCAACACCCC	helianthinin	177	Kutateladze et al., 2024
heli177r	TCATAGGTTCTGCGGCATCC			

heli188f	CCTTCCCAGGCTGACTTTGT	helianthinin	188	Kutateladze et al., 2024
heli188r	CTCAAGGCTCCCTCGGTTAC			
18S-140f	TCTGC- CCTATCAACTTTCGATGGTA	18S rRNA	140	(Zhang et al., 2015)
18S-140r	AATTTGCGCGCCTGCTGCCTTCCT T			
18S-167f	GCAAGACCGAAACTCAAAGGA	18S rRNA	167	(Duan et al., 2021)
18S-167r	ACGACAGCCATGCAGCACC			

პჯრ-ამპლიფიკაცია განხორციელდა თერმოციკლერზე Techne TC-412 (Techne, Minneapolis, Minnesota, USA) შემდეგი პროგრამის გამოყენებით: პრეინკუბაცია 95° C-ზე 4 წთ-ის განმავლობაში; შემდეგ შესრულდა 35 ციკლი, რომელთაგან თითოეული შედგებოდა დნმ-ის დენატურაციისგან 95 °C-ზე 40 წმ-ის განმავლობაში, პრაიმერების ანილინგი - 56 °C ტემპერატურაზე 45 წმ, ჯაჭვის დაგრძელება 72 °C-ზე 45 წმ; საბოლოო გაფართოება 72 °C-ზე 5 წთ-ის განმავლობაში. თუმცა, ციკლების რაოდენობა იყო 40 heli188 და heli162 პრაიმერებით უნიპლექსურ პჯრ-ებში იმ დნმ-ის ნიმუშებისთვის, რომლებიც მიღებული იყო კონცენტრირებული ზეთებიდან CTAB მეთოდით.

ნიმუშები შემოწმდა დუბლიკატში თითოეული დნმ-ის ექსტრაქციისა და პჯრ-ანალიზის დროს, თანაც სამ დამოუკიდებელ ექსპერიმენტში. შედეგების შედარებამ კიდევ ერთხელ გამოავლინა შედეგების განმეორებადობა.

2.4.2. აგაროზის გელზე ელექტროფორეზი

გენომური დნმ-ები და პჯრ-პროდუქტები შეფასდა ელექტროფორეზით (VWR International, Radnor, Pennsylvania, აშშ) 1.0% და 2.0% აგაროზის გელების გამოყენებით (SeaKem LE agarose; Cambrex, East Rutherford, New Jersey, USA). ელექტროფორეზის დროს გამოყენებულ იქნა ბუფერი TAE (Tris-Acetate-EDTA). აგაროზის გელები შეიცავდნენ 1 მკგ/მლ ეთიდიუმის ბრომიდს (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, აშშ) და მათი ვიზუალიზაცია მოხდა ულტრაიისფერი (UV) შუქის ქვეშ, ხოლო ციფრული

გამოსახულება მიღებული იქნა გელის დოკუმენტაციის სისტემის (PhotoDoc- It imaging system) გამოყენებით. (UVP, Upland, კალიფორნია, აშშ).

2.5. სტატისტიკური ანალიზი

დნმ-ის კონცენტრაციისა და სისუფთავის კოეფიციენტები (260/280 და 260/230) გაანალიზებული იყო ექსტრაქციის სხვადასხვა მეთოდებსა და ნიმუშის ტიპებში, ორმხრივი ANOVA-ს გამოყენებით, თითოეული ფაქტორის ეფექტისა და მათი ურთიერთქმედების შესაფასებლად. Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) ტესტი გამოყენებული იქნა ჯგუფებს შორის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავებების დასადგენად, მნიშვნელოვნების დონე $p < 0.05$. განსხვავებული ჯგუფის ეტიკეტები მიენიჭა მნიშვნელოვნად განსხვავებულ ჯგუფებს. ყველა სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა R-ში (ვერსია 4.4.1).

3. მიღებული შედეგები და მათი განხილვა

ჩვენს მიერ მიღებული კვლების შედეგები პასუხობს ევროკავშირის 2009/28/EC დირექტივას, რომლის თანახმად ევროკავშირის ქვეყნებში მოხმარებული ენერგიის 30% განახლებადი წყაროებიდან უნდა იყოს წარმოებული, ხოლო აქედან 15% ტრანსპორტის სექტორზე მოდის. საქართველო, როგორც ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულების ხელმომწერი ქვეყანა, ვალდებულია უზრუნველყოს ევროკავშირის დირექტივების შესრულება და ალტერნატიული, განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან მიღებული ბიოსაწვავების (ბიოდიზელის) წარმოების და გამოყენების განვითარება.

გარდა ამისა მნიშვნელოვანი ის დოკუმენტები, რომლებიც მიღებულია საქართველოს პარლამენტის მიერ 2019–2020წწ: საქართველოს კანონი „განახლებადი ენერგიის წყაროების შესახებ“; „განახლებადი ენერგიის ეროვნული სამოქმედო გეგმა საქართველო“ (2019); „ნარჩენების მართვის კოდექსი“. ასევე 2023 წელს მიღებულია ენერგორესურსების სტრატეგიული განვითარების დოკუმენტი, სადაც აღნიშნულია, რომ 2030 წლისთვის უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ბიოდიზელის ნავთობდიზელთან 7% ნარევის გამოყენება.

<https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/4737753?publication=1>

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოში წარმოებულ ბიოდიზელის და მისი სატრანსპორტო საშუალებებში საწვავად გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა უაღრესად აქტუალურია და სტრატეგიული მნიშვნელობა აქვს.

ამასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ რომ თანამედროვე მსოფლიოში საწვავის ბაზრის განვითარების ძირითად ტენდენციად ბიოენერგეტიკა ითვლება, რომელსაც უახლოესი 30-40 წლის განმავლობაში მსოფლიო სისტემის ენერგიით უზრუნველყოფის განვითარებაში უპირატესობას ინარჩუნებს. ნახშირწყალბადების მსოფლიო მარაგების ამოწურვის მოახლოებულ საფრთხესთან დაკავშირებით, მსოფლიო საექსპერტო გაერთიანებამ (www.worldenergy.org) საწვავის ბაზრის განვითარების ძირითად ტენდენციად ბიოენერგეტიკის სფერო გამოაცხადა, რომელიც როგორც ენერგეტიკის, ასევე განახლებადი ენერგიის ერთ ერთი ყველაზე პერსპექტიული მიმართულებაა.

3.1. მეცნიერული სიახლე.

წარმოდგენილი ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში: პირველად ჩატარდა საქართველოში ბიოდიზელის საწვავის წარმოების სისტემატიური კვლევები ქვეყანაში ალტერნატიული ბიოდიზელის საწვავის წარმოების დანერგვის მიმართულებით. ბიოდიზელის მისაღებად გამოყენებული იყო კვების ინდუსტრიის მეორადი (მოხმარებული) მზეთები და ასევე საქართველოს ტერიტორიაზე მოყვანილი რაპსის (*Brassica napus*) კულტურისაგან მიღებული ზეთები; შერჩეული იქნა ახალი ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს უნარჩუნო წარმოებას და მიღებულმა შედეგებმა ახალი მონაცემებით შეავსო ამ დარგში არსებული ცოდნა.

თანამედროვე საკვლევი აპარატურის და კვლევის მეთოდების გამოყენებით ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგებით დადასტურებულია რაფსის ზეთისა და მეორადი მოხმარებული ზეთებიდან მიღებული ბიოდიზელის როგორც სუფთა სახით ასევე ნავთობდიზელის დანამატად გამოყენების პერსპექტიულობა, მისი გავლენით ნავთობდიზელის მნიშვნელოვანი ეკონომიისა და ავტომობილის მაღალი ეკოლოგიურობის (განსაკუთრებით სათბური აირის CO₂-ის გამონაბოლქვის შემცირების) უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

სადისერტაციო ნაშრომის „ბიოდიზელის მიღების ტექნოლოგიები“ შესრულების მიზნით განხორციელებულია:

- განხილულია ბიოდიზელის მიღების ტექნოლოგიების შესწავლა და ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევა და საწარმოო პარამეტრების შესწავლა;
- ბიოდიზელის საწარმოო პოტენციალის განსაზღვრა;
- ბიოდიზელის საწვავის სრული ბიოქიმიური ანალიზი საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების განსაზღვრის მიზნით;
- მეორადი მცენარეული ზეთების ეთერიფიკაციის რეაქციის კვლევა კატალიზატორით და მის გარეშე;

- მცენარეული ზეთების ტრანსეთერიფიკაციის პარამეტრების ოპტიმიზაცია სუპერკრიტიკულ მეთანოლში და სუპერკრიტიკულ ეთანოლში სხვადასხვა ტემპერატურაზე (200-400°C) და 200ბარ წნევის დროს ცხიმების სრული გარდაქმნისთვის;
- სუპერკრიტიკული გლიცერიდების ტრანსეთერიფიკაციაზე სხვადასხვა სპირტების (მეთანოლი, ეთანოლი, პროპანოლი, ბუტანოლი და ოქტანოლი) გავლენა რეაქციის ხანგრძლივობის და ცხიმოვანი მჟავების სრული გარდაქმნის პირობების დადგენა;
- ბიოდიზელის მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შემუშავება;
- ბიოდიზელის B100 და მისი ნავთობდიზელთან ბლენდების საცდელი ნიმუშების დამზადება;
- ნავთობ და საცდელი ბიოსაწვავების ფიზიკურ-ქიმიური და საექსპლოატაციო თვისებების შედარებითი დახასიათება;
- ნაწი და ბიოდიზელის სპექტრალური კვლევა და მათი შედარებითი დახასიათება;
- ნავთობდიზელის, B100 და მათი ბლენდების B5, B10, B20 ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრების კვლევა;
- ბიოსაწვავების სპექტრალური ანალიზი;
- ბიოსაწვავების შენახვის ხანგრძლივობის შესწავლა.

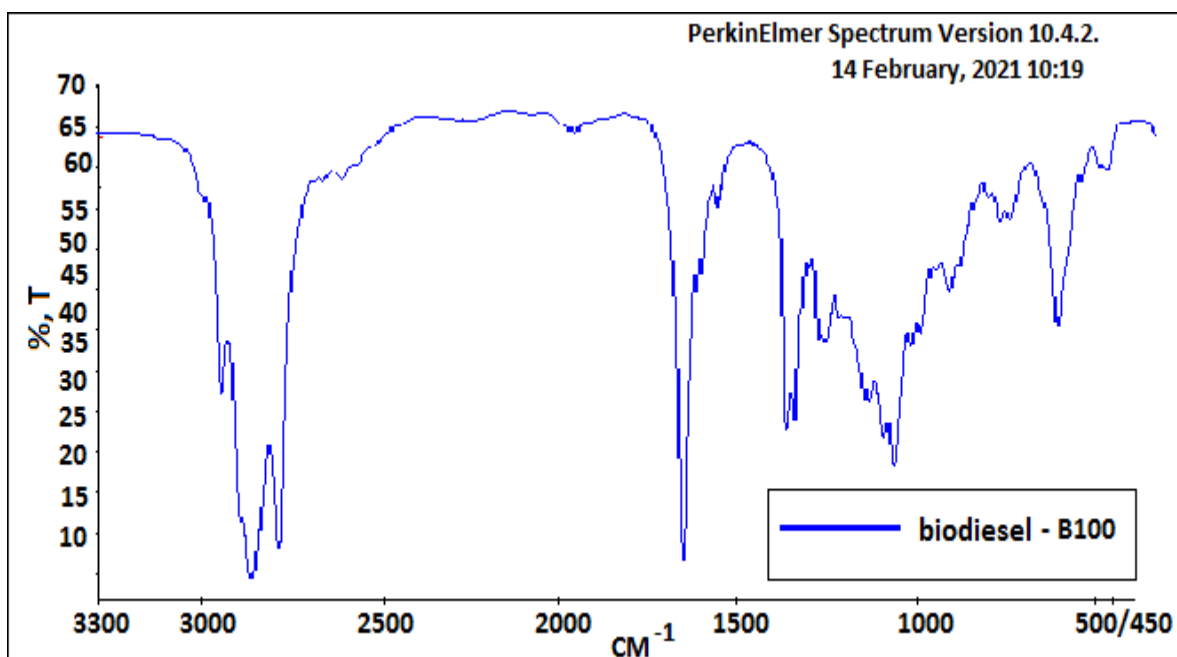
3.2. ბიოდიზელის საწვავი შიგა წვის ძრავებში

ბიოდიზელი, როგორც ალტერნატიული და ეკო-მეგობრული საწვავი განკუთვნილია შიგა წვის ძრავებში გამოსაყენებლად, B20-ისა და სუფთა ბიოდიზელის B100-ის ფიზიკური და ქიმიური პარამეტრები და მახასიათებლები საგულდაგულოდ იქნა გაანალიზებული და შედარებით ჩვეულებრივი ნავთობის დიზელის საწვავის პარამეტრებთან. თითოეული ნიმუში შესწავლილია არსებული სტანდარტების მიხედვით. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 8.

ცხრილი 8. ბიოდიზელის B100, B 20 და ნავთობდიზელის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

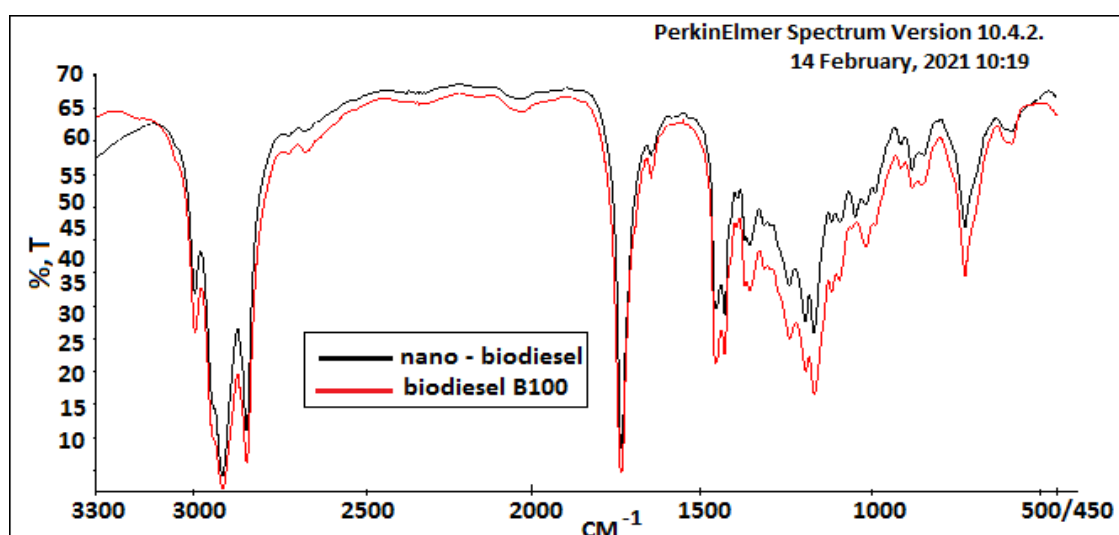
მახასიათებლები	ბიოდიზელი B100	ბიოდიზელი B 20	დიზელის საწვავი
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ³	884,0	848,0	834,0
სიმკვრივე °API	28,56	35,36	38,16
კინემატიკური სიბლანტე 40°C, მმ²/წმ	5,2	3,3	2, 0
აფეთქების ტემპერატურა, °C	120	64	56
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ	0,015	0,0069	0,0048
ცეტანის რიცხვი	51		48
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	-	5	10
ნაცრიანობა, %	0,021	0,0091	0,0155
კოქსვადობა, %	0,4	0,28	0,3
კოროზიული აქტივობა, (3 საათი 50°C)	№3	№2	№1,5
ცხიმოვანი მჟავებისა და მეთილის ეთერის შემცველობა, %	5	5	5
დისტილაცია			
50%	270°C	260°C	240°C
96%	300°C	305°C	295°C

ბიოდიზელის B100, ნანობიოდიზელის, ევროდიზელის და ბიოდიზელის B20 ჯგუფური შედგენილობა გაანალიზებულია PerkinElmer SPECTRUM ვერსიის 10.4.2 ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე. სურ. 12, სურ.13 და სურ.14 გვიჩვენებს B100, ნანობიოდიზელის და B100; ბიოდიზელის ბლენდის B20 და ევროდიზელის ინფრაწითელ სპექტრებს, სადაც იდენტიფიცირებულია ნაერთების ფუნქციური ჯგუფები.



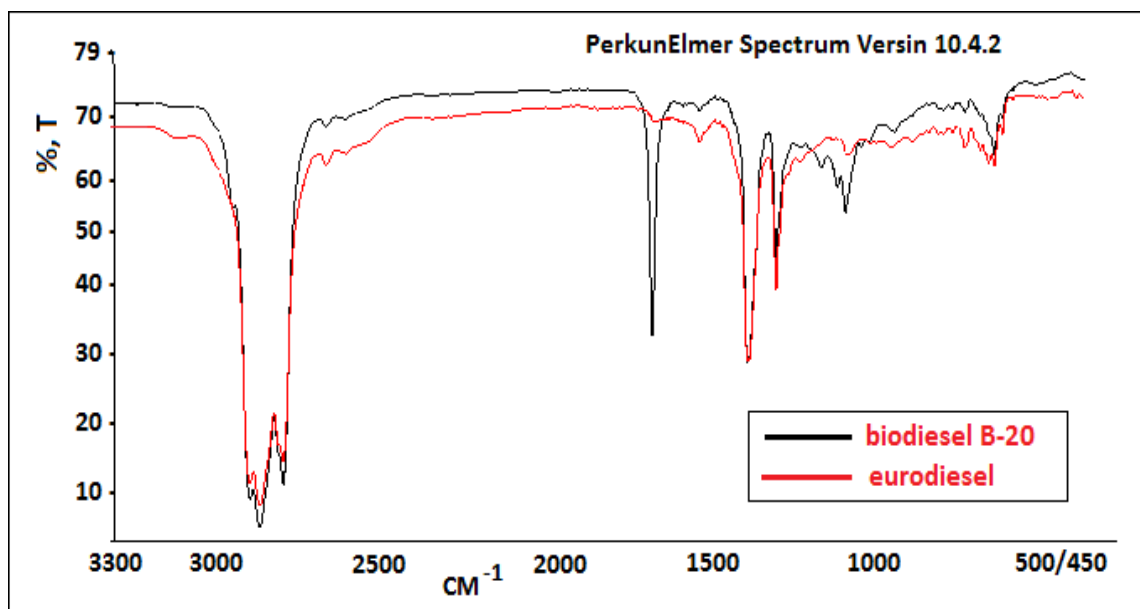
სურათი 12. ბიოდიზელის B100 ინფრაწითელი სპექტრი

ჩვენს მიერ პირველად მიღებულია ნანობიოდიზელი, რომლის ანალოგი არ მოიძებნა სამეცნიერო სამიებო ლიტერატურაში. სურათზე 11 წარმოდგენილია ნანობიოდიზელის და სუფთა ბიოდიზელის B100 ჯგუფური შედგენილობა, ისინი იდენტურია.



სურათი 13. ნანო ბიოდიზელის და ბიოდიზელის B100 ინფრაწითელი სპექტრები

B100 და B20 ცხიმოვანი მჟავების შემადგენლობა განისაზღვრა თხევადი ქრომატოგრაფის გამოყენებით, ხოლო ფუნქციური ჯგუფები სპექტრომეტრით ორი სპექტრომეტრით. ჩატარებულმა ანალიზებმა ნათლად აჩვენა, რომ როგორც B100, ასევე B20-ის ფიზიკური და ქიმიური პარამეტრები შეესაბამებოდა EN 14214, ASTM D6751 და EN 590 სტანდარტებს.



სურათი 14. ევროდიზელის საწვავის და B20 ბიოსაწვავის სპექტრები

ბიოდიზელი გამოიყენება როგორც სუფთა (B100) ასევე შერეული სახით. ნარევი B20 (ანუ 20% ბიოდიზელის შერეულია 80% ნავთობდიზელთან) აუმჯობესებს საწვავის პარამეტრებს და უკეთ პასუხობს მოთხოვნებს ემისიების კონტროლის თვალსაზრისით და რაც მთავარია, B20 არ საჭიროებს ძრავის მოდიფიკაციას. B20 შეიძლება გამოყენებულ იქნას დიზელის ძრავის მქონე თითქმის ყველა ტიპის მანქანაში, მათ შორის მუნიციპალიტეტის ავტობუსებში, ანუ საზოგადოებრივ ტრანსპორტში. B100-ის ანუ სუფთა ბიოდიზელის წარმატებით გამოყენება შესაძლებელია დიზელის ძრავების მქონე ნებისმიერ სატრანსპორტო საშუალებებში, ტრაქტორებში და სხვა სასოფლო სამეურნეო და ფერმერულ ტრანსპორტში.

ვინაიდან ბიოდიზელი განკუთვნილია შიგა წვის ძრავებში გამოსაყენებლად, B20-ისა და სუფთა ბიოდიზელის B100-ის ფიზიკური და ქიმიური პარამეტრები და

მახასიათებლები იყო გაანალიზებული და შედარებული ჩვეულებრივი ნავთობის დიზელის საწვავის პარამეტრებთან. თითოეული მახასიათებელი გაანალიზდა არსებული სტანდარტების მიხედვით (ცხრილი 9).

ცხრილი 9. ბიოდიზელი B100, B20 და ნავთობის დიზელი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მაჩვენებლები	ბიოდიზელი B100	ბიოდიზელი B 20	დიზელის საწვავი
სიმკვრივე 15°C-ზე,კგ /მ³	884,0	848,0	834,0
სიმკვრივე °API	28,56	35,36	38,16
სიბლანტე, მმ²/წთ 40°C	5,2	3,3	2, 0
აფეთქების ტემპერატურა, °C	120	64	56
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ	0,015	0,0069	0,0048
ცეტანის რიცხვი	53	51	48
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	-	5	10
ნაცრიანობა, %	0,021	0,0091	0,0155
პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები , %	-	5	6
კოქსვადობა(10% ნარჩენიდან), %	0,4	0,28	0,3
კოროზიული აქტივობა, (3 საათი 50°C)	№1.6	№1,5	№1,5
ცხიმოვანი მჟავების და მეთილის ეთერის შემცველობა, %	5	3	—
საერთო დაბინძურება, მგ/კგ	-	-	20,5

საქართველო, როგორც ქვეყანა, რომელიც თითქმის მთლიანად დამოკიდებულია იმპორტირებულ ნახშირწყალბადებზე, უნდა ანვითარებდეს საკუთარ ბიო საწვავის წარმოებას. 2018 წელს, პირველად საქართველოს ისტორიაში, ახალმა სტარტაპმა კომპანია შპს „ბიოდიზელ ჯორჯიამ“ ბიოდიზელის წარმოება დაიწყო. საწარმოო ხაზი ეფუძნება ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაციას კატალიზატორისა და ეთანოლის გამოყენებით. ქარხანამ განახორციელა ცხიმოვანი მჟავების მეთილის ეთერებად ეთერიფიკაციის სრული ტექნოლოგიური ციკლი და იღებს ორ სასარგებლო პროდუქტს - ბიოდიზელსა და გლიცერინს, რომელიც ასევე ღირებული პროდუქტია, რომელიც გამოიყენება ტექნიკური სარეცხი საშუალებების წარმოებისთვის; გარდა

ამისა, გაწმენდილი გლიცერინი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მედიცინაში და პარფიუმერულ ინდუსტრიაში. შპს „ბიოდიზელ ჯორჯიას“ მიერ ოპერირებადი ქარხანა აწარმოებს B100-ს, ანუ 100%-იან ბიოდიზელს, რომელიც შემდგომში ერევა მინერალურ დიზელთან. ჩვენ მოვამზადეთ B20 და B10 ბიოსაწვავის ნარევები (შესაბამისად, ბიოდიზელის 20% და 10% შერევით მინერალური დიზელის საწვავთან). ეს ნარევები გაანალიზებულია და მათი ქიმიური და ფიზიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 10.

ცხრილი 10. სხვადასხვა საწვავების ქიმიური და ფიზიკური მახასიათებლები.

პარამეტრები	ბიოდიზელი			ევრო დიზელი
	B100	B 20	B 10	
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ³	884.0	848.0	842.0	834,0
სიმკვრივე °API	28.56	35.36		38.16
სიბლანტე 40°C, მმ²/წმ	5.2	3.3	2.6	2, 0
აფეთქების ტემპერატურა, °C	120	64	59	56
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ	0.015	0.0069	0.0050	0.0048
ცეტანის რიცხვი	51	50	49	48
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	-	3.6	3.8	10
ნაცრიანობა , %	0.021	0.0091	0.00180	0.0155
პოლიციკლური არომატიკა , %	-	5	5	6
Carbon residue (on 10% residue), %	0,4	0,28	0.28	0,3
კოროზიული აქტივობა (3 საათი 50°C)	№2	№1.5	№1.5	№1.5
კოროზიული აქტივობა, გ/მ³	6	6	5.8	6
ცხიმოვანი მჟავები და მეთილის ეთერი, %	5	5	5	5
დისტილაცია				
50%	270°C	260°C	245°C	240°C
96%	300°C	305°C	300°C	295°C

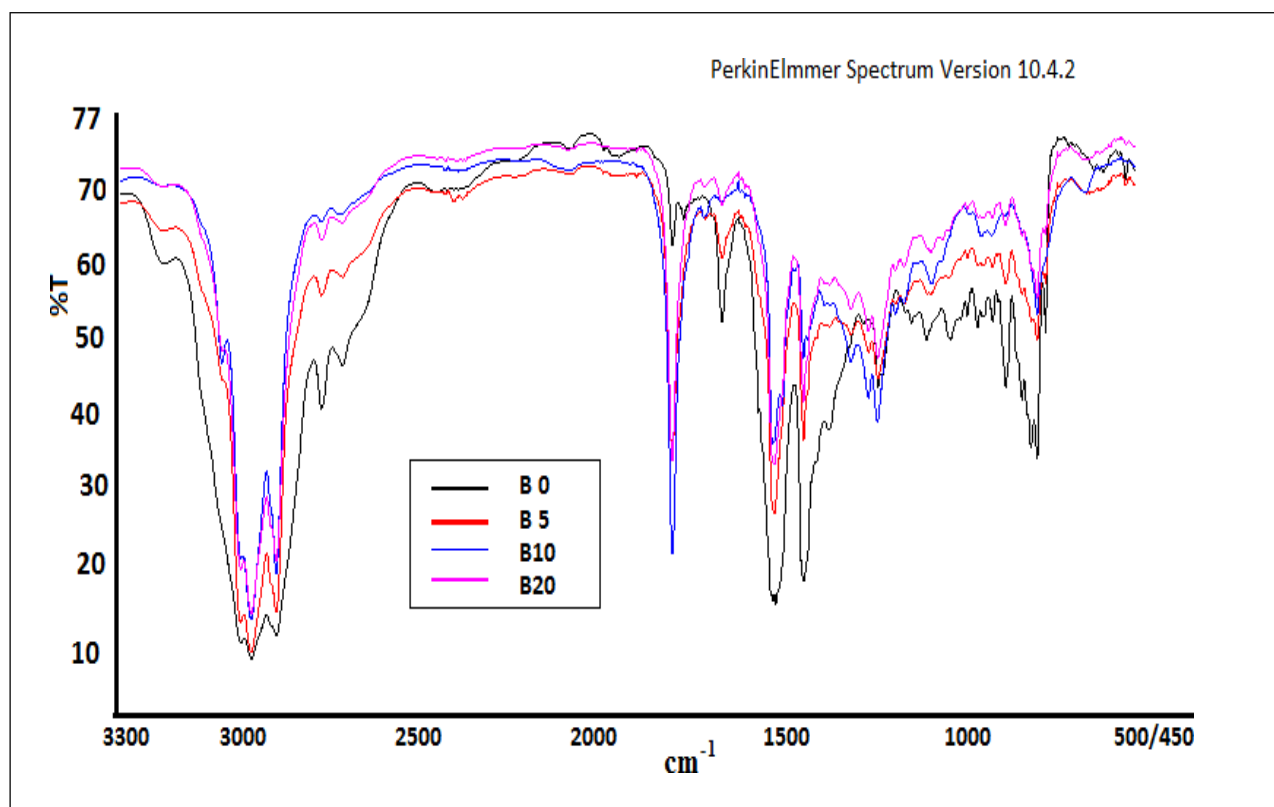
ბიოდიზელის შიგა წვის ძრავებში გამოყენების შესაბამისობის მიზნით ჩვენი კვლევითი გამოვლენით ინდუსტრიის მიერ წარმოებული ბიოდიზელი, კერძოდ, გამოვიყენეთ საქართველოში პირველი ბიოდიზელის ქარხნის ნიმუში, რომელიც 2018 წელს ამოქმედდა. www.biodiesel.ge. (ამ ნაშრომის ავტორი ბიოდიზელის ქარხანას სამეცნიერო საკონსულტაციო მომსახურებას უწევს). ქარხანას ოპერირებას უწევს კომპანია შპს „ბიოდიზელი ჯორჯია“ და ეთერიფიკაციის მეთოდით აწარმოებს B100, ანუ სუფთა, 100%-იან ბიოდიზელს. საკვლევ ობიექტად შერჩეული იყო შპს „ბიოდიზელი ჯორჯიას“ საწარმოო B100-ს, ანუ სუფთა, 100%-იანი ბიოდიზელი. ნავთობდიზელი B0, ბიოდიზელი B100 და მათი ბლენდები: B5, B10 და B20 ბიოსაწვავები გაანალიზებულია ASTM D6751 და EN 590 სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად. ანალიზის შედეგები და ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები მოცემულია 11 ცხრილში.

ცხრილი 11. ბიოდიზელის საწვავების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მახასიათებლები	ბიოდიზელი საწვავები					გამოცდის მეთოდები
	BO	B5	B10	B20	B100	
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ³	834.0	834.0	835.0	840.0	890,3	EN ISO 12185
სიმკვრივე, °API	38.16	38.16	37.96	36.95	27.49	ASTM D 4052
სიბლანტე, cCt 40°C-ზე	2.0	2.00	2.20	2.50	3.50	EN ISO 3104
აფეთქების ტემპერატურა, °C	50	50	52	58	136	EN ISO 3679
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ	0.0048	0.048	0.0048	0.005	3.5	EN 14104
ცეტანის რიცხვი	45	47	49	51	57	EN ISO 5165
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	10.0	10.0	3.8	4.0	-	EN ISO 30884
ნაცრიანობა, %	0.016	0.016	0.016	0.018	0.022	ISO 3987
კოროზიული მდგრადობა, (3 საათი 50°C)	1b	1b	1b	1b	1b	EN ISO 2160
წყლის შემცველობა, ppm	200	200	200	260	492	EN ISO 1297

დისტილაცია						ASTM D86
250 °C-ზე გამოსავალი, %	65	65	65	65	56	ASTM D86
350 °C გამოსავალი, %	85	85	85	85	83	ASTM D86
95 % გამოიხადა (V/V)	350	350	350	350	320	ASTM D86

ჩვენ ასევე გავანალიზეთ სუფთა ბიოდირელის ან B100-ისა და ნანო-ბიოდირელის ჯგუფის შედგენლობა PerkinElmer SPECTRUM ვერსიის 10.4.2 ინფრაწითელი სპექტრომეტრის გამოყენებით. სურათზე 15-ზე შევადარეთ ერთმანეთს B0, B5, B10, და B20-ისა სპექტრები.



სურათი 15. ნავთობდირელის და B5, B10, B20 ბიოდირელების სპექტრული ანალიზი

როგორც სურათზე 15. თვალნათლივ ჩანს, B0, B5, B10, და B20-ისა სპექტრები პრაქტიკულად იდენტურია.

3.3. ბიოდიზელისა და მათი ნავთობდიზელთან მინარევების შენახვის

ხანგრძლივობის შესწავლა

ახალი ტიპის ბიოდიზელი, ნანო-ბიოდიზელი, ოთხ წელზე მეტი ხნის განმავლობაში, რეგულარულად მოწმდებოდა და ანალიზდებოდა. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ შენახვის ხანგრძლივობა და ნანო-ბიოდიზელის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შენარჩუნების უნარი, ანუ ხარისხის სტაბილურობა. ჩვენ შევინახეთ ამ საწვავის ნიმუშები ოთხი წლის განმავლობაში. ნანობიოდიზელი ინახება ნორმალურ, ჩვეულებრივ პირობებში თსუ უნივერსიტეტის პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის ნავთობის ქიმიის ლაბორატორიაში.

საწვავი ინახებოდა ქიმიურ კონუსურ მინის კოლბაში, სტანდარტული შუშის თავსახურით 20-25°C ტემპერატურის დიაპაზონში. ტესტები 2018 წლის თებერვალში დაიწყო და საწვავის ხარისხის პარამეტრები რეგულარულად მოწმდებოდა.

ნანო-ბიოდიზელის საწვავის ანალიზები და ტესტები რეგულარულად ტარდებოდა ოთხი წლის განმავლობაში; ჯგუფური შედგენლობა განისაზღვრა IR ინფრაწითელი სპექტრომეტრით PerkinElmer SPECTRUM ვერსია 10.4.2. და ცალკეული ნახშირწყალბადები იდენტიფიცირებული იქნა NETCHROM, "Cristallux" 4000M გაზური ქრომატოგრაფის საშუალებით, რომელიც აღჭურვილია საკუთარი პროგრამული უზრუნველყოფით.

ვინაიდან ბიოდიზელი ძირითადად განკუთვნილია შიგა წვის ძრავებში გამოსაყენებლად, სუფთა ბიოდიზელის (მაგ. B100) და მისი ნარევების B6, B10 და B20 ფიზიკური და ქიმიური პარამეტრები გაანალიზებულია და შედარებულია ჩვეულებრივი ნავთობის დიზელის საწვავთან, (ანუ B0) EN 590 და B100 ASTM D6751-07a. საწვავი B6, B10 და B20 გაანალიზებულია ASTM D7467 სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად.

ანალიზების შედეგები და ქიმიური და ფიზიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 12. კვლევებმა აჩვენა, რომ შპს „ბიოდიზელ საქართველოს“ ქარხანაში წარმოებული ნანობიოდიზელი B100 და მისი ნარევები სრულად აკმაყოფილებდა სტანდარტების მოთხოვნებს.

ცხრილი 12. მინერალური დიზელის B0, სუფთა ბიოდიზელის (B100) და ბიოდიზელის ნარევების (B6, B10 და B20) ფიზიკური და ქიმიური თვისებები.

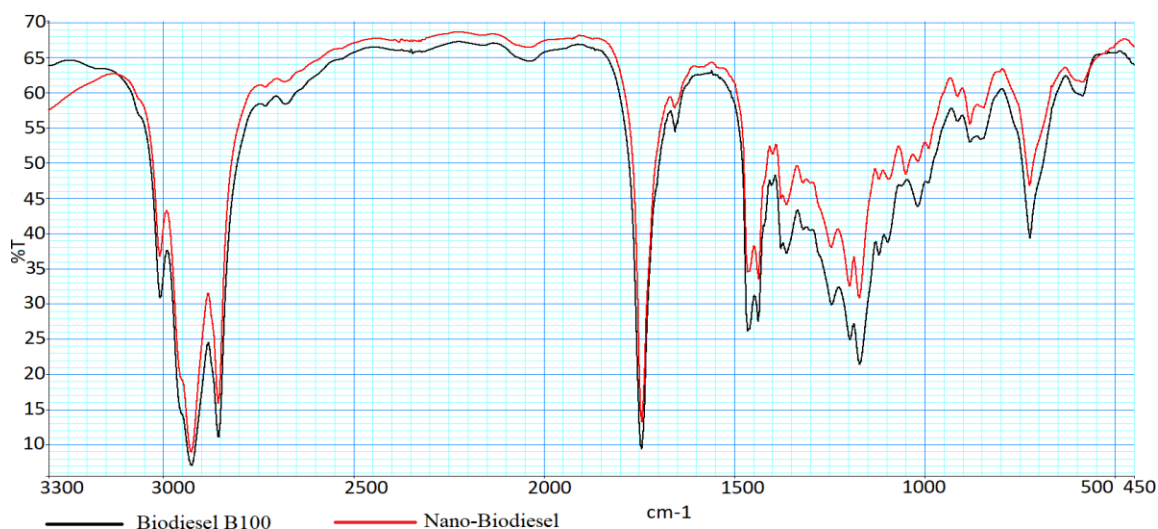
საწვავების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები	ნავთობდიზელი B0, ბიოდიზელის საწვავი B100, და მათი ბლენდები B6, B10, და B20				
	B0	B6	B10	B20	B100
სიმკვრივე 15°C, კგ/მ³	834.0	834.0	835.0	840.0	890,3
სიმკვრივე, °API	38.16	38.16	37.96	36.95	27.49
კინემატიკური სიბლანტე 40°C, მმ²/წმ	2.0	2.00	2.20	2.50	3.50
აფეთქების ტემპერატურა, °C	51.0	55.2	60.5	67.0	132.0
მჟაური რიცხვი, მგ KOH/გ	0.0048	0.048	0.0048	0.005	0.35
ცეტანის რიცხვი	50.0	51,6	52,2	54.0	67
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	10.0	8.0	3.8	2.5	-
ნაცრიანობა, %	0.016	0.016	0.016	0.018	0.022
კოროზიული აქტიობა, (3 საათი 50°C)	1b	1b	1b	1b	1b
წყლის შემცველობა, ppm	200	200	200	260	400
დისტილაცია					
%(V/V) 250 °C-მდე	65	65	65	65	270
% (V/V) 350 °C-მდე	85	85	85	85	300
95 % (V/V)	350	350	350	350	320

ბიოდიზელის ნარევების ანალიზმა ცხადყო, რომ სუფთა ბიოდიზელის B100 და ნარევების - B6, B10 და B20 მახასიათებლები საკმაოდ ჰგავს მინერალური (ნავთობზე დაფუძნებული) დიზელის საწვავის თვისებებს, ანუ B0 და B100 საწვავის ქრომატოგრაფიული ანალიზით იდენტიფიცირებულია შემდეგი ნივთიერებები: ჰექსანი, ოქტანი, ნონანი, დეკანი და მონომეთილის ეთერები.

ჩვენი განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილდა ნარევზე B20, ანუ ნარევში ბიოდიზელის მაქსიმალური შემცველობით ჩვენი კვლევის ფარგლებში. მინერალური დიზელის საწვავში და ბიოდიზელის ნარევში ნახშირწყალბადების შემცველობის დასადგენად, ჩვენ გავაანალიზეთ ეს B20 და B0 ჩვეულებრივი, მინერალური დიზელის საწვავი გაზური ქრომატოგრაფის გამოყენებით.

ნახშირწყალბადების ინდივიდუალური შემცველობა მინერალურ დიზელის საწვავში და ბიოდიზელის ნარევში B20 მსგავსია. ჩვენ აღმოვაჩინეთ, რომ ნახშირწყალბადების შემცველობა C11 - C20 დიაპაზონში თითქმის იდენტურია. ეს ფაქტი კიდევ ერთხელ მიუთითებს იმაზე, რომ B20 ბიოსაწვავის ხარისხი ძალიან ახლოს არის B0-სთან, ამიტომ ნახავი B20 შეიძლება გამოყენებულ იქნას ყველა სეგმენტში, სადაც გამოიყენება ჩვეულებრივი დიზელის საწვავი, მათ შორის შიგა წვის ძრავებში.

ცალკეული ნახშირწყალბადების შემცველობა პრაქტიკულად არ შეცვლილა B20 ნარევში B0-თან შედარებით. ეს მიუთითებს ბიოდიზელის ნარევების მაღალ ხარისხზე და კიდევ ერთხელ ადასტურებს ბიოდიზელის ნარევების ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობას შიგა წვის ძრავებში.

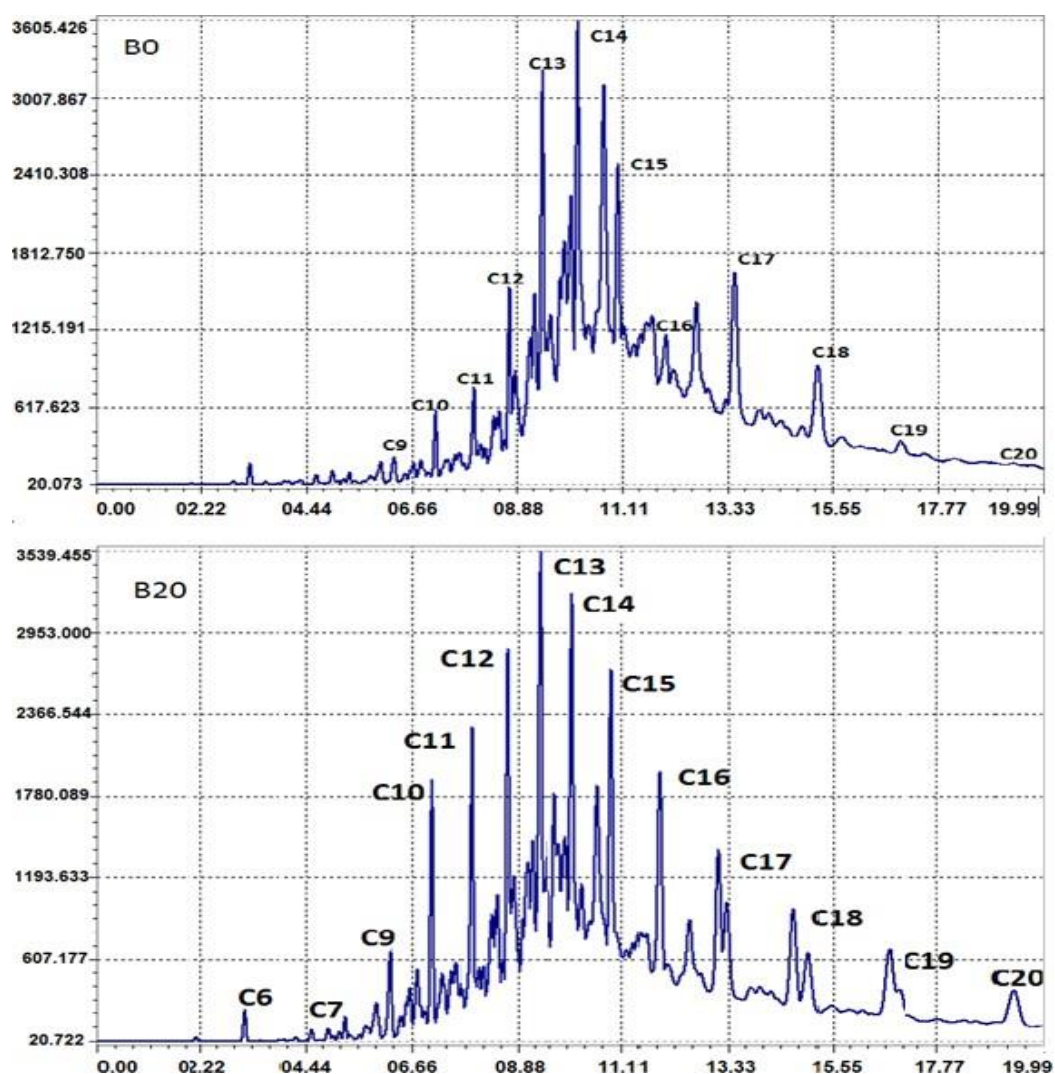


სურ. 16. ბიოდიზელის B100 და ნანო-ბიოდიზელის სპექტრების შედარება
ჩვენ შევადარეთ სუფთა ბიოდიზელის - B100-ისა და ნანო-ბიოდიზელის სპექტრები და აღმოვაჩინეთ, რომ B100-ისა და ნანო-ბიოდიზელის ჯგუფური შედგენლობა იდენტურია. როგორც სურათი 16 გვიჩვენებს, ბიოდიზელის ნანოშემადგენლობამ

შეინარჩუნა ბიოდიზელის საწვავის პარამეტრები და რაც ძალიან მნიშვნელოვანია, ჯგუფური კომპოზიციების სტრუქტურა სტაბილური დარჩა.

3.3.1. ბიოდიზელის საწვავის შენახვის სტაბილურობა

ბიოდიზელის შენახვის სტაბილურობა ერთ ერთი უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია ბიოდიზელის საწვავისათვის. ჩვენი ამოცანა იყო ბიოდიზელის საწვავის მაქსიმალური ხანგრძლივობის მიღწევა. როსთვისაც შევიმუშავეთ სპეციალური საწვავის ნაწი-კომპოზიცია.

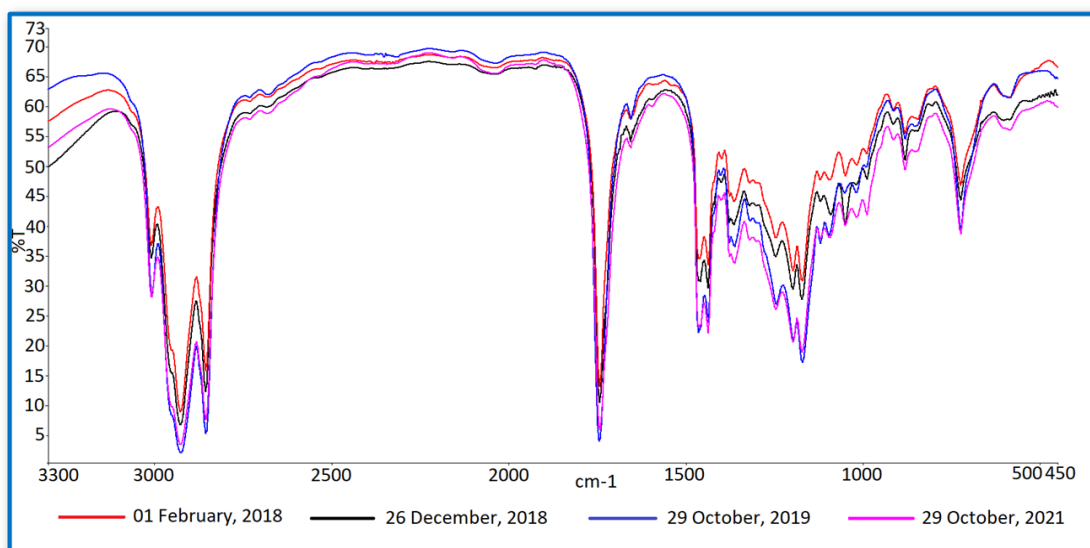


სურათი 17. სუფთა ნავთობდიზელის B0 და ბიოდიზელის B20 შედარება

3.4. ნანო-ბიოდიზელი.

ბიოდიზელის შენახვის სტაბილურობა მნიშვნელოვანია ამ საწვავის ფართო გამოყენებისთვის ყველა სეგმენტში, სადაც ნავთობის დიზელის საწვავი გამოიყენება. ჩვენი მიზანი იყო სუფთა ბიოდიზელის, ანუ B100-ის შენახვის ხანგრძლივობა და ხარისხის სტაბილურობის გაზრდა. ამ მიზნით, ჩვენ შევიმუშავეთ ბიოდიზელის სპეციალური სახეობა - ნანო-ბიოდიზელი, რომელიც გაანალიზდა და შევადარეთ სტანდარტული ეთერიფიკაციის გზით მიღებულ ბიოდიზელთან, რომელიც მიღებულ იქნა მეორადი მოხმარებული UCO ზეთიდან.

ნანობიოდიზელი დამზადდა 2018 წლის თებერვალში და მას შემდეგ ნანობიოდიზელი ინახება მინის კონუსურ კოლბაში და დაფარულია ჩვეულებრივი მინის თავსახურით, 20-25°C ტემპერატურის დიაპაზონში, ქიმიურ ლაბორატორიაში, ჩვეულებრივი პირობებში. ნანო-ბიოდიზელის მდგრადობისა და შენახვის შესაძლებლობების დასადგენად, ამ საწვავის ფიზიკური და ქიმიური თვისებები და ჯგუფის შემადგენლობა რეგულარულად შემოწმდა ოთხი წლის განმავლობაში IR სპექტრომეტრზე და გაზის ქრომატოგრაფის გამოყენებით. იდენტიფიცირებული იქნა ინდივიდუალური ნახშირწყალბადების შედეგები, როგორც ისინი მოცემულია სურათზე 18. რაც აჩვენებს, რომ ნანობიოდიზელის ფუნქციური ჯგუფების შედგენლობა დარჩა სტაბილური და არ შეცვლილა ამ ოთხი წლის განმავლობაში.



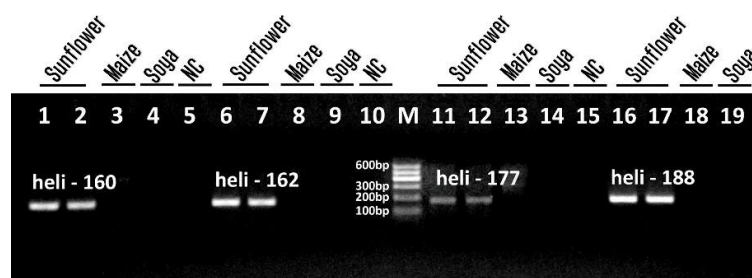
სურათი 18. ნანო-ბიოდიზელის სპექტრული ანალიზები 2018-2021 წლებში

ამგვარად, ნანობიოდიზელმა სრულად შეინარჩუნა ფუნქციონალური ჯგუფების შედგენილობა და მისი მახასიათებლები სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისობა 2018 წლის თებერვლიდან 2021 წლის ოქტომბრის ჩათვლით.

3.5. ბიოდიზელის ნედლეულში ზეთების დეტექცია ეფექტური პჯრ-პრაიმერების შერჩევა მზესუმზირის იდენტიფიკაციისთვის

ბიოდიზელის როგორც საბოლოო პროდუქტის ანალიზის პარალელურად ჩვენ შევისწავლეთ ბიოდიზელის წარმოების ნედლეულის - მოხმარებული მეორადი საკვები ზეთის შემადგებლობის განსაზღვრის მეთოდები მზესუმზირას მაგალითზე. მზესუმზირას ცილები, ჰელიანთინინები წარმოადგენს შემნახველი ცილების ძირითად ჯგუფს, რომლებიც წარმოდგენილია მხოლოდ მზესუმზირის თესლებში (*Helianthus annuus*). ისინი მიეკუთვნებიან 11S გლობულინების ოჯახს. ამრიგად, ჰელიანთინინის გენის იდენტიფიკაცია დნმ-ის ნიმუშებში მიუთითებს მზესუმზირის არსებობაზე (He et al., 2013; Hernández et al., 2005; Yonder Haar et al., 1988).

წინამდებარე ნაშრომში შეიქმნა ახალი პრაიმერები ჰელიანთინინის გენის მიმართ, რომლებიც ითვალისწინებს ორ მოთხოვნას: (1) ვარგისიანობა ჩასმული პჯრ-სისტემისთვის და (2) 200 bp-ზე ნაკლები ზომის ამპლიკონების მიღება ზეთის დნმ-ის დეგრადაციის პრობლემის დასაძლევად. ჰელიანთინინის გენის მიმართ შემუშავებული პრაიმერების წყვილების ეფექტურობა გამოკვლეული იქნა ცალ-ცალკე უნიპლექსური პჯრ-ებით (სურათი 20). დაფქული მზესუმზირის თესლებიდან სტანდარტული CTAB მეთოდით მიღებული გენომური დნმ გამოიყენებოდა ამპლიფიკაციის რეაქციაში. გარდა ამისა, სოიოს და სიმინდის თესლის გენომური დნმ გამოყენებული იქნა პჯრ-ანალიზის სპეციფიურობის შესამოწმებლად.



სურათი 19. მზესუმზირის ჰელიანთინინის გენის პჯრ-ით დეტექცია

პრაიმერების წყვილები: heli160f/heli160r (ხაზები 1-5), heli162f/heli162r (ხაზები 6-10), heli177f/ heli177r (ხაზები 11-15) და heli188f/heli188r (ხაზები 16-19). ნიმუშები: მზესუმზირის თესლი (ხაზები 1-2, 6-7, 11-12, 16-17); სიმინდის თესლი (ხაზები 3, 8, 13, 18); სოიოს მარცვლები (ხაზები 4, 9, 14, 19); წყალი - NC - უარყოფითი კონტროლი (ხაზები 5, 10, 15).

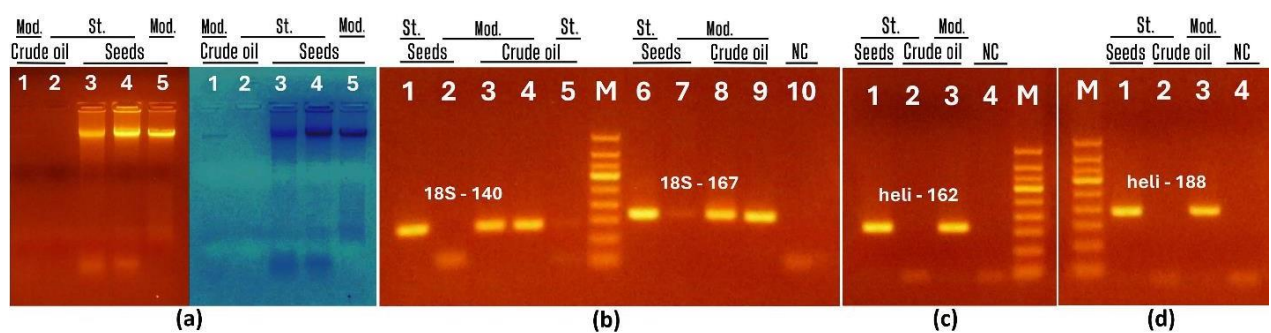
სურათი 20 გვიჩვენებს აგაროზის გელზე ელექტროფორეზს იმ პჯრ-პროდუქტების, რომლებიც მიღებულია ჰელიანთინინის გენის მიმართ დამიზნებული პრაიმერების ოთხი წყვილით. მოსალოდნელი ზომის ერთი ამპლიკონი ამოლიფიცირდა მზესუმზირის ყველა ნიმუშში, კერძოდ, პრაიმერების წყვილებმა heli160f/heli160r და heli162f/heli162r წარმოქმნა 160 bp და 162 bp ფრაგმენტები, შესაბამისად (სურათი 20, ხაზები 1-5, 6-10). მაშინ როცა, პრაიმერების წყვილებმა heli177f/ heli177r და heli188f/heli188r მოგვცეს 177 bp და 188 bp ამპლიკონები, შესაბამისად (სურათი 20, ხაზები 11-15, 16-19). თუმცა, პჯრ- ზოლები აჩვენებდნენ სხვადასხვა ინტენსივობას. ამრიგად, heli-188-ისა და heli-162-ის ყველაზე ინტენსიური ამპლიკონები გამოვლინდა, როგორც საუკეთესო დნმ-ის მარკერები მზესუმზირის დეტექციისათვის.

გარდა ამისა, პჯრ-პროდუქტი არ ამპლიფიცირდა სიმინდისა და სოიოს არცერთ სინჯში არცერთ პჯრ-ში (სურათი 20, ხაზები 3-4, 8-9, 13-14, 18-19), რაც მიუთითებს ამ პჯრ-ანალიზების მაღალ სპეციფიკურობაზე მზესუმზირის იდენტიფიკაციისთვის. უფრო მეტიც, წყლის უარყოფით კონტროლში არ გამოჩნდა რაიმე ამპლიფიცირებული სიგნალი, რაც მიუთითებს რომ დნმ არაა დაბინძურებული (სურათი 20, ხაზები 5, 10, 15).

აქედან გამომდინარე, შედეგებმა აჩვენა, რომ პრაიმერების წყვილები heli188f/heli188r, heli160f/heli160r და heli162f/heli162r შესაფერისია მზესუმზირის მგრძნობიარე და სპეციფიკური გამოვლენისთვის და ისინი გამოყენებულ იქნა შემდეგ პჯრ-ის ექსპერიმენტებში მზესუმზირის ზეთებზე.

3.6. მზესუმზირის თესლისა და ზეთებისთვის დნმ-ის ექსტრაქციის ეფექტური მეთოდების შერჩევა

შეისწავლილია აცეტილ ტრიმეთილ ამონიუმის ბრომიდის (CTAB) მეთოდის ორი ვარიანტი მზესუმზირის თესლიდან და ზეთებიდან გენომური დნმ-ის ექსტრაგირებისათვის. დნმ-ები მიღებული იქნა 50 მლ წინასწარ კონცენტრირებული ნედლი ზეთიდან. დნმ-ების მთლიანობა შეფასდა აგაროზის გელის ელექტროფორეზით (სურათი 21a). მთლიანი გენომური დნმ-ის ინტენსიური ზოლები დაფიქსირდა როგორც სტანდარტული, ასევე მოდიფიცირებული CTAB-ით ექსტრაგირებული თესლის ნიმუშებში (სურათი 21a, ხაზები 3-5). უფრო მეტიც, Photoshop-ით გამოსახულების დამუშავების შემდეგ, სუსტად შესამჩნევი დნმ-ის ზოლი გამოჩნდა მხოლოდ მოდიფიცირებული CTAB-ის ექსტრაქტის ზეთის ნიმუშში (სურათი 21a, მარჯვენა სურათი, ჩიხი 1).



სურათი 20. მზესუმზირის თესლიდან და ზეთებიდან დნმ-ის ექსტრაქციის CTAB

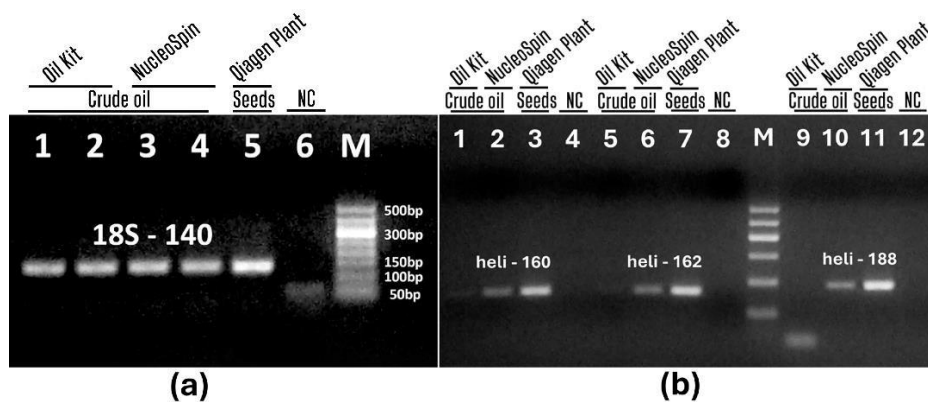
პროტოკოლების შედარება:

(ა) გენომური დნმ ნედლი ზეთიდან (ხაზები 1-2) და თესლიდან (ხაზები 3-5), მიღებული მოდიფიცირებული CTAB (ხაზები 1, 5) და სტანდარტული CTAB-ით (ხაზები 2-4); (b-d) პჯრ-ამპლიფიკაცია შემდეგი პრაიმერებით: 18S-140f/18S-140r (b, ხაზები 1-5), 18S-167f 18S-167r (b, ზოლები 6-10); heli162f/ heli162r (c) და heli188f/heli188r (d). ნიმუშები: დნმ თესლიდან (b, ხაზები 1-2, 6-7, c, d. ხაზი 1) და ნედლი ზეთი (b, ხაზები 3-5, 8-9; c, d. 2-3), ექსტრაგირებული სტანდარტული CTAB-ით (b, ხაზები 1, 5, 6; c, d, 1-2) და მოდიფიცირებული CTAB-ით (b, ხაზები 2-4, 7-9; c, d. ზოლები 3-4). წყალი - NC - უარყოფითი კონტროლი (b, ხაზი 10, c, d, ხაზი 4). M. მოლეკულური წონის მარკერი (Qiagen GelPilot 100 bp ladder). მოკლე შენიშვნები: St.—standard CTAB; Mod.—modified CTAB.

გენომური დნმ-ების ამპლიფიკაციის უნარი შეფასდა ორი პჯრ-სისტემის გამოყენებით, რომლებიც დამიზნებულია ევკარიოტული 18S რიბოსომური რნმ-ის გენზე (სურათი 21) და ორი პჯრ-სისტემის გამოყენებით, რომლებიც მიმართულია მზესუმზირის ჰელიანთინინის გენზე (სურათი 2c, d). მოსალოდნელი ამპლიკონები წარმოიქმნა სტანდარტული CTAB-ის მეთოდით ექსტრაგირებული თესლის ნიმუშებში (სურათი 2, ხაზები b, 1, 6, c, d, ხაზი 1). თუმცა, მოდიფიცირებული CTAB-ის პროტოკოლით მიღებულ თესლის ნიმუშებში არ იყო ამპლიფიცირებული პროდუქტი (სურათი 21, ხაზები 2, 7) მთლიანი გენომური დნმ-ის არსებობის მიუხედავად (სურათი 21, ხაზი 5). ამიტომ ივარაუდება პჯრ-ინჰიბიტორების არსებობა თესლის დნმ-ის ნიმუშებში, რომლებიც მიღებულია მოდიფიცირებული CTAB-პროტოკოლით.

ოთხივე პჯრ-მა აჩვენა მსგავსი შედეგები ნედლი ზეთის დნმ-ისთვის. კერძოდ, მოდიფიცირებული CTAB-ის მეთოდით მიღებულმა დნმ-ებმა წარმოქმნეს მოსალოდნელი ზომის ამპლიკონები (სურათი 21b, ზოლები 3-4, 8-9, c, d, ხაზი 3). თუმცა, სტანდარტული CTAB მეთოდით მიღებულმა ნედლი ზეთის დნმ-ებმა არ წარმოქმნეს პჯრ-პროდუქტი (სურათი 21b, ხაზი 5, c, d, ხაზი 2). ამპლიფიცირებული პროდუქტების არარსებობა უარყოფით კონტროლში მიუთითებს პჯრ-ის ექსპერიმენტების სისუფთავეზე (სურათი 21b, ხაზი 10, c, d, ხაზი 4). ამრიგად, შედეგებმა აჩვენა, რომ სტანდარტული CTAB-ის მეთოდი შესაფერისია მზესუმზირის თესლიდან ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის მისაღებად, ხოლო შეცვლილი CTAB-ის მეთოდი ვარგისია მზესუმზირის ზეთიდან ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის მისაღებად.

დნმ-ის ექსტრაქციის ორი ნაკრები (ზეთისა და ნუკლეოსპინის) შემოწმდა ნედლი მზესუმზირის ზეთიდან ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის მისაღებად. 25 მლ ნედლი ზეთის ნიმუშები წინასწარ იყო კონცენტრირებული პროტოკოლის I-ის გამოყენებით. დნმ-ების ამპლიფიკაციის უნარი შეფასდა ევკარიოტული და სახეობის სპეციფიკური პჯრ- სისტემების გამოყენებით და შედეგები ნაჩვენებია სურათზე 22.



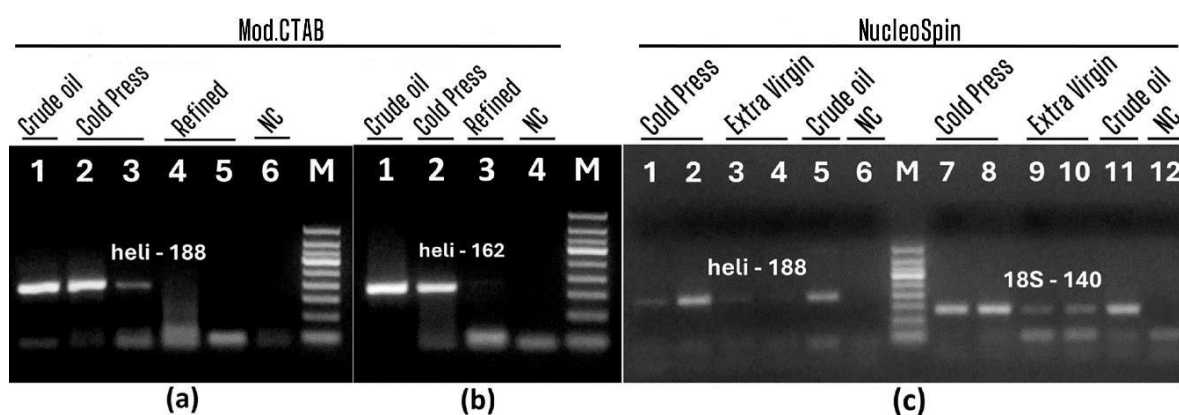
სურათი 21. მცენარის ნაკრებისა და ნუკლეოსპინის ნაკრების შედარება დნმ-ის ექსტრაქციისათვის მზესუმზირის ზეთიდან.

პჯრ-ით ამპლიფიკაცია პრაიმერების წყვილების გამოყენებით: 18S-140f/18S-140r (a, ზოლები 1-6); heli160f/ heli160r (b, ზოლები 1-4); heli162f/ heli162r (b, ზოლები 5-8) და heli188f/heli188r (b, ხაზები 9-12). ნიმუშები: დნმ-ები ნედლი ზეთიდან (a, ხაზები 1-4, b. ხაზები 1-2, 5-6, 9-10) და თესლიდან (a, ხაზი 5; b, ზოლები 3, 7, 11), ქიაგენის მცენარის ნაკრებით (a, ხაზი 5; b, ხაზები 3, 7, 11). წყალი –NC- უარყოფითი კონტროლი (a, ხაზი 6, b, ხაზები 4, 8, 12). M. მოლეკულური წონის მარკერები: Qiagen GelPilot 50 bp ladder) (a) და Qiagen GelPilot 100 bp ladder (b).

18S-140f/18S-140r პრაიმერების გამოყენებით პჯრ-ით წარმოიქმნა მოსალოდნელი ზომისა და თითქმის თანაბარი ინტენსივობის ერთი ამპლიკონი ზეთის ყველა ნიმუშისთვის, რომელიც მიღებულია ზეთისა და ნუკლეოსპინის ნაკრებებით (სურათი 22a, ხაზები 1–4). თუმცა, heli160f/heli160r, heli162f/heli162r და heli188f/heli188r პრაიმერებმა მოგვცეს მოსალოდნელი პჯრ-ზოლები ნუკლეოსპინის ნიმუშებში (სურათი 22b, ხაზები 2, 6, 10), მაგრამ ზეთის ნაკრებით მიღებულ სინჯებში არ დეტექტირდა ხილული პჯრ-ზოლები (სურათი 22b, ხაზები 1, 5, 9). ზეთის ნაკრებით მიღებულ ნიმუშებში ამპლიფიცირებული 18S-140 ამპლიკონების არსებობა და heli-160, heli-162 და heli-188 ამპლიკონების არარსებობა განპირობებულია 18S-140 პჯრ-სისტემის უფრო მაღალი ეფექტურობით ჰელიანთინინის სპეციფიკური პჯრ სისტემებთან შედარებით. შედეგები მიუთითებს, რომ როგორც ზეთის, ასევე ნუკლეოსპინის ნაკრებს შეუძლია მზესუმზირის ზეთიდან ამპლიფიცირებადი დნმ-ის წარმოქმნა, მაგრამ ნუკლეოსპინის უფრო

ეფექტურია, რადგან მხოლოდ მისი ექსტრაქტებითაა შესაძლებელი მზესუმზირის დეტექცია ნედლი ზეთის ნიმუშებში.

გარდა ამისა, ქიაგენის მცენარის ნაკრებით მიღებულმა თესლის დნმ-ებმა მოგვცეს მოსალოდნელი ინტენსიური ამპლიკონები თითოეულ პჯრ-სისტემაში (სურათი 22a, ხაზი 5 b, ზოლები 3, 7, 11). ეს მიუთითებს ქიაგენის მცენარის ნაკრების ვარგისიანობაზე მზესუმზირის თესლიდან საკმარისი რაოდენობის ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის გამოყოფისათვის.



სურათი 22. წინასწარ კონცენტრირებული მზესუმზირის სხვადასხვა ზეთის პჯრ-ტესტირება

შესრულებული იქნა შემდეგი პრაიმერების გამოყენებით: heli188f/heli188r (a, ხაზები 1-6; c, ხაზები 1-6); heli162f/ heli162r (b, ხაზები 1-4); 18S-140f/18S-140r (c, ხაზები 7-12). ნიმუშები: ნედლი (a, ხაზი 1, b, ხაზი 1, c, ხაზი 5, 11); ცივი დაწურვა (a, ხაზი 2-3, b, ხაზი 2, c, ხაზი 1-2, 7-8); ექსტრა ვირჯინი (c, ხაზი 3-4, 9-10), რაფინირებული (a, ხაზი 4-5, b, 3) მიღებული მოდიფიცირებული CTAB-ით (a, ხაზი 1-5, b, 1-3); ნუკლეოსპინით (c, ხაზები 1-5, 7-11). წყალი – NC -უარყოფითი კონტროლი (a, ხაზი 6, b, ხაზი 4, c, ხაზი 6, 12). M. მოლეკულური წონის მარკერები: Qiagen GelPilot 50 bp ladder).

გარდა ამისა, ჩატარდა შერჩეული ეფექტური მეთოდების (მოდიფიცირებული CTAB და ნუკლეოსპინი) შემოწმება საკმარისი რაოდენობის ამპლიფიცირებადი დნმ-ის გამოყოფისათვის სხვა ტიპის ზეთებიდან, როგორცაა ცივი დაწურვის, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული მზესუმზირის ზეთები. ეფექტური ექსტრაქციისთვის

შესაბამისი წინასწარი კონცენტრაციის პროტოკოლის დასადგენად, გამოყენებული იქნა როგორც პრეკონცენტრაციის პროტოკოლი 1 (სურათი 23a, b) და პროტოკოლი 2 (სურათი 4c). 12 მლ, 24 მლ და 48 მლ მოცულობის ყველა ტიპის ზეთი, კერძოდ, ნედლი, ცივი დაწურვის, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული ზეთები შემოწმდა თითოეული ზეთისთვის ოპტიმალური მოცულობის შესარჩევად. გარდა ამისა, 300 მლ რაფინირებული ზეთი კონცენტრირებული იყო წინასწარი კონცენტრაციის პროტოკოლით 1. ზეთის ექსტრაქტები გამოკვლეული იყო პჯრ-ით ჰელიანთინინის გენისა და 18S რნმ-ის გენის სპეციფიკური პრაიმერებით.

გელის ელექტროფორეზმა გამოავლინა მოსალოდნელი პჯრ-პროდუქტები ნედლი და ცივი დაწურვის ყველა ზეთში (სურათი 23a, ხაზები 1-3, b, ხაზები 1-2, c, ხაზები 1-2, 7-8, 5, 11) რომლებიც წინასწარ კონცენტრირებული ორივე პროტოკოლით და ექსტრაგირებული იყო შეცვლილი CTAB -ითა და ნუკლეოსპინის მეთოდებით. ამიტომ ივარაუდება როგორც წინასწარი კონცენტრაციის მიდგომის, ასევე შეცვლილი CTAB-ისა და ნუკლეოსპინის მეთოდების ვარგისიანობა ზეთიდან ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის მისაღებად. თუმცა, ჰელიანთინინის გენის სპეციფიკური პრაიმერების გამოყენებით პჯრ-ების შემდეგ ამპლიკონები არ გამოჩნდა ექსტრა ვირჯინისა და რაფინირებულ ზეთებში, რომლებიც ექსტრაგირებულია როგორც მოდიფიცირებული CTAB-ით, ასევე ნუკლეოსპინის მეთოდებით (ხაზები 4-5, b, 3, c, ხაზები 3-4). 140 bp პჯრ- ზოლები ხილული იყო ზეთის ყველა ნიმუშში (ნედლი, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული), როგორც მოსალოდნელი იყო, რაც ადასტურებს დნმ-ის ყველა ნიმუშის ამპლიფიციურობას (ხაზები 7-12). თუმცა, ექსტრა ვირჯინი ზეთის ნიმუშებმა წარმოქმნა უფრო დაბალი ინტენსივობის ამპლიკონები (ხაზები 9-10), რაც მიუთითებს უფრო ნაკლები რაოდენობის გენომური დნმ-ის არსებობაზე ექსტრა ვირჯინ ზეთში, ვიდრე ცივი დაწურვის ზეთი. ეს დადასტურდა ჰელიანთინინის სპეციფიკური პჯრ-ით. გარდა ამისა, მსგავსი ინტენსივობის პჯრ ზოლები გამოვლინდა დნმ-ის ნიმუშებში, რომლებიც მიღებულ იქნა როგორც მოდიფიცირებული CTAB-ით, ასევე ნუკლეოსპინის მეთოდებით წინასწარ კონცენტრირებული 12 მლ ნედლი ზეთიდან და 48 მლ ცივი დაწურვის ზეთიდან (ხაზები 1-2, b, ზოლები 1-2, c, ხაზები 1-2, 5, 7-8, 11). ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ნედლი ზეთის ნიმუში შეიცავდა უფრო მეტ გენომურ

დნმ-ს, ვიდრე ცივი დაწურვის ზეთი, ხოლო ცივი დაწურვის ზეთის ნიმუშს უფრო მეტი დნმ ჰქონდა, ვიდრე ექსტრა ვირჯინის ან რაფინირებული ზეთის ნიმუშებს. ეს გვაფიქრებინებს, რომ მიუხედავად ყველა გამოკვლეული (ნედლი, ცივი დაწურვის, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული) ზეთების დნმ-ების ამპლიფიცირებადობის, მათ აქვთ სხვადასხვა პჯრ-ეფექტურობა დნმ-ის სხვადასხვა რაოდენობის გამო.

3.7. ჩასმული და ორმაგი პჯრ-ების შემუშავება საკვებ ზეთებში მზესუმზირის დეტექციისათვის

ზემოთ აღწერილმა კვლევამ აჩვენა, რომ საჭირო იყო პჯრ-მგრძნობელობის გაუმჯობესება მზესუმზირის გამოსავლენად ექსტრა ვირჯინისა და რაფინირებულ ზეთებში. ამ მიზნით გამოყენებული იყო ორმაგი და ჩასმული პჯრ-მიდგომები. heli188f/heli188r და heli162f/heli162r პრაიმერების წყვილები შესაფერისი იყო ჩასმული პჯრ-სისტემისთვის, რადგან ამპლიკონი heli-162 იმყოფება ამპლიკონ heli-188-ის შიგნით, უფრო მეტიც, heli188f და heli162f ფორვარდული პრაიმერების მნიშვნელოვანი ნაწილები ემთხვევა ერთმანეთს. გარდა ამისა, ჩატარდა ორმაგი პჯრ, სადაც heli188f/heli188r-პრაიმერი გამოიყენებოდა როგორც პირველ, ასევე მეორე პჯრ-ში. თავდაპირველად, დნმ-ები წინასწარ კონცენტრირებული 12 მლ ზეთის ნიმუშებიდან შემოწმდა. როგორც ჩასმული, ასევე ორმაგი პჯრ-ები წარმოქმნიდნენ ძალიან ინტენსიურ პჯრ-ზოლებს, ამიტომ ზეთის ნიმუშების მოცულობა შემცირდა შემდგომ ექსპერიმენტებში. საბოლოოდ, 700 μ L ზეთის ნიმუში იქნა აღებული წინასწარი კონცენტრაციის გარეშე და დაექვემდებარა დნმ-ის ექსტრაქციას ოთხი მეთოდით, როგორიცაა ნუკლეოსპინის, ქიაგენის სურსათისა და ზეთის ნაკრებები და CTAB-ის მეთოდი. მიღებული გენომური დნმ-ები შეფასდა Nanodrop One სპექტროფოტომეტრით.

ცხრილში წარმოდგენილია 700 μ L ზეთებიდან ექსტრაქციის ოთხი პროტოკოლით მიღებული დნმ-ების კონცენტრაციები და სისუფთავის მნიშვნელობები. დნმ-ის კონცენტრაციები და სისუფთავე შეფასდა UV შთანთქმის გაზომვით 260 ნმ-ზე (A260) და შთანთქმის თანაფარდობებით A260/A280 და A260/A230. საშუალო და სტანდარტული გადახრა გამოითვალა დნმ-ის

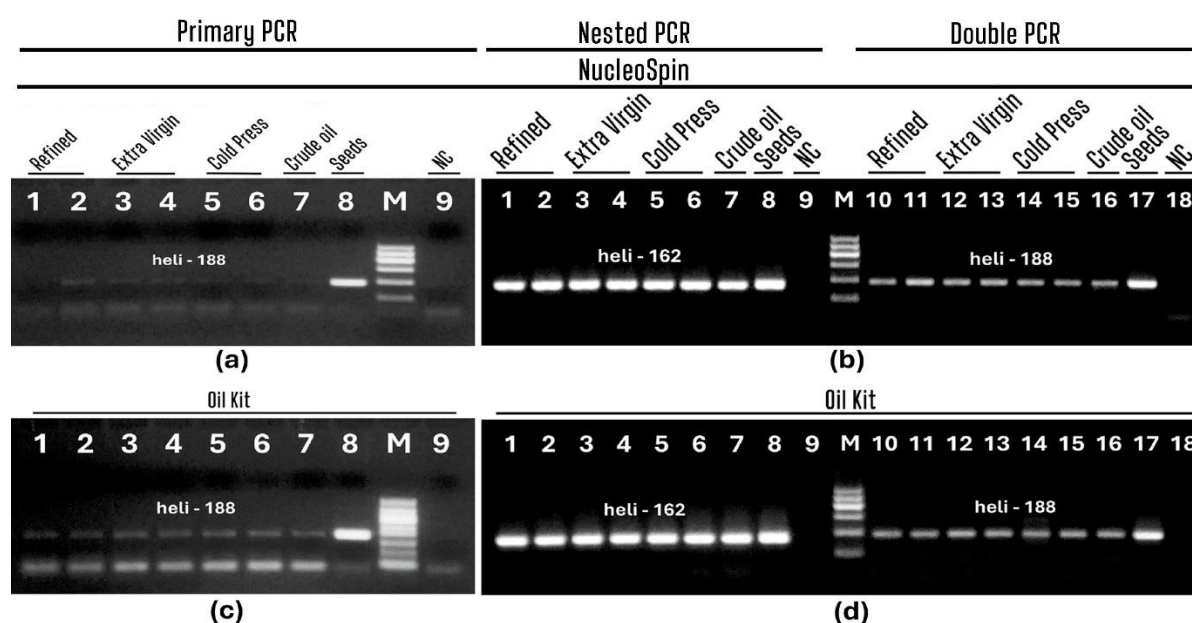
კონცენტრაციისა და სისუფთავისთვის მიღებული მონაცემებიდან. შემდეგ მნიშვნელობები გამოისახა, როგორც საშუალო $\pm$ SD.

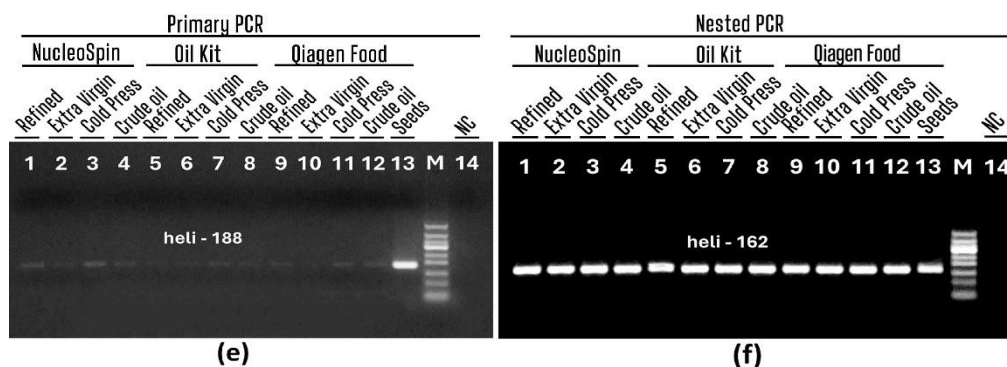
ANOVA-თი ჩატარებული სტატისტიკური ანალიზები მიუთითებს, რომ ზეთის ტიპი არ ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას დნმ-ის კონცენტრაციისა და სისუფთავეზე (260/280 და 260/230). თუმცა, დნმ-ის ექსტრაქციის მეთოდი გავლენას ახდენს როგორც დნმ-ის კონცენტრაციაზე, ასევე 260/230 სისუფთავის მნიშვნელობებზე, მაშინ როცა ის არ მოქმედებს 260/280 სისუფთავის მნიშვნელობებზე. აღსანიშნავია, რომ დნმ-ის ექსტრაქციის სამივე ნაკრები, როგორცაა ნუკლეოსპინი, ქიაგენის სურსათის და ზეთის ნაკრები გაერთიანდა ერთ ჯგუფში, რომელიც განსხვავდება CTAB-მეთოდის მეორე ჯგუფისგან. გამოვლინდა სამი ჰომოგენური ჯგუფი 260/230 სისუფთავის მნიშვნელობების საფუძველზე. ქიაგენის სურსათის ნაკრები და მოდიფიცირებული CTAB-ის მეთოდი გაერთიანდა ერთ ჯგუფში, თუმცა ნუკლეოსპინის და ზეთის ნაკრებები იდენტიფიცირდა როგორც ცალ- ცალკე ჯგუფები.

ცხრილი 13. ნუკლეოსპინის, ქიაგენის სურსათის, ზეთის ნაკრებებით და მოდიფიცირებული CTAB-ის მეთოდით მიღებული ზეთის ექსტრაქტების დნმ-ის კონცენტრაცია და სისუფთავე.

ექსტრაქციის მეთოდი	ზეთის სიწიკი (0.7 მლ)	დნმ (ნგ/მკლ)	A ₂₆₀ /A ₂₈₀	A ₂₆₀ /A ₂₃₀
ნუკლეოსპინის ნაკრები	Crude	2.39 $\pm$ 0.76 ^a	1.80 $\pm$ 0.90 ^a	0.53 $\pm$ 0.09 ^a
	Cold pressed	1.51 $\pm$ 0.64 ^a	1.60 $\pm$ 0.50 ^a	0.42 $\pm$ 0.07 ^a
	Extra virgin	4.82 $\pm$ 2.07 ^a	1.49 $\pm$ 0.07 ^a	0.59 $\pm$ 0.04 ^a
	Refined	4.25 $\pm$ 0.90 ^a	1.42 $\pm$ 0.01 ^a	0.62 $\pm$ 0.02 ^a
	UCO	3.415 $\pm$ 0.70 ^a	2.09 $\pm$ 0.05 ^a	0.55 $\pm$ 0.07 ^a
ქიაგენის სურსათის ნაკრები	Crude	1.41 $\pm$ 0.02 ^a	1.14 $\pm$ 0.04 ^a	0.24 $\pm$ 0.01 ^c
	Cold pressed	1.49 $\pm$ 0.55 ^a	1.00 $\pm$ 0.34 ^a	0.25 $\pm$ 0.03 ^c
	Extra virgin	1.30 $\pm$ 0.14 ^a	2.14 $\pm$ 1.58 ^a	0.25 $\pm$ 0.02 ^c
	Refined	1.40 $\pm$ 0.00 ^a	1.87 $\pm$ 0.20 ^a	0.25 $\pm$ 0.02 ^c
ზეთის ნაკრები	Crude	3.45 $\pm$ 0.10 ^a	2.03 $\pm$ 0.31 ^a	0.46 $\pm$ 0.00 ^b
	Cold pressed	2.58 $\pm$ 0.55 ^a	2.03 $\pm$ 0.21 ^a	0.45 $\pm$ 0.05 ^b
	Extra virgin	2.47 $\pm$ 1.75 ^a	1.73 $\pm$ 0.17 ^a	0.44 $\pm$ 0.16 ^b
	Refined	1.72 $\pm$ 0.56 ^a	2.02 $\pm$ 0.10 ^a	0.36 $\pm$ 0.07 ^b
მოდიფიცირებული CTAB	Crude	5.15 $\pm$ 0.54 ^b	2.32 $\pm$ 0.13 ^a	0.24 $\pm$ 0.02 ^c
	Cold pressed	5.41 $\pm$ 0.31 ^b	2.62 $\pm$ 0.80 ^a	0.25 $\pm$ 0.10 ^c
	Extra virgin	6.58 $\pm$ 1.75 ^b	2.11 $\pm$ 0.31 ^a	0.20 $\pm$ 0.01 ^c
	Refined	5.12 $\pm$ 0.71 ^b	1.91 $\pm$ 0.01 ^a	0.18 $\pm$ 0.01 ^c
	UCO	7.05 $\pm$ 1.68 ^b	2.09 $\pm$ 0.04 ^a	0.24 $\pm$ 0.02 ^c

დნმ-ის კონცენტრაციებისა და გამოსავლის შედარებამ აჩვენა განსხვავებები ექსტრაქციის მეთოდებს შორის, თუმცა ზეთების ტიპები არ აჩვენებდნენ მნიშვნელოვან განსხვავებებს. მოდიფიცირებულმა CTAB-მა უზრუნველყო დნმ-ის უფრო მაღალი კონცენტრაცია (საშუალოდ 5,86 ნგ/მკლ), რასაც მოჰყვა ნუკლეოსპინი (საშუალოდ 3,28 ნგ/მკლ) და ზეთის ნაკრები (საშუალოდ 2,56 ნგ/მლ). ქიაგენის სურსათის ნაკრებით მიღებულ იქნა ექსტრაქტები დაბალი კონცენტრაციებით (საშუალოდ 1.40 ნგ/მკლ). თუმცა, ნუკლეოსპინი (საშუალოდ 468,6 ნგ/მლ ზეთი) და მოდიფიცირებული CTAB (საშუალოდ 418,5 ნგ/მლ ზეთი) იძლეოდა დნმ-ის უფრო მაღალ გამოსავლიანობას, ხოლო ქიაგენის საკვებისა და ზეთის ნაკრები იძლეოდა შედარებით ნაკლებ დნმ-ის გამოსავალს, საშუალოდ 300,00 ნგ და 256 ნგ/მლ ზეთზე. მზესუმზირის დეტექციის მგრძნობელობის შესაფასებლად, უნიპლექსიური, ჩასმული და ორმაგი პჯრ-ების პროდუქტები შეფასებული იყო აგაროზის გელზე ელექტროფორეზით და წარმოდგენილია 23 სურათზე.

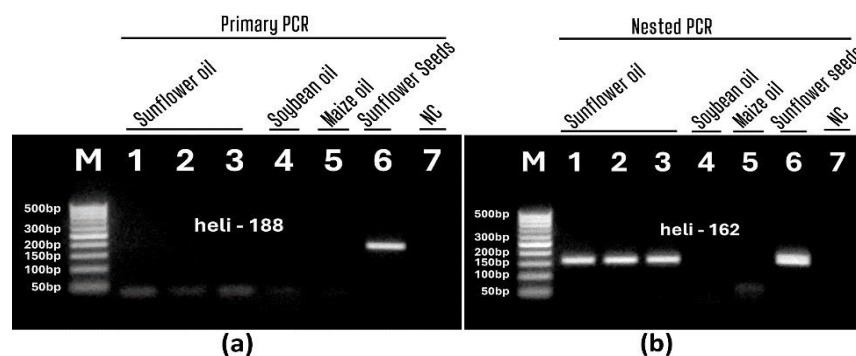




სურათი 23. პირველადი (a, c, e), ჩასმული (b, d, ხაზები 1-9; f, ხაზები 1-14) და ორმაგი (b, d, ხაზები 10-18) პჯრ-ები შემდეგი პრაიმერების გამოყენებით heli188f/heli188r (a, c, e და b, d, ხაზები 10-18) და heli162f/ heli162r (b, d, ხაზები 1-9, f, ხაზები 1-14). მზესუმზირის ზეთების დნმ-ები გამოყოფილია ნუკლეოსპინით (a, ხაზები 1-9, b, ხაზები 1-18, e, f, ხაზები 1-4), ზეთის ნაკრებით (c, ზოლები 1-9, d, ზოლები 1-18, e, f, ზოლები 5-8); ქიაგენის სურსათის ნაკრებით (e, f, ხაზები 9-12). სინჯები: რაფინირებული (a, c, ხაზები 1-2; b, d, ხაზები 1-2, 10-11; e, f, ხაზები 1, 5, 9); ექსტრა ვირჯინი (a, c, 3-4, b, d, 3-4, 12-13; e, f, ხაზები 2, 6, 10); ცივი დაწურვის (a, c, ხაზები 5-6, b, d, ხაზები 5-6, 14-15; e, f, 3, 7, 11 ხაზები); ნედლი ზეთი (a, c, 7, b, d, 7, 16; e, f, ხაზები 4, 8, 12); თესლი (a, c, ხაზები 8; b, d, ხაზები 8, 17; e, f, ხაზები 13); წყალი – NC-უარყოფითი კონტროლი (a, c, ხაზი 9; b, d, ხაზი 9, 18; e, f, ხაზი 14); M. მოლეკულური წონის მარკერები: Qiagen GelPilot 100 bp ladder (a, b, d) და Qiagen GelPilot 50 bp ladder (c, e, f).

საუკეთესო მიდგომის შესარჩევად ნუკლეოსპინისა და ზეთის ნაკრებებით მიღებული დნმ-ები შემოწმებული იყო როგორც ორმაგი, ასევე ჩასმული პჯრ-ით (სურათი 5b,c,d). როგორც ნაჩვენებია სურათზე 24a და 5b, heli188f/heli188r პრაიმერების გამოყენებით უნიპლექსური პჯრ-ები აწარმოებდნენ ოდნავ თვალსაჩინო პჯრ-ზოლებს ნუკლეოსპინითა (a, ხაზები 1-9; b, ხაზები. 1-18) და ზეთის ნაკრებით (c, ხაზები 1-9, d, ხაზები 1-18) ექსტრაგირებული ყველა ზეთისთვის (რაფინირებული, ექსტრა ვირჯინი, ცივი დაწურვის და ნედლი). heli188f/heli188r პრაიმერებით ორმაგი პჯრ-ები წარმოქმნიდნენ კარგად ხილულ 188 bp ამპლიკონებს ნუკლეოსპინითა და ზეთის ნაკრებებით მიღებული დნმ-ებისთვის (სურათი 24b,d, ხაზები 10-18). თუმცა heli162f/heli162r პრაიმერების გამოყენებით ჩასმული პჯრ-ები წარმოქმნიდნენ ძალიან ინტენსიურ პჯრ-ზოლებს ორივე ექსტრაქციის ნაკრებისთვის

(სურათი 24b,d, ხაზები 1–9). აქედან გამომდინარე, მიღებული შედეგები გამოვლინდა ჩასმული პჯრ, როგორც საუკეთესო მიდგომა ზეთში მზესუმზირის დეტექციისათვის. შემდგომში ჩასმული პჯრ შესრულდა იმ დნმ-ების გამოყენებით, რომლებიც მიღებული იყო ქიაგენის სურსათის ნაკრებით. პჯრ-ზოლების ინტენსივობა მგრძნობიარეა აგაროზის გელზე ელექტროფორეზის განსხვავებების მიმართ. ამიტომ ნუკლეოსპინის, ზეთის ნაკრებისა და ქიაგენის სურსათის ნაკრების გამოყენებით მიღებული დნმ-ების პჯრ-პროდუქტები გაშვებული იქნა ერთი და იგივე აგაროზის გელზე (სურათი 24e,f) ამ სამი ექსტრაქციის მეთოდის შესადარებლად. სუსტი პჯრ-ზოლები დაფიქსირდა უნიპლექსური პჯრ-ების შემდეგ თითოეული შემოწმებული ზეთისთვის, რომელიც ექსტრაგირებულია ყველა მეთოდით (სურათი 24e, ხაზები 1–12). თუმცა, ძლიერი პჯრ-ზოლები, რომლებიც მიღებულია ჩასმული პჯრ-ით ზეთის ყველა ნიმუშში, მიუთითებს ექსტრაქციის ყველა მეთოდის ერთნაირ ეფექტურობაზე (სურათი 24f, ხაზები 1–12). გარდა ამისა, მზესუმზირის თესლის დნმ წარმოქმნის განსაკუთრებულად ძლიერ ამპლიკონებს არა მხოლოდ ჩასმული პჯრ-ით, არამედ უნიპლექსური და ორმაგი პჯრ-ით, რაც ადასტურებს ამ პჯრ-სისტემების საკმარის ეფექტურობას (სურათი 24a, c, ხაზი 8; b, d, ხაზები 8, 17; e, g, ხაზი 13).



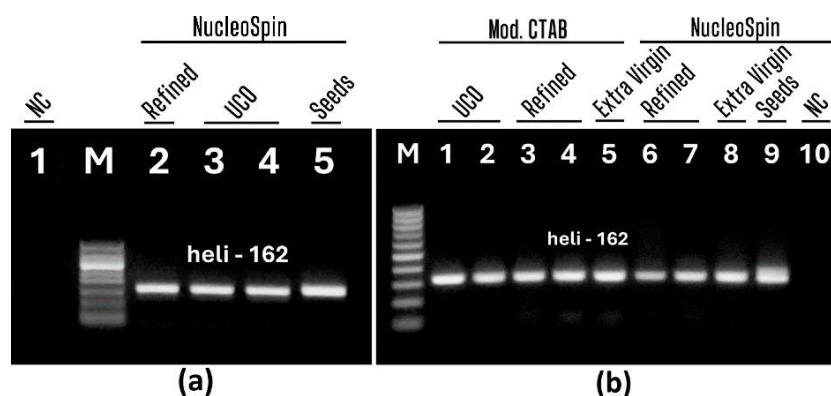
სურათი 24. სხვადასხვა ზეთების დნმ-ების პირველადი (a) და ჩასმული (b) პჯრ-ები პრაიმერებით heli188f/heli188r (a) და heli162f/ heli162r (b). ნიმუშები: მზესუმზირის ზეთი (a, b, ხაზი 1-3), სოიოს ზეთი (a, b, ხაზი 4) და სიმინდის ზეთი (a, b, ხაზი 5), მზესუმზირის თესლი (a, b, ხაზი 6); წყალი -NC- უარყოფითი კონტროლი (a, b, ხაზი 7, b). მოლეკულური წონის მარკერი: Qiagen GelPilot 50 bp ladder) (a, b).

დეტექციის მეთოდის სპეციფიკურობის შესამოწმებლად, სოიოს და სიმინდის ზეთები შემოწმდა ჩასმული პჯრ-ით (სურათი 25). პირველადმა პჯრ-მა არ წარმოქმნა პროდუქტები მზესუმზირის, სოიოს და სიმინდის ზეთის ნიმუშებისთვის (სურათი

6a, ხაზები 1-5), ხოლო მოსალოდნელი 188 bp ამპლიკონი გამოჩნდა მზესუმზირის თესლის დნმ-ის ნიმუშში (სურათი 25a, ხაზი 6). თუმცა, ჩასმულმა პჯრ-მა წარმოქმნა მოსალოდნელი 162 bp ამპლიკონები მზესუმზირის ზეთისა და თესლის ნიმუშებში (სურათი 6b, ხაზები 1-3, 6), ხოლო სოიოსა და სიმინდის ზეთის ნიმუშებში პროდუქტი არ გამოჩნდა (სურათი 6b, ხაზები 4-5). ამრიგად, შედეგებმა აჩვენა შემუშავებული ჩასმული პჯრ-ის მაღალი სპეციფიკურობა ზეთში მზესუმზირის იდენტიფიკაციისას. გასათვალისწინებელია, რომ არცერთ პჯრ-ექსპერიმენტში წყლის უარყოფით კონტროლში არ წარმოიქმნა პჯრ-პროდუქტი, რაც მიუთითებს ექსპერიმენტების დიდ სისუფთავესა და სპეციფიკურობაზე.

3.8. მზესუმზირის დეტექცია მოხმარებული საკვებ ზეთში

შემუშავებული ჩასმული პჯრ გამოყენებულ იქნა მზესუმზირის მიკვლევისათვის მოხმარებულ საკვებ ზეთში (UCO). მე-7 სურათი გვიჩვენებს ჩასმული პჯრ-ით მიღებული პროდუქტების აგაროზის გელზე ელექტროფორეზს. გაანალიზდა როგორც ნუკლეოსპინით, ასევე მოდიფიცირებული CTAB-ით მიღებული ზეთის ექსტრაქტები. რაფინირებული და ექსტრა ვირჯინი ზეთები შემოწმდა UCO-სთან ერთად მეთოდის მგრძნობელობის შესადარებლად ამ ზეთებისთვის. მზესუმზირის თესლის დნმ ტესტირება ჩატარდა პჯრ-ექსპერიმენტების ეფექტურობის შესამოწმებლად.



სურათი 25. მზესუმზირის ზეთიდან და UCO-დან ნუკლეოსპინის ნაკრებით (a, ხაზები 2-5, b, ხაზები 6-8) და მოდიფიცირებული CTAB-ით (b, ხაზები 1-5) მიღებული დნმ-ების მეორე პჯრ-ები პრაიმერებით heli162f/heli162r. სინჯები: რაფინირებული ზეთი (a, ხაზები 2, b. 3-4, 6-7 ხაზები); ექსტრა ვირჯინი ზეთი (b, ხაზები 5, 8); UCO (a, ხაზები 3-4, b, ხაზები 1-2); თესლი (a, ხაზი 5, b, ხაზი 9), წყალი - NC- უარყოფითი

კონტროლი (a, ხაზი 1, b, ხაზი 10). მოლეკულური წონის მარკერი: Qiagen GelPilot 50 bp ladder) (a, b).

ერთადერთი 162 bp ზომის ამპლიკონები წარმოიქმნა ჩასმული პჯრ-ით ზეთის ყველა ნიმუშებისთვის, მათ შორის UCO (a, 3-4, b, ხაზები 1-2), რაფინირებული (a, ხაზები 2; b, ხაზები 3-4, 6- 7) და ექსტრა ვირჯინი (b, ხაზები 5, 8) ზეთები, რომლებიც ექსტრაგირებული იყო ნუკლეოსპინის (a, ხაზები 2-5; b, ხაზები 6-8) და შეცვლილი CTAB-ის (b, ზოლები 1-5) მეთოდებით. ამპლიკონებს ჰქონდათ მსგავსი და მაღალი ინტენსივობა (სურათი 7, ა. ხაზები 2-4, b, ხაზები 1-8) ზეთის ყველა ნიმუშში, რაც მიუთითებს ჩასმული პჯრ-მეთოდის ვარგისიანობაზე UCO-ში მზესუმზირის შესამოწმებლად. როგორც მოსალოდნელი იყო, ყველაზე მაღალი ინტენსივობის პჯრ-პროდუქტი მიღებული იქნა თესლის ნიმუშში. ამპლიფიცირებული პროდუქტის არარსებობა წყლის უარყოფით კონტროლში (a, ხაზი 1; b, ხაზი 10) მიუთითებს ექსპერიმენტების სისუფთავეზე.

ზეთებში მზესუმზირის დეტექცია მნიშვნელოვანია როგორც საკვების, ასევე ბიოდიზელის წარმოებისთვის. ამ კვლევაში პჯრ-ზე დაფუძნებული ტექნოლოგია შეირჩა, როგორც ფართოდ გამოყენებული მიდგომა პროცესირებული სურსათის ინგრედიენტების ეფექტურად და ზუსტად გამოვლენისათვის.

წინამდებარე კვლევაში ჩატარდა პჯრ-დეტექციის კრიტიკული ფაქტორების ყოვლისმომცველი გამოკვლევა და ოპტიმიზაცია, რათა მიგვეღო მზესუმზირის ძალიან მგრძნობიარე იდენტიფიკაცია ძლიერად დამუშავებულ ზეთებში. შესწავლილი იქნა შემდეგი ფაქტორები: ზეთის ტიპი და რაოდენობა, დამუშავების ფორმები, დნმ-ის ექსტრაქციის მეთოდი, სამიზნე გენის ასლების რაოდენობა, პჯრ-პრაიმერები, ამპლიკონის ზომა და პჯრ-ის მიდგომა.

ამ ნაშრომში გამოკვლეული იქნა მზესუმზირის ზეთის ოთხი სახეობა: ნედლი, ცივი დაწურვის, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული, აგრეთვე მოხმარებული საკვები ზეთი (UCO), რათა დადგენილიყო ზეთის ტიპის, მახასიათებლებისა და დამუშავების ფორმების გავლენა პჯრ-ით დეტექციაზე. ნედლი, ცივი დაწურვის და ექსტრა ვირჯინი ზეთები იწარმოებოდა მექანიკური ან ქიმიური დამუშავებით. თუმცა, რაფინირებულმა ზეთმა გაიარა მაღალ ტემპერატურაზე დამუშავება. UCO მიღებულ იქნა მოხმარებული რაფინირებული ზეთებისგან, რომლებმაც განიცადეს

დამატებითი თერმული დამუშავება საკვების დამზადებისას. გარდა ამისა, UCO-მ გაიარა მექანიკური ფილტრაცია ბიოდიზელის კომპანიაში.

ცივი-დაწურვისა და რაფინირებული ზეთების პჯრ-ის შედეგებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავებები აიხსნება ზეთების რაფინირებისას გამოყენებული ძლიერი პროცესირებით (He et al., 2013; Costa et al., 2010; 33. Debode et al., 2012). დადგენილია მნიშვნელოვანი განსხვავება ცივი დაწურვისა და ექსტრა ვირჯინის ზეთების პჯრ-ის შედეგებს შორის. კერძოდ, ექსტრა-ვირჯინისა და რაფინირებული ზეთების დნმ-ებმა აჩვენეს მსგავსი პჯრ-ეფექტურობა, მაგრამ ის გაცილებით დაბალი იყო, ვიდრე ცივი დაწურვის ზეთის დნმ-ების ეფექტურობა. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ, მიუხედავად ექსტრა ვირჯინი ზეთის არათერმული დამუშავებისა, მან გაიარა დამატებითი გაწმენდა და დამუშავება ინდუსტრიულ წარმოებაში, რადგან ის განკუთვნილი იყო ტრანსპორტირებისთვის და გრძელვადიანი შენახვისთვის. ხოლო ცივი დაწურვის ზეთები შედარებით ნაკლებად იყო დამუშავებული მცირე ადგილობრივ საწარმოებში. ამრიგად, ზეთის დნმ-ის პჯრ- ეფექტურობა დამოკიდებულია როგორც ზეთის ტიპზე, ასევე წარმოებაში გამოყენებული დამუშავების ფორმაზე. ამიტომ, ისინი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც კრიტიკულ ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ზეთის პჯრ-დეტექციაზე.

ნიმუშის სწორად აღება და დნმ-ის ექსტრაქცია ითვლება დაბრკოლებად ზეთის პჯრ-ანალიზისთვის (Su et al., 2019; Costa et al., 2010; Cheng et al., 2018). ზეთის შესაბამისი მოცულობის შერჩევა მნიშვნელოვანი ფაქტორია სათანადო სინჯის მისაღებად. ამ ნაშრომში გამოკვლეული იქნა ოთხი ტიპის (ნედლი, ცივი დაწურვა, ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული) მზესუმზირის ზეთის სხვადასხვა მოცულობა (500 მკლ-დან 300 მლ-მდე) წარმატებული პჯრ-ამპლიფიკაციისათვის სწორი მოცულობის შესარჩევად. წინასწარ კონცენტრირებული ზეთების უნიპლექსური პჯრ-პროდუქტების ელექტროფორეზულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ზეთების ყველა დნმ-ის ამპლიფიციურობის მიუხედავად, ეფექტურობა უნიპლექსირი პჯრ-ით მზესუმზირის დეტექციის ეფექტურობა განსხვავებული იყო ზეთის ექსტრაქტებში დნმ-ის განსხვავებული რაოდენობის გამო. კერძოდ, ნედლი ზეთის ნიმუში შეიცავდა უფრო მეტ გენომურ

ამპლიფიცირებადი გენომური დნმ-ის საკმარისი რაოდენობა გადამწყვეტი წინაპირობაა წარმატებული პჯრ-დეტექციისათვის. ზეთის წარმოებაში მკაცრი

დამუშავება გავლენას ახდენს დნმ-ის მთლიანობაზე და იწვევს დნმ-ის ფრაგმენტების ძლიერ დეგრადაციას (Kumar et al., 2011; Su et al., 2019; He et al., 2013; Costa et al., 2010; Debode et al., 2012). ზეთებში დნმ-ის მცირე რაოდენობის გამო, წინასწარი კონცენტრირების (Costa et al., 2010) ან დნმ-ის გამდიდრების (Duan et al., 2021; Cheng et al., 2018; Bojang et al., 2021) პროცედურები ხშირად გამოიყენებოდა დიდი მოცულობის (10 მლ – 500 მლ) ზეთის სინჯებიდან დნმ-ის ექსტრაქციისათვის. აქედან გამომდინარე, ხელმისაწვდომი ექსტრაქციის მეთოდები ხშირად ძალიან შრომატევადი, ხანგრძლივი და ძვირია და შესაძლოა ვერ წარმოქმნას ამპლიფიცირებადი დნმ. წინამდებარე ნაშრომში წარმატებით იქნა გამოყენებული წინასწარი კონცენტრირების ორი პროტოკოლი.

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ წინასწარი კონცენტრირების პროტოკოლი 2 არის ძალიან მარტივი, სწრაფი და იაფი პროცედურა, რომელიც შემუშავებულია ამ კვლევაში. მას აქვს ის უპირატესობა, რომ ხდება ცენტრიფუგირება მინი ცენტრიფუგის 2მლ-იან სინჯარაში 20 წუთის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე და მოსახერხებელია შედარებით მცირე და საშუალო მოცულობის (1 მლ – 48 მლ) სინჯების კონცენტრირებისთვის. ხოლო წინასწარი კონცენტრირება 1 (Costa et al., 2010) საჭიროებს დიდი ზომის მაცივრიან ცენტრიფუგას უფრო დიდი სინჯარებით (≥ 25 მლ) და უფრო შესაფერისია დიდი მოცულობის ნიმუშების კონცენტრირებისთვის.

დნმ-ის ექსტრაქციის სამი ნაკრებითა და ორი CTAB-პროტოკოლით მიღებული გენომური დნმ-ების განსხვავებული ამპლიფიკაციის საფუძველზე ამ კვლევამ დაადგინა, რომ დნმ-ის ექსტრაქციის მეთოდი კრიტიკული ფაქტორია ზეთის პჯრ-დეტექციისთვის. კომერციული ნაკრებების არსებობის მიუხედავად, CTAB-ზე დაფუძნებული მეთოდების სხვადასხვა მოდიფიკაცია კვლავ ფართოდ გამოიყენება დნმ-ის ექსტრაქციისათვის მცენარეული საკვებიდან, მათ შორის ზეთებიდან (He et al., 2013; Scollo et al., 2016; Vahdani et al., 2024; Duan et al., 2021; Cheng et al., 2018; Bojang et al., 2021; Raieta et al., 2015). ეს გამოწვეულია CTAB მეთოდების დამატებითი ოპტიმიზაციის შესაძლებლობით და შედარებით დაბალი ღირებულებით დნმ-ის გამოყოფის ძვირადღირებულ მზა ნაკრებებთან შედარებით. მზესუმზირა შეიცავს პოლიფენოლების, პოლისაქარიდების და ტანინების მაღალ კონცენტრაციას, რომლებიც ხელს უშლის ამპლიფიცირებადი დნმ-ის გამოყოფას და განიხილება

როგორც პჯრ-ის ინჰიბიტორები. წინა სამუშაოებში აღწერილი იყო ოპტიმიზებული პროცედურები ქიაგენის QIAamp მინი ნაკრების (QIAamp DNA Stool Mini Kit) (Kumar et al., 2011) და მოდიფიცირებული CTAB-ის (He et al., 2013) გამოყენებით დნმ-ის ექსტრაქციისათვის 15 მლ და 30 მლ მზესუმზირის ზეთიდან ნიმუშის წინასწარი დამუშავების გარეშე.

მზესუმზირის თესლიდან და ნედლი ზეთიდან დნმ-ის ექსტრაქციისთვის შემოწმდა ორი CTAB პროტოკოლი (სტანდარტული და ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული). ზეთიდან გამოყოფილი დნმ-ის რაოდენობის გასაზრდელად შემუშავდა მოდიფიცირებული CTAB-პროტოკოლი, რომელსაც არ აკლდა სტანდარტული CTAB მეთოდის საბოლოო გამწმენდი ეტაპები. შედეგებმა აჩვენა, რომ თესლიდან ამპლიფიცირებადი დნმ მიიღება მხოლოდ სტანდარტული CTAB მეთოდით, ხოლო ზეთიდან ამპლიფიცირებადი დნმ მიიღება მხოლოდ შეცვლილი პროტოკოლით. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ სტანდარტული CTAB მეთოდით ძლიერი გაწმენდა მნიშვნელოვანია თესლის დნმ-ისთვის, რადგან მისი ექსტრაქტი მდიდარია პჯრ-ის ინჰიბიტორებით.

ზეთის ნიმუშებისთვის მთავარი გამოწვევაა დნმ-ის მცირე რაოდენობა, ამიტომ მათთვის უფრო ხელსაყრელია მოკლე შეცვლილი პროტოკოლი, რომელიც ხელს უწყობს მეტი დნმ-ის გამოყოფას. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ჩვენი შეცვლილი CTAB პროტოკოლი უზრუნველყოფს ზეთის დნმ-ის სწრაფ, იაფ და მარტივ ექსტრაქციას და ხელს უწყობს ზეთის პჯრ-დეტექციას. რამდენადაც ჩვენ ვიცით, სურათი 2a წარმოადგენს ზეთის დნმ-ის ხილული ზოლის უნიკალურ სურათს, რომელიც მანამდე არ ყოფილა მიღებული.

ამ კვლევისთვის შეირჩა დნმ-ის ექსტრაქციის ორი ნაკრები, კერძოდ, ნუკლეოსპინის და ქიაგენის სურსათის, რადგან ისინი ადრე წარმატებით გამოიყენებოდა სხვა ზეთებისთვის, როგორიცაა სოიოს, რაფსის, ზაიზის და არაქისის ზეთები (Su et al., 2019; Costa et al., 2010; Horne et al., 2004). გარდა ამისა, ზეითუნის ზეთის ნაკრები შეირჩა მისი ზეთების მიმართ სპეციფიკურობიდან გამომდინარე. დნმ-ის ექსტრაქციის კომერციული ნაკრებების გამოკვლევამ გამოავლინა, რომ ნუკლეოსპინის, ქიაგენის სურსათის და ზეითუნი ზეთის ნაკრებები შესაფერისია მზესუმზირის ზეთისთვის, ხოლო ქიაგენის მცენარის ნაკრები ვარგისია

მზესუმზირის თესლისთვის. ეს ნაკრებები პირველად იქნა გამოყენებული მზესუმზირის ზეთზე. ჩვენი შედეგები შეესაბამება წინა აღმოჩენებს, რომ ტრადიციული CTAB-მეთოდი ეფექტურია პოლიფენოლების მოცილებაში, მაგრამ ის უვარგისია ზეთიდან დნმ-ის გამოყოფისთვის. გარდა ამისა, დადასტურდა ადრინდელი შედეგები ნუკლეოსპინისა და ქიაგენის სურსათის ნაკრებების ეფექტურობის შესახებ ზეთებიდან ამპლიფიცირებადი დნმ-ის მიღებაში (Su et al., 2019; Costa et al., 2010; Green et al., 2019).

ამ კვლევაში პირველადაა წარმოდგენილი მზესუმზირის ზეთების სპექტროფოტომეტრული მონაცემები. მიღებული შედეგები ემთხვევა ადრე გამოქვეყნებულ მონაცემებს დნმ-ის გამოსავლიანობისა და სისუფთავის დამოკიდებულების შესახებ ზეთის დნმ-ის ექსტრაქციის მეთოდზე (Su et al., 2019; Costa et al., 2010; Cheng et al., 2018; Bojang et al., 2021). A260/A230 თანაფარდობის დაბალი მაჩვენებლები 0,18-დან 0,62-მდე (Su et al., 2019) და მიუთითებს ზეთის დნმ-ის ექსტრაქტებში დარჩენილ ორგანულ ნაერთებზე, როგორიცაა პოლისაქარიდები, ფენოლები და მსგავსი ნაერთები.

პჯრ-ის მიდგომა და სამიზნე დნმ-ის ასლების რაოდენობა დიდწილად განსაზღვრავს პჯრ-ანალიზის მგრძნობელობას. ამ კვლევაში შერჩეულ იქნა ცასმული პჯრ როგორც დნმ-ის გამოვლენის უაღრესად მგრძნობიარე მეთოდი. ჩასმული და ორმაგი პჯრ საშუალებას იძლევა გაიზარდოს პჯრ-ის მგრძნობელობა პირველადი პჯრ-პროდუქტის პირდაპირი ხელახალი ამპლიფიკაციით მეორე პჯრ-ით (Green et al., 2019). ეს ტექნიკა ითვლება პერსპექტიულ საშუალებად გადამუშავებული საკვების ანალიზისთვის. მისმა გამოყენებამ ზეითუნის ვირჯინი ზეთის (And et al., 2005), ასევე ტრანსგენური სოიოს, სიმინდის და კანოლას ზეთების გამოკვლევაში (Vahdani et al., 2024) შესაძლებელი გახადა ზეთის ნიმუშის მოცულობის შემცირება 200 μ L და 2 მლ-მდე შესაბამისად.

ამ კვლევაში, ზეთის დნმ-ების ამპლიფიციურობის შემოწმებისათვის გამოყენებული იქნა ეუკარიოტის-სპეციფიკური ორი პჯრ-სისტემა, რომლებითაც მიიღება 18S რნმ-ის გენის 140 bp (Zhang et al., 2015) და 167 bp ფრაგმენტები (Duan et al., 2021). ამ პჯრ-სისტემებით მიღებულ იქნა ამპლიფიცირებული პროდუქტები უნიპლექსური პჯრ-ით, 700 μ L ზეთიდან გამოყოფილი დნმ-ებისთვისაც. ჩვენმა

შედეგებმა დაადასტურა წინა შედეგები 18S-140f/18S-140r და 18S-167f/18S-167r პრაიმერების (Zhang et al., 2015) წარმატებით გამოყენების შესახებ გადამუშავებული საკვებისა და ზეთების დნმ-ების ამპლიფიკაციაში (Zhang et al., 2015; Duan et al., 2021). ამ კვლევამ გამოავლინა სამიზნე გენის ასლების რაოდენობა, როგორც კრიტიკული ფაქტორი ზეთის პჯრ-დეტექციისათვის. რაც ეფუძნება მრავალასლიანი 18S რნმ-ის გენისა და ცოტა ასლების მქონე ჰელიანთინინის გენის პჯრ-შედეგების შედარებას.

ჩვეულებრივ, სახეობის დნმ-ის საიმედო იდენტიფიკაციისა და რაოდენობრივი შეფასებისათვის პჯრ-ში გამოიყენება სახეობის სპეციფიკური ცილის გენები, როგორც მცირე რაოდენობის ასლების მქონე სამიზნეები. ამ კვლევაში, ჰელიანთინინის გენი არჩეულ იქნა, როგორც სამიზნე გენი მზესუმზირის გამოვლენის პჯრ-სისტემების შესაქმნელად, ვინაიდან არსებობდა მონაცემები ჰელიანთინინების ცილების მზესუმზირის სახეობების სპეციფიკურობის შესახებ (Yonder Haar et al., 1988). უფრო მეტიც, ჰერნანდესმა და სხვებმა შეიმუშავეს პჯრ-მეთოდი, რომლითაც ამპლიფიცირდა ჰელიანთინინის გენის 60 bp თანმიმდევრობა (Hernández et al., 2005). შემდეგ ეს მეთოდი გამოყენებულ იქნა მზესუმზირის იდენტიფიცირებისთვის საკვებ ზეთებში (He et al., 2013). წინამდებარე ნაშრომში შემუშავდა სამი უნიპლექსური პჯრ-სისტემა მზესუმზირის გამოსავლენად ახლად შექმნილი პრაიმერების გამოყენებით. უფრო მეტიც, პრაიმერების ორი წყვილი, რომლებიც აწარმოებდნენ 188 bp და 162 bp ამპლიკონებს, წარმატებით იქნა გამოყენებული ჩასმულ და ორმაგ PCR სისტემებში.

პრაიმერების რამდენიმე წყვილის, ასევე უნიპლექსური, ორმაგი და ჩასმული პჯრ-ების გამოკვლევის საფუძველზე პჯრ-პრაიმერები და მიდგომები იდენტიფიცირდა, როგორც მნიშვნელოვანი ფაქტორები ზეთის პჯრ-ანალიზში. როგორც ორმაგი, ასევე ჩასმული პჯრ-ების გამოყენებამ მკვეთრად შეცვალა ზეთებში მზესუმზირის გამოვლენის მგრძნობელობა. უნიპლექსური პჯრ-ებით შესაძლებელი გახდა მზესუმზირის გამოვლენა მხოლოდ 12 მლ ნედლი და 48 მლ ცივი დაწურვის ზეთების კონცენტრირებულ სინჯებში, მაგრამ ამ მეთოდებით ვერ მოხდა ექსტრა ვირჯინი და რაფინირებული ზეთების ანალიზი. თუმცა, ორმაგმა და ჩასმულმა პჯრ-ებმა შესაძლებელი გახდა მზესუმზირის მიკვლევა ყველა შესწავლილი 700 მკლ ზეთში, რომლებიც ექსტრაგირებული იყო ნუკლეოსპინის, ზეითუნის ზეთის და ქიაგენის სურსათის ნაკრებებით ან მოდიფიცირებული CTAB მეთოდით.

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ჩასმულ პჯრ-ს ჰქონდა უფრო მაღალი მგრძნობელობა, ვიდრე ორმაგ პჯრ-ს. სიმინდის და სოიოს თესლებისა და ზეთების დნმ-ში, ისევე როგორც წყლის უარყოფით კონტროლში ამპლიფიცირებული პროდუქტების პროდუქტების არარსებობამ აჩვენა პჯერ-ანალიზების ძლიერი სპეციფიკურობა და სისუფთავე. ამგვარად, ჩასმული პჯრ-მეთოდის გამოყენებამ განაპირობა მზესუმზირის ეფექტური და საიმედო დეტექცია საკვებ და მოხმარებულ საკვებ ზეთებში. 700 მკლ რაფინირებულ და მოხმარებულ საკვებ ზეთებში მზესუმზირის გამოვლენის შესაძლებლობამ გააუმჯობესა წინა მეთოდების მგრძნობელობა, რომლებითაც მზესუმზირა დეტექტირდა 15 მლ და 30 მლ საკვებ ზეთში (Kumar et al., 2011; He et al., 2013).

აღსანიშნავია, რომ მოდიფიცირებული CTAB-ის გამოყენება ჩასმულ პჯრ-თან ერთად უზრუნველყოფს მზესუმზირის იაფ, სწრაფ და ეფექტურ მიკვლევას ზეთებში. ზეთის ავთენტიფიკაციის არსებულ მეთოდებთან შედარებით, ამ კვლევაში შემუშავებული მეთოდის მთავარი უპირატესობაა უფრო მაღალი მგრძნობელობა, ზეთის სინჯების ნაკლები რაოდენობა და დნმ-ის ექსტრაქციის მარტივი მეთოდი. გარდა ამისა, ამ ნაშრომში პირველად აღწერილი მოხმარებულ საკვებ ზეთში (UCO) მზესუმზირის გამოვლენის დიაგნოსტიკური ტექნოლოგია, რომელიც შეიძლება სასარგებლო იყოს როგორც საკვების, ასევე ბიოდიზელის წარმოებისთვის.

3.9. ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა.

ჩვენი კვლევები, როგორც თეორიული ისე პრაქტიკული, გამოყენებითი ხასიათისა არის კერძოდ, ჩვენს მიერ ბიოდიზელის საწვავის ანალიზის მიზანი იყო დიზელის ძრავის მქონე სატრანსპორტო საშუალებების და ენერგეტიკული დანიშნულების დანადგარებისთვის გაუმჯობესებული ეკოლოგიური და ეკონომიური მახასიათებლების მქონე ენერგომატარებლების სფეროს გაფართოება ბიოდიზელის წარმოების ოპტიმალური ბიოტექნოლოგიების შემუშავების მეშვეობით.

ჩვენი პროექტის ფარგლებში პირველად, რეალურად განხორციელდა საქართველოში ბიოდიზელის მიღება და დამზადდა ბიოდიზელის ბლენდები, რაც

უზრუნველყოფს გამონაბოლქვი აირების და შესაბამისად „სათბური ეფექტის“ შემცირებას და გაზრდის გარემოსთვის საწვავების ეკოლოგიური უსაფრთხოების დონეს.

ჩვენი ამოცანა იყო პრაქტიკულად დაგვემტკიცებინა ჩვემს მიერ მიღებული ბიოდიზელის მაღლი ხარისხი და მისი თავისუფლად გამოყენების შესაძლებლობა შიგა წვის ძრავებში. საკვლევ საბაზო ობიექტად შერჩეული იყო დიზელის საწვავი „სოკარის“ გასამართი სადგურიდან და ევროდიზელი. ჩვენს მიერ დამზადდა ბიოდიზელის B100 და მისი ბლენდების B6, B10 და B20 საკვლევი ნიმუშები.

ჩატარდა ჩვენს მიერ მიღებული ბიოდიზელის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების კვლევა. EN590 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად. განისაზღვრა საბაზო დიზელი საწვავის (B0), ბიოდიზელის B100, და მათი ნარევების B5, B10, B20 ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები არსებული EN 590, ASTM D 6751 და EN14214 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად.

განისაზღვრა საცდელი ნიმუშების B0, B5, B10 და B20 ბიოდიზელის ჯგუფური შედგენილობა PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2 ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე ფართო დიაპაზონში ($450\text{--}4000\text{ სმ}^{-1}$) და დადგენილია საცდელი ნიმუშების სტრუქტურულ-ჯგუფური შემცველობა. ერმანეთთან შედარებულია ბიოსაწვავების (B5, B10 და B20) ნიმუშების სპექტრები საბაზო ნავთობდიზელის B0-ის ნიმუშის ინფრაწითელ სპექტრთან.

ჩვენი გამოკვლევებით დადგენილია, რომ საცდელი ნიმუშების ჯგუფური შედგენილობა იდენტურია და რომ ჩვენი ტექნოლოგიით მიღებული ბიოდიზელი და მისი ბლენდების გამოყენება თვისუფლად შეიძლება ნებისმიერ სფეროში სადაც ნავთობდიზელი გამოიყენება, მათ შორის შგა წვის ძრავებში, ტრანსპორტის სექტორში.

საცდელ ნიმუშებში B0, B5, B10 და B20 ინდივიდუალური ნახშირწყალბადების განისაზღვრისთვის კვლევები ჩატარდა „Kristallux-4000M“ გაზურ ქრომატოგრაფზე NetChromv2, პროგრამული უზრუნველყოფით. კვლევა განხორციელდა ASTM D7096-05 სტანდარტით. იდენტიფიცირებული და შესწავლილია საკვლევ ობიექტებში შემავალი ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები; ერთმანეთთან შედარებულია საცდელი ნიმუშების B0, B5, B10 და B20

ქრომატოგრამები. დადგენილია, რომ საცდელ ნიმუშებში შემავალი ნახშირწყალბადები ერთნაირია.

მიღებულმა შედეგებმა ცხადყო, რომ ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდით დამზადებული ბიოდიზელი და ნანობიოდიზელი ოთხი წლის განმავლობაში ინარჩუნებს მის მაღალ ხარისხს და ყველა ფიზიკურ და ქიმიურ პარამეტრებს არსებული სტანდარტების ფარგლებში.

მიღებული კვლევების საფუძველზე შემუშავებული იქნა ბიოდიზელის წარმოების ოპტიმალური ტექნოლოგია და რეკომენდაციები. ეს ტექნოლოგიები საფუძვლად დაედო საქართველოში და სამხრეთ კავკასიაში პირველ ბიოდიზელის ქარხანას, რომელიც დღეს სრულად ფუნქციონირებს.

ამგვარად ჩვენს მიერ დამუშავებულმა ტექნოლოგიებმა შესაძლებელი გახდა საქართველოს ისტორიაში პირველად ალტერნატიული, განახლებადი და ეკომეგობრული საწვავის წარმოების დაწყება, რასაც ბევრი ბენეფიტი მოაქვს ქვეყნის ეკონომიკისა და ეკოლოგიისათვის.

დასკვნები

1. დამუშავებულია და პრაქტიკულად განხორციელებულია ბიოდიზელის მიღების ადაპტირებული ტექნოლოგია, მაღალხარისხოვანი ბიოდიზელის მისაღებად; პირველად იქნა მიღებული B100-ის ბაზაზე დამზადებული ბიოდიზელის სპეციალური ნანოკომპოზიცია - ნანო-ბიოდიზელი, რომელმაც მნიშვნელოვნად გაზარდა ბიოდიზელის საწვავის გრძელვადიანი შენახვა და ხარისხის სტაბილურობა.
2. დადგენილია, რომ ჩვენს მიერ ეთერიფიკაციის ტექნოლოგიით მიღებული ბიოდიზელი ნავთობდიზელთან შედარებით ხასიათდება უფრო მაღალი ცეტანის რიცხვით და საუკეთესო ტექნოლოგიური მახასიათებლებით.
3. პირველად იქნა შესწავლილი ბიოდიზელის და მათი ბლენდების შენახვის ხანგრძლივობა. დადგენილია, რომ საცდელი ბიოდიზელის B100, ნანო-ბიოდიზელის, B20-ის შენახვის ვადა ოთხი წელია, რაც დამტკიცებულია ფიზიკურ-ქიმიური კვლევებით და სპექტრალური ანალიზით.
4. ბიოდიზელის წარმოების კვლევების საფუძველზე 2018 წლის ივლისში პირველად საქართველოში და სამხრეთ კავკასიაში გაიხსნა ბიოდიზელის საწარმო.
5. დადგინდა, რომ ჩვენს მიერ რეკომენდებული ტექნოლოგიით კომერციულად წარმოებული ბიოდიზელის B100-ის და მისი ნარევები B6, B10 და B20 ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები სრულად აკმაყოფილებს EN 14214, ASTM D 6751 და EN 590 სტანდარტების მოთხოვნებს.
6. შემუშავდა მაღალი მგრძნობიარე, მარტივი და სწრაფი ტექნოლოგია მზესუმზირის ზუსტი დეტექციისათვის ბიოდიზელის წარმოების ნედლეულში, დამუშავდა პჯრ ტექნოლოგიით ზეთოვანი კულტურების დეტექციის მეთოდი.
7. შემუშავებული იქნა საქართველოში ბიორესურსებიდან ბიოდიზელის წარმოების ოპტიმალური ბიოტექნოლოგია, რითაც ჩაეყარა საფუძველი ამ მნიშვნელოვანი პროდუქტის მასშტაბურ წარმოებას საქართველოში.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Abbas O, Baeten V. Advances in the Identification of Adulterated Vegetable Oils. In: Advances in Food Authenticity Testing. Elsevier; 2016:519-542. doi:10.1016/B978-0-08-100220-9.00019-9
2. An J. Anaphylaxis to Sunflower Seed with Tolerance to Sunflower Oil: A Case Report. Medicina. 2021;57(7):661. doi:10.3390/medicina57070661
3. And RT, Lain O. DNA Extraction from Olive Oil and PCR Amplification of Microsatellite Markers. Journal of Food Science. 2005;70(1):C108-C112. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09011.x
4. ASTM D 3227-92. Standard Test Method for Mercaptan Sulfur in Gasoline, Kerosine, Aviation Turbine, and Distillate Fuels (Potentiometric Method), <https://asmedigitalcollection.asme.org/astm-ebooks/book/612/chapter-abstract/27755981/Standard-Test-Method-for-Mercaptan-Sulfur-in?redirectedFrom=PDF> (access 11.2024)
5. Axelsson IGK, Ihre E, Zetterström O. Anaphylactic reactions to sunflower seed. Allergy. 1994;49(7):517-520. doi:10.1111/j.1398-9995.1994.tb01122.x
6. Austrian Biofuel Institute, Review of Commercial Production of Biodiesel Worldwide, A report prepared by the Austrian Biofuel Institute Commissioned by the International Energy Agency, Vienna (2003) 1-75
7. Ayoola AA, Fayomi OSI, Adegbite OA, Raji O. Biodiesel Fuel Production Processes: A Short Review. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2021;1107(1):012151. doi:10.1088/1757-899X/1107/1/012151
8. Ayoola AA, Fayomi OSI, Adegbite OA, Raji O. Biodiesel Fuel Production Processes: A Short Review. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2021;1107(1):012151. doi:10.1088/1757-899X/1107/1/012151
9. Biernat K. Biofuels in Storage and Operating Conditions. In: Biernat K, ed. Storage Stability of Fuels. InTech; 2015. doi:10.5772/59802
10. Bojang KP, Kuna A, Pushpavalli SNCVL, Sarkar S, Sreedhar M. Evaluation of DNA extraction methods for molecular traceability in cold pressed, solvent extracted and refined

- groundnut oils. *J Food Sci Technol*. 2021;58(9):3561-3567. doi:10.1007/s13197-021-05079-4
11. BP Energy outlook, 2023 Edition, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>. [Accessed 07. 2024]
12. Brahma S, Nath B, Basumatary B, et al. Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards industrial biofuel production. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022;10:100284. doi:10.1016/j.cej.2022.100284
13. Buntebarth, G. Chelidze, T., Melikadze G., Hydrodynamic and microtemperature monitoring in seismic areas, *Georgian Engineering News*, # 3, 12-132, 2004.
14. Cao F, Chen Y, Zhai F, et al. Biodiesel production from high acid value waste frying oil catalyzed by superacid heteropolyacid. *Biotech & Bioengineering*. 2008;101(1):93-100. doi:10.1002/bit.21879
15. Cao H, Xue B, Jiang Y, Han X, Shi H, Cao W. Application of triacylglycerol polymer determination in the quality evaluation of vegetable oil. *LWT - Food Science and Technology*. 2017;82:243-247. doi:10.1016/j.lwt.2017.04.037
16. Cheng X, Yang T, Wang Y, et al. New method for effective identification of adulterated Camellia oil basing on Camellia oleifera-specific DNA. *Arabian Journal of Chemistry*. 2018;11(6):815-826. doi:10.1016/j.arabjc.2017.12.025
17. Costa J, Mafra I, Amaral JS, Oliveira MBPP. Detection of genetically modified soybean DNA in refined vegetable oils. *Eur Food Res Technol*. 2010;230(6):915-923. doi:10.1007/s00217-010-1238-2
18. Costa J, Mafra I, Oliveira MBPP. Advances in vegetable oil authentication by DNA-based markers. *Trends in Food Science & Technology*. 2012;26(1):43-55. doi:10.1016/j.tifs.2012.01.009
19. Datukishvili N, Gabriadze I, Kutateladze T, Karseladze M, Vishnepolsky B. Comparative evaluation of DNA extraction methods for food crops. *Int J of Food Sci Tech*. 2010;45(6):1316-1320. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02261.x
20. De Souza LM, De Santana FB, Gontijo LC, Mazivila SJ, Borges Neto W. Quantification of adulterations in extra virgin flaxseed oil using MIR and PLS. *Food Chemistry*. 2015;182:35-40. doi:10.1016/j.foodchem.2015.02.081

21. Debye F, Janssen E, Marien A, Berben G. DNA Detection by Conventional and Real-Time PCR After Extraction from Vegetable Oils. *J Americ Oil Chem Soc.* 2012;89(7):1249-1257. doi:10.1007/s11746-012-2007-0
22. Determination of sulfur content of automotive fuels — Ultraviolet fluorescence method, <https://www.iso.org/standard/74314.html> (Access 11.24)
23. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products. <https://www.astm.org/d0097-17b.html> (Access 10.2024)
24. Doveri S, Lee D. Development of Sensitive Crop-Specific Polymerase Chain Reaction Assays Using 5S DNA: Applications in Food Traceability. *J Agric Food Chem.* 2007;55(12):4640-4644. doi:10.1021/jf063259v
25. Duan Y, Pi Y, Li C, Jiang K. An optimized procedure for detection of genetically modified DNA in refined vegetable oils. *Food Sci Biotechnol.* 2021;30(1):129-135. doi:10.1007/s10068-020-00852-1
26. Dulawat MS, Makavana JM, Kelaiya SV, Gojiya MJ, Gadhiya GA, Chauhan PM. Study on Biodiesel Production and Characterization for Used Cooking Oil. *IRJPAC.* Published online December 31, 2020:76-86. doi:10.9734/irjpac/2020/v21i2430337
27. Fang Z, ed. *Biofuels: Economy, Environment and Sustainability.* IntechOpen; 2013.
28. Ferella F, Mazziotti Di Celso G, De Michelis I, Stanisci V, Vegliò F. Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. *Fuel.* 2010;89(1):36-42. doi:10.1016/j.fuel.2009.01.025
29. Ferella F, Mazziotti Di Celso G, De Michelis I, Stanisci V, Vegliò F. Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. *Fuel.* 2010;89(1):36-42. doi:10.1016/j.fuel.2009.01.025
30. Freedman B, Butterfield RO, Pryde EH. Transesterification kinetics of soybean oil 1. *J Americ Oil Chem Soc.* 1986;63(10):1375-1380. doi:10.1007/BF02679606
31. Green MR, Sambrook J. Nested Polymerase Chain Reaction (PCR). *Cold Spring Harb Protoc.* 2019;2019(2):pdb.prot095182. doi:10.1101/pdb.prot095182
32. <https://www.geostat.ge/ka/modules/categories/81/energetika> (access 11.2024)
33. <https://weg.ge/en/studies> (access2024)
34. <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/4737753?publication=1>

35. He J, Xu W, Shang Y, et al. Development and optimization of an efficient method to detect the authenticity of edible oils. *Food Control*. 2013;31(1):71-79. doi:10.1016/j.foodcont.2012.07.001
36. Hernández M, Esteve T, Pla M. Real-Time Polymerase Chain Reaction Based Assays for Quantitative Detection of Barley, Rice, Sunflower, and Wheat. *J Agric Food Chem*. 2005;53(18):7003-7009. doi:10.1021/jf050797j
37. Horne EC, Kumpatla SP, Patterson KA, Gupta M, Thompson SA. Improved high-throughput sunflower and cotton genomic DNA extraction and PCR fidelity. *Plant Mol Biol Rep*. 2004;22(1):83-84. doi:10.1007/BF02773352
38. Hossain F. Sustainable Development for Mass Urbanization. 1st ed. Elsevier; 2019.
39. <https://agronews.ge/tsqhalmtsenareebi-qhvelaze-energoepheqtiani-biosatsvavi/>
40. Ilia State University, Tbilisi, Georgia, Khetsuriani N, Karchkhadze K, et al. PRODUCTION OF BIODIESEL USING SUPERCRITICAL FLUIDS TECHNOLOGY. *Chemical Problems*. 2017;15(1):21-25. doi:10.32737/2221-8688-2017-1-21-25
41. James G Speight. The Biofuels Handbook, 2011, 574p., ISSN 978-1-78262-628-2, <https://doi.org/10.1039/9781849731027>;
42. Jin H, Tu L, Wang Y, et al. Rapid detection of waste cooking oil using low-field nuclear magnetic resonance. *Food Control*. 2023;145:109448. doi:10.1016/j.foodcont.2022.109448
43. Kalendar R, Lee D, Schulman AH. Java web tools for PCR, in silico PCR, and oligonucleotide assembly and analysis. *Genomics*. 2011;98(2):137-144. doi:10.1016/j.ygeno.2011.04.009
44. Karchkhadze K, Khetsuriani N. Specifications, Analyses and Quality Improvement of Biodiesel Produced on Industrial Scale in Georgia. International Scientific Conference “Science, Technology and Development of Innovative Technologies” 2021, Dedicated to the 30 th Anniversary of independence of Turkmenistan, Books Abstracts pp. 91-92.
45. Karchkhadze K, Khetsuriani N. Long-term storage and quality stability of biodiesel fuels. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2024;19:1198-1203. doi:10.1093/ijlct/ctae058
46. Kaya MD, Ergin N, Harmancı P, Kulan EG. Seed priming as a method of preservation and restoration of sunflower seeds. *OCL*. 2024;31:4. doi:10.1051/ocl/2024003

47. Ketlogetswe C, Gandure J. Blending Cooking Oil Biodiesel with Petroleum Diesel: A Comparative Performance Test on a Variable IC Engine. *SGRE*. 2011;02(02):165-168. doi:10.4236/sgre.2011.22019
48. Khan N, Warith MA, Luk G. A Comparison of Acute Toxicity of Biodiesel, Biodiesel Blends, and Diesel on Aquatic Organisms. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2007;57(3):286-296. doi:10.1080/10473289.2007.10465333
49. Khetsuriani N., K.Karchkhadze K., Tsitsishvili V., Goderdishvili K. (2017) Production of Biodiesel using Supercritical Fluids Production. *Journal Chemical Problems, Baky, Azerbaijan*, #1, p.21-25. ISSN 2221 – 8688. DOI: 10.32737/2221-8688-2017-1-21-25
50. Khetsuriani N., Usharauli E., Goderdzishvili K., Topuria E., Karchkhadze K. Alternative Renewable Sources of Energy. *Proceedings of the Georgian Academy of Sciences, Chemical Series*. 2016, vol 42, no.1, p.73-79.
51. Koc, M., Sekmen, Y., Topgül, T., & Yücesu, H.S., (2009). The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable Energy*. 34, 2101-2106.
52. Knothe G, Van Gerpen J, eds. *The Biodiesel Handbook*. 0 ed. AOCS Publishing; 2010. doi:10.1201/9781003040262
53. Kumar S, Kahlon T, Chaudhary S. A rapid screening for adulterants in olive oil using DNA barcodes. *Food Chemistry*. 2011;127(3):1335-1341. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.094
54. Kutateladze T, Karchkhadze K, Bitskinashvili K, et al. Novel PCR-Based Technology for the Detection of Sunflower in Edible and Used Cooking Oils. *Foods*. 2024;13(23):3760. doi:10.3390/foods13233760
55. Lima, D G., Soers E.B., Ribiero D.A., Carvalho D.A., Cardoso C. V., Rassi F, S., Mundim K.C., Rubim J.C., Suarez P.A. Diesel-like Fuel obtained by pyrolysis of Vegetable Oils, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*71 (2) 2004 987 – 996.
56. Li Y. Evaluation of five DNA extraction methods for commercial vegetable oils. *Oil Crop Science*. 2018;3:122-136. doi:doi:10.3969/j.issn.2096-2428.2018.02.006
57. Li Z, Xiang F, Huang X, et al. Properties and Characterization of Sunflower Seeds from Different Varieties of Edible and Oil Sunflower Seeds. *Foods*. 2024;13(8):1188. doi:10.3390/foods13081188

58. Linacero R, Cuadrado C. New Research in Food Allergen Detection. *Foods*. 2022;11(10):1520. doi:10.3390/foods11101520
59. López-Calleja IM, De La Cruz S, González I, García T, Martín R. Duplex real-time PCR using TaqMan® for the detection of sunflower (*Helianthus annuus*) and poppy (*Papaver rhoeas*) in commercial food products. *LWT*. 2016;65:999-1007. doi:10.1016/j.lwt.2015.09.026
60. Mannucci PM, Joliet O, Meijaard E, et al. Sustainable nutrition and the case of vegetable oils to match present and future dietary needs. *Front Public Health*. 2023;11:1106083. doi:10.3389/fpubh.2023.1106083
61. Mittelbach Martin, Remschmidt Claudia, Biodiesel – The Comprehensive Handbook, 2010 ISBN 3-2000-00249-2
62. Moosmann Lorenz , Urrutia Cristina , Siemons Anne , Cames Martin , Schneider Lambert . Issues at stake in view of the COP25 UN Climate Change Conference in Madrid. PE 642.344 - November 2019. 76p. PE 642.344 IP/A/ENVI/2019-03 Print ISBN 978-92-846-5928-9 | doi:10.2861/ 046072 | QA- 02-19-863-EN-C <https://www.europarl.europa.eu>
63. Natela Khetsuriani, Madlena Chkhaidze, Georgi AbramiShvili, Jumbler Iosebidge. PRODUCTION AND STUDY OF BIO GAZOLINES. RS Global - World Science. 2022;(4(76)). doi:10.31435/rsglobal_ws/30062022/7820
64. Ogunkunle O, Ahmed NA. A review of global current scenario of biodiesel adoption and combustion in vehicular diesel engines. *Energy Reports*. 2019;5:1560-1579. doi:10.1016/j.egyr.2019.10.028
65. Okolie CL, Aryee ANA, Udenigwe CC. Detection and deactivation of allergens in food. In: *Proteins in Food Processing*. Elsevier; 2018:367-387. doi:10.1016/B978-0-08-100722-8.00015-2
66. Pan P, Xing Y, Zhang D, et al. A review on the identification of transgenic oilseeds and oils. *Journal of Food Science*. 2023;88(8):3189-3203. doi:10.1111/1750-3841.16705
67. Pahl G., Biodiesel, Growing a New Economy, White River Junction, Vermont, USA, 2005; 281p. ISBN 978-1-933392-96-7.
68. Pilorgé E. Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*. 2020;27:34. doi:10.1051/ocl/2020028
69. Raieta K, Muccillo L, Colantuoni V. A novel reliable method of DNA extraction from

- olive oil suitable for molecular traceability. *Food Chemistry*. 2015;172:596-602. doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.101
70. Sakthivel R, Ramesh K, Purnachandran R, Mohamed Shameer P. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:2970-2992. doi:10.1016/j.rser.2017.10.037
71. Sakthivel R, Ramesh K, Purnachandran R, Mohamed Shameer P. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:2970-2992. doi:10.1016/j.rser.2017.10.037
72. Schenk JJ, Becklund LE, Carey SJ, Fabre PP. What is the “modified” CTAB protocol? Characterizing modifications to the CTAB DNA extraction protocol. *Appl Plant Sci*. 2023;11(3):e11517. doi:10.1002/aps3.11517
73. Scollo F, Egea LA, Gentile A, La Malfa S, Dorado G, Hernandez P. Absolute quantification of olive oil DNA by droplet digital-PCR (ddPCR): Comparison of isolation and amplification methodologies. *Food Chemistry*. 2016;213:388-394. doi:10.1016/j.foodchem.2016.06.086
74. Shayan P, Nemati G, Kamkar A, Eckert B, Akhondzadeh Basti A, Ashrafi Tamail I. Analysis of DNA isolated from different oil sources: problems and solution. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*. 2017;(Online First). doi:10.22059/ijvm.2017.232870.1004810
75. Šmejkalová D, Piccolo A. High-power gradient diffusion NMR spectroscopy for the rapid assessment of extra-virgin olive oil adulteration. *Food Chemistry*. 2010;118(1):153-158. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.088
76. Speight JG, ed. *The Biofuels Handbook*. The Royal Society of Chemistry; 2011. doi:10.1039/9781849731027
77. Srivastava, A. Prasad, R. Triglycerides Based Diesel Fuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4 (2000) 111-133
78. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration, <https://www.astm.org/d0664-18e02.html> (Access 12.2024)
79. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products, <https://www.astm.org/d0482-19.html>, (Access 10.2024)

80. Standard Test Method for Cetane Number Of Diesel Fuel Oil,
<https://www.astm.org/standards/d613> (Access 11.2024)
81. Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products,
<https://www.astm.org/d0130-19.html> (Access 09.2024)
82. Standard Test Method for Determination of the Boiling Range Distribution of Gasoline by Wide –Bore Capillary Gas Chromatography, <https://www.astm.org/d7096-19.html> (Access 10.2024)
83. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter, <https://www.astm.org/d4052-22.html> (Access 11.2024)
84. Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products,
<https://www.astm.org/standards/d86> (Access 11. 2024)
85. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity, <https://www.astm.org/standards/d445> (Access 11.2024)
86. Standard Test Method for Flash Point by Continuously Closed Cup (CCCFP) Tester,
<https://www.astm.org/standards/d6450> (Access 12.2024)
87. Streimikiene D, Simionescu M, Bilan Y. The impact of biodiesel consumption by transport on economic growth in the European Union. EE. 2019;30(1):50-58. doi:10.5755/j01.ee.30.1.21831
88. Streimikiene D, Simionescu M, Bilan Y. The impact of biodiesel consumption by transport on economic growth in the European Union. EE. 2019;30(1):50-58. doi:10.5755/j01.ee.30.1.21831
89. Su T, Wei P, Wu L, et al. Development of nucleic acid isolation by non-silica-based nanoparticles and real-time PCR kit for edible vegetable oil traceability. Food Chemistry. 2019;300:125205. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125205
90. Sudhakar A, Chakraborty SK, Mahanti NK, Varghese C. Advanced techniques in edible oil authentication: A systematic review and critical analysis. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023;63(7):873-901. doi:10.1080/10408398.2021.1956424
91. Sumara A, Stachniuk A, Olech M, Nowak R, Montowska M, Fornal E. Identification of sunflower, rapeseed, flaxseed and sesame seed oil metabolomic markers as a potential tool for oil authentication and detecting adulterations. Sarker U, ed. PLoS ONE.

2023;18(4):e0284599. doi:10.1371/journal.pone.0284599

92. Sun X, Zhang L, Li P, et al. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;63(1):430-436. doi:10.1016/j.lwt.2015.02.023

93. Sun X, Zhang L, Li P, et al. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;63(1):430-436. doi:10.1016/j.lwt.2015.02.023

94. Tan CH, Kong I, Irfan U, Solihin MI, Pui LP. Edible Oils Adulteration: A Review on Regulatory Compliance and Its Detection Technologies. *J Oleo Sci*. 2021;70(10):1343-1356. doi:10.5650/jos.ess21109

95. Tan SL, Meriam Suhaimy SH, Abd Samad NA. Evaluation of fresh palm oil adulteration with recycled cooking oil using GC-MS and ATR-FTIR spectroscopy: A review. *Czech J Food Sci*. 2022;40(1):1-14. doi:10.17221/116/2021-CJFS

96. Test Method for Water in Crude Oil by Coulometric Karl Fischer Titration, <https://www.astm.org/d4928-12r18.html> (Access 11.2024)

97. Trakya University, Kaya Y. Sunflower Production in Blacksea Region: The Situation and Problems. *IJIAAR*. 2020;4(1):147-155. doi:10.29329/ijiaar.2020.238.15

98. Ukleja-Sokołowska N, Gawrońska-Ukleja E, Żbikowska-Gotz M, Bartuzi Z, Sokołowski Ł. Sunflower seed allergy. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2016;29(3):498-503. doi:10.1177/0394632016651648

99. Vahdani M, Sahari MA, Tanavar M. Quantitative and qualitative analysis of three DNA extraction methods from soybean, maize, and canola oils and investigation of the presence of genetically modified organisms (GMOs). *Food Chemistry: Molecular Sciences*. 2024;8:100201. doi:10.1016/j.fochms.2024.100201

100. Vicente G, Martínez M, Aracil J. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*. 2004;92(3):297-305. doi:10.1016/j.biortech.2003.08.014

101. Vietina M, Agrimonti C, Marmioli N. Detection of plant oil DNA using high resolution melting (HRM) post PCR analysis: A tool for disclosure of olive oil adulteration. *Food Chemistry*. 2013;141(4):3820-3826. doi:10.1016/j.foodchem.2013.06.075

102. Warabi Y, Kusdiana D, Saka S. Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols. *Bioresource Technology*. 2004;91(3):283-287. doi:10.1016/S0960-8524(03)00202-5
103. Wei W, Sun C, Jiang W, et al. Triacylglycerols fingerprint of edible vegetable oils by ultra-performance liquid chromatography-Q-ToF-MS. *LWT*. 2019;112:108261. doi:10.1016/j.lwt.2019.108261
104. Wright HJ, Segur JB, Clark HV, Coburn SK, Langdon EE, DuPuis RN. A report on ester interchange. *Oil Soap*. 1944;21(5):145-148. doi:10.1007/BF02549470
105. Wu X, Zhao Z, Tian R, Niu Y, Gao S, Liu H. Total synchronous fluorescence spectroscopy coupled with deep learning to rapidly identify the authenticity of sesame oil. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2021;244:118841. doi:10.1016/j.saa.2020.118841
106. Wyman C. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. 1st ed. (Wyman CE, ed.). Routledge; 2018. doi:10.1201/9780203752456
107. Yagami A. Anaphylaxis to lipid transfer protein from sunflower seeds. *Allergy*. 2010;65(10):1340-1341. doi:10.1111/j.1398-9995.2010.02337.x
108. Ye J, Coulouris G, Zaretskaya I, Cutcutache I, Rozen S, Madden TL. Primer-BLAST: A tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. *BMC Bioinformatics*. 2012;13(1):134. doi:10.1186/1471-2105-13-134
109. Yonder Haar RA, Allen RD, Cohen EA, Nessler CL, Thomas TL. Organization of the sunflower 11S storage protein gene family. *Gene*. 1988;74(2):433-443. doi:10.1016/0378-1119(88)90176-X
110. Yuan CS, Lin HY, Lee WJ, Lin YC, Wu TS, Chen KF. A New Alternative Fuel for Reduction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Particulate Matter Emissions from Diesel Engines. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2007;57(4):465-471. doi:10.3155/1047-3289.57.4.465
111. Yuan CS, Lin HY, Lee WJ, Lin YC, Wu TS, Chen KF. A New Alternative Fuel for Reduction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Particulate Matter Emissions from Diesel Engines. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2007;57(4):465-471. doi:10.3155/1047-3289.57.4.465

112. Zhang H, Wu Y, Li Y, et al. PCR-CE-SSCP used to authenticate edible oils. *Food Control*. 2012;27(2):322-329. doi:10.1016/j.foodcont.2012.03.027
113. Zhang WJ, Cai Q, Guan X, Chen Q. Detection of peanut (*Arachis hypogaea*) allergen by Real-time PCR method with internal amplification control. *Food Chemistry*. 2015;174:547-552. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.091
114. Zhang W, Zhao Y, Xu Q, Chen Q. Development of a triplex real-time PCR for simultaneous detection of allergenic ingredients in processed food. *Czech J Food Sci*. 2018;36(1):22-27. doi:10.17221/28/2017-CJFS
115. Zhao H, Wang Y, Xu X, et al. Detection of Adulterated Vegetable Oils Containing Waste Cooking Oils Based on the Contents and Ratios of Cholesterol, β -Sitosterol, and Campesterol by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 2015;98(6):1645-1654. doi:10.5740/jaoacint.15-053

დანართები



ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტს

შპს „ბიოდიზელი გორგია“-ს, ს/ნ 405431028

[იურიდიული მის.: საქართველო, თბილისი, საბურთალოს რაიონი,
სულხან ცინცაძის ქუჩა, N 26/დავით წერეთლის ქუჩა, N 1,
ბლოკი VIII, სართული 2, კომერციული ფართი N8-2;]

დირექტორის მურმან პატარაიას

მადლობის წერილი

ჩვენი კომპანია, „ბიოდიზელი გორგია“ დიდ მადლობას უხდის ილიას უნივერსიტეტის პროფესორს, ბნ. კახა ქარჩხაძეს მის მიერ საქართველოში ალტერნატიული, განახლებადი საწვავის - ბიოდიზელის - დანერგვისა და განვითარების სფეროში შეტანილი უდიდესი წვლილისათვის.

პროფესორი ქარჩხაძე იყო პირველი, ვინც საქართველოში დანერგა ინოვაციური ტექნოლოგია და პირველად საქართველოს ისტორიაში შექმნა ალტერნატიული საწვავი.

მის მიერ ილიას უნივერსიტეტში დამუშავებული პროექტი შემდგომში წარმატებით განვითარდა, განხორციელდა მისი კომერციალიზაცია და აშენდა საქართველოში და მთელს სამხრეთ კავკასიაში პირველი ბიოდიზელის ქარხანა.

ბნ. ქარჩხაძე ყველა ეტაპზე ჩართული იყო პროექტის განვითარებაში და საქართველოში პირველი ბიოდიზელის ქარხნის მშენებლობაში. მისი უშუალო მეთვალყურეობით და სამეცნიერო ხელმძღვანელობით ამუშავდა ქარხანა და დაიწყო ბიოდიზელის წარმოება.

შემდგომშიც, პროექტის განვითარების ყველა ეტაპზე, პროფესორი ქარჩხაძე მუდმივად ზრუნავდა წარმოების ტექნოლოგიების განვითარებასა და დახვეწაზე, რათა ჩვენი პროდუქცია საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი ყოფილიყო.

მისი დიდი დამსახურებაა, რომ ჩვენმა კომპანიამ მოიპოვა ISCC სერთიფიკატი, რაც საშუალებას გვაძლევს ოპერირება განვახორციელოთ როგორც საქართველოს, ისე ევროპის მასშტაბით.

ჩვენი კომპანია იმედოვნებს, რომ პროფესორ კახა ქარჩხაძის და „ბიოდიზელი გორგიას“ თანამშრომლობა კვლავ წარმატებით გაგრძელდება, რაც დარწმუნებული ვართ, მრავალ ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ ბენეფიტს მოუტანს ჩვენს ქვეყანას.

პატივისცემით,

მურმან პატარაია

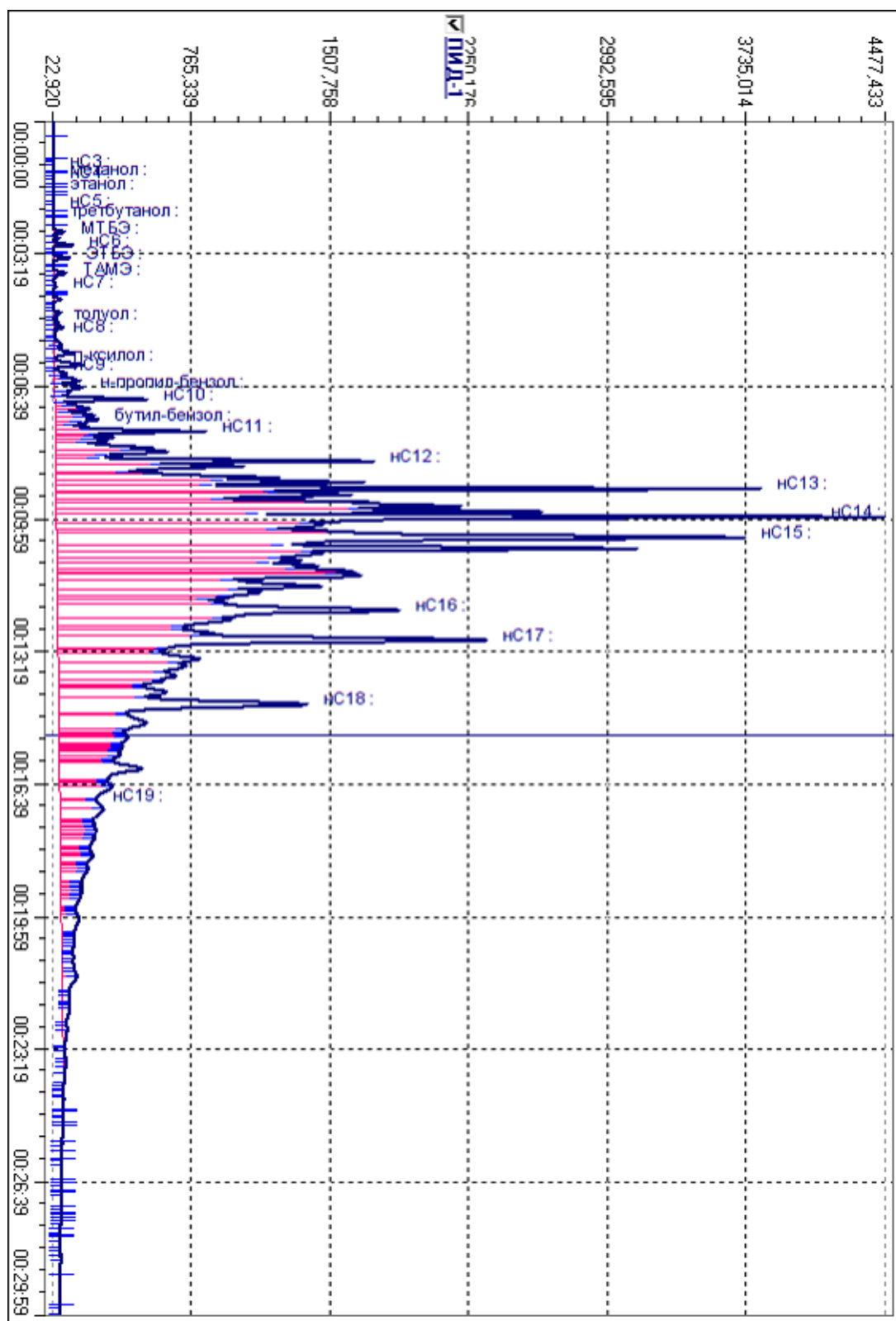
შპს „ბიოდიზელი გორგია“-ს დირექტორი



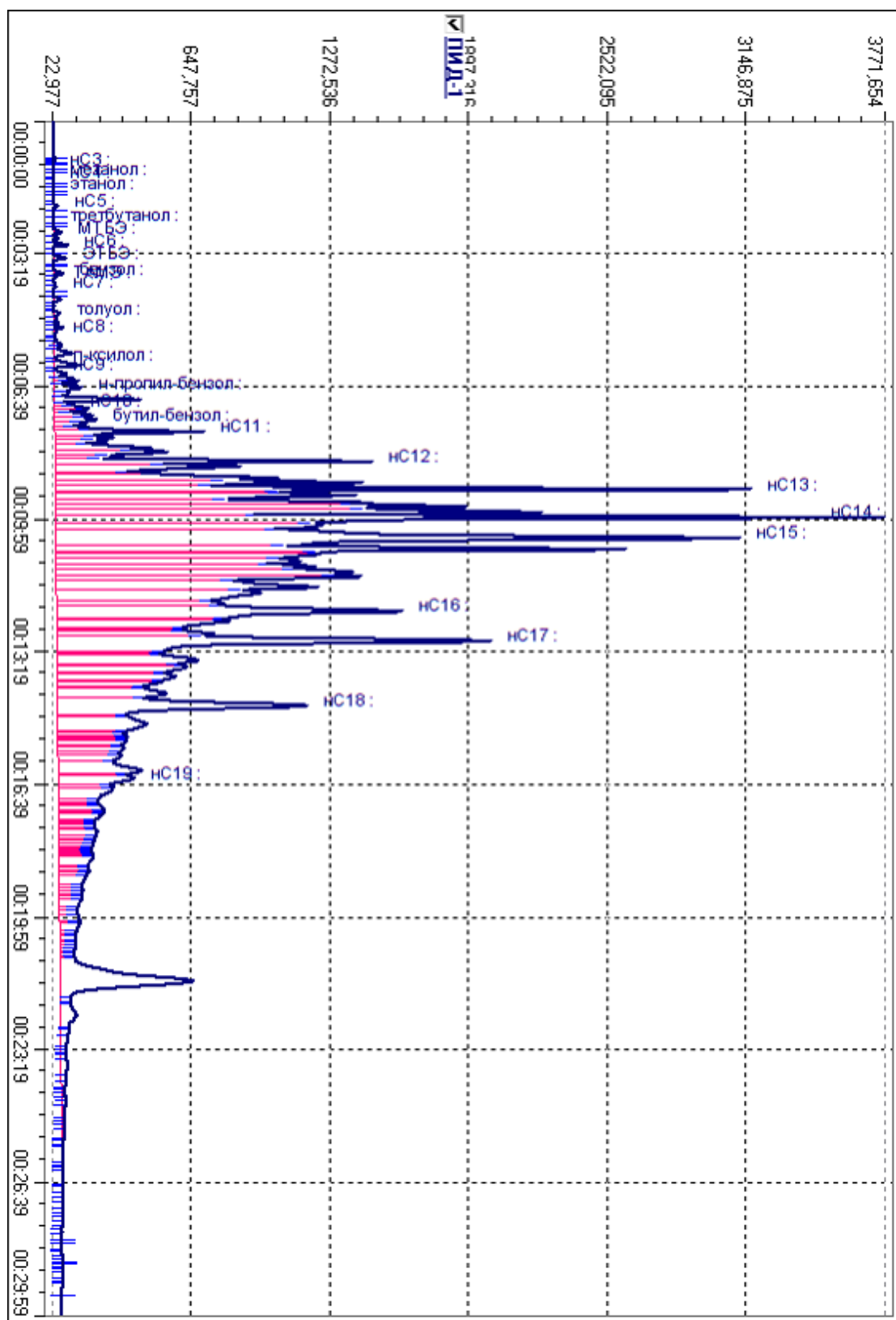
☎ (+995) 32 2 19 60 99

✉ info@biodiesel.ge

📍 Sulkhan Tsintsadze St. N26, 0160 Tbilisi Georgia



ბიოდიზელის B5 ბლენდის ქრომატოგრამა



დიზელის საწვავის ქრომატოგრამა