

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნინო ლაგვილავა

Brij-30-ის უწყლო შებრუნებული მიცელების მიკროგარემოს შესწავლა
ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით

საბაკალავრო ნაშრომი

ხელმძღვანელები: მარინა რუხაძე, პროფესორი,

ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი,

მანონი კურტანიძე, დოქტორანტი

თბილისი

2013

ანოტაცია

შესწავლილია ტეტრაეთილენგლიკოლ მონოდოდეცილის ეთერის უწყლო შებრუნებული მიცელების მიკროგარემო ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით. ოპტიკურ სინჯად შეირჩა ორთო-ნიტროანილინი. შებრუნებული მიცელები მოდიფიცირდებოდა ჰექსანში უხსნადი ორგანული გამხსნელებით. მიკროემულსიები მზადდებოდა ტეტრაეთილენგლიკოლ მონოდოდეცილის ეთერის გარკვეული რაოდენობის გახსნით ჰექსანში, შემდეგ ემატებოდა მცირე რაოდენობით დიმეთილფორმამიდი, აცეტონიტრილი და ყინულოვანი ძმარმჟავა. აღმოჩნდა, რომ ორთო-ნიტროანილინის Brij-30-ის პოლარულ თავებთან შეკავშირება ყველაზე მეტად სუსტდება წყლის ნაცვლად დიმეთილფორმამიდის თანაობისას მიცელის გულში.

Nino Lagvilava

Study of the microenvironment of nonaqueous Brij-30 reverse micelles by ultraviolet-visible spectroscopy method

Annotation

The microenvironment of nonaqueous polyoxyethylene (4) lauryl ether (Brij 30) reverse micelles was studied by ultraviolet-visible spectroscopy method. As optical probe o-nitroaniline was selected. The reverse micelles were modified by organic solvents, insoluble in hexane. The microemulsions were prepared by dissolving of appropriate amount of polyoxyethylene (4) lauryl ether in hexane, then small amounts of dimethylformamide, acetonitrile and glacial acetic acid were added. It was found, that binding of o-nitroaniline to the polar head groups is weaker in the presence of dimethylformamide in the core of reverse micelles as compared with water.

1. შესავალი -----	4
2. ლიტერატურის მიმოხილვა -----	5
2.1. ზეთი/წყალში და წყალი/ზეთში მიკროემულსიები -----	5
2.2. წყლის სტრუქტურა და მისი თვისებები -----	6
2.3. შებრუნებული მიცელების სტრუქტურა -----	8
2.4. უწყლო შებრუნებული მიცელები. მოდიფიცირება ჰექსანში უხსნადი ორგანული გამხსნელებით -----	13
3. ექსპერიმენტული ნაწილი -----	16
3.1. გამოყენებული რეაქტივები -----	16
3.2. მიკროემულსიების მომზადება, აპარატურა -----	16
3.3. მოლეკულური სინჯის შებრუნებულ მიცელასთან შეკავშირების მუდმივების განსაზღვრა -----	17
3.4. Brij-30-ის არაწყლიანი შებრუნებული მიცელების მიკროგარემოს შესწავლა ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით -----	17
4. დასკვნები -----	30
5. გამოყენებული ლიტერატურა -----	31

1. შესავალი

ზოგიერთი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება აგრეგირდება ორგანული გამხსნელების არეში ანუ უწყლო არეში და წარმოქმნის შებრუნებულ მიცელებს. ასეთი სისტემები ბოლო წლებში ინტენსიური კვლევის საგანს წარმოადგენს. შებრუნებული მიცელებისადმი ინტერესი დიდია მათი უნარის გამო, გახსნან ანუ ჩაითრიონ წყალი გულში. ეს იძლევა უნიკალურ შესაძლებლობას გამოკვლეულ იქნას წყლის აგრეგატების თვისებები უშუალოდ პოლარულ თავებთან ფაზათაშორისი ზედაპირის გარეშე. ყველა ეს პარამეტრი უშუალო კავშირშია სოლუბილიზირებული ნივთიერების სპექტრულ ცვლილებებთან, როგორც ულტრაიისფერ, ასევე ხილულ უბანში. შებრუნებული მიცელები და წყალი-ზეთში მიკროემულსიები ბოლო ორი ათეული წელია მნიშვნელოვანი ინტერესის საგანი გახდა მათი უნარის გამო ხელი შეუწყოს ჰიდროფილური კომპონენტების სოლუბილიზაციას ორგანულ გამხსნელებში. შებრუნებული მიცელები შეიძლება წარმოიქმნან წყლის ნაცვლად სხვა პოლარული გამხსნელების გამოყენებით. ასეთ გამხსნელებს დიელექტრიკული მუდმივას მაღალი მნიშვნელობა და ნახშირწყალბადურ გამხსნელებში ძლიერ დაბალი ხსნადობა აქვთ. ასეთ სისტემებში, გახსნილი ნივთიერება შესაძლებელია მოთავსებული იყოს სხვადასხვა მიკროგარემოში, სახელდობრ გარემომცველ ორგანულ გამხსნელში, წყლის აუზში ან მიცელურ გამყოფ ზედაპირზე. აგრეგატი მოლეკულური სინჯების მდებარეობის ცოდნამ შეიძლება მოგვცეს ინფორმაცია მათი დასახლების ადგილზე ბიოლოგიურ სისტემებში. ასეთი ტიპის შებრუნებული მიკროემულსიები წარმოადგენენ ძალიან მნიშვნელოვან მიკრორეაქტორებს სხვადასხვა რეაქციებისთვის, მაგ. დილს-ალდერის რეაქციები და ა.შ.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა Brij-30-ის უწყლო, ორგანულ გამხსნელებიანი შებრუნებული მიცელების მიკროგარემო ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით ოპტიკური სინჯის გამოყენებით.

2. ლიტერატურის მიმოხილვა

2.1. ზეთი/წყალში და წყალი/ზეთში მიკროემულსიები

მიკროემულსიები ემულსიებია წვეთების დიამეტრით 0.01-0.1 მკმ. ამის გამო მცირე სიმდვრივე ახასიათებთ. მიკროემულსიის წარმოქმნა დაკავშირებულია ზეთი-წყალში ემულსიის ისეთ მდგომარეობასთან, როცა ფაზათაშორის დაჭიმულობა უახლოვდება ნულს (ან დროებითად უარყოფითი კი არის). ემულსიის წვეთების ზომას განსაზღვრავს წყლის მოლური კონცენტრაციის ფარდობა ზან-ის მოლურ კონცენტრაციასთან (W). $W=[H_2O]/[ზან-ი]$. მხოლოდ იონური ზან-ებით და მითუმეტეს მხოლოდ არაიონური ზან-ებით ეს არ არის შესაძლებელი, რადგან $\sigma_{\text{ფ}}$ საკმაო სიდიდისაა მწკვ-ზე ანუ ხსნადობის ზღვარის მიღწევისას. $\sigma_{\text{ფ}}$ -ის შესამცირებლად სისტემაში თანა-ზანის თანაობა ხდება აუცილებელი. მაგალითად, ზ/წ მიკროემულსიები შეიძლება მიღებულ იქნას კალიუმის ოლეატის და პენტანოლის მამულგირებელი ნარევიტ. ზოგადად, თანა-ზან უფრო მცირე რაოდენობითაა საჭირო ზ/წ ემულსიებისათვის, ვიდრე წ/ზ მიკროემულსიებისათვის, ელექტროლიტები ხელს უწყობენ წ/ზ მიკროემულსიების წარმოქმნას.

მამულგირებელი რეაგენტის წილი მიკროემულსიაში უნდა იყოს მნიშვნელოვნად უფრო მაღალი, ვიდრე ჩვეულებრივ ემულსიაში, რათა გაიზარდოს ზეთი-წყალი ფაზათაშორისი ზედაპირი ტიპური მიკროემულსიური სისტემა უნდა იყოს 10-70% ზეთი, 10-70% წყალი და 5-40% მამულგირებელი რეაგენტი.

მიკროემულსიები ზედაპირული დაჭიმულობის დაახლოებით ნულოვანი მნიშვნელობით ($\sigma_{\text{ფ}}=0$), წარმოიქმნება სპონტანურად და არის თერმოდინამიკურად მდგრადი. მიკროემულსიების წვეთები ფაქტიურად მონოდისპერსიულია. მიკროემულსია შეიძლება წარმოიქმნას როგორც ცალკე ფაზა, რომელიც წონასწორობაშია ზეთის (ზ/წ) ან წყლის (წ/ზ) სიჭარბესთან. ეს ნიშნავს, რომ მიკროემულსია გაჯერებულია წვეთების ფაზის მიმართ. მიკროემულსიები ძირითადად მცირე სიზღანტისაა. მიკროემულსიები წარმოადგენს გარდამავალ (საშუალოდ) მდგომარეობას მიცელებს და ჩვეულებრივ ემულსიებს შორის. სადაოა, მიკროემულსია უნდა განხილულ იქნას როგორც გაბერილი (გაზრდილი მოცულობაში) მიცელები თუ მცირე ზომის წვეთებიანი ემულსია. წვეთების ზომა, თუმცა მცირე მაინც იძლევა საშუალებას რომ ისინი ემულსიების (0.1-10მკმ) კლასიფიკაციაში იქნან განხილული. მეორეს მხრივ მიკროემულსიების თერმოდინამიკური მდგრადობა ჩვეულებრივი ემულსიების მახასიათებელს არ წარმოადგენს[5].

2.2. წყლის სტრუქტურა და მისი თვისებები

წყალი – ქიმიური ნაერთია, რომელსაც შეიცავს ორგანიზმი ყველაზე დიდი რაოდენობით. იგი ორგანიზმში რამოდენიმე ფუნქციას ასრულებს: გვევლინება გამხსნელად, რომელიც უზრუნველყოფს სხვადასხვა ნივთიერებათა განზნეფას მთელ ორგანიზმში, გვევლინება გარემოდ, რომელშიც მიმდინარეობს სხვადასხვა ქიმიური და ფიზიკური პროცესები. შედარებით ყველაზე უფრო ნაკლებად გამოკვლეული წყლის ფუნქცია არის სპეციფიური სტრუქტურების წარმოქმნის უნარი. აქ იგულისხმება ურთიერთქმედება წყალს და ბიოლოგიურ მაკრომოლეკულებს შორის, რომელიც განაპირობებს ისეთი სივრცითი სტრუქტურების წარმოშობას, რომლებიც აუცილებელია ამ მაკრომოლეკულების ბიოლოგიური აქტიურობის გამოსავლენად.

წყალს სხვა მყარ და თხევად ნივთიერებებთან შედარებით ძალიან მაღალი სითბოტევადობა აქვს, რაც განაპირობებს ორგანიზმის ტემპერატურის მხოლოდ მცირე აწევას იქ მიმდინარე პროცესების შედეგად სითბოს გამოყოფისას. სითბოს ასეთ განზნეფასთან მჭიდროდაა დაკავშირებული წყლის სითბოგამტარობისა და აორთქლების სითბოს მაღალი მნიშვნელობა [11].

ჩვეულებრივ პირობებში წყალი თხევად მდგომარეობაში არის მისი მოლეკულების ასოციაციის გამო. წყლის დიპოლური ხასიათის გამო მისი ერთი მოლეკულის ჟანგბადის ატომის ნაწილობრივ უარყოფით მუხტს და წყლის მეორე– მეზობელი მოლეკულის წყალბადის ატომის ნაწილობრივ დადებით მუხტს შორის მიზიდვის ძალები მოქმედებს. ბმის ასეთ ტიპს, რომელშიც კოვალენტურობის წილი მეტად მცირეა, წყალბადური ბმა ეწოდება. მისი გაწყვეტისათვის 18.8 კჯ/მოლი ენერგიაა საჭირო, იმ დროს როცა წყალში O-H კოვალენტური ბმის ენერგია შეადგენს 460.4 კჯ/მოლს.

წყალბადური ბმის მეორე უმნიშვნელოვანესი თვისებაა მისი მიმართულება. რაც შეეხება წყალბადური ბმის სიგრძეს, მას სხვადასხვა შემთხვევაში სხვადასხვა სიგრძე აქვს. ყინულში წყალბადური ბმის სიგრძე 177 პიკომეტრის ტოლია. წყალს მოუწესრიგებელი სტრუქტურა აქვს აგრეთვე თხევად მდგომარეობაში. მისი მოლეკულების ჯგუფებისგან წარმოიქმნება კლასტერები, რომლებშიც წყლის მოლეკულები წყალბადური ბმებით არიან დაკავშირებულნი. სტატისტიკური თერმოდინამიკური გათვლების მიხედვით, ერთი კლასტერი შედგება წყლის 57

მოლეკულისგან. კლასტერშია თავმოყრილი წყლის მოლეკულების 70%, ხოლო 30% თავისუფალ მდგომარეობაშია. კლასტერის სიცოცხლის ხანგრძლივობა 10-10⁻¹¹ სეკუნდია. ამ მოდელში მთავარია წყალბადური ხიდების კოოპერატიული წარმოქმნა, რაც ნიშნავს, რომ ერთი ბმის წარმოქმნა ხელს უწყობს შემდეგი ბმის წარმოქმნას. კოოპერატიულობის ასეთი ხასიათი ვლინდება არა მხოლოდ წყალში, არამედ ცილებში, ნუკლეინის მჟავებში, რომლებიც შეიცავენ ათეულობით და ასეულობით კოოპერატიულ წყალბადურ ბმებს [12].

წყლის მეორე მოდელის მიხედვით, რომელსაც წყლის ე.წ. ჰიდრატი ეწოდება, წყალი შედგება ლაბილური სტრუქტურისაგან, რომელიც გვხვდება ინერტული გაზების ჰიდრატებში, რომელთაც კლატრატები ეწოდებათ.

წყალში იონური ნაერთების გახსნა უკავშირდება ჰიდრატაციის პროცესს, რომელიც შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ქიმიური რეაქცია იონსა და წყალს შორის, რომელიც იწვევს კოორდინაციული ნაერთის წარმოქმნას. იონის ჰიდრატაციისას ჰიდრატაციის სფერო სამ შრედ იყოფა. პირველ შიგა შრეში წყლის მოლეკულები იონის ზედაპირის მიმართ ურთიერთორიენტირებულნი არიან მტკიცედ და მათი სტრუქტურა უფრო მოწესრიგებულია ვიდრე წყალში. შემდეგ შრეში იონი წყვეტს წყალბადურ ბმებს წყლის ცალკეულ მოლეკულებს შორის და ზუსტი სტრუქტურა ირღვევა. საბოლოოდ იონის გარე შრეში წყლის “ზმული” სტრუქტურა თანდათან გადადის წყლის თავისუფალ სტრუქტურაში. ცალკეულ იონებს სხვადასხვა შრეებში აქვთ განსხვავებული მოქმედება. იონები Li^+ , Na^+ , H_3O^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , OH^- , F^- უპირატესად ახდენენ გავლენას პირველ შრეზე და უზრუნველყოფენ წყლის სტრუქტურის განმტკიცებას. იონები K^+ , NH_4^+ , Cs^+ , Br^- , I^- , IO_3^- ახდენენ უფრო ძლიერ გავლენას მეორე შრეში და იწვევენ წყლის სტრუქტურის რღვევას. ამ ეფექტის ასახვისათვის ზოგიერთი მეცნიერის წინადადებით შემოიტანეს ცნება უარყოფითი ჰიდრატაციის შესახებ. ლიტერატურაში არსებული ჰიდრატაციის რიცხვი შეესაბამება პირველ შრეში წყლის მოლეკულების რიცხვს.

იონური ნივთიერებების გარდა წყალში იხსნება არადამუხტული მოლეკულების უზარმაზარი რიცხვი რომლებიც შეიცავენ პოლარულ ჯგუფებს. მაგალითად, ჟანგბადი, ნახშირბადის დიოქსიდი, სპირტები, ალდეჰიდები, კეტონები, შაქრები. არსებობს ბიოქიმიურად მნიშვნელოვანი ჯგუფი ნაერთებისა, რომლებიც შეიცავენ როგორც პოლარულ, ასევე არაპოლარულ ნაწილს. ასეთ ნივთიერებებს უწოდებენ ამფიპათიურს ან ამფიფილურს. მაგალითად, ცხიმოვანი მჟავები და მათი მარილები, პოლარული

ლიპიდები და ა.შ. წყლის მოლეკულებსა და ცილებს შორის ურთიერთქმედება პირველ მიახლოებაში შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც ჯამი ცალკეული გვერდითი ჯაჭვების მიერ შეტანილი წვლილის. ცილების წყალთან დაკავშირებისას ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვთ COO^- , NH_3^+ , იმიდაზოლის ჯგუფებს, ვიდრე ჰიდროფობურ ჯგუფებს. 1 გრამი ცილის მიერ შეკავშირებული წყალი ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების ხარჯზე შეადგენს 0.2 – 0.5 გრამს. სხვადასხვა გამოკვლევებით დადგენილ იქნა, რომ ცილასთან შეკავშირებულ წყალს აქვს ყინულსა და თხევად წყალს შორის საშუალოდ სტრუქტურა ე.ი. შედარებით მოწესრიგებული.

ნუკლეინის მჟავების შესწავლამ აჩვენა, რომ დნმ-ის მოლეკულასთან მტკიცედ შეკავშირებულია წყლის ძალიან მცირე რაოდენობა – ერთი ან ორი მოლეკულა წყალი ნუკლეოტიდის ერთ მოლეკულაზე. წყლის ეს მოლეკულები დაკავშირებულია ფოსფატურ ჯგუფთან, რომელიც გვევლინება ჰიდრატაციის პირველ ადგილად შემდგომ მოდის წყლის მონომოლეკულური ფენა, რომელიც უკავშირდება მთელ მოლეკულას, და რომელიც მასთან ერთად გადაინაცვლებს დიფუზიის და სედიმენტაციის პროცესებში ე.ი. შეკავშირებულია დნმ-თან საკმაოდ მტკიცედ. წყლის ამ ფენის სტრუქტურა უფრო ახლოს არის თხევადი წყლის სტრუქტურასთან. შემდგომ უკვე მოდის „თავისუფალი“ წყალი. უჯრედს შიგნით წყლის სტრუქტურა განსხვავდება „თავისუფალი“ წყლის სტრუქტურისგან. იგი არაერთგვაროვანია. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს წყალს, რომელიც უკავშირდება ლიპოპროტეინული ხასიათის მემბრანებს. ვარაუდობენ, რომ მემბრანაზე და მის შიგნით წყალს აქვს სტრუქტურა, რომელიც მსგავსია ყინულის სტრუქტურის. უჯრედს შიგნით მყოფი წყლის სტრუქტურას კარგად ასახავს შებრუნებული მიცელების გულში მოქცეული წყალი [1].

2.3. შებრუნებული მიცელების სტრუქტურა

წყალი შეიძლება არსებობდეს სხვადასხვა მდგომარეობაში. მაგ. იგი შეიძლება იყოს მყარ ან თხევად მდგომარეობაში. თუმცა წყალი თხევად მდგომარეობაშიც შეიძლება არსებობდეს სხვადასხვა ფორმით. ამას ადასტურებს წყლის მდგომარეობა ხელოვნური სისტემის – შებრუნებული მიცელის შიგნით. წყალი მოთავსებულია ამფიფილური მოლეკულებისგან შედგენილი სფეროს გულში. შებრუნებული მიცელის გულში მყოფი წყლის სტრუქტურა კარგად იმეორებს უჯრედსშიგა წყლის სტრუქტურას [2].

წყალი მიცელის გულში არსებობს სულ მცირე ორი სტრუქტურული ფორმით შებრუნებული მიცელის ზომის და მიცელაში წყლის მოლეკულების ლოკალიზაციის მიხედვით. წყალი, რომელიც ახლოსაა მიცელის პერიფერიულ ნაწილთან, ანუ უშუალო კონტაქტშია მიცელის შემომსაზღვრელ (ბარიერის შემქმნელ) მოლეკულებთან, განსხვავდება იმ წყლისგან, რომელიც იმყოფება შებრუნებული მიცელის ცენტრში და მის ახლოს. აღნიშნული ორივე სტრუქტურა კი თავის მხრივ განსხვავდება თავისუფალი, ქიმიურად სუფთა წყლისგან.

წყლის მოლეკულები, რომლებიც ახლოს არიან ზან-ის სასაზღვრო ფენასთან, უფრო მკვრივად არიან ჩალაგებული, რის გამოც უფრო ნაკლებ თავისუფალნი და შეზღუდული არიან მოძრაობაში, ვიდრე მოლეკულები “თავისუფალ” წყალში. ნაკლებად სააღბათოა, რომ მკვრივად ჩალაგებული წყლის მოლეკულები მეზობელი წყლის მოლეკულებთან წარმოქმნიდნენ წყალბადურ ბმებს, როგორც ამას ადგილი აქვს მოლეკულებს შორის “თავისუფალ” წყალში. საპირისპიროდ, წყალი, რომელიც შედარებით მოშორებულია ზან-ის სასაზღვრო ზედაპირს, ნაკლებად მკვრივადაა ჩალაგებული, ვიდრე ამას აქვს ადგილი “სუფთა” წყალში. ასეთი წყალი აწონასწორებს მაღალი სიმკვრივის წყლის ეფექტს და სისტემა მოდის თერმოდინამიკურ წონასწორობაში. მცირე სიმკვრივის წყალი წარმოქმნის დიდი რაოდენობით წყალბადურ ბმებს, ვიდრე “სუფთა” წყალი. ამის გამო წარმოიქმნება წყლის მოლეკულების კანონზომიერი ბადე, რომელიც გარკვეულწილად გავს ყინულის მოლეკულურ სტრუქტურას (მესერს). გარდა ამისა, მცირე სიმკვრივის წყალი ელექტრულად ნაკლებად დამუხტულია, ნაკლებად რეაქციისუნარიანია და უფრო ბლანტია, ვიდრე ჩვეულებრივი წყალი. ცოცხალ უჯრედებში უჯრედული სტრუქტურები და მაკრომოლეკულური ანსამბლები გავლენას ახდენენ წყლის სტრუქტურაზე და ქმნიან მცირე და მაღალი სიმკვრივის ერთობლიობას. სწორედ ამას შეაქვს ჰეტეროგენულობის ელემენტი ციტოპლაზმაში. წყლის სტრუქტურა ციტოპლაზმაში განსაზღვრავს თითოეული ნაწილის ფიზიკურ სტრუქტურას და ამ გზით გავლენას ახდენს ამ უბანში ენზიმების აქტიურობაზე.

შებრუნებული მიცელების გამოყენებით შესაძლებელია გაიზომოს მცირე სიმკვრივის წყალში გახსნილი ცილების რხევითი სიხშირეები. ასეთ სისტემებში ცილები, რომლებსაც გარს აკრავს მცირე სიმკვრივის წყალი, ავლენენ უფრო დაბალ რხევით სიხშირეებს „თავისუფალი“ წყალში გახსნილ ცილებთან შედარებით. ენზიმური

რეაქციების აქტიურობაზე გავლენას ახდენს რხევითი სიხშირეები. მაგალითად, ენზიმის რხევითი სიხშირის დადაბლებამ შეიძლება გამოიწვიოს ტემპერატურის აწევა ისეთ ტემპერატურამდე, რომელზედაც ენზიმი აღწევს რეაქციის ოპტიმალურ სიჩქარეს.

შებრუნებული მიცელური სისტემა იძლევა საშუალებას გავარკვიოთ დამოკიდებულება ენზიმის აქტიურობასა და წყლის სტრუქტურას შორის. შებრუნებული მიცელა წარმოიქმნება სპონტანურად (ქაოსურად) წყლის, ზან-ის და გამხსნელის შერევისას. მიცელის ზომის რეგულირება შეიძლება წყლის კონცენტრაციის ცვლილებით და ჩვენ შეგვიძლია დავამატოთ ენზიმები და სხვა წყალში ხსნადი ნივთიერებები მიცელის შიგნით.

დადგენილია, რომ ენზიმები ავლენენ თავიანთ ოპტიმალურ ეფექტურობას შებრუნებული მიცელების მხოლოდ გარკვეული ზომის პირობებში. ეს ზომები შეესაბამება უჯრედის წყლით სავსე სივრცის ზომებს, როგორც არის მაგალითად, პერიპლაზმი. გარდა ამისა, ზედაპირის ფიზიკური თვისებები, რომელსაც განაპირობებს ზან-ის სტრუქტურა, გავს ცოცხალ უჯრედებში მაკრომოლეკულების ზედაპირულ თვისებებს. ამის გამო, სავარაუდოა, რომ ამ წყლის მოლეკულების განლაგება სტრუქტურებში მსგავსია შებრუნებულ მიცელებში წყლის სტრუქტურის. შებრუნებული მიცელები იმეორებენ პროკარიოტული უჯრედების შიგნით რეალურ პირობებს. სწორედ ამიტომაც არის, რომ ენზიმები ავლენენ თავიანთ ეფექტურობას შებრუნებული მიცელების წყლიან გულში. ენზიმური აქტიურობის დონე შებრუნებული მიცელების გულში კარგად ასახავს უჯრედის შიგნით მათი აქტიურობის რეალურ დონეს. ენზიმების აქტიურობა არ ვლინდება ისეთ პირობებში, სადაც წყალს შესაბამისი სტრუქტურა არ აქვს.

სასაზღვრო ზედაპირთან მყოფი წყალი დაახლოებით 2-10 ნმ სისქის შესაძლებელია ესაზღვრება უჯრედის მემბრანას და უჯრედის სტრუქტურის სხვა მაკრომოლეკულებს.

მოსალოდნელია, რომ მაღალი სიმკვრივის წყალი ძვეს უჯრედის მემბრანასთან ახლოს, მის შიგნით კი არის მცირე სიმკვრივის წყალი. კიდევ უფრო ღრმად უჯრედში, მხოლოდ მაკრომოლეკულური ზედაპირისგან გარკვეულ მანძილზე, მოსალოდნელია „თავისუფალი“ წყლის უბნის არსებობა. სავარაუდოა, რომ ენზიმები უპირატესად ლოკალიზდებიან სტრუქტურული წყლის ფენებში. ექსპერიმენტით დადგენილია, რომ ენზიმები უკეთესად ფუნქციონირებენ მცირე სიმკვრივის წყალში. ამის გამო

სავარაუდოა, რომ ცოცხალ უჯრედებში სწორედ ამ უბანშია მოსალოდნელი ენზიმების არსებობა. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ სტრუქტურული წყლის ფენები მსგავსია იმ ფუნქციური სტრუქტურებისა, როგორიცაა ჩართული სხეულაკები, ნუკლეოტიდები და სხვა სპეციფიური მაკრომოლეკულური სტრუქტურები [3].

შებრუნებულ მიკროემულსიებში შემდეგი კანონზომიერებები ვლინდება:

- ზან-ის კონცენტრაციის მუდმივობის პირობებში, თუ იცვლება წყლის კონცენტრაცია, იზრდება შებრუნებული მიცელის მოცულობა.
- წყლის შემცველობის მუდმივობის პირობებში, ზან-ის კონცენტრაციის გაზრდამ უნდა გამოიწვიოს შებრუნებული მიცელის მოცულობის შემცირება
- თუ ზან-ის და წყლის კონცენტრაცია იცვლება მუდმივი შეფარდებით, მაშინ შებრუნებული მიცელების მოცულობა არ უნდა შეიცვალოს, მაგრამ უნდა შეიცვალოს მათი რიცხვი.

განსაკუთრებულ ინტერესს იმსახურებს ლიოფილური კოლოიდების ნაწილაკების ჩანერგვა ანუ მეტალების ზოლების მიღება შებრუნებული მიცელების არეში. ნანოსტრუქტურის მქონე მასალების მიღება შებრუნებული მიცელების არეში ბოლო წლებში მეცნიერთა ინტენსიური კვლევის საგანს წარმოადგენს.

შებრუნებული მიცელები შედარებით მარტივი, მრავალმხრივი და მოქნილი სისტემებია და იდეალურია სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებების სხვადასხვა ასპექტების გამოსაკვლევად. შებრუნებულ მიცელურ სისტემაში არის რამოდენიმე კონტროლირებადი ცვლადი. მაგალითად, ზან-ის ტიპი, კონცენტრაცია, წყლის შემცველობა, წყლის ფარდობა ზან-ის კონცენტრაციასთან, ორგანული გამხსნელები და ა.შ. სისტემის ამ ცვლადების მანიპულირებით შესაძლებელია მიღებულ იქნას სასარგებლო ინფორმაცია იმ ფიზიოლოგიურ პროცესებზე, რომლების დუბლირებაც ხდება შებრუნებული მიცელებით.

შებრუნებულ მიცელებს აქვთ მრავალი პრაქტიკული გამოყენება ცილების მოლეკულების ჩაჭერის და სტაბილიზაციის, ასევე ცილების სოლუბილიზაციისა და ექსტრაქციისთვის უჯრედშიგნით ჩართული სხეულაკებიდან. ჩართული სხეულაკები ხშირად წარმოადგენდნენ უხსნადი ნივთიერებებისთვის, მაგალითად, სტეროიდებისთვის საუკეთესო ორგანულ გამხსნელს, რადგანაც მათი ორგანული ფაზა წარმოადგენს კარგ

გამხსნელს ამ ნივთიერებებისთვის. შებრუნებული მიცელების გამოყენებით შეიძლება სასარგებლო ინფორმაციის მიღება ცილების მეოთხეული სტრუქტურის შესახებ.

2.4. უწყლო შებრუნებული მიცელები. მოდიფიცირება ჰექსანში უხსნადი ორგანული გამხსნელებით

შესწავლილია ნ-ჰექსანში ან ნ-ჰეპტანში AOT-ის შებრუნებულ მიცელებში ნიტროანილინების, დიფენილამინების, კაროტენოიდების და ამინების თვისებები, სხვადასხვა W_0 -ზე. აღმოჩნდა, რომ ორი ფაქტორი განაპირობებს ამ გახსნილი ნივთიერებების განაწილებას მიცელებში. ერთი არის ხსნადობა ორგანულ გარემოში და მეორე სინჯის წყალბადური ბმის დონორული ტევადობა. ეს უკანასკნელი არის დომინანტური ფაქტორი. ამრიგად, ამ ნივთიერებების განაწილების კონსტანტებს აქვთ უდიდესი მნიშვნელობა როდესაც სისტემას არ ემატება წყალი ($W_0=0$) და შეკავშირებულია AOT-ის პოლარულ თავებთან. თუმცა, წყლის დამატებით, განაწილების კონსტანტები მცირდება (სუსტდება), რადგან იწყება კონკურენცია წყალბადური ბმის დონორ ნივთიერებებსა და წყალს შორის, რომელიც არის AOT-ის მასოლვატირებელი აგენტი.

გარდა წყლისა, ზოგიერთი პოლარული ორგანული გამხსნელი, რომელსაც აქვს მაღალი დიელექტრიკული მუდმივა და ნახშირწყალბადურ გამხსნელებში დაბალი ხსნადობა, ასევე შესაძლებელია ჩაიჭიროს შებრუნებულმა მიცელებმა. ამისთვის ყველაზე ხშირად გამოყენებული პოლარული გამხსნელებია ფორმამიდი (FA), დიმეთილფორმამიდი (DMF), დიმეთილაცეტამიდი (DMA), ეთილენგლიკოლი (EG), პროპილენ გლიკოლი (PG) და გლიცერინი (GY). AOT/ნ-ჰექსანში შებრუნებული მიცელური სისტემები, რომლებიც შეიცავენ ზემოთაღნიშნულ გამხსნელებს, ცნობილია, რომ არიან სფერული ფორმის. უფრო მეტიც, წყლის ან სხვა რომელიმე პოლარული გამხსნელის არ არსებობის შემთხვევაშიც კი, შებრუნებულ მიცელებს აქვთ 1.5 ნმ ჰიდროდინამიური რადიუსი, ხოლო ისინი, რომლებიც შეიცავენ პოლარულ გამხსნელებს იზრდება გაცილებით სწრაფად, ვიდრე წყლის შემცველი აგრეგატები. თანაბარია მათი ზომა, როცა $W_0=10$ (წყლიანი), როცა $W_s=[\text{პოლარული გამხსნელი}]/[\text{AOT}] \sim 2$ (უწყლო). ასევე დადასტურდა, რომ შებრუნებული მიცელების ზომა დამოკიდებულია W_s -ზე. ბოლო ნაშრომში, დინამიური სინათლის განზნევის მეთოდით (DLS) ნაჩვენებია იყო, რომ წყალი, GY, EG, DMF, DMA ან FA/AOT/ნ-ჰექსანში შებრუნებული მიცელების ზომა დამოკიდებულია სხვადასხვა პოლარულ გამხსნელსა და AOT-ის ურთიერთქმედებაზე და არა მათ მოლურ მოცულობაზე, V_m . ურთიერთქმედებებს

შეუძლიათ იქონიონ მნიშვნელოვანი გავლენა ზან-ის a -ს ეფექტურ მნიშვნელობაზე და შესაბამისად წვეთის ზომის ცვლილებაზე. ამგვარად, ჩვენ ვაჩვენეთ მიცელების ზომა მსგავსია, როცა გამოვიყენეთ წყალბადური ბმის დონორი გამხსნელები და მათი ზომა არის უფრო დიდი, როცა მიცელები მიღებულია წყალბადური ბმის არადონორული გამხსნელების გამოყენებით.

ბოლო დროს FT-IR ის გამოყენებით დადგინდა ცვლილებების არსებობა AOT-ის $C=O$, სიმეტრიულ და ასიმეტრიულ SO_3^- რხევებში, როცა იზრდებოდა პოლარული გამხსნელების შემცველობა მიცელებში. შედეგებმა აჩვენა რომ GY წყალბადური ბმით ურთიერთქმედებს SO_3^- ის ჯგუფთან, აცილებს საწინააღმდეგო იონს Na^+ გამყოფი ზედაპირიდან და რჩება მიცელის გულში.

PG და EG წყალბადური ბმებით ურთიერთქმედებს AOT-ის $C = O$ ჯგუფთან და აღწევს გამყოფი ზედაპირის ზეთის მხარეში. ამგვარად, ისინი სუსტად ურთიერთქმედებენ საწინააღმდეგო იონთან Na^+ რომელიც ახლოს არის AOT-ის სულფონატის ჯგუფებთან. ასევე დადგინდა რომ FA რომელიც ჩაჭერილია AOT -ის შებრუნებულ მიცელებში, ძლიერად ურთიერთქმედებს ზან-ის Na^+ საწინააღმდეგო იონთან ძლიერი ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედებით და ინარჩუნებს საკუთარ წყალბადური ბმის ბადეს ისე, როგორც არის FA - ის თავისუფალ მდგომარეობაში.

და ბოლოს, DMF და DMA, რომლებიც ჩაჭერილია შებრუნებული მიცელების შიგნით, არ ურთიერთქმედებს არც $C = O$ ჯგუფთან და არც SO_3^- ჯგუფთან, მაგრამ მათი სუსტად ასოცირებული სტრუქტურა ირღვევა Na^+ საწინააღმდეგო იონთან ურთიერთქმედების გამო. სავარაუდოა რომ DMF და DMA შეუძლიათ Na^+ იონებთან კომპლექსის წარმოქმნა კარბონილის და აზოტის ჯგუფებით. კვლევებმა აჩვენა არა მარტო ის რომ გარემო ახდენს გავლენას პოლარული გამხსნელის თვისებებზე, რომელიც ჩაჭერილია შებრუნებულ მიცელებში, არამედ უფრო მნიშვნელოვანია, რომ მოგვცა ინფორმაცია AOT-ის რომელი უბანია ჩართული პოლარულ გამხსნელებთან ურთიერთქმედებაში.

შრომაში შესწავლილია *o*-ნიტროანლინის (*o*-NA) შეკავშირება მიცელურ გამყოფ ზედაპირთან ნ-ჰეპტანი/AOT/პოლარული გამხსნელი უწყლო შებრუნებულ მიცელებში. პოლარულ გამხსნელებად გამოყენებულია ეთილენ გლიკოლი (EG), ფორმამიდი (FA), გლიცერინი (GY), დიმეთილაცეტამიდი (DMA) და დიმეთილფორმამიდი (DMF).

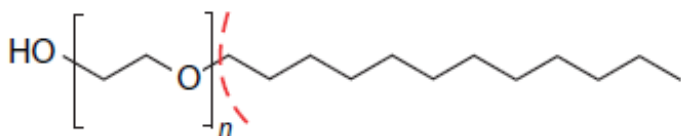
შესწავლილია წყალბადური ზმის დონორი ნივთიერების გავლენის შესწავლა სხვადასხვა პოლარულ გამხსნელებში AOT -ის გამყოფი ზედაპირის მიმართ.

თუ ცნობილია AOT -ის პოლარული თავის რომელ ჯგუფთან ურთიერთქმედებს სხვადასხვა პოლარული გამხსნელი, ასევე მნიშვნელოვანია შეფასდეს AOT – ის პოლარული თავური ჯგუფების სპეციფიკური წილი, სადაც o-NA აქვს წყალბადური ზმით ურთიერთქმედება. მიღებულია ინფორმაცია იმ ფაქტორების შესახებ, რომელიც ახდენს გავლენას ამ ტიპის გახსნილი ნივთიერებების ხსნადობაზე ამ უწყლო სისტემებში.

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

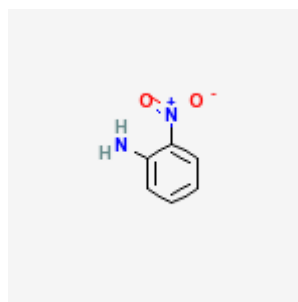
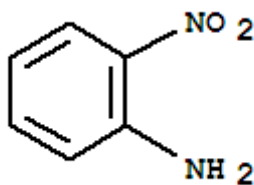
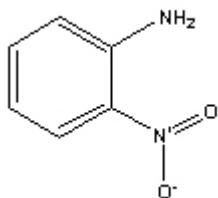
3.1. გამოყენებული რეაქტივები

მიკროემულსიები მზადდებოდა არაიონური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ტეტრაეთილენგლიკოლ მონო დოდეცილის ეთერის (Brij-30) (Fluka, Biochemika, Switzerland) საფუძველზე:



Brij 30 (dodecyl polyethylene glycol, $n \sim 4$)

მოლეკულურ სინჯად ულტრაიისფერ სპექტროსკოპიულ კვლევებში გამოიყენებოდა ორთო-ნიტროანილინი:



3.2. მიკროემულსიების მომზადება, აპარატურა

მიკროემულსიები მზადდებოდა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების Brij-30-ის, ჰექსანის, წყლის, აცეტონიტრილის, დიმეთილფორმამიდის და ყინულოვანი ძმარმჟავას საფუძველზე.

ულტრაიისფერ-ხილულ უბანში სპექტრების გადაღება ხდებოდა უი-ხილულ სპექტრომეტრზე Optizen POP 1 სმ სისქის კიუვეტაში.

3.3. მოლეკულური სინჯის შებრუნებულ მიცელასთან შეკავშირების მუდმივების გამოსათვლელი ფორმულები

ო-ნიტროანილინის Brij-30 მიცელებთან შეკავშირების მუდმივები გამოითვლებოდა ო-ნიტროანილინის ჰექსანში 0.0 M Brij-30 (376 ნმ) და 0.23 M Brij-30 (398 ნმ) ტალღის სიგრძეზე შთანთქმის მონაცემებიდან. ო-ნიტროანილინის თავისუფალი და ბმული კონცენტრაციები განისაზღვრებოდა განტოლებების სისტემებით Brij-30-ის საშუალოდ კონცენტრაციების საფუძველზე:

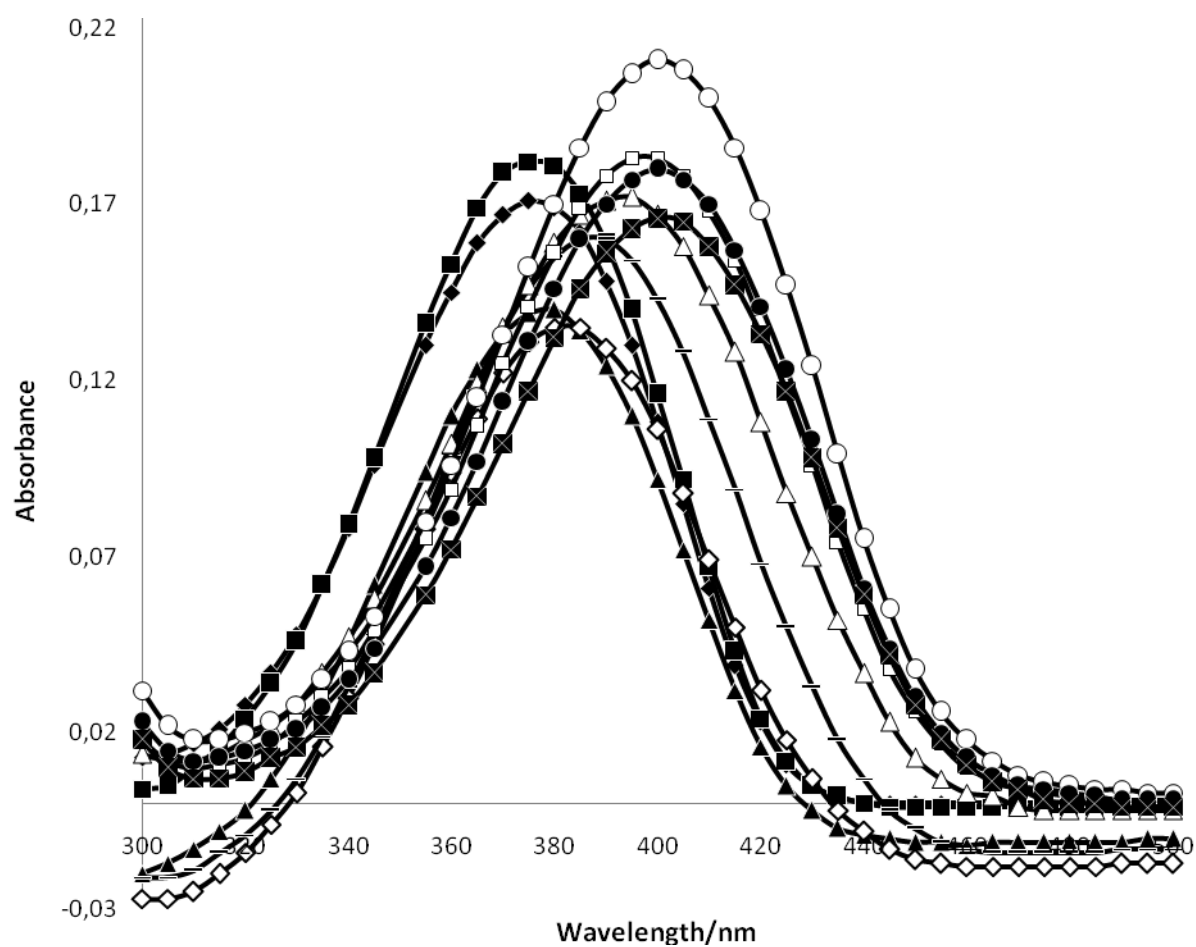
$$K_b = \frac{[o-NA]_b}{[o-NA]_f [Brij-30]_0}$$

$$\begin{cases} \varepsilon_f^{376} \times [o-NA]_f + \varepsilon_b^{376} \times [o-NA]_b = A_{376} \\ \varepsilon_f^{398} \times [o-NA]_f + \varepsilon_b^{398} \times [o-NA]_b = A_{398} \end{cases}$$

3.4. Brij-30-ის არაწყლიანი შებრუნებული მიცელების მიკროგარემოს შესწავლა ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა Brij-30-ის უწყლო, ორგანულ გამხსნელებიანი შებრუნებული მიცელების მიკროგარემო ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით. ოპტიკურ სინჯად გამოვიყენეთ ორთო-ნიტროანილინი. ორგანული გამხსნელებიდან შევარჩიეთ ჰექსანში უხსნადი შემდეგი გამხსნელები: დიმეთილფორმამიდი, აცეტონიტრილი, ცინულოვანი ძმარმჟავა და შედეგები შევადარეთ Brij-30-ის წყლიან შებრუნებულ მიცელებზე მიღებულ სპექტრულ მონაცემებს.

სპექტრულ ცვლილებებს იწვევს *o*-ნიტროანილინის შეკავშირება Brij-30-ის პოლიოქსიეთილენურ პოლარულ ბოლოებთან, რის გამოც ბატოქრომულ გადანაცვლებას აქვს ადგილი ჰექსანში გადაღებულ სპექტრებთან შედარებით. უწყლო მიკროემულსიაში *o*-NA გადაღებული სპექტრები Brij-30-ის კონცენტრაციის ცვლილებისას მოცემულია ნახაზზე 1. იმისათვის რომ შეგვეფასებინა როგორია გადაადგილება ავაგეთ შთანთქმის მაქსიმუმების Brij-30-ის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების მრუდი (ნახაზი 2). ნახაზი 2-დან ჩანს, რომ 0.46 M Brij-30-ის კონცენტრაციის შემდგომ ზრდისას შთანთქმის მაქსიმუმების ზრდა აღარ ხდება. მრუდი გადის პლატოზე. ეს ნიშნავს რომ *o*-NA მთლიანადაა შეკავშირებული მიცელასთან.

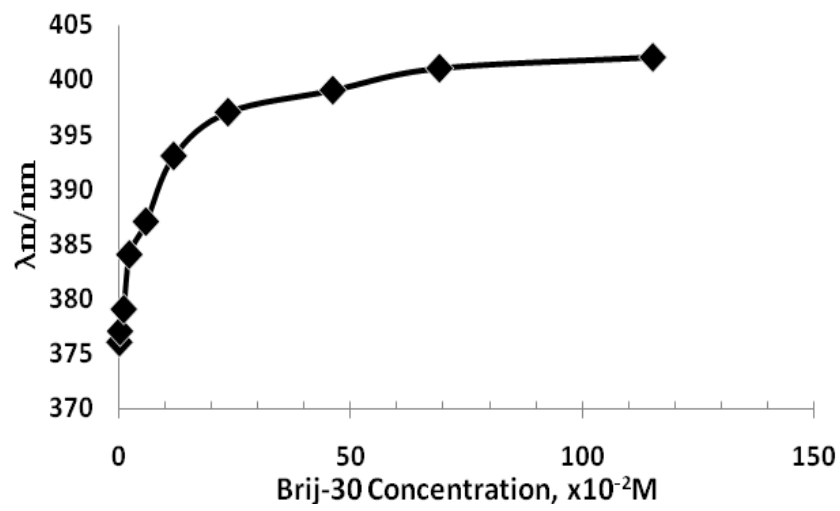


ნახაზი 1.

ორთო-ნიტროანილინის აბსორბციის სპექტრი ჰექსანში Brij-30 -ის კონცენტრაციის ცვლილებისას, (♦) 0.0 M Brij-30, (■) 0.13x10⁻²M Brij-30; (▲)0.91x10⁻²M Brij-30; (◇)2.72 x10⁻²M Brij-30; (-)5.7 x10⁻²M Brij-30; (Δ) 23.4x10⁻²M Brij-30; (□)46 x10⁻²M Brij-30; (○) 69 x10⁻²M Brij-30; (●) 92 x10⁻²M Brij-30; (x) 115 x10⁻²M Brij-30;

[o-NA]=4.5·10⁻⁵M

W=1



ნახაზი 2.

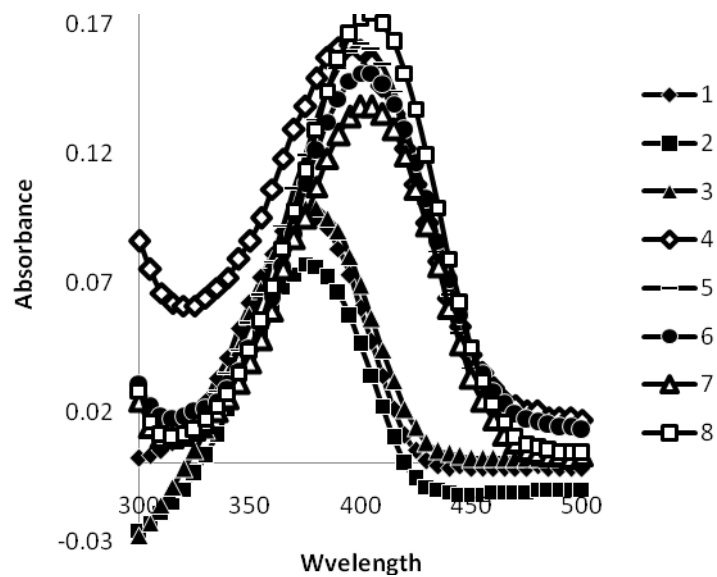
ორთონიტროანილინის შთანთქმის მაქსიმუმების დამოკიდებულება შეზრუნებულ მიცელაში Brij-30 -ის კონცენტრაციაზე

$[\text{o-NA}] = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{M}$

$W=1$

შემდგომ Brij-30 -ის მზარდი კონცენტრაციების სერიაში შევიტანეთ წყალი ისეთი რაოდენობით რომ $\frac{[\text{წყალი}]}{[\text{ზანის}]}$ თანაფარდობა ყოფილიყო 1-ის ტოლი. ნახაზზე 3 მოცემულია ორთო-ნიტროანილინის შთანთქმის სპექტრები, ხოლო ნახაზი 4 დან ჩანს, რომ ბატოქრომული გადანაცვლება ხდება 376-დან 401ნმ-მდე.

ამის შემდეგ Brij-30 -ის მზარდი კონცენტრაციების სერიაში შევიტანეთ აცეტონიტრილი და დიმეთილფორმამიდი ისეთი რაოდენობით რომ $\frac{[\text{წყალი}]}{[\text{ზანის}]}$ თანაფარდობა ყოფილიყო 1-ის ტოლი, როგორც ამას ადგილი ჰქონდა წყლის შემთხვევაში. (ნახაზი 5, ნახაზი 6, , ნახაზი 7, ნახაზი 8,)



ნახაზი 3.

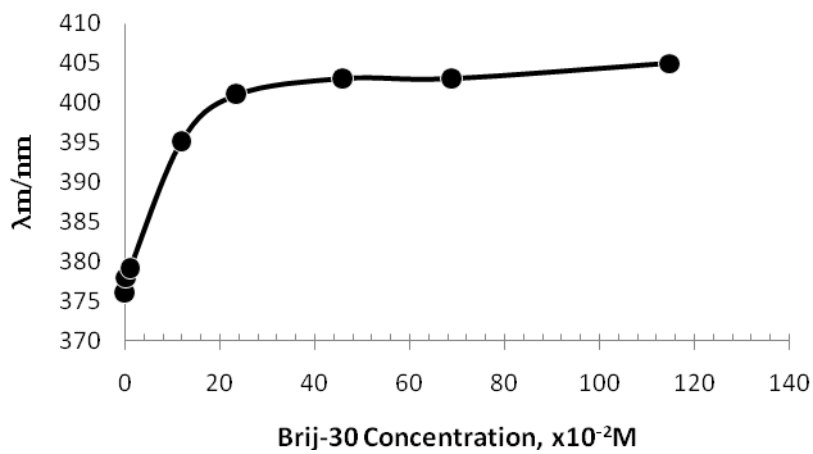
ორთო-ნიტროანილინის აბსორბციის სპექტრი ჰექსანში Brij-30 -ის კონცენტრაციის ცვლილებისას, ბიდისტილატის თანაობით (♦) 0.0 M Brij-30, (■); 0.13 x10⁻²M Brij-30;

(▲)0.91x10⁻²M Brij-30; (◇)11.7 x10⁻²M Brij-30; (-)23x10⁻²M Brij-30; (●)46 x10⁻²M Brij-30;

(Δ) 69x10⁻²M Brij-30; (□)115x10⁻²M Brij-30;

[o-NA]=4.5·10⁻⁵M

W=1

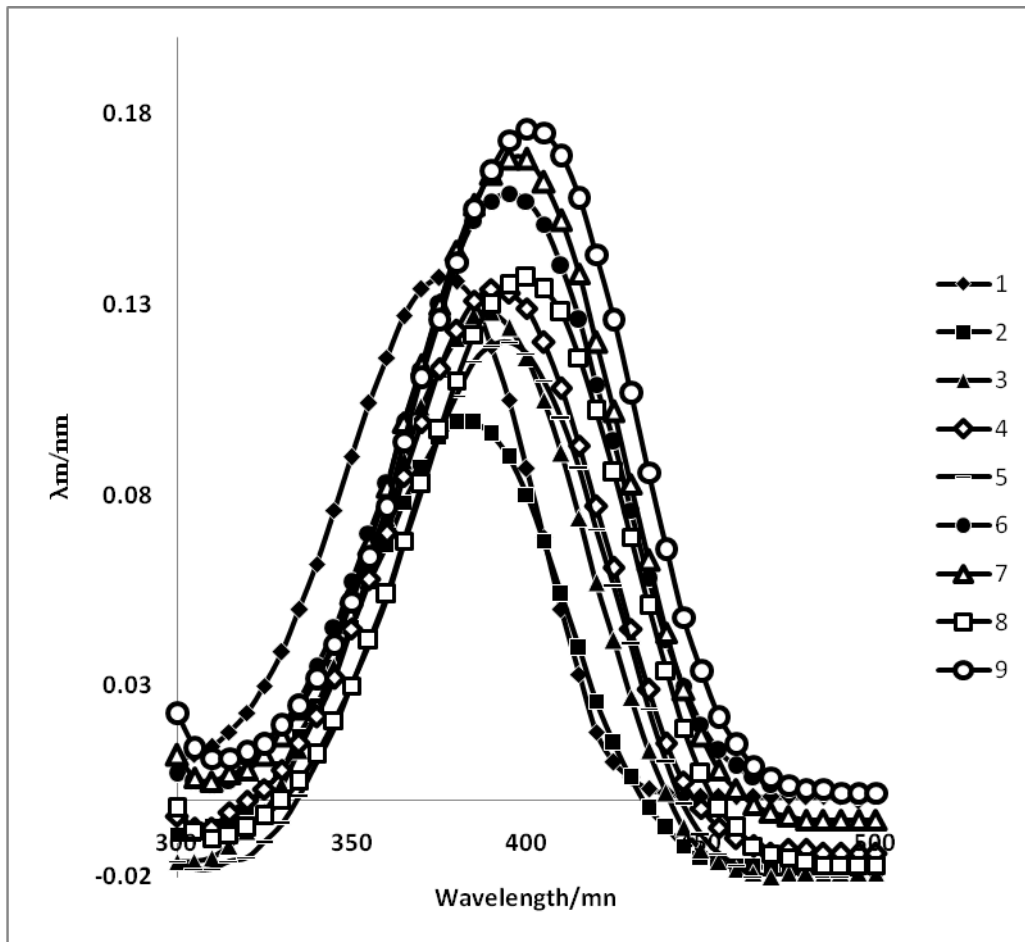


ნახაზი 4

ორთონიტროანილინის შთანთქმის მაქსიმუმების დამოკიდებულება შეზრუნებულ მიცელაში Brij-30 -ის კონცენტრაციაზე, წყლის თანაობისას.

$$[\text{o-NA}] = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{M}$$

$$W=1$$

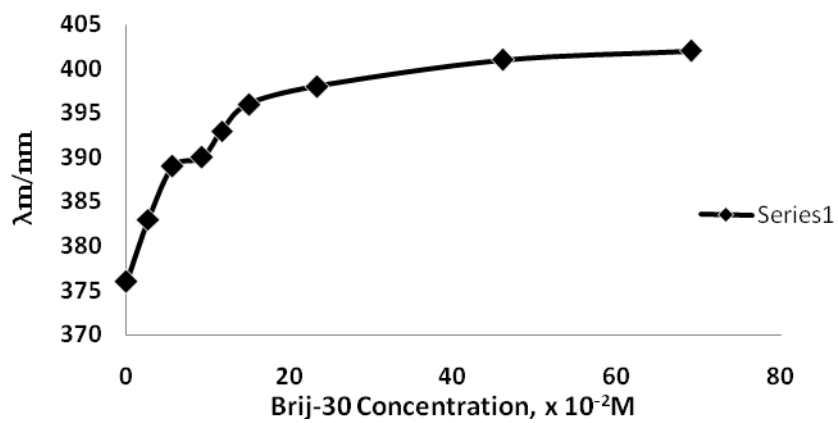


ნახაზი 5.

ორთო-ნიტროანილინის აბსორბციის სპექტრი ჰექსანში Brij-30 -ის კონცენტრაციის ცვლილებისას, დიმეთილფორმამიდის თანაობით (♦) 0.0 M Brij-30; (■) 2.72x10⁻²M Brij-30; (▲) 5.7 x10⁻²M Brij-30; (◇) 9.3 x10⁻²M Brij-30; (-) 11.7 x10⁻²M Brij-30; (●) 15 x10⁻²M Brij-30; (Δ) 23 x10⁻²M Brij-30; (□) 46 x10⁻²M Brij-30; (○) 69 x10⁻²M Brij-30;

[o-NA]=4.5·10⁻⁵M

W=1

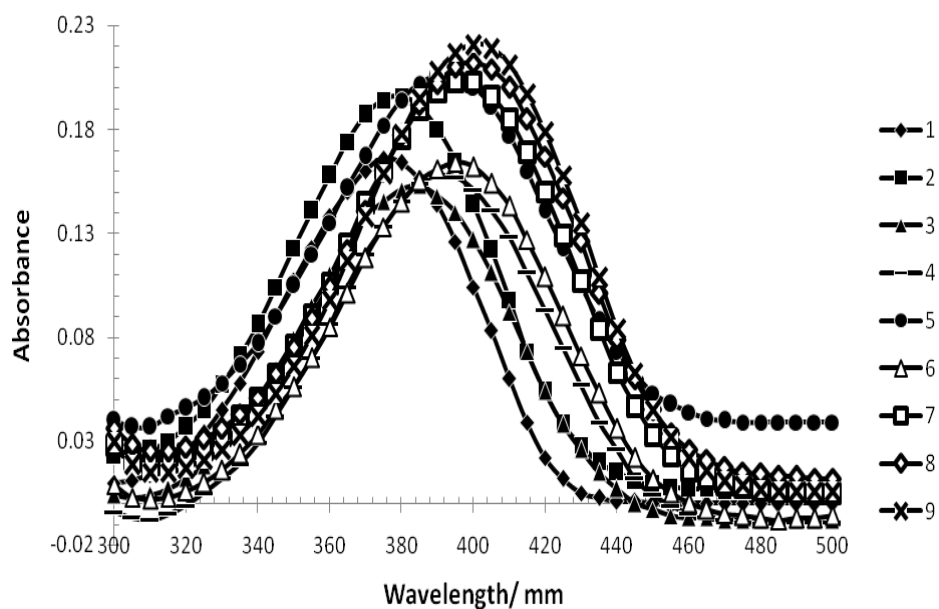


ნახაზი 6.

ორთონიტროანილინის შთანთქმის მაქსიმუმების დამოკიდებულება შეზრუნებულ მიცელაში Brij-30 -ის კონცენტრაციაზე, დიმეთილფორმამიდის თანაობისას

$[\text{o-NA}] = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{M}$

$W=1$

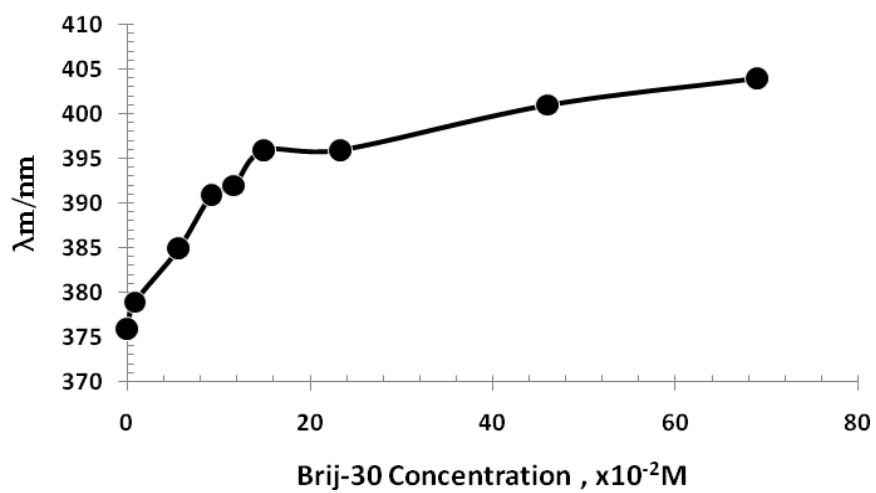


ნახაზი 7.

ორთო-ნიტროანილინის აბსორბციის სპექტრი ჰექსანში Brij-30 -ის კონცენტრაციის ცვლილებისას, აცეტონიტრილის თანაობით (♦) 0.0 M Brij-30, (■) 2.72×10^{-2} M Brij-30; (▲) 5.7×10^{-2} M Brij-30; (-) 9.3×10^{-2} M Brij-30; (●) 11.7×10^{-2} M Brij-30; (Δ) 15×10^{-2} M Brij-30 (□) 23×10^{-2} M Brij-30; (◊) 46×10^{-2} M Brij-30; (✕) 69×10^{-2} M Brij-30;

$[\text{o-NA}] = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$

W=1



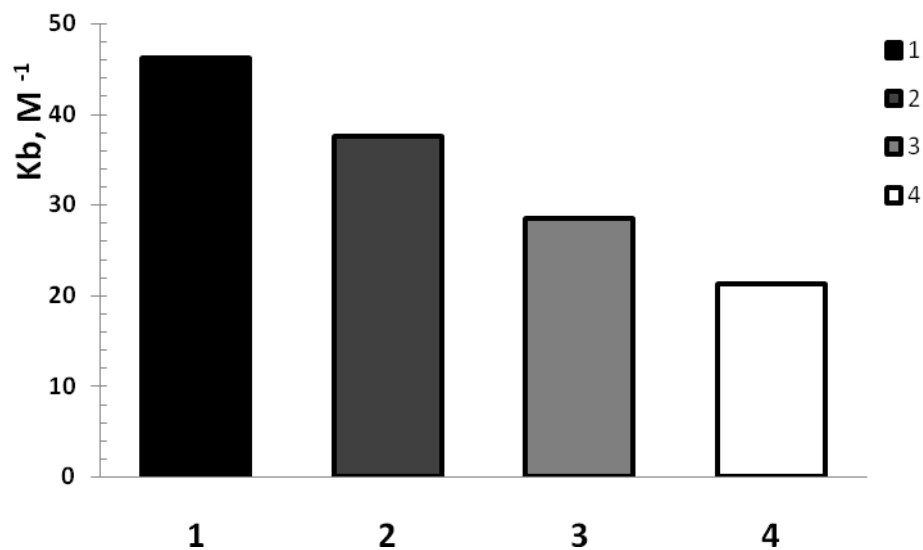
ნახაზი 8

ორთონიტროანილინის შთანთქმის მაქსიმუმების დამოკიდებულება შეზრუნებულ მიცელაში Brij-30 -ის კონცენტრაციაზე, აცეტონიტრილის თანაობისას

W=1

$[\text{o-NA}] = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{M}$

განისაზღვრა ორთო-ნიტროანილინის შეკავშირების მუდმივები Brij-30 -ის შებრუნებულ მიცელასთან, ნახაზიდან (ნახაზი 9.) ჩანს, რომ შეკავშირება ძლიერია წყლის შემთხვევაში, უფრო სუსტია ყინულოვანი ძმარმჟავას, აცეტონიტრილის და კიდევ უფრო სუსტი დიმეთილფორმამიდის თანაობისას.



ნახაზი 9.

ორთონიტროანილინის (Brij-30/Hx) შებრუნებულ მიცელასთან შეკავშირების მუდმივების დიაგრამა მიკროემულსიაში წყლის (■-1), ყინულოვანი ძმარმჟავას (■-2), აცეტონიტრილის (■ 3) და დიმეთილფორმამიდის (□) თანაობისას .

W=1

[o-NA]= $4.5 \cdot 10^{-5}$ M

4. დასკვნები

შესწავლილია Brij-30-ის უწყლო, ორგანულ გამხსნელებიანი შებრუნებული მიცელების მიკროგარემო ულტრაიისფერი-ხილული სპექტროსკოპიული მეთოდით ოპტიკურ სინჯად ორთო-ნიტროანილინის გამოყენებით.

ორთო-ნიტროანილინის Brij-30-ის პოლარულ თავებთან შეკავშირების მუდმივები მაღალია წყლის თანაობისას მიცელის გულში. ($K_b=46.2 \text{ M}^{-1}$)

დიმეთილფორმამიდის თანაობისას ორთო-ნიტროანილინის Brij-30-ის შებრუნებულ მიცელასთან შეკავშირება უფრო სუსტია, ვიდრე აცეტონიტრილის და ყინულოვანი მმარმჟავას შემთხვევაში.

5. გამოყენებული ლიტერატურა

1. Microemulsions – An Introduction to Properties and Applications Introduction. Edited by Reza Najjar. p.3-30.
2. Moulik S.P and Rakshit A.K. Physicochemistry and Applications of Microemulsions. Journal of Surface Science Technology. 2006, 22, (3-4) 159-186.
3. Калоус В. Павличек З. Биофизическая химия . Пер.с чешского, Москва, Мир. 1985, 139-147, 262-267.
4. Hribar B, Southall NT, Vlachy V and Dill KA. How Ions Affect the Structure of Water. Journal of American Chemical Society 2002, 124, 12302-12311.
5. Levinger N. E, Water in Confinement. Science. 2002, 298, 1722-1723.
6. Chang G.G. Huang T.M, Hung H.Ch. Reverse micelles as Life-Mimicking systems, Proc. Natl. Sci. Counc. 2000, 24, (3) 89-100.
7. N.M. Correa, J.J. Silber, Binding of Nitroanilines to Reverse Micelles of AOT n-Hexane, J. Mol. Liq. 1997, 72, 163.
8. R.D. Falcone, J.J. Silber, M.A. Biasutti, N.M. Correa, Binding of o-Nitroaniline to Nonaqueous AOT Reverse Micelles, Organic Chemistry in Argentina. ARKIVOC. 2011, 369.