

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. თუმეშვილი ქ. ავალიშვილი

კომპიუტერული გრაფიკა და ვიზუალიზაცია

(I ნაწილი)

თბილისი – 2013

განხილულია კომპიუტერული გრაფიკისა და ვიზუალიზაციის ძირითადი საკითხები, მისი განვითარების ისტორია და გამოყენების სფერო. სახელმძღვანელოს პირველ ნაწილში განხილულია კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანები და სტრუქტურა, აღწერილია კომპიუტერული გრაფიკის ძირითადი მიმართულებები – ვექტორული, რასტრული და ფრაქტალური გრაფიკა, მათი მუშაობის პრინციპები, ინფორმაციის წარმოდგენის ხერხები, რასტრი და რასტრული მასივი, გრაფიკული პრიმიტივები, ფრაქტალების აგების რეცეპტი და ამ მიმართულებათა დადებითი და უარყოფითი მხარეები. განხილულია ასევე კომპიუტერული გრაფიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თემა ფერი და სინათლე, ფერთა თეორიის ელემენტები, გრასმანის კანონები, სინათლის ატრიბუტები, ფერთა მოდელები (*RGB, CMYK, Lab, HSB, Grayscale*), რეჟიმები და პალიტრები. სახელმძღვანელოს ერთი თავი ეთმობა სასწავლო კურსის მნიშვნელოვან საკითხს – ვიზუალიზაციას. აღწერილია კომპიუტერული ვიზუალიზაციის სახეები – მეცნიერული, პროგრამული და ინფორმაციული. მოყვანილია სემიოტიკის ზოგიერთი განმარტებები, ვიზუალური ენა, მეტაფორა დაბოლოს კომპიუტერული ვიზუალიზაციის ძირითადი დებულებები.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა აგრეთვე კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკურ აპარატს, რაც გულისხმობს ანალიზური გეომეტრიის ელემენტებს, კოორდინატთა სისტემებს, ბრტყელი მრუდების წარმოდგენას, ბეზიეს მრუდებს, სპლაინებს, აფინური გარდაქმნებს და სხვ.

გათვალისწინებულია “კომპიუტერული გრაფიკისა და ვიზუალიზაციის“ მეორე ნაწილის გამოცემა, სადაც დეტალურად განხილულია რასტრული სივრცის განზოგადებული მოდელი, ფერთა არხები და ფენები, რასტრულ გამოსახულებათა გარდაქმნები, ვექტორული გრაფიკის რედაქტორებთან მუშაობის ძირითადი პრინციპები, გრაფიკული ფაილების პოპულარული ფორმატები, გრაფიკული ინფორმაციის შეტანა/გამოტანის მოწყობილობები, ციფრული კამერა, სკანერი, მონიტორი, პრინტერი და სხვ.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის სტუდენტებისა და ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისათვის ასევე შეიძლება გამოიყენოს ანალოგიური სპეციალობის სხვა უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებმაც.

რეცენზენტები: პროფ. მ. ანდლულაძე,

პროფ. თ. კაიშაური

შინაარსი

შესავალი	5
1. კომპიუტერული გრაფიკის განვითარების ისტორია	7
2. რა არის კომპიუტერული გრაფიკა?	10
2.1. კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანები და სტრუქტურა	11
3. რასტრული, ვექტორული და ფრაქტალური გრაფიკა	
3.1. რასტრული გრაფიკა	13
3.2. რასტრი და რასტრული მასივი	14
3.3. რასტრული გრაფიკის დადებითი და უარყოფითი მხარეები	16
3.4. ვექტორული გრაფიკა	17
3.5. ვექტორული გრაფიკის დადებითი და უარყოფითი მხარეები	21
3.6. ფრაქტალური გრაფიკა	21
3.7. ფრაქტალების ძირითადი თვისებები. ფრაქტალის აგების „რეცეპტი“	22
3.8. გამოსახულების ფრაქტალური შეკუმშვა	25
4. ფერი და სინათლე	26
4.1. ფერთა თეორიის ელემენტები. გრასმანის კანონები	30
4.2. სინათლის ატრიბუტები. ფერის ტონი, ინტენსივობა, სიკაშკაშე	34
4.3. ფერთა მოდელეები, რეჟიმები და პალიტრები	37
4.4. ფერთა ადიტიური მოდელი (RGB)	40
4.5. RGB მოდელის ნაკლოვანებები	43
4.6. ფერთა სუბტრაქტიული მოდელი (CMY, CMYK)	44
4.7. CMYK მოდელის ნაკლოვანებები	49
4.8. ფერთა აღქმითი მოდელეები. Lab მოდელი	50

4.9. HSB და HLS მოდელები	52
4.10. შავ-თეთრი მოდელი (Grayscale)	53
4.11. ფერთა რეჟიმები და ფერის სიღრმე	55
4.12. ფერებისა და პალიტრების შესაბამისობის სისტემა	57
5. ვიზუალიზაცია	60
5.1. კომპიუტერული ვიზუალიზაცია	61
5.2. ვიზუალური ენა, ნიშანთა სისტემა და ვიზუალური მეტაფორა	67
5.3. კომპიუტერული ვიზუალიზაციის ძირითადი დებულებები	69
6. კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური საფუძვლები	
6.1. კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი	71
6.2. ანალიზური გეომეტრიის ელემენტები. კოორდინატთა სისტემები	72
6.3. ბრტყელი მრუდების წარმოდგენა	78
6.4. ბეზიეს მრუდი. ბეზიეს კვადრატული და კუბური მრუდები	80
6.5. ბეზიეს მრუდების აგება	83
6.6. აფინური გარდაქმნები	87
6.7. აფინური გარდაქმნების მატრიცული წარმოდგენა	88
6.8. ერთგვაროვანი კოორდინატები	92
6.9. ორგანზომილებიანი გარდაქმნების კომპოზიცია	96
ლიტერატურა	97

შესავალი

კომპიუტერული გრაფიკა ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო და მიმზიდველი დარგია. მისი განვითარება, პრაქტიკულად, კომპიუტერების შექმნიდან იწყება. დღეს უკვე თამამად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კომპიუტერული გრაფიკა ადამიანის საქმიანობის ყველა სფეროში შეიჭრა.

მაგალითად, იშვიათად იქმნება ფილმები კომპიუტერული გრაფიკის გამოყენების გარეშე, რომ აღარაფერი ვთქვათ რეკლამაზე, საგამომცემლო საქმეზე, ანიმაციაზე და კომპიუტერულ თამაშებზე. ასევე სწრაფად ვითარდება გასართობი და ვიდეოთამაშების ინდუსტრია, რომელიც **ვირტუალური რეალობის**, ანუ სამგანზომილებიანი მოდელირების და კომპიუტერული იმიტაციის საკითხებს უკავშირდება. ფაქტობრივად მრეწველობის ყველა დარგის განვითარებაში ფიგურირებს კომპიუტერული გრაფიკა.

კომპიუტერულ გრაფიკას უზარმაზარი პოტენციალი გააჩნია. ის ხელს უწყობს და ამსუბუქებს შემეცნებით და შემოქმედებით პროცესს, სრულყოფილს და საინტერესოს ხდის სასწავლო პროცესს, ავითარებს სივრცულ წარმოდგენას, პრაქტიკულ ხედვას და მხატვრულ გემოვნებას.

სხვადასხვა ტიპის ბიზნეს პროგრამებში დღემდე აქტუალურია „კლასიკური“ **ვექტორული გრაფიკა**, როცა საქმე ეხება ახალი კონცეფციების ჩამოყალიბებას, ტესტირებებს და ახალი პროდუქტის შექმნას. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ **გრაფიკული სისტემები** პირველად გაჩნდა ციფრული კომპიუტერების შექმნასთან ერთად. დღევანდელ დღეს მას განიხილავენ, როგორც ინსტრუმენტს, რომელიც უზრუნველყოფს ძლიერ ურთიერთკავშირს ადამიანსა და კომპიუტერს შორის (**ადამიანი – კომპიუტერის ურთიერთქმედება HCI**). ეს კავშირი ხორციელდება გამოსახულებათა დონეზე, ანუ წარმოებს დიალოგი **ვიზუალურ ენაზე**.

როგორც ჩანს, კომპიუტერული გრაფიკა ძირითად საკომუნიკაციო საშუალებად იქცა ადამიანსა და კომპიუტერს შორის, რაც მუდმივად ზრდის მისი გამოყენების სფეროს.

კომპიუტერული გრაფიკის გამოყენების ძირითადი სფეროები პირობითად ასე შეიძლება დავაჯგუფოთ:

- მეცნიერული გრაფიკა – მეცნიერული კვლევის ობიექტთა ვიზუალიზაცია, გათვლების რეზულტატის გრაფიკული დამუშავება, ექსპერიმენტული კვლევისა და მიღებული შედეგების თვალსაჩინო წარმოდგენა.

- საქმიანი გრაფიკა – სხვადასხვა ტიპის ორგანიზაციებში ჩატარებული სამუშაოების შედეგად მიღებული რეზულტატების დემონსტრირება, რაც გულისხმობს გეგმიური მახასიათებლების, საანგარიშო დოკუმენტაციის და სტატისტიკური შემაჯამებელი ინფორმაციის გრაფიკულ ასახვას. ამის რეალიზაცია კი ხდება ილუსტრაციების, გრაფიკებისა და დიაგრამების საშუალებით.
- პროექტირებადი და დიზაინური გრაფიკა – იგულისხმება ავტომატიზებული პროექტირების სისტემები (CAIP), სამშენებლო საქმიანობა, არქიტექტურა და დიზაინი.
- პოლიგრაფია – ტექსტური და გრაფიკული ინფორმაციის ასახვა და გამოტანა, რაც გრაფიკული რედაქტორების უამრავ არჩევანთან არის დაკავშირებული.
- **Web-დიზაინი** – Web-საიტის, როგორც ერთი მთლიანი სტრუქტურის ჩამოყალიბება, მისი გვერდების შექმნა და გაფორმება, გრაფიკული რედაქტორებისა და პროგრამირების ენების გამოყენებით.
- **მულტიმედია** – ინტერაქტიული სისტემების შექმნა, მაგალითად, ენციკლოპედიები, საცნობარო და საძიებო სისტემები, დისტანციური სწავლების პროგრამები და პრეზენტაციები, ელექტრონული ბიბლიოთეკები და სხვ.

1. კომპიუტერული გრაფიკის განვითარების ისტორია

60-იან წლებში კომპიუტერული გრაფიკის სფეროში მუშაობა დაიწყო ახალმა ფირმებმა. გამოჩნდა მრავალფეროვანი პროგრამული პროდუქტი, რამაც მნიშვნელოვნად გაამარტივა, როგორც სხვადასხვა ტიპის გამოსახულებათა მიღების, ისე ინტერფეისების შექმნის პროცესი. თუ ადრე მომხმარებელი იძულებული იყო სხვადასხვა სამუშაოს ჩასატარებლად შეეძინა უნიკალური მოწყობილობა და შეექმნა ახალი პროგრამული პროდუქტი, ამ დროისათვის სიტუაცია მნიშვნელოვნად შეიცვალა. ამ ათწლეულში კომპიუტერული სისტემები იმდენად სრულყოფილი გახდა, რომ მომხმარებელს თითქმის მთლიანად მოეხსნა პროგრამულ უზრუნველყოფასთან დაკავშირებული პრობლემები.

1960 წელს შეიქმნა ფირმა Itek –ის ციფრული ელექტრონული სახაზავი მოწყობილობა. 1964 წელს General Motors–მა წარმოადგინა, IBM–თან ერთად შექმნილი, ავტომატიზებული პროექტირების სისტემა DAC-1.

70-80-იან წლებში, კომპიუტერულ გრაფიკაში მნიშვნელოვანი ცვლილებები მოხდა. შეიქმნა რასტრული მონიტორები. მათი საშუალებით შესაძლებელი გახდა მონაცემთა დიდი მასივების გამოტანა, სტაბილური, არამოციმციმე გამოსახულების მიღება, ფერთან მუშაობა და ფერთა გამის მიღება. ამ დროს კომპიუტერული გრაფიკის განვითარებაში აშკარად დომინირებდა **რასტრული ტექნოლოგია**.

უმნიშვნელოვანეს მოვლენას წარმოადგენდა, პერსონალური კომპიუტერების შექმნა. 1977 წელს კომპანია **Apple**–მა შექმნა **Apple-II**. მართალია, ამ დროისთვის გრაფიკა ძალიან მარტივი, ხოლო სწრაფქმედება დაბალი იყო, მაგრამ პერსონალური კომპიუტერების შექმნის ფაქტმა დიდი სტიმული მისცა პერიფერიული მოწყობილობების განვითარებას. პერსონალური კომპიუტერები ვითარდებოდა, როგორც კომპიუტერული გრაფიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაწილი. 1984 წელს კომპანია **Apple** –ის მიერ შექმნილმა **Macintosh** –ის კომპიუტერებმა თითქმის გადამწყვეტი როლი ითამაშა ამ პროცესში. იმ დროისათვის ეს ნამდვილი რევოლუცია იყო. *პირველი, Macintosh-ი* სერიულად გამოდიოდა ფერადი მონიტორებით. *მეორე, მის ოპერაციულ სისტემას* თვალსაჩინო ვიზუალური ინტერფეისი ჰქონდა (მის ერთგვარ ანალოგს წარმოადგენდა შემდგომში შექმნილი OC Windows-ი) და *მესამე, მისი* სიმძლავრე სავსებით საკმარისი იყო იმისათვის რომ გამკლავებოდა გრაფიკას. **Macintosh**-მა მაშინვე მიიპყრო პროფესიონალი მხატვრების და დიზაინერების ყურადღება. ბაზარმაც არ დააყოვნა და იმ დროისათვის საკმაოდ შთამბეჭდავი გრაფიკული რედაქტორები შეიქმნა. ამგვარად, კომპიუტერული გრაფიკა აღიქმებოდა როგორც ინსტრუმენტი სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების ხელში, რომლებიც არანაირად არ უკავშირდებოდნენ პროგრამირებას.

ამავდროულად გაიზარდა კომპიუტერის მეხსიერება და მონაცემთა დამუშავების სიჩქარე, შეიქმნა **კომპიუტერული გრაფიკის უამრავი სისტემა** მრავალფეროვანი პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელთა მართვაც შესაძლებელი იყო დიალოგურ რეჟიმში. საუბარია **ინტერაქტიულ კომპიუტერულ სისტემებზე**. ისტორიულად, პირველი ინტერაქტიული სისტემები შემოვიდა 60-იან წლებში და მათ ავტომატიზებულ პროექტირების სისტემებს (CAIP) უწოდებდნენ. თუ მომხმარებელს აქვს საშუალება დინამიკურად მართოს გამოსახულება, მისი ფორმა, ზომა, ფერი და სხვა პარამეტრები, უშუალოდ მონიტორზე მისი ასახვის პროცესში, მაშინ საუბრობენ **ინტერაქტიულ კომპიუტერულ გრაფიკაზე**, ანუ კომპიუტერული სისტემის უნარზე – შექმნას გრაფიკა და აწარმოოს დიალოგი ადამიანთან. დღეს თითქმის ყველა პროგრამული პროდუქტი შეიძლება მივაკუთვნოთ ინტერაქტიულ კომპიუტერულ გრაფიკას.

ფაქტობრივად, თითქმის ყველა დარგი უზრუნველყოფილი გახდა პროგრამული პროდუქტით, დაწყებული მართვის სისტემებიდან საგამომცემლო საქმემდე. ამან ხელი შეუწყო კომპიუტერული გრაფიკის შემდგომ განვითარებას და კიდევ უფრო გაზარდა მისი გამოყენების სფერო.

ამ პერიოდს უკავშირდება ასევე ბაზრის ახალი მიმართულება – სკანირება და ავტომატური გაციფროვნება. სკანირების აპარატურა, თავისი პროგრამული გარემოთი, უზრუნველყოფდა პიქსელურ ანუ რასტრულ გამოსახულებათა დამახსოვრებას, დამუშავებას და გადაცემას.

მნიშვნელოვანია აგრეთვე, რომ ამ პერიოდში აპარატული პროგრესის პარალელურად მიმდინარეობდა თეორიული კვლევები და ტარდებოდა პრაქტიკული სამუშაოები, რაც მიმართული იყო სივრცული ობიექტების ვიზუალიზაციაზე და მის შემდგომ სინთეზზე. ამ მიმართულებას **სამგანზომილებიანი კომპიუტერული გრაფიკა (3D გრაფიკა)** უწოდეს. სამგანზომილებიანი სცენების მათემატიკური მოდელირება გულისხმობს სამგანზომილებიანი ობიექტის სივრცეში განხილვას და ამ სცენებში განათების წყაროსა და დაკვირვების ინსტრუმენტების განლაგებას. მათემატიკური მოდელირება უკავშირდება რთული ზედაპირების წარმოდგენას, ტექსტურების გენერირებას, რელიეფის და განათების პირობების მოდელირებას. 3D მოდელირების მეთოდების საშუალებით კი ხდება: რთული ფუნქციური დამოკიდებულებების ვიზუალიზაცია, საპროექტო ობიექტების გამოსახულების მიღება და მთელი რიგი მსგავსი ამოცანების გადაწყვეტა.

90-იან წლებში იშლება ზღვარი **რასტრულ და ვექტორულ გრაფიკას** შორის. პროცესორების სწრაფქმედების ზრდამ უზრუნველყო როგორც ვექტორული, ისე რასტრული ინფორმაციის დამუშავება და მართვა.

ამ პერიოდში შესაძლებელი გახდა ასევე ვიდეოინფორმაციასთან მუშაობაც, ამას დაემატა აუდიოშესაძლებლობები და შეიქმნა **მულტიმედიური კომპიუტერული გარემო**.

ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებისა და დანერგვის ევროპულმა კომისიამ 1988 წელს შემოგვთავაზა შემდეგი განმარტება: **მულტიმედია** არის პროდუქტი, რომელიც შეიცავს “გამოსახულებას, ტექსტებს და, ზოგადად, მონაცემთა კოლექციას, რომელსაც თან სდევს ხმა, ვიდეო, ანიმაცია და სხვა ვიზუალური ეფექტები, ამავდროულად მას გააჩნია ინტერაქტიული ინტერფეისი და მართვის სხვა მექანიზმები”.

1995 წელს უკვე გამოჩნდა სრულყოფილი მულტიმედია პროგრამები და თანამედროვე კომპიუტერული გრაფიკის კიდევ ერთი მიმართულება **ვებ-დიზაინი**, რამაც კიდევ უფრო პოპულარული გახადა კომპიუტერული გრაფიკა.

ამ პერიოდს უკავშირდება აგრეთვე გლობალური კომპიუტერული ქსელის (**World Wide Web**) - **ინტერნეტის** გავრცელება. ინტერნეტის განვითარებამ კიდევ უფრო გაამძაფრა გრაფიკული პროგრამული რედაქტორების ფართოდ გამოყენების აუცილებლობა.

თუ გადავხედავთ კომპიუტერული გრაფიკის განვითარების ისტორიას, დავინახავთ, რომ ყველა დარგი – იქნება ეს საინჟინრო თუ სამეცნიერო, ბიზნესი თუ ხელოვნება – წარმოადგენს კომპიუტერული გრაფიკის ინტერესის სფეროს.

2. რა არის კომპიუტერული გრაფიკა?

ზემოთ მოყვანილი მცირე ექსკურსის შემდეგ კარგი იქნება თუ გავარკვევთ, რას ეწოდება კომპიუტერული გრაფიკა.

კომპიუტერული გრაფიკის ცნებას ხშირად სხვადასხვა ინტერპრეტაცია აქვს. ერთი წყარო მას განმარტავს, როგორც ინფორმატიკის დარგს, რომელიც სხვადასხვა ტიპის გამოსახულებათა (სურათების, ნახაზების, ანიმაციების) კომპიუტერზე მიღების პრობლემებს სწავლობს.

მეორე – როგორც შემეცნების ახალ დარგს, რომელიც, ერთი მხრივ, წარმოადგენს აპარატულ და პროგრამულ საშუალებათა კომპლექსს, რომელიც უზრუნველყოფს ინფორმაციის ვიზუალიზაციას, გარდაქმნას და გაცემას.

მეორე მხრივ, ის ასოცირდება მონაცემთა გრაფიკულ წარმოდგენასთან და იმ მეთოდებისა და ხერხების ერთობლიობას წარმოადგენს, რომელიც კომპიუტერის საშუალებით მონაცემთა ვიზუალიზაციას უზრუნველყოფს.

რაც შეეხება მხატვრებს, ისინი ფიქრობენ, რომ კომპიუტერული გრაფიკა ხელოვნების დარგია და კომპიუტერული გრაფიკის საშუალებებით შექმნილი პროდუქტი უფრო მეტ შემოქმედებით ძალისხმევას და რესურს მოითხოვს, ვიდრე ეს ხელოვნების კლასიკური ხერხებით ხდება.

დაბოლოს, კომპიუტერული გრაფიკა, ფართო გაგებით, არის ყველაფერი ის, რასაც ვიყენებთ ობიექტებისა და პროცესების ვიზუალიზაციისთვის, ანუ მონიტორზე ასახვისათვის. ხოლო თუ მხოლოდ პრაქტიკული გამოყენების თვალთ შევხედავთ, მაშინ კომპიუტერული გრაფიკა არის სხვადასხვა სახის გამოსახულებათა შექმნის, გარდაქმნის და გამოტანის პროცესი.

კომპიუტერული გრაფიკა, თავისი პრობლემებით და სპეციფიკით, სავსებით დამოუკიდებელი სფეროა ადამიანის მოღვაწეობაში, რომელიც მუდმივად ჩართულია ტექნიკურ პროგრესში. ეს არის ახალი და ეფექტური ტექნოლოგიები, აპარატული საშუალებები, პროგრამული სისტემები, მანქანური და პროგრამული ენები, მეცნიერული კვლევები, გამოთვლითი მათემატიკის მეთოდები და სხვ.

2.1. კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანები და სტრუქტურა

როგორც აღმოჩნდა, კომპიუტერული გრაფიკა საკმაოდ რთული და მრავალფეროვანი დისციპლინაა. ეს გარემოება ბევრი სხვადასხვა ფაქტორით არის განპირობებული.

პირველ რიგში, უნდა გვახსოვდეს, რომ კომპიუტერული გრაფიკის საბოლოო პროდუქტი არის გამოსახულება (image), რომელსაც სხვადასხვა მიზნებისთვის იყენებენ. ამიტომ კომპიუტერული გრაფიკის სტრუქტურის დადგენა და მისი სხვადასხვა მიმართულებებად დაყოფა გამოსახულებათა ასახვისა და მასთან დაკავშირებული მრავალფეროვანი ამოცანების მიხედვით უნდა მოხდეს.

თუ კომპიუტერულ გრაფიკას ამ კონტექსტში განვიხილავთ, რაც ამოცანების გარკვეულ ჯგუფს უკავშირდება, შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი ძირითადი მიმართულებები:

- **ვიზუალიზაცია** = 2D გამოსახულების წარმოდგენა კომპიუტერულ გრაფიკაში;
- **მოდელირება** = 3D გამოსახულების წარმოდგენა, მომზადება ვიზუალიზაციისთვის;
- **რენდერი** = 2D გამოსახულების შექმნა 3D მოდელის საშუალებით (გრაფიკული სცენის ან 3D ობიექტის აგებისა და ასახვის პროცესი რასტრულ - ციფრულ ფორმაში) *ray tracing*, *renderer*;
- **ანიმაცია** = გამოსახულებაზე ზემოქმედება, მოქმედების იმიტაცია, კადრების ცვლილება დროში.

გრაფიკული ობიექტების ვიზუალიზაცია და მათი ასახვის პროცესი კიდევ ორ მიმართულებას წარმოშობს:

- სტატიკურს (უძრავი);
- დინამიკურს (ანიმაცია, კომპიუტერული მულტიპლიკაცია),

რომელთაგან თითოეულს, თავის მხრივ ორი მიმართულება უკავშირდება: **ორ-** და **სამგანზომილებიანი კომპიუტერული გრაფიკა**.

დაბოლოს, ზემოთ აღნიშნული მრავალრიცხოვანი ამოცანებისა და მიმართულებების გათვალისწინებით სპეციალისტებმა გამოიყვეს კომპიუტერული გრაფიკის შემდეგი ძირითადი სახეები:

- რასტრული (ციფრული გამოსახულება);
- ვექტორული (გეომეტრიული მოდელი);
- ფრაქტალური;
- 3D გრაფიკა;
- ანიმაცია.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ კომპიუტერული გრაფიკის ერთი კონკრეტული სახეობა მიესადაგება მხოლოდ გარკვეულ შემთხვევას და ვარგისია განსაზღვრული მიზნებისთვის. მაგალითად, ვექტორული გრაფიკა აუცილებელ ინსტრუმენტს წარმოადგენს პოლიგრაფიაში, რასტრული გრაფიკა კი კარგია ფოტოსურათებისა და მზა გამოსახულებების დამუშავებისთვის. ფრაქტალურ გრაფიკას ძირითადად იყენებენ რთული ტექსტურების, ფონისა და გამოსახულების ელემენტების შესაქმნელად, რომლებიც შემდგომ სხვა გრაფიკულ რედაქტორებში მუშავდება.

3D გრაფიკა და ანიმაცია უფრო ფართო ცნებაა და მას ცალკე საგნად განიხილავენ. კომპიუტერული გრაფიკის ეს მნიშვნელოვანი ნაწილი ობიექტის მოცულობითი მოდელის ვირტუალურ სივრცეში აგების მეთოდებსა და ხერხებს სწავლობს.

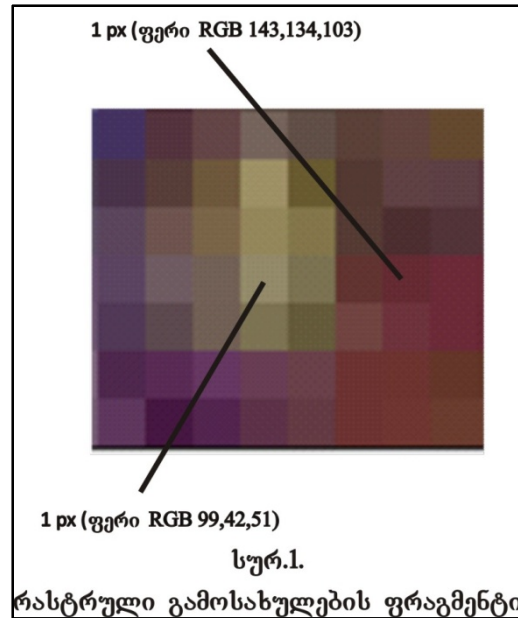
კომპიუტერული გრაფიკა, როგორც დისციპლინა, სწავლობს ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ მიმართულებას და, მისი რთული განმარტებიდან გამომდინარე, განიხილავს ყველა იმ ინტერდისციპლინას, რომლებიც ამ მიმართულებათა შესწავლასთან არის დაკავშირებული.

თავდაპირველად განვიხილოთ რასტრული, ვექტორული და ფრაქტალური გრაფიკა.

3. რასტრული, ვექტორული და ფრაქტალური გრაფიკა

3.1. რასტრული გრაფიკა

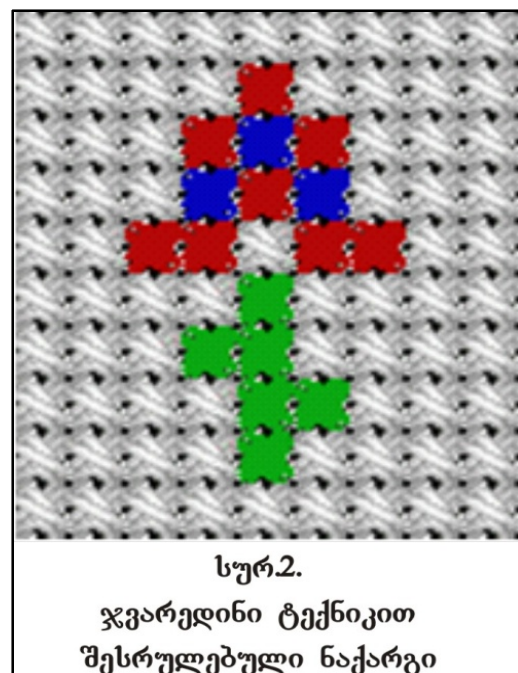
ცნობილია, რომ გამოსახულება კომპიუტერში ციფრული სახით არის წარმოდგენილი, რაც მისი შენახვის, რედაქტირების და გამოტანის საშუალებას იძლევა. პრაქტიკაში ეს ფაქტი შემდეგნაირად არის რეალიზებული: გამოსახულება იყოფა თანაბარი ზომის კვადრატულ ელემენტებად და თითოეული ასეთი ელემენტი ცალ-ცალკე აღიწერება. ამ კვადრატულ გრაფიკულ ელემენტს პიქსელი ეწოდება. პიქსელის აღწერა – მისი ფერის აღწერაა. პიქსელების საშუალებით წარმოდგენილ გამოსახულებას რასტრულს უწოდებენ. სურ.1 -ზე გამოსახულია რასტრული გამოსახულების ფრაგმენტი, სადაც აღნიშნულ პიქსელზე მითითებულია მისი შესაბამისი ფერი.



რასტრული გამოსახულება ძალიან წააგავს ჯვარედინი ტექნიკით შესრულებულ ნაქარგს. ვინც იცნობს ქარგვის ამ ტექნიკას, მისთვის მარტივი გასაგები იქნება რასტრული გრაფიკის მუშაობის პრინციპიც. მაგალითად, სურ.2 -ზე გამოსახულია ჯვარედინი ტექნიკით შესრულებული ნაქარგი. სადაც ნათლად ჩანს, რომ როდესაც რაიმეს ვხატავთ, აუცილებელია შესაბამისი უჯრები საჭირო ფერით შევავსოთ.

რასტრულ გამოსახულებას (Bitmapimage), როგორც წესი, ვღებულობთ ფერადი ილუსტრაციების და ფოტოსურათების სკანირებით და ასევე ციფრული ფოტო- და ვიდეოკამერების გამოყენებით. მათი შექმნა უშუალოდ კომპიუტერზეც შეიძლება, მაგალითად, რასტრული გრაფიკის რედაქტორების გამოყენებით.

რასტრული გრაფიკა კომპიუტერული გრაფიკის ის ნაწილია, სადაც გამოსახულება წერტილთა ორგანზომილებიანი მასივით არის წარმოდგენილი (რასტრის ელემენტებით), ხოლო ამ წერტილთა ფერი და სიკაშკაშე დამოუკიდებლად არის მოცემული.



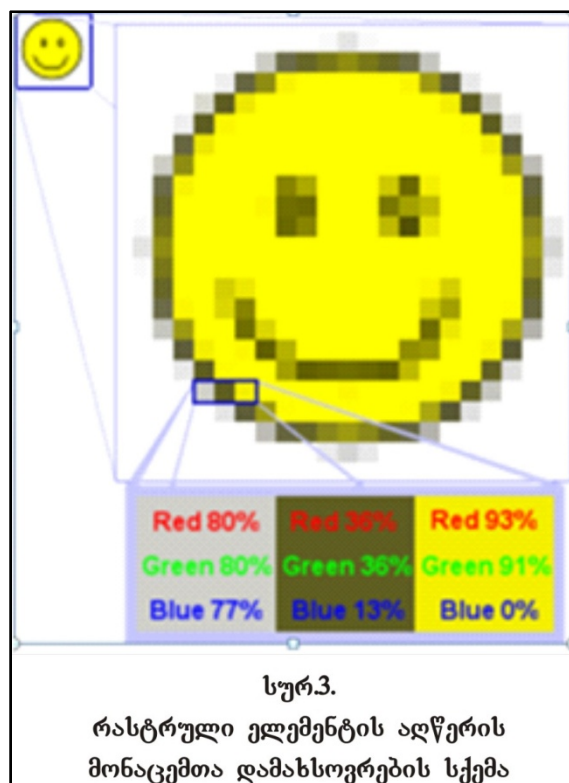
რასტრული გრაფიკის ძირითადი ელემენტი წერტილია. წერტილს გააჩნია ფერი, სიკაშკაშე და შესაძლო სინათლიანობაც. ნებისმიერი რასტრული გამოსახულება სხვადასხვა ფერის წერტილებით ანუ პიქსელებით იქმნება, ის შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ფერად პიქსელთა ბადე, რომელიც თავის მხრივ სრიქონებს და კოლონებს ქმნის. ყოველ პიქსელს შეუძლია მიიღოს პალიტრის ნებისმიერი ფერი, პალიტრა კი შეიცავს ათობით მილიონ ფერს, რაც რასტრული გამოსახულების ფერისა და ტონის მაღალი სიზუსტით გადაცემას განაპირობებს. რასტრული გამოსახულების ხარისხი სივრცითი რეზოლუციით (გამოსახულებაში პიქსელების რაოდენობით) და პალიტრაში ფერთა სიმრავლით იზომება.

3.2. რასტრი და რასტრული მასივი

რასტრული მასივი პიქსელთა ორგანზომილებიანი მატრიცაა, სადაც პიქსელები სტრიქონებად და კოლონებადა არის განლაგებული და ყოველ პიქსელს კონკრეტული ფერი და სიკაშკაშე შეესაბამება.

სურ.3 -ზე გამოსახულია რასტრული ელემენტის აღწერა და ამ მონაცემთა დამახსოვრების სქემა.

რასტრული გამოსახულება, მისი პიქსელური ბუნების გამო, ზომის ცვლილებისადმი ძალიან მგრძობიარეა. ამ გარემოებას ასეთი ახსნა აქვს: რასტრული გამოსახულების ზომის გაზრდა პიქსელების დაყოფასთან ანუ ახალი წერტილების დამატებასთან არის დაკავშირებული. დამატებულ წერტილებს კი მეზობელი პიქსელების ფერი ენიჭება. ეს პროცესი კიბისებრ ეფექტს აჩენს და შესაბამისად ობიექტის ხარისხი უარესდება. რასტრული გამოსახულების ზომის შემცირება კი იწვევს რამდენიმე მეზობელი წერტილის გაერთიანებას, რის გამოც იკარგება ობიექტის მცირე დეტალების სიცხადე და ხარისხი ამ შემთხვევაშიც უარესდება. რასტრული გამოსახულების ზომის ცვლილებას ერთეულ ფართობზე, პიქსელების რაოდენობის ცვლილებითაც აღწევენ, რასაც ასევე გამოსახულების ხარისხის დაქვეითება მოჰყვება.



სურ.4 -ზე გამოსახულია რასტრული გამოსახულების ზომის ცვლილების ამსახველი ორი მაგალითი



როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რასტრულ გამოსახულებას აქვს ფერი, ზომა და რეზოლუცია. აღსანიშნავია, რომ რასტრული ობიექტები მონაცემთა დიდი ზომით, ანუ მარტივად რომ ვთქვათ, „მძიმე“ ფაილებით ხასიათდება.

განვიხილოთ რასტრული გამოსახულებების ძირითადი მახასიათებლები:

- **პიქსელების რაოდენობა** – გამოსახულების ზომა. შესაძლებელია მითითებული იყოს პიქსელების რაოდენობა სტრიქონში და კოლონაში ცალ-ცალკე (1024x768, 640x480, ...) ან უფრო იშვიათად, პიქსელთა საერთო რაოდენობა, რომელიც ხშირად მეგაპიქსელებში იზომება;
- **გამოყენებული ფერების რაოდენობა ან ფერის სიღრმე** (ფერის გადმოცემის ხარისხი – *bits per pixel*). ამ მახასიათებლებს შორის ასეთი დამოკიდებულებაა: $N = 2^k$, სადაც – N ფერთა რიცხვია, ხოლო k- ფერის სიღრმე;
- **ფერთა სივრცე** – ფერთა მოდელები, მაგალითად RGB, CMYK და სხვა;
- **რეზოლუცია** – სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს წერტილთა (რასტრული გამოსახულების ელემენტთა) რაოდენობას ერთეულოვან ფართობზე ან სიგრძის ერთეულზე.

პიქსელი – (pixel–შემოკლებულია სიტყვებიდან picture element, ანუ რასტრის ელემენტი), რასტრული გრაფიკის 2D გამოსახულების უმცირესი ლოგიკური ელემენტი, ის ასევე მონიტორის მატრიცის ელემენტიცაა (ვიდეოპიქსელი) და უფრო მეტიც სხვადასხვა გამოტანის მოწყობილობებზე თუ რაიმე მასალაზე დაბეჭდილი გამოსახულების ცალკეულ წერტილსაც წარმოადგენს. ერთი პიქსელი მხოლოდ ერთ ფერთან ასოცირდება და მხოლოდ ამ ფერის შესახებ არსებული ინფორმაციის შენახვა შეუძლია.

ამგვარად ტერმინი პიქსელი ზოგჯერ შემდეგ ინტერპრეტაციას გულისხმობს:

- პიქსელი – რასტრული გამოსახულების ცალკეული ელემენტი;

- ვიდეოპიქსელი – კომპიუტერის ეკრანული გამოსახულების ელემენტი;
- წერტილი – ქაღალდზე ან სხვა მასალაზე შექმნილი ობიექტის უმცირესი ელემენტი.

რაც უფრო მეტი პიქსელია ერთეულ ფართობზე, მით უფრო დეტალური და მაღალი ხარისხისაა სურათი. რასტრული გამოსახულების მაქსიმალური დეტალიზაცია მისი შექმნის ეტაპზე ხორციელდება. შესაბამისად, მისი შემდგომი გაუმჯობესება ანუ დეტალიზაციის ხარისხის გაზრდა შეუძლებელია, რადგან რასტრული გამოსახულება მასშტაბირების მიმართ ძალიან მგრძობიარეა.

რასტრული გრაფიკა ციფრული ობიექტით მანიპულირების ორ ძირითად სახეობას განიხილავს:

- გამოსახულების რესტავრაცია, რაც არსებული დამახინჯების კომპენსაციას გულისხმობს (მაგ. როდესაც ფოტოგრაფირება შესრულებულია ცუდ პირობებში);
- გამოსახულების გაუმჯობესება – დამახინჯება, ვიზუალური აღქმის გაუმჯობესების მიზნით ან გარდაქმნა, შემდგომი დამუშავებისთვის ხელსაყრელ ფორმაში.

რასტრული გრაფიკის ამოცანათა რეალიზება, რასტრული გრაფიკული რედაქტორების საშუალებით ხორციელდება, როგორცაა Adobe Photoshop, PhotoImpact X3, PaintShop Pro X4, Paint.NET და სხვ. ამ პროგრამების დანიშნულებაა ციფრული გამოსახულების შექმნა, მათი მხატვრული დამუშავება, კორექცია, კომპოზიცია და მონტაჟი. რასტრულ გრაფიკას ფართოდ იყენებენ აგრეთვე მულტიმედიაურ გამოცემებში, რისთვისაც ძირითადად მზა გამოსახულებებს, დასკანირებულ სურათებს და ფოტოებს იყენებენ. რასტრული გრაფიკის რედაქტორები საუკეთესო საშუალებაა გრაფიკული ობიექტების რედაქტირებისათვის. რედაქტირება გულისხმობს: გამოსახულების ფერთა პალიტრის და ზოგჯერ თითოეული პიქსელის ფერის შეცვლას გამოსახულების ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით; ძველი ან უხარისხო ფოტოების სიკაშკაშისა და კონტრასტის გაზრდას; გამოსახულებაზე მცირე დეფექტების მოცილებას (მაგ. როგორცაა ნაკაწრები); შავ-თეთრი გამოსახულების კონვერტირებას ფერადში; ეფექტების გამოყენებას მხატვრული გარდაქმნებისთვის და სხვ.

3.3. რასტრული გრაფიკის დადებითი და უარყოფითი მხარეები

რასტრული გრაფიკის უპირატესობები:

- *გამოსახულების ასახვის სიმარტივე და რეალისტურობა.* ხარისხიანი რასტრული გამოსახულება საკმაოდ ბუნებრივად გამოიყურება, რადგან

ადამიანის თვალი, რასტრული გრაფიკის მსგავსად, სამყაროს აღიქვამს, როგორც დისკრეტული ელემენტებისგან შემდგარ ნაკრებს;

- *გრაფიკული ინფორმაციის შეტანა-გამოტანის მაღალი ხარისხი.* შეტანა-გამოტანის მოწყობილობების უმრავლესობა, თავისი ბუნებით, გამოსახულების რასტრულ წარმოდგენასთან ძალიან ახლოს არის, ეს კი საუკეთესო ხარისხს განაპირობებს. მაგალითად, როგორიცაა: მონიტორები, მატრიცული და ჭავლური პრინტერები, ციფრული კამერები, სკანერები მობილური ტელეფონები და სხვ;
- *სკანირებული რასტრული ინფორმაციის გადაცემის მაღალი სიზუსტე.* ეს რასტრული გრაფიკის მთავარი უპირატესობაა, რადგან ის უზრუნველყოფს ფერთა გრადაციის მაღალი სიზუსტით გადაცემას;
- *პრევალენტობა.* რასტრული გრაფიკის გამოყენების სფერო პრაქტიკულად უსაზღვროა.

რასტრული გრაფიკის ნაკლოვანებები

- *რასტრული გამოსახულებები დიდ ზომის „მძიმე“ ფაილებით ხასიათდება.* რასტრული გრაფიკული ობიექტების აღწერის ინფორმაციული მასივები კომპიუტერის მეხსიერებაში დიდ მოცულობას იკავებს;
- *რასტრული გამოსახულების რედაქტირება, როგორც მეხსიერების ისე კომპიუტერის დიდ რესურსს საჭიროებს და, შესაბამისად, მეტ დროსაც მოითხოვს;*
- *რასტრული გამოსახულების რედაქტირება ძალიან შრომატევადი პროცესია;*
- *გამოსახულების ზომის ცვლილება მისი ხარისხის გაუარესებას იწვევს.*

3.4. ვექტორული გრაფიკა

ვექტორულ გრაფიკაში გამოსახულების ასახვა, რასტრულისგან განსხვავებით, მათემატიკურ აპარატს ეფუძნება. იგი დაკავშირებულია ისეთ ცნებებთან, როგორიცაა: წერტილი, ხაზი, მრუდები, წერტილთა კოორდინატები, ვექტორები, სპლაინები, მათემატიკური გარდაქმნები და სხვ. გამოსახულების **ვექტორული წარმოდგენა** ნიშნავს ობიექტის მათემატიკური ფორმულებით აღწერას, რაც გულისხმობს ობიექტის წარმოდგენას ვექტორების (წირი და მრუდები) საშუალებით და ამავდროულად მათი ფერისა და მდებარეობის ამსახველი პარამეტრების დაფიქსირებას.

ვექტორულ გრაფიკაში გამოსახულების მთავარი ელემენტი ხაზია. ხაზის წარმოდგენა რასტრულ და ვექტორულ გრაფიკაში სხვადასხვაგვარად ხდება. რასტრულ გრაფიკაში ის განიხილებოდა, როგორც წერტილთა ერთობლიობა, სადაც ყოველ წერტილს კონკრეტული ფერის კოდი შეესაბამება და მეხსიერებაშიც

ცალკე უჯრას იკავებს. ვექტორულ გრაფიკაში ყოველ ხაზს გამოყოფილი აქვს მესხიერების მკაცრად განსაზღვრული უჯრების რაოდენობა, სადაც იწერება მთელი ხაზის და არა მისი ყოველი წერტილის პარამეტრები. ხაზის სახეცვლილებასაც იცვლება მხოლოდ მისი პარამეტრები, მესხიერების უჯრების რაოდენობა კი უცვლელი რჩება.

ისე როგორც ყველა ობიექტს, ხაზსაც თავისი თვისებები აქვს. ამ თვისებებს მიეკუთვნება: წირის ფორმა, მისი სისქე, ფერი და წირის ხასიათი (უწყვეტი, წყვეტილი და სხვ.). ჩაკეტილი წირი დამატებით ფერშეცვლით ხასიათდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ჩაკეტილი კონტურის შიგნით მოთავსებული არე შეიძლება შევავსოთ ფერით, ტექსტურით ან რასტრით (Bitmap - რასტრული გამოსახულება). უმარტივეს გაწყვეტილ ხაზს ორი მწვერვალი აქვს, რომელთაც კვანძებს უწოდებენ, მათაც თავისი თვისებები აქვთ. ამ თვისებებზეა დამოკიდებული, როგორ გამოიყურება ხაზის მწვერვალი და როგორ უერთდება ორი ხაზი ერთმანეთს.

ნებისმიერი გამოსახულება შეიძლება დაიშალოს უამრავ მარტივ ობიექტად, გეომეტრიულ ფიგურებად, როგორც არის: წერტილი, ხაზი, წრე, კვადრეტი, სფერო, კუბი და სხვ. ნებისმიერი ასეთი ობიექტი ხასიათდება კონტურით და ფერშეცვლით. ასეთ მარტივ გეომეტრიულ ობიექტებს **გრაფიკული პრიმიტივები** ეწოდებათ. ვექტორულ გრაფიკაში ნებისმიერი რთული გამოსახულება ასეთი პრიმიტივების სხვადასხვა კომბინაციით იქმნება. მაგალითად, ოთხკუთხედი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ოთხი წირის კომბინაცია, ხოლო უფრო რთული ობიექტი კუბი – როგორც თორმეტი დაკავშირებული წირის ან ექვსი დაკავშირებული ოთხკუთხედის კომბინაცია.

ვექტორული გრაფიკა ობიექტის აღწერისათვის კომპიუტერულ ბრძანებებსა და მათემატიკურ ფორმულებს იყენებს. შესაბამისად, ვექტორული ობიექტი კომპიუტერის მესხიერებაში პარამეტრების ნაკრებით არის წარმოდგენილი. მიუხედავად ამისა, არ უნდა დაგვაფიქვდეს, რომ ეკრანზე ყველა გამოსახულება მაინც წერტილებით აისახება იმ უბრალო მიზეზის გამო, რომ მონიტორები ასეა მოწყობილი.

ობიექტის ეკრანზე გამოტანა, ანუ გამოსახულების ვიზუალიზაცია, წერტილთა კორდინატების გამოთვლას ითხოვს, ამიტომ ვექტორულ გრაფიკას ზოგჯერ **გამოთვლით გრაფიკასაც** უწოდებენ. ანალოგიური გამოთვლები ობიექტის პრინტერზე გატანის დროსაც სრულდება.

ვექტორულ გრაფიკაში გამოსახულების რედაქტირება დაკავშირებულია გრაფიკული პრიმიტივებისა და გეომეტრიული ფიგურების პარამეტრების ცვლილებასთან. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ მათი გადაადგილება, ზომის, ფორმის და ფერის შეცვლა არ აისახება ვიზუალური წარმოდგენის ხარისხზე, ვინაიდან ვექტორული გრაფიკა არ არის დამოკიდებული გამოსახულების რეზოლუციაზე. ეს უკავშირდება ვექტორული წარმოდგენის კიდევ ერთ უპირატესობას – ხარისხიან

მასშტაბირებას. ობიექტის გადიდება ან შემცირება მათემატიკურ ფორმულებში მხოლოდ შესაბამისი კოეფიციენტების გაზრდას ან შემცირებას იწვევს. აქედან მეორე საინტერესო დასკვნაც გამომდინარეობს: გამოსახულების ზომის ცვლილება ფაილის ზომას არ ცვლის, რადგან გამოსახულების აღწერისას მათემატიკური ფორმულები იგივე რჩება, იცვლება მხოლოდ პროპორციულობის კოეფიციენტი. მეორე მხრივ, ინფორმაციის შენახვის ასეთ მეთოდსაც გააჩნია ნაკლოვანებები. მაგალითად, თუ შევქმნით ძალიან რთულ გეომეტრიულ ფიგურას (განსაკუთრებით, თუ შემადგენელი ელემენტები ძალიან ბევრია), რომელიც აღწერილია რთული ფორმულებით, მაშინ მისი “ვექტორული” ფაილი შეიძლება ბევრად უფრო დიდი ზომის აღმოჩნდეს, ვიდრე მისი “რასტრული” ანალოგი.

სურ.5-ზე გამოსახულია ვექტორულ გრაფიკაში შექმნილი რთული გამოსახულება.



ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ვექტორული გრაფიკა გამოყენებას პოულობს ძირითადად ისეთ სფეროში, რომელიც არ არის დაკავშირებული მრავალფერიან ანუ ფერით და სხვადასხვა ტონებით დატვირთულ გამოსახულებებთან. მაგალითად, როგორც არის ტექსტების გაფორმება, ლოგოების შექმნა და სხვ.

ვექტორული გრაფიკის ფაილი შეიძლება რასტრულ გამოსახულებასაც შეიცავდეს და აღიქვამდეს მას, როგორც ერთ-ერთი ტიპის ობიექტს, მაგრამ როგორც წესი, ასეთი რასტრული ფრაგმენტი მხოლოდ მასშტაბირებას ექვემდებარება და არა რედაქტირებას. თუმცა დღეს უკვე არსებობს პროგრამები, რომლებიც მხარს უჭერს ორივე ტიპის გამოსახულებათა ერთდროულ თანაარსებობას და, როგორც ვექტორულ, ისე რასტრულ გამოსახულებებთან მუშაობის საშუალებას იძლევა. თუმცა უნდა აღვნიშნოთ, რომ რასტრულ გამოსახულებებს რასტრული ფორმატის ფაილები უფრო ეფექტურად აღწერენ.

ვექტორული გრაფიკის ფაილები შემდეგ ელემენტებს შეიცავენ:

- ვექტორულ ბრძანებათა ნაკრებს;

- ინფორმაციულ ცხრილს სურათის ფერის შესახებ;
- მონაცემებს იმ ფონტების შესახებ, რომლებიც შეიძლება ფიგურირებდეს კონკრეტულ სურათში.

ვექტორულ გრაფიკას ხშირად **ობიექტზე ორიენტირებულ გრაფიკას** უწოდებენ. რაც შეეხება ტერმინს “ობიექტზე ორიენტირებული” ის ასე უნდა გვესმოდეს:

ვექტორული ილუსტრაცია განიხილება როგორც ერთი მთლიანი ობიექტი. ეს მოვლენა უფრო გასაგები რომ იყოს, განვიხილოთ ვექტორული ილუსტრაციის სტრუქტურა ამ მიდგომის გათვალისწინებით.

ვექტორულ გრაფიკაში მარტივი ელემენტები უფრო რთულ ელემენტებად ერთიანდებიან, რის გამოც ვექტორული ილუსტრაცია განიხილება, როგორც გრაფიკული პრიმიტივების ერთობლიობა, სადაც თითოეულ სემანტურ ელემენტს მინიჭებული აქვს შესაბამისი პარამეტრები. ამგვარად, გამოსახულება იერარქიული სტრუქტურა ხდება, რომლის სათავე ილუსტრაციაა, ხოლო ყველაზე ქვედა ელემენტი – სტანდარტული ობიექტი. ყოველი ილუსტრაცია, მიუხედავად იმისა, იქნება ის მარტივი თუ რთული, ამ მიდგომის თანახმად, შემდგომში განიხილება როგორც ერთი მთლიანი. ამ მიდგომიდან გამომდინარე, ყოველ ობიექტს შეესაბამება მმართველი პარამეტრების, ან ატრიბუტების უნიკალური ერთობლიობა, ხოლო ობიექტთა ყოველ სტანდარტულ კლასს შეესაბამება სტანდარტულ ოპერაციათა ჩამონათვალი. მაგალითად ეს შეიძლება იყოს ობიექტის მობრუნება, სარკისებრი არეკვლა, მასშტაბის შეცვლა, ტრანსფორმაცია და სხვ. ობიექტზე ორიენტირებული მიდგომა ვექტორულ გრაფიკაში მუშაობის პროცესს თითქმის შეუზღუდავ მოქნილობას ანიჭებს.

ვექტორული გრაფიკის რედაქტორები სწორედ ამ კონცეფციაზე დაყრდნობით იქმნება. ამასვე უკავშირდება ობიექტზე ორიენტირებული პროგრამული ენების განვითარებაც.

ვექტორული გრაფიკის პროგრამები ძირითადად იქმნება ისეთ დისციპლინებზე დაყრდნობით, როგორცაა: გამოყენებითი მათემატიკის მეთოდები, ანალიზური გეომეტრია (წერტილისა და ხაზების გარდაქმნის პროცესები), ხატვის ალგორითმები და სხვ.

ვექტორული გრაფიკის ამოცანათა პრაქტიკული რეალიზება ვექტორული გრაფიკული რედაქტორების საშუალებით ხორციელდება, როგორცაა **Adobe Illustrator, CorelDraw, Macromedia Freehand** და სხვ. ამ პროგრამების გამოყენებით ხორციელდება მხაზველობითი და დიზაინური სამუშაოები, როგორცაა სქემების, დიაგრამების, პროექტების აგება, ლოგოტიპების შექმნა და სხვ.

ვექტორული გრაფიკის გამოყენების სფეროებია: კომპიუტერული პოლიგრაფია, კომპიუტერული პროექტირების სისტემები, კომპიუტერული დიზაინი და რეკლამა.

3.5. ვექტორული გრაფიკის დადებითი და უარყოფითი მხარეები

ვექტორული გრაფიკის უპირატესობები:

- ვექტორული გრაფიკა იყენებს ნებისმიერი გამოტანის მოწყობილობის რეზოლუციას და მის ყველა შესაძლო უპირატესობას (წერტილების მაქსიმალურად შესაძლებელ რაოდენობას), რაც ვექტორული სურათის ზომის ცვლილების საშუალებას იძლევა ხარისხის დანაკარგის გარეშე;
- ვექტორულ გრაფიკაში შესაძლებელია გამოსახულების ცალკეული ნაწილების რედაქტირება, რაც ობიექტის დანარჩენ ნაწილებზე ზეგავლენას არ ახდენს;
- ვექტორული გამოსახულება, რომელიც არ შეიცავს რასტრულ ობიექტებს, კომპიუტერის მეხსიერებაში შედარებით მცირე ადგილს იკავებს.

ვექტორული გრაფიკის ნაკლოვანებები:

- ვექტორული გამოსახულებები არაბუნებრივად, ხელოვნურად გამოიყურებიან;
- ვექტორული გამოსახულებების მასშტაბირება გაცილებით ადვილი და ხარისხიანია, მაგრამ რასტრულთან შედარებით ნაკლებად მხატვრულია.

3.6. ფრაქტალური გრაფიკა

ფრაქტალური გრაფიკა, ვექტორულის მსგავსად, მათემატიკურ გამოთვლებზეა დაფუძნებული, მაგრამ მისგან განსხვავებით, თვით ობიექტის დამახსოვრება კომპიუტერის მეხსიერებაში არ ხდება. ფრაქტალური გრაფიკის ბაზური ელემენტი თვით მათემატიკური ფორმულაა. გამოსახულების აგება, იქნება ეს მარტივი სტრუქტურა თუ რთული ილუსტრაცია, უშუალოდ ამ განტოლების ან განტოლებათა სისტემის მიხედვით ხდება. შესაბამისად, თუ ფრაქტალური გამოსახულების განტოლებაში შევცვლით კოეფიციენტებს, სრულიად განსხვავებულ სურათს მივიღებთ. ფრაქტალური გრაფიკა, მისი სტრუქტურული არსიდან გამომდინარე, არაჩვეულებრივი ინსტრუმენტია ცოცხალი ბუნების მოდელირებისათვის, რასაც ხშირად იყენებენ განსაკუთრებული ტიპის ილუსტრაციების ავტომატური გენერაციისას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ფრაქტალური გამოსახულების შექმნა დაკავშირებულია არა ხატვასთან არამედ პროგრამირებასთან. ფრაქტალურ გრაფიკას იშვიათად იყენებენ ბეჭდური ან ელექტრონული დოკუმენტების შესაქმნელად, მაგრამ ხშირად იყენებენ გასართობ პროგრამებში.

ფრაქტალი უსასრულო სირთულის გეომეტრიული ობიექტია. თუმცა მისი აგების წესიდან გამომდინარე შესაძლებელია მისი ნაწილების დეტალური განხილვა როგორც ახლოდან, ისე შორიდან. მაგალითად, ფრაქტალური ობიექტის კლასიკური

მაგალითია დედამიწა. კოსმოსიდან ის გამოყურება როგორც სფერო. მასთან დაახლოვებისას აღმოვაჩინოთ ოკეანეებს, კონტინენტებს, სანაპიროებს და მთის მასივებს. უფრო მეტი სიახლოვის შემთხვევაში ხილვადი გახდება უფრო მცირე დეტალებიც, მაგალითად, მთის უსწორმასწორო ზედაპირი. მასშტაბის ძლიერი გაზრდით კი ნიადაგის ნაწილაკების დანახვაც შეიძლება, რომლებიც თვითონ წარმოადგენენ ფრაქტალურ ობიექტებს.

ფრაქტალი თვითმომსგავსების თვისების მქონე გეომეტრიული ფიგურაა, რომელიც მრავლობითი ნაწილებისგან შედგება. მისი თითოეული ნაწილი, მთლიანად მთელი ფიგურის მსგავსია. სურ.6-ზე გამოსახულია ფრაქტალური სტრუქტურის მქონე ობიექტი.

ფრაქტალები მარტო მათემატიკური ცნობისმოყვარეობის საგანი როდია, მისი გამოყენება ძალიან საინტერესო და ამასთანავე სასარგებლოა. მაგალითად, ფრაქტალურ პეიზაჟებს დეკორაციებად იყენებენ ფანტასტიკის ჟანრის ფილმებში. ფრაქტალური ტექნოლოგია ძალიან სასარგებლო აღმოჩნდა გამოსახულებათა შეკუმშვისთვისაც. უნდა აღინიშნოს, რომ ხშირად ფრაქტალური მეთოდი უფრო კარგ შედეგს იძლევა, ვიდრე შეკუმშვის სხვა მეთოდები.



- ფრაქტალი თვითმომსგავსების თვისების მქონე გეომეტრიული ფიგურაა;
- ფრაქტალური გრაფიკა, ისევე როგორც ვექტორული, გამოთვლითია;
- ფრაქტალი კომპიუტერში ობიექტის სახით არ ინახება;
- ფრაქტალური გამოსახულების წარმოდგენა განტოლებებისა და განტოლებათა სისტემის მიხედვით ხდება.

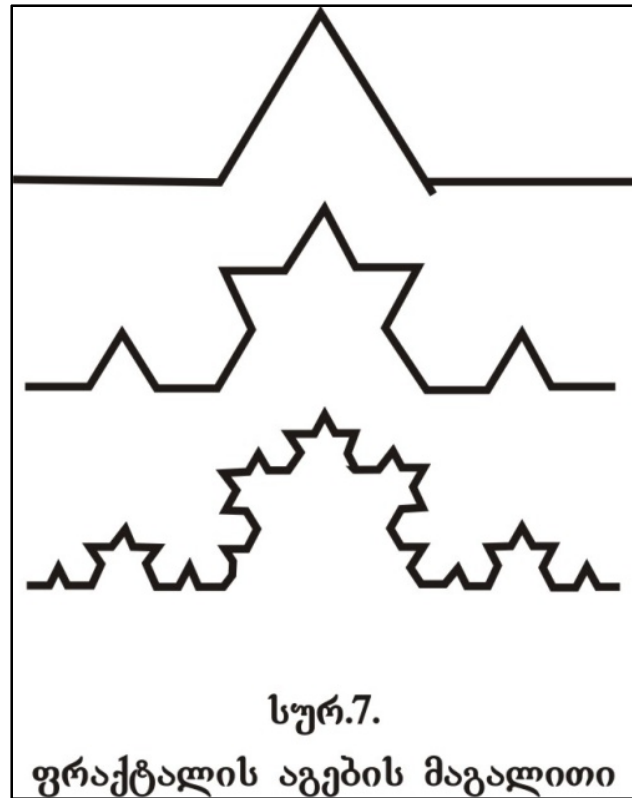
3.7. ფრაქტალების ძირითადი თვისებები

- თვითმომსგავსება – ფრაქტალის თვითოეული ნაწილი მთლიანად მთელი ფიგურის მსგავსია, რასაც ზოგჯერ მემკვიდრეობასაც უწოდებენ;
- ფრაქტალის ნებისმიერი მიკროსკოპული ფრაგმენტი, ამა თუ იმ გაგებით, ასახავს მის გლობალურ სტრუქტურას. ყველაზე უმარტივეს შემთხვევაში ფრაქტალის ნაწილი მთლიანი ფრაქტალის შემცირებულ ვარიანტს წარმოადგენს.
- მემკვიდრეობის პროცესი შეიძლება უსასრულოდ გაგრძელდეს. თუ ფრაქტალურ ობიექტს ღუპით ან მიკროსკოპით დავაკვირდებით, სულ ახალ დეტალებს აღმოვაჩინოთ, რომლებიც მისი წინამორბედი თაობის სტრუქტურულ თვისებებს იმეორებს.

ფრაქტალის აგების „რეცეპტი“

თუ რაიმე "მოტივირებულ" მოქმედებას ბერჯერ გავიმეორებთ და, ამავდროულად, ზომასაც მუდმივად შევამცირებთ, ბოლოს და ბოლოს მივიღებთ სტრუქტურას, რომელიც ამ "მოტივირებულ" მოქმედებას ყველა მასშტაბში ასახავს. ეს სურათი შეიძლება "სიღრმეში მიმართულ უსასრულო კიბეს" შევადაროთ.

- ავიღოთ მონაკვეთი და მისი შუა მესამედი ნაწილი გადავღუნოთ 60 გრადუსიანი კუთხით;
- ეს ოპერაცია უსასრულოდ გავიმეოროთ მიღებული ყველა ტეხილის უბანზე;
- ამ მოქმედებების შედეგად მივიღებთ უმარტივეს ფრაქტალს – ტრიადურ მრუდს (სურ.7.), რომელიც 1904 წელს მათემატიკოსმა ხელგა ფონ კოჰმა აღმოაჩინა.



ფრაქტალის აგების სხვა ვარიანტები

- თუ ყოველ ბიჯზე, არა მარტო შევამცირებთ ძირითად "მოტივს", არამედ დავძრავთ და მოვატრიალებთ კიდევ, შეიძლება უფრო საინტერესო და რეალისტური წარმონაქმნი მივიღოთ, მაგალითად გვიმრის ფოთოლი ან გვიმრის მთელ ბუჩქი;
- შესაძლებელია ასევე ავაგოთ სავსებით რეალისტური ფრაქტალური რელიეფი და დაეფაროთ ტყით;
- თანამედროვე კომპიუტერულ თამაშებში გარემოს ამსახველი ტექსტურების უმრავლესობა ფრაქტალებს წარმოადგენს;
- სურათ 8-ზე გამოსახული მთები, ტყე და ღრუბლები – ფრაქტალებია.



სურ.8.

ფრაქტალური პეიზაჟი

დაბოლოს. . . .

ფრაქტალი – რაღაც ძალიან ლამაზი, მათემატიკური და ფსიქოდელიურია (უჩვეულო, მწვავედ აღქმადი). ბუნების ბევრი ობიექტი ფრაქტალური თვისების მატარებელია. მაგალითად, ჩვეულებრივი ფიფქი, ღრუბლები, მთები, ხეები, გვიმრის და კომბოსტოს ფოთლები და სხვ. მათი მრავალჯერადი გადიდება გვარწმუნებს მის ფრაქტალურ ბუნებაში. ფრაქტალური ალგორითმები ჩადებულა კრისტალებისა და მცენარეების ზრდაშიც.

3.8. გამოსახულების ფრაქტალური შეკუმშვა

სამწუხაროდ, სილამაზე ცუდად იკუმშება, რაც ინტერნეტისთვის დიდი პრობლემაა. Web დიზაინი ითხოვს მცირე ზომის, მაგრამ ამავედროულად დიდ, ნათელ და მკაფიო სურათებს, რაც ფაილის ხარისხიან შეკუმშვას მოითხოვს. ფრაქტალური შეკუმშვა გულისხმობს გამოსახულების კოეფიციენტების სახით დამახსოვრებას, ე.ი. განიხილავს მას არა როგორც რასტრულ ინფორმაციას, არამედ როგორც ინფორმაციას თვით გამოსახულების სტრუქტურის შესახებ. შესაბამისად, ფრაქტალური არქივაცია იყენებს გამეორებად ფუნქციათა სისტემას და მისი კოეფიციენტების საშუალებით ახერხებს გამოსახულების უფრო კომპაქტურ ფორმაში წარმოდგენას. ფრაქტალური შეკუმშვის ტექნოლოგიის გამოყენებით 1993 წელს Microsoft-მა შექმნა ელექტრონული მულტიმედიური ენციკლოპედია **Encarta**. ფრაქტალების შექმნისათვის არსებობს უამრავი სპეციალური კომპიუტერული პროგრამები:

- *Ultra Fractal*
- *Fractal Explorer*
- *ChaosPro*
- *Apophysis*
- *Chaoscope*
- *Mystica*
- *Fractal Extreme*
- *Fractal Snowflake*

როდესაც გამოსახულებაზე ვსაუბრობთ, განურჩევლად იმისა, იქნება ეს რასტრული, ვექტორული თუ ფრაქტალური, ერთ-ერთ მთავარ მახასიათებლად მისი ფერი სახელდება. აქედან გამომდინარე, კომპიუტერული გრაფიკის სრულყოფილი ცოდნა გულისხმობს ასევე ფერისა და მასთან დაკავშირებული ცნებების შესწავლას.

4. ფერი და სინათლე

ბუნება ძალიან ფერადოვანია, წარმოდგინეთ, რა მოსაწყენი და უინტერესო იქნებოდა სამყარო ფერების გარეშე. თუმცა მრავალფეროვანი ბუნებრივი ფერები ერთადერთი არ არის, რაც გვხიბლავს. ასევე მნიშვნელოვანია ფერთა სინთეზი და კომბინაცია, რომელიც ზოგჯერ სასურველი ფერადი გამოსახულების მისაღებად კონტრასტული ფერების შეხამებასაც გულისხმობს.

ფერთა კომბინაციის შესახებ მეცნიერები საუკუნეების წინ დაფიქრდნენ და ფერები წრეზე გაანაწილეს (სურ. 9). ამან საფუძველი ჩაუყარა ფერთა თეორიის განვითარებას, რომელიც ფერთა შერევისა და კომბინაციის საკითხებს სწავლობს. ფერთა თეორია ძალიან ვრცელი და რთული მეცნიერებაა. ფერებს სწავლობენ როგორც ფიზიკოსები, ისე ფსიქოლოგები, ექიმები და ინჟინრები.

თანამედროვე კომპიუტერული სისტემები მილიონობით ფერთა ტონის წარმოდგენის საშუალებას იძლევა. კომპიუტერულ

გრაფიკაში მარტივად ხდება მკაფიო და ცოცხალი ფერადი გამოსახულებების მიღება ფერების სინთეზისა და მრავალრიცხოვანი ეფექტების გამოყენებით, რაც შეუზღუდავი შესაძლებლობების შეგრძნებას იწვევს. თუმცა საქმე არც ისე მარტივადაა. კომპიუტერულ სისტემებში ფერთან მუშაობისას ჩნდება მთელი რიგი დაბრკოლებები. მაგალითად, არსებობს ფერთა ელფერების (ტონების) დიდი რაოდენობა, რომელთა ასახვაც შეუძლებელია დისპლეის ეკრანზე ან ფერად პრინტერზე, თუმცა მხატვრის ტილოს ეს შეზღუდვა არ ეხება. კომპიუტერული გრაფიკის შესწავლისას აუცილებელია ვიცოდეთ თანამედროვე კომპიუტერების ფერთან მუშაობის შესაძლებლობები და ამავე დროს შეზღუდვებიც.

რაიმე სხეულის აღწერისას, ცხადია, მის ფერზეც საუბრობენ, რადგან ეს ინფორმაცია საკმაოდ მნიშვნელოვანია. აღსანიშნავია, რომ თვით სხეულს ფერი არ გააჩნია, რადგან ადამიანი ფერს მაშინ ხედავს, როდესაც საგნებიდან არეკლილი სინათლე თვალის მგრძობიარე უჯრედებამდე აღწევს. ფერი ადამიანის თვალზე გამოსხივების ზემოქმედებით ხასიათდება. ამიტომ ფერის ცნება მჭიდროდ არის დაკავშირებული ადამიანის მიერ სინათლის აღქმასთან. შეიძლება ითქვას, რომ ფერი თვალში იბადება, რადგან, ეცემა რა სინათლის სხივები თვალის ბადურას, მასში იწვევს ფერის შეგრძნებას. ამდენად ადამიანის მიერ ფერის აღქმა დამოკიდებულია თვით ობიექტზე, მის განათებაზე და დამკვირვებლის ტვინის თვისებებზე.



რაც შეეხება სინათლეს (განათებას), ეს ელექტრომაგნიტური გამოსხივებაა. სინათლე, თვალში მოხვედრისას, ბადურაში არსებული ნეირონების საშუალებით სიგნალად გარდაიქმნება და ოპტიკური ნერვების მეშვეობით ტვინს მიეწოდება.

ფიზიკური თვალსაზრისით, ფერი ობიექტიდან არეკლილი ან გამჭვირვალე საგანში გატარებული ტალღის სიგრძეთა გარკვეული ერთობლიობაა.

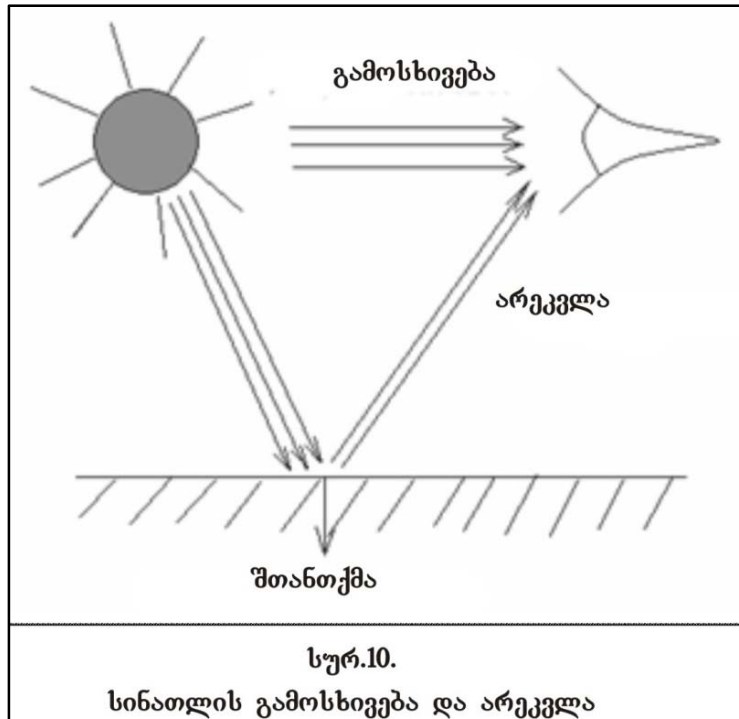
როგორც ვხედავთ, ფერი საკმაოდ რთული პრობლემაა. თუ შევაჯამებთ ზემოთ მოყვანილ განმარტებებს, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ:

- ფერი ოპტიკური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ხარისხობრივ სუბიექტური მახასიათებელია.
- ფერი განისაზღვრება ფიზიოლოგიური და მხედველობითი შეგრძნებების საფუძველზე.
- ფერს გააჩნია როგორც ფიზიკური, ისე ფსიქოფიზიოლოგიური ბუნება. ის დამოკიდებულია მთელ რიგ ფიზიკურ, ფიზიოლოგიურ და ფსიქოლოგიურ ფაქტორებზე.
- ფერის აღქმა დამოკიდებულია სინათლის ფიზიკურ თვისებებზე ე.ი. ელექტრომაგნიტურ ენერგიაზე, მის ფიზიკურ ნივთიერებებთან ურთიერთქმედებაზე და ასევე ადამიანის ვიზუალური სისტემის მიერ მის ინტერპრეტაციაზე.
- ფერის აღქმა განისაზღვრება ადამიანის ინდივიდუალურობით, ასევე სინათლის სპექტრული შემადგენლობით და ფერთა მახასიათებლებით, როგორცაა სიკაშკაშე, გაჯერებულობა, სიღიავე.

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ობიექტის ფერი დამოკიდებულია არა მხოლოდ თავად ობიექტზე, არამედ ასევე სინათლის წყაროზე, რომელიც ობიექტს ანათებს და ასევე ადამიანის ვიზუალურ სისტემაზე. უფრო მეტიც, ზოგი სხეული ირეკლავს სინათლეს (დაფა, ქაღალდი), ზოგი კი ატარებს მას (მინა, წყალი). აქედან გამომდინარე ანსხვავენ გამოსხივების ფერს და არეკლილ ფერს.

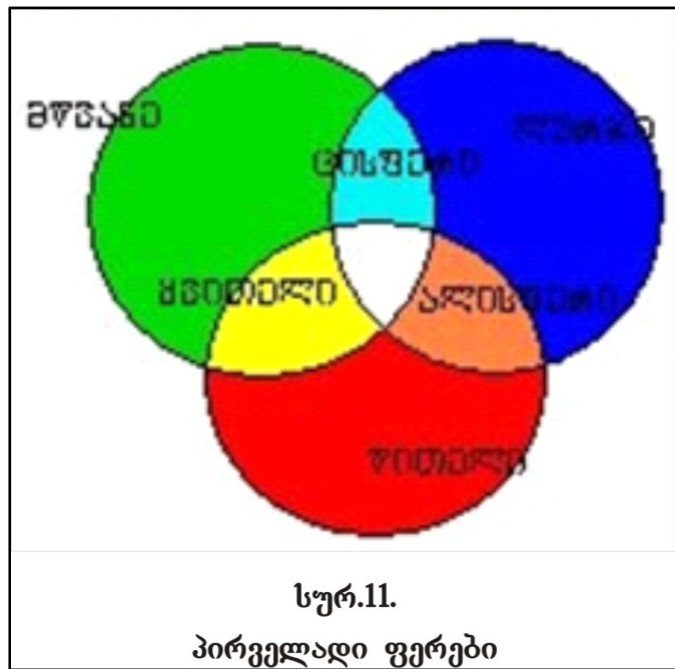
- გამოსხივების ფერი სინათლეა, რომელიც სინათლის წყაროდან მოდის, მაგალითად მზე, ნათურა, ან მონიტორის ეკრანი.
- არეკლილი ფერი კი ის სინათლეა, რომელიც ობიექტის ზედაპირიდან აისახება. სწორედ ამას ვხედავთ, როდესაც ვუყურებთ ისეთ ობიექტს, რომელიც სინათლის წყაროს არ წარმოადგენს. მაგალითად, ფურცელს რომელზეც ვბეჭდავთ. ის სინათლეს ირეკლავს.

გამოსხივებული სინათლე, რომელიც სინათლის წყაროდან უშუალოდ ადამიანის თვალში ხვდება, ინარჩუნებს ყველა იმ ფერს რისგანაც ის შესდგება. ობიექტიდან მისი არეკვლის შემთხვევაში კი ამ სინათლის შემადგენლობა შეიძლება შეიცვალოს, რადგან ის დამოკიდებულია მის ფიზიკურ ნივთიერებებთან ურთიერთქმედებაზე. სურ. 10-ზე გამოსახულია სინათლის გამოსხივება და არეკვლა



თუ ფერს კომპიუტერული გრაფიკის კუთხით შევხედავთ, მაშინ საინტერესო იქნება არა მარტო ფერის განმარტება და მისი ფიზიკური ბუნება, არამედ ის, თუ პრაქტიკაში როგორ მიიღება ესა თუ ის კონკრეტული ფერი.

ცნობილია, რომ წითელი, მწვანე და ლურჯი სინათლის (სურ. 11) სხვადასხვა კომბინაციით თითქმის ყველა ფერის მიღება შეიძლება. ამის გამო წითელს, მწვანეს და ლურჯს პირველადი ფერები ეწოდება.

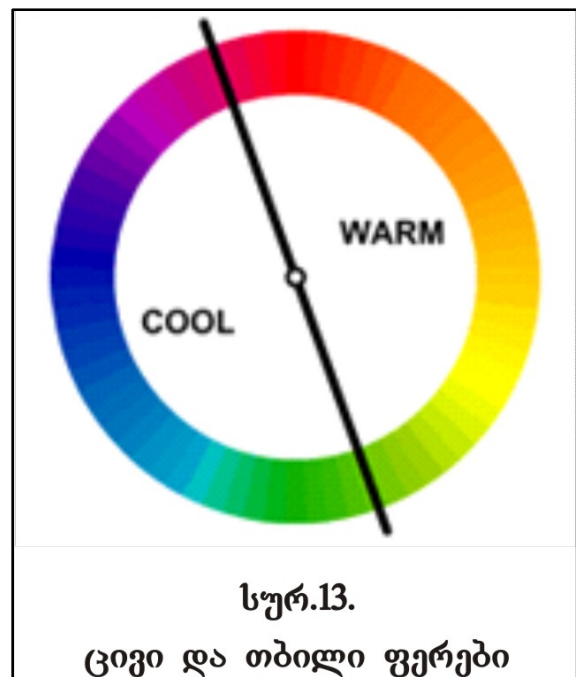
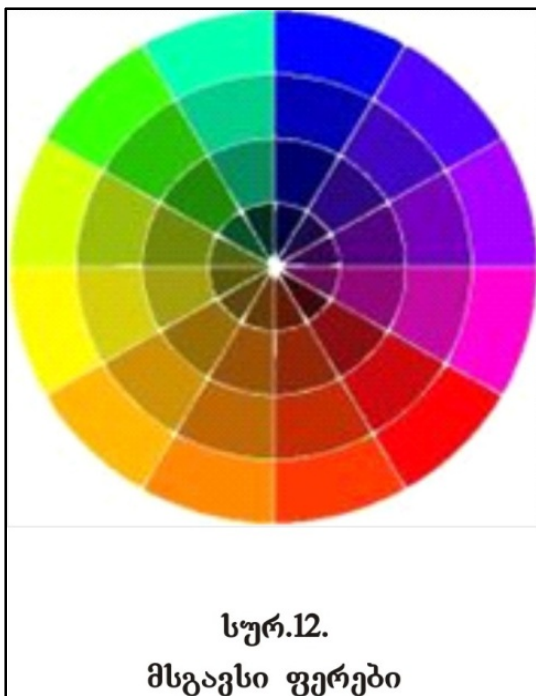


ორი პირველადი ფერის შერევის შედეგად მიღებულ ფერს მეორადი ეწოდება. შესაბამისად, ცისფერი, ალისფერი და ყვითელი სინათლის მეორადი ფერებია. ნებისმიერ ორ ფერს, რომელთა შერევიდაც თეთრი სინათლე მიიღება, მაგალითად, წითელსა და ცისფერს, ურთიერთშემავსებელი ფერები ეწოდება.

მესამე დონის ფერები უკვე პირველადი და მეორადი ფერების ნაზავს წარმოადგენს. შეიძლება შეიქმნას კიდევ უამრავი წრე, სადაც ფერთა ტონებიც იქნება წარმოდგენილი. ამგვარად, ფერთა კომბინირებით შეიძლება მივიღოთ:

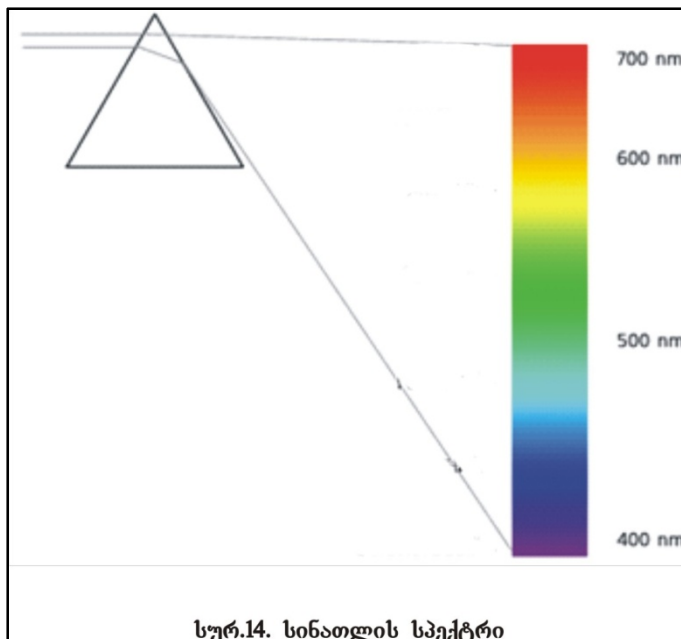
- მსგავსი ფერები (analogous) (სურ.12), ანუ ფერები, რომლებიც ერთმანეთის გვერდიგვერდ იმყოფებიან ფერთა წრეზე. მაგალითად, წითელი და წითელ-სტაფილოსფერი
- კონტრასტული ფერები (Complementary colors) ანუ ფერები, რომლებიც წრეზე ერთმანეთის საპირისპიროდ არიან განლაგებულნი. მაგალითად, ყვითელი და იასამნისფერი, წითელი და მწვანე...

ფერებს ყოფენ ასევე ცივ და თბილ ფერებად (სურ.13), როგორც სურათზე ვხედავთ, თბილი ფერებია: წითელი, სტაფილოსფერი და ყვითელი, ხოლო ცივი ფერებია: მწვანე, ლურჯი და იასამნისფერი.



4.1. ფერთა თეორიის ელემენტები, გრასმანის კანონები

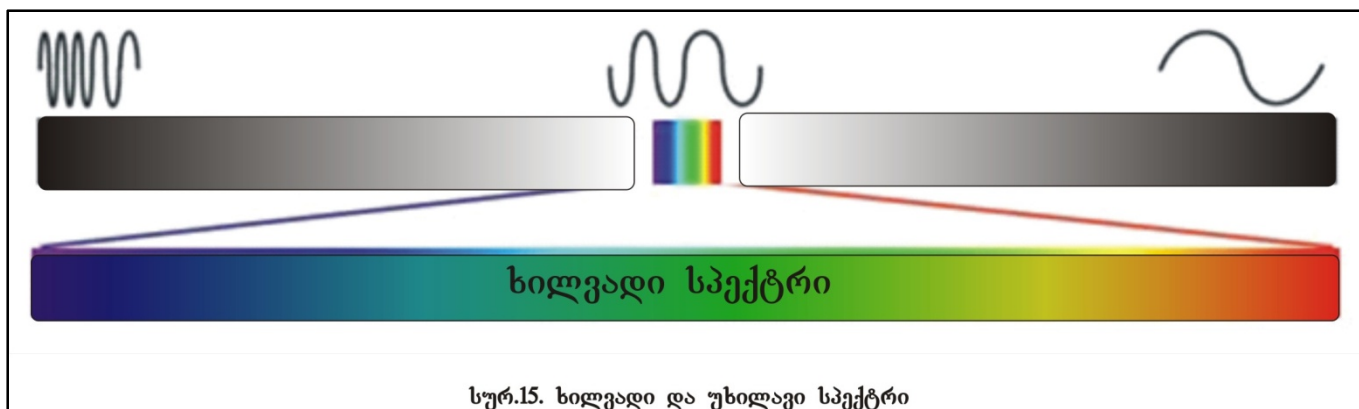
მზის სინათლე უფეროა, ხშირად მას თეთრ სინათლეს უწოდებენ. თეთრი სინათლე შეიძლება ფერისგან შედგება. თითოეულ ფერს გარკვეული სიგრძისა და სიხშირის ტალღა შეესაბამება. ამ ფერების ერთობლიობა **ხილვადი სინათლის სპექტრს** ქმნის (სურ.14). სპექტრის კარგ დემონსტრაციას ბუნებრივი მოვლენა – ცისარტყელა წარმოადგენს. სპექტრის ფერებს **ქრომატული ფერები** ეწოდება.



სურ.14. სინათლის სპექტრი

მზის სინათლე, ხილული სპექტრის გარდა, სხვა ტალღებსაც შეიცავს (სურ.15). სპექტრის წითელ ბოლოს უშუალოდ მოჰყვება ინფრაწითელი გამოსხივება, რომელსაც წითელ სინათლეზე გრძელი ტალღები აქვს.

ინფრაწითელ გამოსხივებას ვერ ვხედავთ, მას თბილი სხეულები გამოყოფენ. მაგალითად, ტელევიზორის დისტანციური მართვის პულტი ინფრაწითელ გამოსხივებას იყენებს.

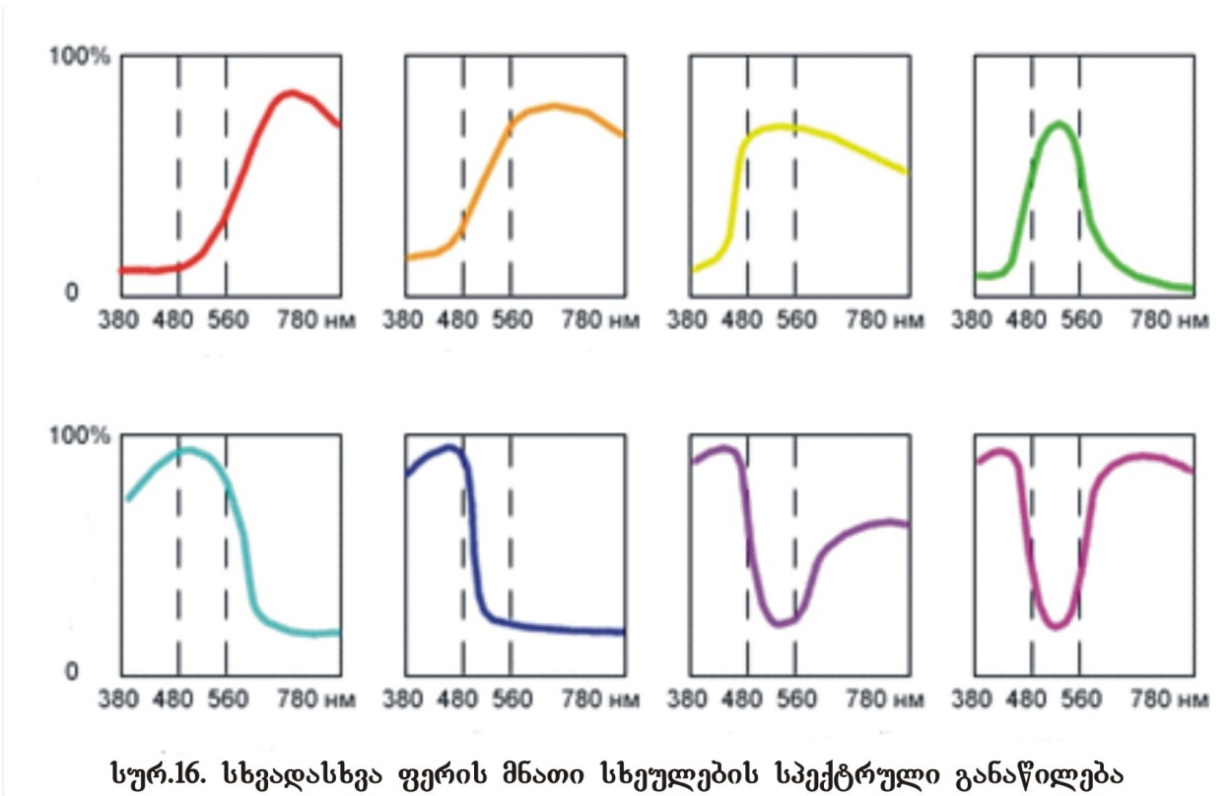


სურ.15. ხილვადი და უხილავი სპექტრი

სპექტრის მეორე ბოლოს ულტრაიისფერი გამოსხივება ესაზღვრება, რომლის ტალღები იისფერი სინათლის ტალღაზე მოკლეა. მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება სხეულის გარუჯვაში გვეხმარება.

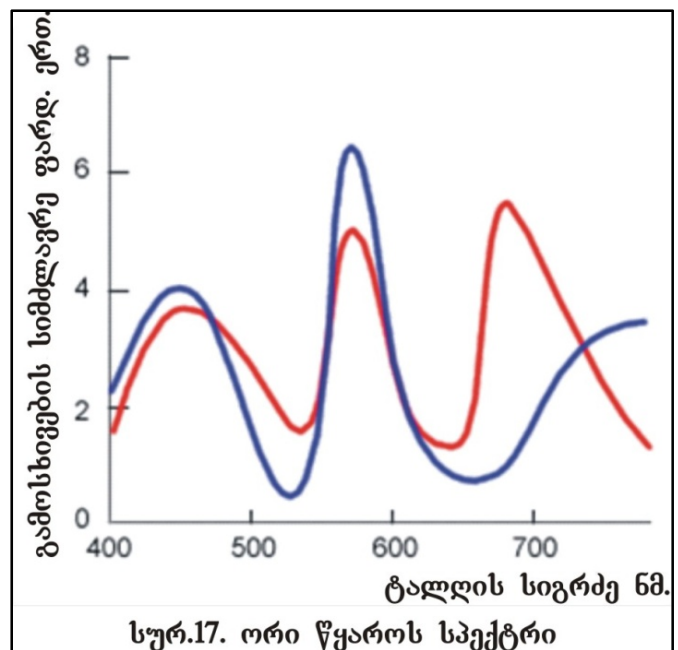
ჩვეულებრივ, სინათლის წყაროს გამოსხივება სხვადასხვა სიგრძის ტალღებს შეიცავს. ის საკმაოდ რთული სპექტრული შედგენილობით ხასიათდება და აღიწერება ფუნქციით, რომელსაც სპექტრული განაწილება ეწოდება. მაგალითად,

მე-16 სურათზე ნაჩვენებია ფერადი სინათლის წყაროს ზოგიერთი ტიპობრივი სპექტრული განაწილება.



ცხადია, ნებისმიერი წყაროს კლასიკური აღწერისთვის საჭირო იქნება უამრავი პარამეტრი, მაგრამ თუ პრობლემას განვიხილავთ, როგორც ადამიანის მიერ წყაროს ფერის აღქმის ფაქტს, მაშინ სიტუაცია შეიძლება გამარტივდეს. ფერის აღქმასთან დაკავშირებით ჩატარდა ფიზიკური და ფსიქოფიზიოლოგიური გამოკვლევები, რის შედეგადაც დაფიქსირდა ორი ძალზე მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტული ფაქტი:

1. თუ წყაროები სხვადასხვა ფერის სინათლეს ასხივებენ, მაშინ მათი სპექტრული შედგენილობა უეჭველად სხვადასხვა იქნება.



2. მეორე მხრივ, სულაც არ არის აუცილებელი, რომ ერთი ფერის სინათლის გამომსხივებელ წყაროებს, ერთნაირი სპექტრული შედგენილობა ჰქონდეთ.

მაგალითად, მე-17 სურათზე გამოსახულია ორი წყაროს სპექტრი. როგორც ვხედავთ, მათი სპექტრული შედგენილობა სხვადასხვაა. თუმცა, რეალურად მათი ერთად მოთავსებისას, ადამიანი ერთ ფერს ხედავს. აღმოჩნდა, რომ ადამიანის თვალი ვერ აღიქვამს სინათლის წყაროს სპექტრული შედგენილობის ყველა ნიუანსს. ის როგორღაც “ასაშუალოებს” ფერებს. შესაბამისად, ადამიანის მიერ აღქმულ ფერთა აღწერისთვის პარამეტრების ნაკლებ რაოდენობას ვიყენებთ. როგორც ჩანს, რეალური სამყარო გაცილებით უფრო რთული და ფერადოვანია, ვიდრე ჩვენ მას ვხედავთ!

ჯერ კიდევ გასულ საუკუნეში გერმანელმა მათემატიკოსმა გრასმანმა ფერთა შერევისას ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე ჩამოაყალიბა შემდეგი სამი კანონი:

1. ნებისმიერ ოთხ ფერს შორის წრფივი დამოკიდებულება არსებობს. ე.ი. ნებისმიერი ფერი შეიძლება გამოვსახოთ სამი წრფივად დამოუკიდებელი ფერის წრფივი კომბინაციით (შერევით). წრფივად დამოუკიდებელი ფერების რიცხვს მიეკუთვნება მაგალითად, წითელი, მწვანე და ლურჯი ან ყვითელი, ცისფერი და ალისფერი. არსებობს წრფივად დამოუკიდებელი ფერების მთელი სიმრავლე. გრასმანის პირველი კანონიდან გამომდინარეობს, რომ **ფერთა სივრცე სამგანზომილებიანია.**
2. თუ სამი ფერის შერევისას ერთი-ერთი (ან მეტი) უწყვეტად იცვლება, მაშინ მიღებული ნაზავის ფერიც უწყვეტად ცვლადი იქნება. ე.ი. არ არსებობს რაიმე იზოლირებული ფერი, რომელიც არ შეერევა სხვა შესარევ ფერებს. მეორე კანონიდან გამომდინარეობს, რომ **ფერთა სივრცე უწყვეტია.**
3. შერევის შედეგად მიღებული ფერი დამოკიდებულია მხოლოდ შესარევი კომპონენტების ფერზე და არა მათ სპექტრულ შედგენილობაზე. ამ კანონიდან გამომდინარეობს, რომ თუ არსებობს ორი, ვიზუალურად ერთნაირი, მაგრამ სხვადასხვა სპექტრული შედგენილობის ფერი, მაშინ მათი მესამე ფერთან შერევის რეზულტატი ორივე შემთხვევაში ერთნაირი იქნება. ე.ი. **ფერების შერევისას მნიშვნელოვანია თვითონ ფერი და არა წყაროს სპექტრული შედგენილობა.**

გრასმანის კანონებიდან გამომდინარეობს, რომ ნებისმიერი ფერის აღწერას სულ სამი პარამეტრი სჭირდება. ამ ფაქტს ეფუძნება თანამედროვე კომპიუტერული მოწყობილობების (მონიტორების, ფერადი ბეჭდვისა და სხვათა) მუშაობა. მარტივი მისახვედრია, რომ ფერი ერთ-ერთ მთავარ როლს ასრულებს კომპიუტერულ გრაფიკაში. ამიტომ მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ, თუ როგორ აღიქმება ფერი კომპიუტერის ეკრანზე და ასევე სხვა დანარჩენ შეტანა -გამოტანის

მოწყობილობაზე, როგორცაა სკანერი, პრინტერი, ციფრული ფოტოაპარატი, კამერა და სხვ.

ბუნებრივია, ისმის კითხვა: სამყაროში არსებულ ფერთა წარმოდგენისთვის რატომ არის საკმარისი მხოლოდ სამი ძირითადი ფერი? პასუხი ადამიანის თვალის ბადურის აგებულებაშია. ბიოლოგიიდან ცნობილია, რომ ბადურის ფოტომგრძნობიარე ელემენტებია ჩხირები და კოლებები. ჩხირებს არ ახასიათებს ფერზე მგრძნობიარობა და უზრუნველყოფს მხოლოდ ბინდის მონოქრომატულ მხედველობას. თვალში ფერისადმი მგრძნობიარე მხოლოდ სამი სახის უჯრედია. ეს უჯრედები, რომელსაც კოლებები ეწოდება, თვალის უკანა მხარეს, ბადურაზეა მოთავსებული. კოლებები წითელ, ლურჯ და მწვანე სინათლეზე რეაგირებენ. ყველა დანარჩენ ფერს კი ტვინი გამოიმუშავებს ამ უჯრედებიდან მიღებული სიგნალის კომბინირებით. მაგალითად, ყვითელი სინათლე ადაგზნებს წითელ და მწვანე უჯრედებს, ლურჯ უჯრედებს კი – არა, ხოლო ტვინმა კი უკვე ისწავლა, რომ ეს კომბინირებული სიგნალი აღიქვას როგორც ყვითელი ფერი.

ადამიანის მიერ აღქმული ზოგიერთი ფერი სინათლის სპექტრში სულაც არ შედის, ასეთ ფერებს *არასპექტრული ფერები* ეწოდებათ. მაგალითად, ყავისფერს ან შინდისფერს არანაირი სინათლის ტალღის სიგრძე არ შეესაბამება. ასეთ ფერებს ტვინი თვალთან მიღებული სიგნალების კომბინირებით ქმნის. თუ გამოვიყენებთ ტვინის მიერ ფერების აღქმის ამ გზას, მაშინ ტვინს შეგვიძლია დავანახოთ ფერი, რომელიც რეალურად არა გვაქვს. მონიტორის ეკრანის ფერადი კადრი ერთად თავმოყრილი წითელი, მწვანე და ლურჯი პატარა უჯრებისგან შედგება. ჩვენ ბევრ ფერს იმიტომ ვხედავთ, რომ ეს უჯრები სხვადასხვა დონეზე კაშკაშებენ. ეკრანზე ყვითელი პერანგი რომ გამოჩნდეს, წითელი და მწვანე უჯრები უფრო მკაფიოდ უნდა კაშკაშებდნენ, ვიდრე ლურჯი. ეს ზუსტად ისეთივე სიგნალს უგზავნის ტვინს, როგორსაც ყვითელი სინათლე. ასე „ტყუდება“ თვალი და ხედავს ყვითელ პერანგს. მონიტორის ეკრანზე ნებისმიერი ფერის დანახვა შეგვიძლია, მაგრამ თუ ეკრანს საკმარის ახლოდან დავაკვირდებით, აღმოვაჩინებთ, რომ გამოსახულება შედგება, მხოლოდ სამი ფერის პატარა უჯრებისგან და, ცხადია, ეს სამი ფერი პირველადი ფერებია: წითელი, მწვანე და ლურჯი.

რაც შეეხება საგნებს, აქ საქმე სხვაგვარად არის. ყველა ფერადი საგანი პიგმენტებს შეიცავს. ეს არის ნივთიერება, რომელიც გარკვეულ ფერებს შთანთქავს, სხვებს კი ირეკლავს. საგნის ფერს იმიტომ ვხედავთ, რომ ეს საგანი მხოლოდ ამ ფერს ირეკლავს. მაგალითად: წითელი ყვავილი წითელ სინათლეს ირეკლავს, სპექტრის დანარჩენ ფერებს კი შთანთქავს.

თეთრი საგნები იმიტომია თეთრი, რომ სინათლის ყველა ფერს თანაბრად ირეკლავს. შავი საგნები ყველა ფერს შთანთქავს და თითქმის არაფერს ირეკლავს. შავი და თეთრი *აქრომატული ფერებია* (თეთრი, ნაცრისფერი, შავი). აქრომატული ფერი ყველაზე მარტივი ფერია, ეს ის ფერებია რასაც შავ-თეთრი ტელევიზორის

ეკრანზე ვხედავთ (სურ.18). მას ასევე ნაცრისფერის ელფერებსაც უწოდებენ. ყველაზე კაშკაშა აქრომატულ ფერს თეთრი ფერი წარმოადგენს, ყველაზე მუქს კი – შავი ფერი.



პიგმენტების შერევის პროცესს სუბტრაქტიული სინთეზი ეწოდება. მაგალითად, ყვითელ საღებავში შემავალი პიგმენტი ლურჯ ფერს შთანთქავს, ხოლო ცისფერ საღებავში შემავალი პიგმენტი – წითელ ფერს. ამიტომ, როდესაც ყვითელ და ცისფერ საღებავს ერთმანეთს შევურევთ, ნარევი მხოლოდ მწვანე ფერს აირეკლავს, რის გამოც საგანს მწვანე ფერი ექნება. პიგმენტების შემთხვევაში პირველადი ფერებია: ცისფერი, ყვითელი და ალისფერი, ხოლო წითელი, მწვანე და ლურჯი კი მეორადი ფერებია. ფერადი ბეჭდვა სწორედ სუბტრაქტიულ შერევას ეფუძნება, რაც მკვეთრი და ხარისხიანი სურათების მიიღების საშუალებას იძლევა.

4.2. სინათლის ატრიბუტები: ფერის ტონი, ინტენსივობა, სიკაშკაშე, სიღიავე

ყოველი კონკრეტული ფერი შეიძლება რიცხობრივად დავახასიათოთ ისეთი ფიზიკური მახასიათებლებით, როგორიცაა: ფერის ტონი, ინტენსივობა (გაჯერებულობა), სიკაშკაშე, ფერის სინათლიანობა (სიღიავე).

ფერის ტონი

ფერის ტონი (hue) - ფერის ძირითადი მახასიათებელია და განისაზღვრება გამოსხივების სპექტრში ამ ფერის შესაბამისი ტალღის სიგრძით. ჩვეულებრივ ფერის ტონის აღწერისას იყენებენ ფერის დასახელებას, მაგალითად წითელი, მწვანე ან ყვითელი. შესაბამისად ის საშუალებას გვაძლევს განვასხვაოთ ერთი ფერი მეორისგან – მაგალითად, მწვანე ფერი წითლისგან, ყვითლისგან ან სხვა ფერებისგან.

სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ფერის ტონი ეს არის სპექტრის ერთი კონკრეტული ფერის მსგავსი ელფერების ერთობლიობა. ყოველი ქრომატული ფერი სპექტრის რომელიმე ფერს შეესაბამება, ხოლო ელფერები, რომლებიც სპექტრის ერთი და იგივე ფერის მსგავსია (მაგრამ განსხვავდება, მაგალითად ინტენსივობით და სიკაშკაშით), ერთი და იმავე ფერთა ტონს მიეკუთვნება. მაგალითად, ფერთა წრეზე,

ლურჯი ფერის მწვანისკენ გადახრისას, ტონი იცვლება და ცისფერი ხდება, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებით კი – იისფერი (სურ.19).



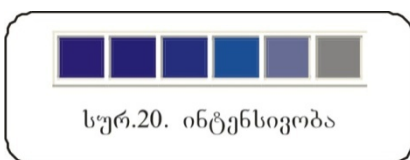
მიუხედავად იმისა, რომ თვალი განსხვავებულ ფერებს ხედავს, განხილულ მაგალითში მაინც ყველგან დომინირებს ლურჯი ფერი. მაშ, რა განაპირობებს ფერთა ამ სხვაობას? როგორც აღმოჩნდა ეს განსხვავება ხასიათდება ამ ფერში შერეული სხვა კომპონენტების შემცველობის სხვადასხვა რაოდენობრივი მახასიათებლებით. ეს დამატებითი კომპონენტებია გაჯერებულობა (saturation) და სიკაშკაშე (brightness).

ზოგჯერ ფერის ტონის ცვლილებას ფერის “ტემპერატურას” უფარდებენ. ასე მაგალითად, წითელ, ნარინჯისფერ და ყვითელ ელფერებს, რომლებიც შეესაბამებიან ცეცხლს და იწვევენ შესაბამის ფსიქოფიზიოლოგიურ რეაქციას, უწოდებენ თბილ ტონებს. ცისფერს, ლურჯს და იისფერს, როგორც წყლისა და ყინულის ფერს – ცივ ტონებს.

ინტენსივობა (გაჯერებულობა)

გაჯერებულობა (saturation) - ფერის სისუფთავეს, სიწმინდეს ახასიათებს, ანუ მოცემული კონკრეტული ფერის, თეთრი სინათლით გაღიაება, განზავების ხარისხს გვიჩვენებს. იდეალურად სუფთა ფერი, თეთრ ფერს, როგორც მინარევს, საერთოდ არ შეიცავს. მაგალითად, თუ სუფთა წითელ ფერს გარკვეული პროპორციით დავუმატებთ თეთრ ფერს, მაშინ მივიღებთ ვარდისფერს. შესაბამისად, გაჯერებულობა საშუალებას გვაძლევს გავარჩიოთ წითელი ვარდისფერისგან, ზურმუხტისფერი ღია მწვანისგან და ა.შ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, გაჯერებულობით აფასებენ რამდენად ცოცხალი ან მკვეთრია ესა თუ ის ფერი.

ერთი ფერის ორი ელფერი შეიძლება განსვავდებოდეს ფერის გაჯერებულობით. რაც უფრო დაბალია გაჯერებულობა, მით უფრო ნაცრისფრად გამოიყურება ფერი. ნულოვანი ინტენსივობის დროს ფერი ხდება ნაცრისფერი. მაგალითად, ლურჯი ფერი, ინტენსივობის შემცირებისას, უახლოვდება ნაცრისფერს (სურ.20).



სიკაშკაშე

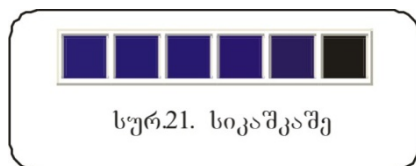
სიკაშკაშე (brightness) სინათლის ენერჯის იმ ინტენსივობას ახასიათებს, რომელიც ჩვენი მხედველობის რეცეპტორებზე მოქმედებს. ამ განმარტებას სხვა ინტერპრეტაციაც აქვს, რაც ფარდობით განათებას ან ფერის გამუქებას თუ სიღიავეს გულისხმობს.

ნებისმიერი ფერი და ელფერი, მათი ფერის ტონისგან დამოუკიდებლად, შეიძლება სიკაშკაშის მიხედვით შევაფასოთ, ანუ განვსაზღვროთ, რომელი მათგანია მუქი და რომელი – ღია.

სიკაშკაშე არანაირად არ მოქმედებს ფერადოვნებაზე, მაგრამ მასზეა დამოკიდებული რამდენად ძლიერად აღიქვამს ფერს ჩვენი თვალი. ნულოვანი სიკაშკაშის დროს ჩვენ ვერაფერს ვერ ვხედავთ, ამიტომ ნებისმიერი ფერი აღიქმება როგორც შავი. სიკაშკაშეს, გაჯერებულობის მსგავსად, ზოგჯერ აფასებენ ფერის შავით განზავების ხარისხის შებრუნებული მნიშვნელობით. ამ შემთხვევაში, შავის არარსებობა გვაძლევს სუფთა სპექტრულ სინათლეს, ანუ თეთრი სინათლის შეგრძნებას, რაც მაქსიმალურ სიკაშკაშეს შეესაბამება.

თუ სიკაშკაშეზე ვისაუბრებთ, როგორც ფერის ატრიბუტზე, მაშინ თეთრ ფერს შეესაბამება აბსოლუტური სიკაშკაშე, ხოლო შავს – სიკაშკაშის სრული არარსებობა. სიკაშკაშის მნიშვნელობა იზომება პროცენტებში და იცვლება 0%(შავი)-დან 100%(თეთრი)-მდე.

ერთნაირად გაჯერებული ელფერები, რომლებიც ერთი და იგივე სპექტრის ფერებს განეკუთვნებიან, ერთმანეთისგან შეიძლება განვასხვაოთ სიკაშკაშის ხარისხით. მაგალითად, სიკაშკაშის შემცირების დროს ლურჯი ფერი თანდათან უახლოვდება შავ ფერს (სურ.21).



სიკაშკაშე - არის ხარისხი, რომელიც როგორც ქრომატულ, ისე აქრომატულ ფერებს ახასიათებს. ამიტომ სიკაშკაშის მიხედვით შეიძლება შევაფასოთ ნებისმიერი ფერი და ელფერი. ამ თვისებას წარმატებით იყენებენ ფერადი გამოსახულების შავ-თეთრ რეჟიმში კონვერტაციის დროს.

რაც შეეხება სერ ფერს, ის ხასიათდება სიკაშკაშის შუალედური მნიშვნელობებით. უნდა აღვნიშნოთ აგრეთვე, რომ აქრომატული ფერები (შავი, ნაცრისფერი და თეთრი) მხოლოდ სიკაშკაშით ხასიათდებიან.

სიკაშკაშე, როგორც რეალურად შედებილი ობიექტის ფერის მახასიათებელი, მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია სუბიექტურ მიზეზებზეც, რაც განპირობებულია ფსიქოლოგიური აღქმით. მაგალითად, ღურჯი ფერი ყვითლის გვერდით უფრო კაშკაშა ჩანს.

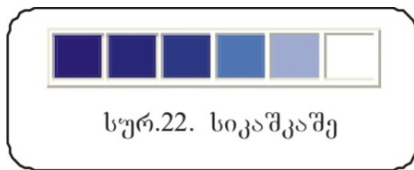
ფერის სინათლიანობა (სიღიავე)

სიკაშკაშის მაგივრად, ზოგჯერ მის მსგავსი ფერის სინათლიანობის ცნებას იყენებენ. მაგალითად, ორი ფერთა მოდელი HSB და HSL ერთმანეთისგან მხოლოდ ერთი კომპონენტით განსხვავდება. HSB –ში მონაწილეობს სიკაშკაშე (brightness), ხოლო HSL-ში – განათება (lightness).

ფერის სინათლიანობაც (lightness) სინათლის გამოსხივების ინტენსივობით, ენერგიით განისაზღვრება. ის აღქმული სინათლის რაოდენობას გვიჩვენებს. მას საგნის ზედაპირზე დაცემული სინათლის არეკვლის ხარისხითაც აფასებენ.

ფერის სიღიავე წარმოდგენას ქმნის ინტენსივობაზე, როგორც ფაქტორზე, ფერის ტონისა და გაჯერებულობისგან დამოუკიდებლად.

მარტივად რომ ვთქვათ, ფერის სინათლიანობა, მის თეთრ ფერთან სიახლოვის ხარისხს ასახავს.



სიღიავის მაქსიმალური გაზრდით ყველანაირი ელფერი თეთრ ფერს უახლოვდება (სურ.22.).

4.3. ფერთა მოდელები, რეჟიმები და პალიტრები

სხვადასხვა ადამიანების მიერ ერთი და იგივე ფერის ვიზუალური და გონებრივი ინტერპრეტაცია ხშირად ერთმანეთს არ ემთხვევა, რასაც სუბიექტურ აღქმას უკავშირებენ. ახლა კი წარმოვიდგინოთ, როგორი რთული იქნება ობიექტების ფერადოვანი აღწერილობის ასახვა სხვადასხვა კომპანიების მიერ წარმოდგენილი განსხვავებული მოდელის მონიტორებზე, სკანერებსა და პრინტერებზე. ცხადია ეს პროცესი დიდ გაუგებრობას გამოიწვევს. ამ პრობლემის დაძლევის მიზნით, შეტანა/გამოტანის მოწყობილობებისთვის, პროგრამულ დონეზე, შემუშავებული იქნა ფერთა ადეკვატური აღქმის სისტემა, რაც ისეთი ცნებების შემოტანას უკავშირდება, როგორც არის ფერთა მოდელები, ფერთა რეჟიმები, ფერთა პალიტრები (DIC, DuPont®, FOCOLTONE®, PANTONE®, TOYO и TRUMATCH®), ფერთა შესაბამისობის სისტემა, ფერთა მართვის სისტემა და სხვ.

წარმოების მრავალი დარგის განვითარება, მაგალითად, როგორც არის პოლიგრაფია და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, დაკავშირებულია ფერის აღწერის, გადაცემის და დამუშავების გზების ძიებასთან. ამ პროცესების

ეფექტური ორგანიზებისათვის მნიშვნელოვანია განვასხვაოთ ასევე ისეთი ცნებები, როგორცაა: ფერის დიაპაზონი და დინამიკური დიაპაზონი.

ფერის დიაპაზონი – იმ ფერთა სიმრავლეა, რომელიც შეიძლება აღიქვას ან ასახოს დამკვირვებელმა ან მიმღებმა მოწყობილობამ.

დინამიკური დიაპაზონი კი ახასიათებს გამოსახულების, ან მხედველობის არეში მოხვედრილი ელემენტების, შედარებით ღია და შედარებით მუქ ელემენტებს შორის განსხვავებას.

ადამიანის მხედველობას ორივე დიაპაზონი ძალიან ფართო აქვს. რაც შეეხება კომპიუტერულ მოწყობილობებს, მათ შედარებით ვიწრო დიაპაზონები აქვთ და გარდა ამისა, სხვადასხვა ტიპის მოწყობილობებს ეს დიაპაზონები განსხვავებული აქვთ. მაგალითად, სკანერისა და მონიტორის დიაპაზონები უფრო ფართოა, ვიდრე პრინტერის შესაბამისი დიაპაზონები.

ჩვენ მიერ აღქმულ ფერთა სივრცეს ეს დიაპაზონები განსაზღვრავენ და გამოსახულების შეტანა/გამოტანის და დამუშავების მოწყობილობებიც ამ დიაპაზონში მუშაობენ. ამ სივრცის განსაზღვრისათვის კი შემდეგი საშუალებები არსებობს:

- სხვადასხვა ტიპის ფერთა მოდელები და რეჟიმები;
- ფერთა პალიტრები და ელექტრონული ცხრილები, რომლებიც მიღებული და დაშვებულია ფერთა შესაბამისობის სისტემებში. ყოველი ასეთი სისტემისათვის, განსაზღვრულია სპეციალური ფერები, რომლებიც შეიძლება ამოვარჩიოთ ფერთა კატალოგებიდან.

დღეისათვის, თანამედროვე გრაფიკული რედაქტორები უზრუნველყოფილია სპეციალური ინსტრუმენტული ნაკრებით, რომელშიც გათვალისწინებულია როგორც ფერთა ფიზიკური მახასიათებლები, ისე ფერთა მოდელები და სისტემები.

ფერთა მოდელი ფერთა სიმრავლის წარმოდგენის ხერხია, რაც ფერის მარტივ კომპონენტებად დაშლას და ამავედროულად სინთეზს გულისხმობს. ფერთა მოდელები იმ მრავალფეროვან ფერთა გამის (სპექტრის) მათემატიკური აღწერის საშუალებას იძლევა, რომელსაც ადამიანის თვალი აღიქვამს, იქნება ეს მონიტორის ეკრანი, სკანერი თუ საბეჭდი მოწყობილობები. ამ მოდელებში ფერები წარმოდგენილია, როგორც ბაზური ფერების შერევის შედეგი. ყოველ ბაზურ ფერს ინტენსივობის საკუთარი დიაპაზონი აქვს. სხვადასხვა ინტენსივობის მქონე, ყველა ბაზური ფერის შერევისას იქმნება ფერთა სიმრავლე, რომელიც მისაღებია მხოლოდ ერთი კონკრეტული მოდელისთვის. მოდელების ფერთა დიაპაზონი შეიძლება ერთმანეთისგან განსხვავებული იყოს. ამასთანავე, არსებული ფერთა მოდელებიდან არც ერთს არ შეუძლია თვალისთვის აღქმადი ყველა ფერის წარმოდგენა, ყოველი მათგანი მხოლოდ კონკრეტულ მიზნებს ემსახურება.

ფერთა მოდელი (ფერთა სივრცე) ფერის კონცეპტუალური (შინაარსობრივი) და რაოდენობრივი აღწერის საშუალებას იძლევა. *ფერთა რეჟიმები* კი ამ ფერთა მოდელების რეალიზების ხერხებს წარმოადგენს, კონკრეტული გრაფიკული პროგრამის ფარგლებში. გრაფიკული პროგრამების უმრავლესობა ფერთა მოდელების ფართო სპექტრით ოპერირებს, რომელთაგან ნაწილი სპეციალური დანიშნულებისთვისაა შექმნილი, ხოლო ნაწილი – ფერთა სპეციალური სახეობისთვის. ფერთა მოდელში (სივრცეში) ყოველ ფერს შეიძლება მკაცრად განსაზღვრული წერტილი შევუსაბამოთ. ფერთა მოდელის ასეთი ხედვა უკავშირდება ფერის გამარტივებულ გეომეტრიულ წარმოდგენას სივრცეში.

რადგან ფერი ორი გზით მიიღება – გამოსხივებით და არეკვლით, ამიტომ მისი აღწერის ორი საპირისპირო მეთოდი არსებობს: ადიტიური და სუბტრაქტიული. თითოეულ მეთოდს ფერთა შესაბამისი მოდელი შეესაბამება. ადიტიური მოდელი ბაზური ფერების შეკრებას გულისხმობს. ადიტიურ მოდელში ორი ძირითადი ფერის შეკრებისას უფრო ღია ფერს ვღებულობთ, მაგალითად, წითელი და მწვანე ფერის შეკრება გვაძლევს ყვითელს, ხოლო მწვანის და ლურჯი ფერების შეკრება კი ცისფერს. სუბტრაქტიული მეთოდი ბაზური ფერების თეთრი სინათლიდან გამოკლებას გულისხმობს. სუბტრაქტიულ მოდელში მისი ორი კომპონენტის შეკრებისას ფერი მუქდება. ეს კი ნიშნავს, რომ ადიტიურ მოდელში ყველა ბაზური ფერის ინტენსივობათა მაქსიმალურ მნიშვნელობას განსაზღვრავს თეთრი ფერი, ხოლო სუბტრაქტიულში – შავი. და პირიქით, ადიტიურ მოდელში ყველა ბაზური ფერის ინტენსივობათა ნულოვან მნიშვნელობას განსაზღვრავს შავი ფერი, ხოლო სუბტრაქტიულში – თეთრი.

კომპიუტერულ გრაფიკაში ფერთა უამრავი მოდელი არსებობს:

- RGB (Red Green Blue);
- CMY (Cyan Magenta Yellow);
- CMYK (Cyan Magenta Yellow black);
- Lab (Lightness a b);
- HBS (Hue, Brightness, Saturation);
- HLS (Hue, Lightness, Saturation);
- HSV (Hue, Saturation, Value);
- Grayscale
- YIQ;
- YCC.

ზემოთ ჩამოთვლილი ფერთა მოდელები, მათი მოქმედების პრინციპის მიხედვით, პირობითად სამ ჯგუფად იყოფა:

- ადიტიური (RGB), რომელიც ფერთა შეკრების პრინციპზეა დაფუძნებული;
- სუბტრაქტიული (CMY, CMYK), რომლის საფუძველს ფერთა გამოკლების

ოპერაცია წარმოადგენს (სუბტრაქტიული სინთეზი);

- აღქმითი (Lab, HBS, HLS, YCC), რომელიც ადამიანის მიერ ფერის სუბიექტურ აღქმას ეფუძნება.

კომპიუტერულ გრაფიკაში, უფრო ხშირად, ოთხ ძირითად მოდელს იყენებენ: RGB, CMYK, HBS და ზოგიერთ შემთხვევაში Lab მოდელსაც. პოლიგრაფიაში კი დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ პალიტრებს და დამატებითი ფერების მრავალრიცხოვან ბიბლიოთეკებს.

4.4. ფერთა ადიტიური მოდელი (RGB)

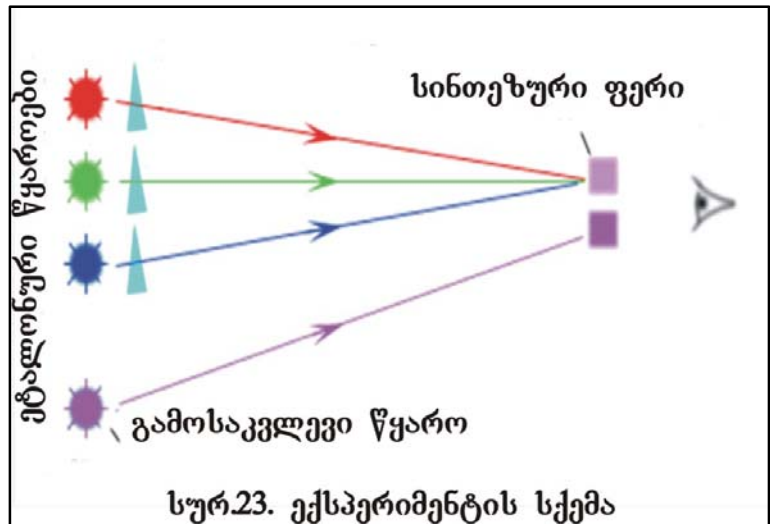
ადიტიური RGB მოდელი ყველაზე გავრცელებული და მარტივი ფერთა მოდელია. ამ მოდელში მუშაობენ მონიტორები და ტელევიზორები. RGB მოდელი ძირითადად ფერის სამკომპონენტიანობას და ბაზური ფერების (სამი ძირითადი ფერი: წითელი, მწვანე და ლურჯი) შეკრებას ეფუძნება, ამიტომ ადიტიური ფერის მიღებაც გრასმანის კანონების თანახმად ხდება. ასევე აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ფერის ერთი კომპონენტის მეორეზე ზედდებით ჯამური ფერის სიკაშკაშე იზრდება. შესაბამისად, ახალი ელფერების მიღების ისეთ მეთოდს, სადაც სამი ბაზური შემადგენელი კომპონენტის შეკრებისას მათი სიკაშკაშეები იკრიბება, ადიტიური მეთოდი ეწოდება. აქედან გამომდინარე, RGB მოდელში ფერთა შერევის მართვა შესაძლებელია ნებისმიერი შესარევი კომპონენტის სიკაშკაშის რეგულირებით. ანალიზურად ეს შეიძლება შემდეგნაირად აღვწეროთ:

$$Color = rR + gG + bB,$$

სადაც *Color* – ფერია, ხოლო *r*, *g* და *b* – შესაბამისი ძირითადი ფერების (RGB – წითელი, მწვანე, ლურჯი) რაოდენობრივი მახასიათებელია. ადიტიური RGB მოდელი ობიექტების სკანირებისა და გამოსახულების მონიტორზე ვიზუალიზაციის პროცესის თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ადიტიური RGB მოდელი ისეთ ობიექტებში გამოიყენება, რომელიც სინათლეს ასხივებს. თუ მონიტორის ეკრანს (გამოსახულების თეთრ უბნებზე) 10-ჯერადი გამადიდებელი ლუპით შევხედავთ, დავინახავთ ერთმანეთთან ახლოს განლაგებულ პატარა წითელ, მწვანე და ლურჯ წერტილებს. ადამიანის თვალს სივრცითი ინტეგრირების თვისება აქვს და ამის გამო (ლუპის გარეშე) ჩვენ ვხედავთ არა წითელი, მწვანე და ლურჯი წერტილების ერთობლიობას, არამედ განსაზღვრულ ფერს, რომლის მნიშვნელობაც დამოკიდებულია ამ წერტილების სიკაშკაშეთა თანაფარდობაზე. გრასმანის პირველი კანონიდან გამომდინარე, ნებისმიერი ოთხი ფერი წრფივად დამოკიდებულია, ე.ი. ნებისმიერი ფერი შეიძლება გამოისახოს სამი დამოუკიდებელი ფერის საშუალებით. გამომდინარეობს თუ არა აქედან, რომ ნებისმიერი ფერი, რომელსაც ადამიანის თვალი არჩევს, შეიძლება გამოისახოს RGB მოდელის ძირითადი ფერების ჯამით? – თურმე არა! ამისათვის ჩატარდა

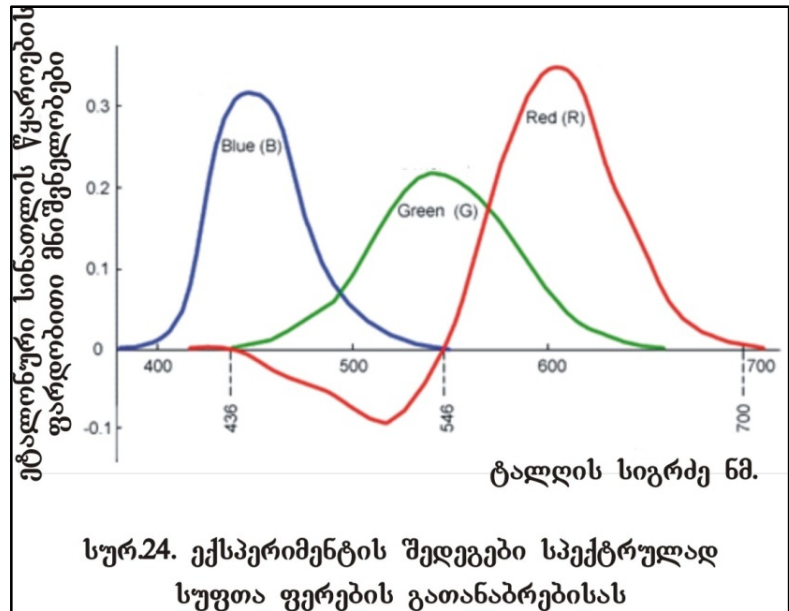
ექსპერიმენტი - სპექტრულად სუფთა ფერების გათანაბრებაზე (სურ.23). ამ ექსპერიმენტში გამოსაკვლევ წყაროს განსაზღვრული ტალღის სიგრძის მქონე მონოქრომატული გამოსხივება წარმოადგენდა. ეტალონური წყაროების ფარდობითი ინტენსივობის შეცვლით,

ცდილობდნენ სინთეზური გამოსხივების ხილვადი ფერისა და გამოსაკვლევი წყაროს ფერის დამთხვევას, ე.ი. ფერების გათანაბრებას. აღმოჩნდა, რომ სპექტრის გარკვეული უბნებისთვის ეს შეუძლებელია, ე.ი. გამოდის, რომ გრასმანის კანონები არასწორია. მაგრამ არა, აქ ყველაფერი რიგზეა. ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ თუ გამოსაკვლევი წყაროს



გამოსხივებას შევურევთ ერთ-ერთ ეტალონურ წყაროს, მაშინ ფერთა გათანაბრება შესაძლებელია. ამ შემთხვევაში სინთეზირებულ ფერს თითქოს ვაკვებთ ერთ-ერთ ეტალონურ წყაროს. სურ. 24-ზე

გამოსახულია გამოსაკვლევი წყაროს გათანაბრების გრაფიკი ანუ ამ ექსპერიმენტის შედეგი, სადაც ეტალონურ წყაროებად აღებულია მონოქრომატული წყაროები: ლურჯი - 434 ნმ, მწვანე - 546 ნმ და წითელი - 700 ნმ. ამ სქემის



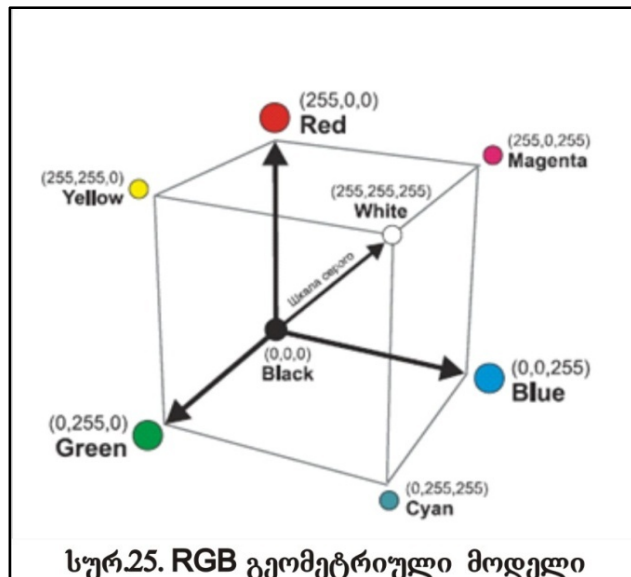
ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომილია ტალღის სიგრძე, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე კი ეტალონური წყაროების წილის ცვლილება ტალღის სიგრძის ცვლილებასთან მიმართებაში.

როგორც ჩანს, ფერთა გათანაბრებისას ლურჯ-მწვანე ზონაში აუცილებელია გამოვაკლოთ წითელი კომპონენტი. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ თვალით აღქმული ყველა ფერი არ შეიძლება წარმოვიდგინოთ ადიტიურ RGB მოდელში.

მნათი სხეულების ფერის წარმოდგენისათვის (კერძოდ, მონიტორებისთვის) იყენებენ ადიტიურ მოდელს, რომელშიც იკრიბება RGB-ს ძირითადი ფერები, მაგრამ

ადამიანის თვალით აღქმული ყველა ფერის წარმოდგენა ამ მოდელში ვერ ხერხდება.

ადიტიური RGB მოდელის გეომეტრიული წარმოდგენა ძალიან თვალსაჩინოს ხდის ამ მოდელში ფერთა წარმოქმნის პროცესს. როგორც სურ.25-ზე ჩანს, მისი გეომეტრიული მოდელი სამგანზომილებიან კოორდინატთა სისტემას უკავშირდება, რადგან მასში სამი დამოუკიდებელი მნიშვნელობა გამოყენებული, სადაც ყოველი კოორდინატა ასახავს შესაბამისი შემადგენელი ელემენტის წვლილს კონკრეტული ფერის შექმნაში, რომელიც იცვლება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე. გრაფიკულად ეს ერთგვარ კუბს შეესაბამება, რომლის შიგნითაც ყველა ის ფერი ხვდება რომელიც RGB მოდელის ფერთა სივრცეს წარმოადგენს (სურ. 26).



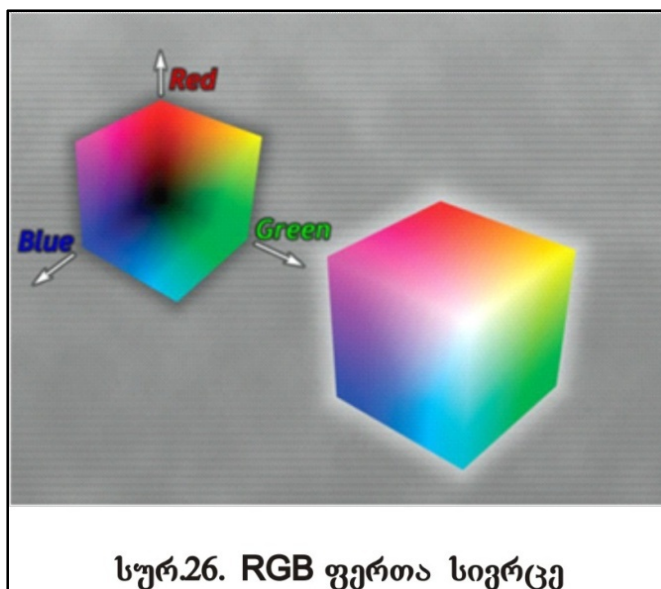
სურ.25. RGB გეომეტრიული მოდელი

ასეთი კუბის მოცულობა, ციფრული ფერების რაოდენობას შეესაბამება და ის ადვილად გამოითვლება. როგორც ვხედავთ, ყოველი ბაზური ფერის ინტენსივობა, კოორდინატთა სისტემის შესაბამის ღერძზე, 0-დან 255-მდე დიაპაზონში იცვლება. ცხადია, ამ მოდელში წარმოდგენილ ფერთა სრული რაოდენობა 256-ის კუბურ მნიშვნელობას შეესაბამება და ასე გამოითვლება $256 \cdot 256 \cdot 256 = 16\,777\,216$.

განვიხილოთ ამ გეომეტრიული მოდელის მნიშვნელოვანი წერტილები.

კოორდინატთა სათავე. ამ წერტილში (0,0,0) ყველა შემადგენელი კომპონენტი ნულის ტოლია, ე.ი. გამოსხივება არ არსებობს, ეს კი სიბნელეს გულისხმობს. შესაბამისად კოორდინატთა სათავე შავი ფერის წერტილია.

დამკვირვებელთან ყველაზე ახლოს მდგომი წერტილი. ამ წერტილში (255,255,255) ყველა შემადგენელ კომპონენტს მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს, რაც თეთრ ფერს ნიშნავს.



სურ.26. RGB ფერთა სივრცე

აქედან გამომდინარე შავი ფერი მიიღება მაშინ, როცა ყველა ბაზური ფერის ინტენსივობა ნულის ტოლია, ხოლო თეთრი ფერი კი – მათი მაქსიმალური ინტენსივობის დროს.

კუბის დიაგონალი. კოორდინატთა სათავისა და დამკვირვებელთან ყველაზე ახლოს მდგომი წერტილის შემაერთებელ წრფეზე – დიაგონალზე, განლაგებულია ნაცრისფერის ელფერები შავიდან თეთრამდე. ეს იმიტომ ხდება, რომ სამივე კომპონენტს ერთნაირი მნიშვნელობები აქვს, და განლაგებულნი არიან 0-დან 255–მდე დიაპაზონში. ამ დიაპაზონს სხვაგვარად ნაცრისფერის შკალას უწოდებენ (Grayscale). კომპიუტერულ ტექნოლოგიებში უფრო ხშირად ნაცრისფერის 256 გრადაციას (ელფერებს) იყენებენ, თუმცა ზოგიერთი სკანერი 1024 და ზოგჯერ უფრო მეტი სერის ელფერების კოდირების საშუალებას იძლევა.

კუბის სამი წვერო ((255,0,0), (0,255,0), (0,0,255)), სუფთა ბაზურ ფერებს აღნიშნავს - წითელს, მწვანეს და ლურჯს, ხოლო დანარჩენი სამი ((0,255,255), (255,0,255), (255,255,0)) კი ბაზური ფერების ორობით კომბინაციას - ცისფერს, ყვითელს და ალისფერს.

გრაფიკულ პროგრამებში RGB მოდელის წითელ, მწვანე და ლურჯ სინათლის სხივებს, ასევე ფერთა არხებსაც უწოდებენ.

RGB მოდელის აღწერიდან გამომდინარე ადვილი მისახვედრია, რატომ მოსწონს კომპიუტერს ეს მოდელი. პასუხი მარტივია - მონიტორის ეკრანზე გამოსახულების ფერთა წარმოქმნა, იგივე პრინციპებს და მექანიზმებს ეფუძნება, რასაც ადამიანის თვალი ფერის აღქმისას. კერძოდ, მონიტორის ეკრანზე ფერადი გამოსახულების შექმნა სამი ელექტრონული პროექტორით ხორციელდება, რომელიც ეკრანზე დატანილ სამ ლუმინაფორს ანათებს ზუსტად ისე, როგორც სამი ტიპის კოლბები - მხედველობით პიგმენტებს.

4.5. RGB მოდელის ნაკლოვანებები

მიუხედავად RGB მოდელის სიმარტივისა და თვალსაჩინოებისა, მისი პრაქტიკული გამოყენება ორ სერიოზულ პრობლემას უკავშირდება, როგორცაა აპარატული დამოკიდებულება და ფერთა დიაპაზონის (სივრცის) შეზღუდვა.

პირველი პრობლემა თავს იჩენს მონიტორის ეკრანზე ფერის მიღებისას, რადგან RGB კომპონენტები ლუმინაფორის ტიპზეა დამოკიდებული. თანამედროვე ტექნოლოგიები კი სხვადასხვა ტიპის ლუმინაფორებს იყენებს, რაც შესაბამისად სხვადასხვა ფერის სინთეზს გვაძლევს. არსებობს სხვა მიზეზებიც, რომლებიც აპარატული დამოკიდებულებითაა გამოწვეული, მაგალითად, აპარატურის ხანგრძლივი ექსპლუატაციისას ლუმინაფორების დაძველება და ელექტრონული პროექტორების მახასიათებლის შეცვლა. RGB მოდელის აპარატურაზე

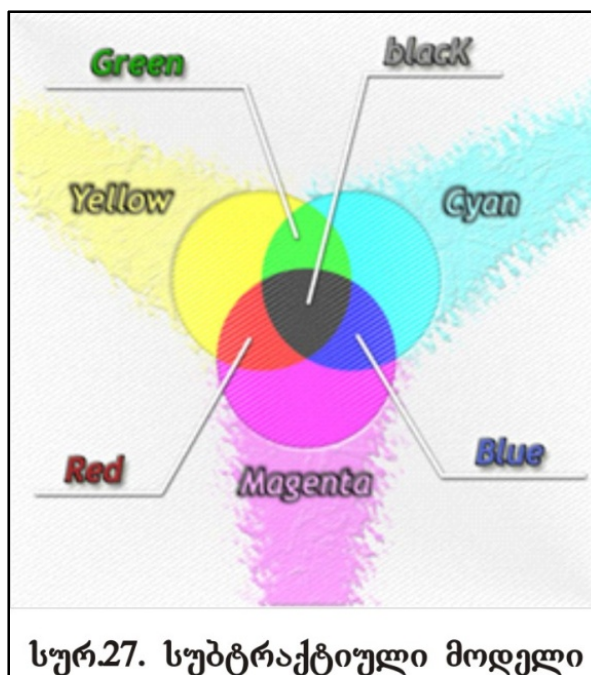
დამოკიდებულების აღმოსაფხვრელად (ან თუნდაც შესამცირებლად) იყენებენ გრადუირების სხვადასხვა მოწყობილობებს და პროგრამებს.

ფერთა დიაპაზონი (color gamut), ეს არის იმ ფერთა სივრცე, რომელიც შეუძლია აღიქვას ადამიანმა ან ასახოს მოწყობილობამ ფერის მიღების (არეკვლით ან გამოსხივებით) მექანიზმისგან დამოუკიდებლად. RGB მოდელში ამ ფერთა დიაპაზონის შეზღუდულობა გამოწვეულია ზემოთ განხილული ადიტიური სინთეზის ძირითადი თავისებურებით, რომელიც თეორიულად დამტკიცებულია - *ადამიანის თვალით აღქმული ყველა ფერის წარმოდგენა ამ მოდელში ვერ ხერხდება.*

როგორც ვხედავთ ამ მოდელის ძირითადი ნაკლოვანება მის არასტანდარტულობაშია, რადგან პრაქტიკაში, RGB მოდელი ახასიათებს კონკრეტული მოწყობილობის ფერთა სივრცეს, მაგალითად, როგორცაა მონიტორი ან სკანერი. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ნებისმიერი RGB –სივრცე შეიძლება გაეხადოს სტანდარტული. ამისათვის საჭიროა მხოლოდ მისი ერთმნიშვნელოვანი განსაზღვრა. მაგალითად, Photoshop გეთავაზობს რამდენიმე წინასწარ განსაზღვრულ ვარიანტს, მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია სტანდარტულ ფერთა სივრცე ინტერნეტისთვის – sRGB (ე.წ. სტანდარტული RGB - standard RGB). Microsoft და HP ფირმების ინიციატივით, ის შეესაბამება ტიპური VGA მონიტორის ფერთა სივრცეს.

4.6. ფერთა სუბტრაქტიული მოდელი (CMY, CMYK)

მონიტორის ეკრანიდან ფერადი გამოსახულების გადატანა ხშირად ქაღალდზე გვიწევს. როგორც ცნობილია, ნაბეჭდი ფერადი სურათის მიღებაც მხოლოდ სამი ფერის გამოყენებით შეიძლება. ერთი შეხედვით, მართებული იქნებოდა ამ მოდელშიც იგივე ძირითადი ფერების (წითელი, მწვანე, ლურჯი) გამოყენება. მაგრამ როგორც აღმოჩნდა, ქაღალდზე ფერადი გამოსახულების მიღებისას სინათლის წყართა გამოსხივება არ იკრიბება, პირიქით – იგი შთაინთქმება ფერადი საღებავის ფენაში. ასევე აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ საღებავების დამატებისას სინათლის ინტენსივობა კლებულობს, რადგან რაც



სურ.27. სუბტრაქტიული მოდელი

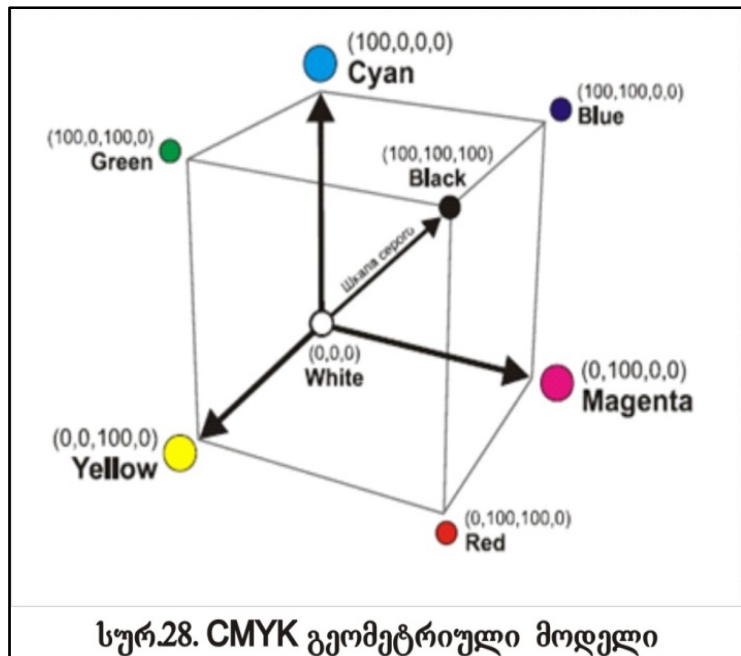
მეტი საღებავია ზედაპირზე, მით უფრო მეტი სინათლე შთაინთქმება. ფერთა სინთეზის ამ მეთოდს სუბტრაქტიული ეწოდება (სურ.27).

ფერთა სუბტრაქტიული მოდელი არეკლილ ფერებს აღწერს და არეკლილი ფერებიც სუბტრაქტიული მეთოდით მიიღება, რაც ბაზური ფერების თეთრი სინათლიდან გამოკლებას გულისხმობს. არსებობს სამი ძირითადი სუბტრაქტიული ფერი: ცისფერი, ალისფერი და ყვითელი. ეს ფერები ეგრეთწოდებულ პოლიგრაფიულ ტრიადას ქმნიან. ამ ფერებით ბეჭდვისას თეთრი სინათლის შემადგენელი სამი ძირითადი ფერი - წითელი, მწვანე და ლურჯი შთაინთქმება, და ამის გამო ხილვადი ფერების სპექტრის უდიდესი ნაწილი ფურცელზე აღიბეჭდება.

ორი სუბტრაქტიული კომპონენტის შერევისას შედეგობრივი ფერი მუქდება. აქედან გამომდინარე, სამივე კომპონენტის შერევის შემთხვევაში შავი ფერი უნდა მივიღოთ, ხოლო საღებავების არარსებობის შემთხვევაში კი თეთრი ფერი (თეთრი ფურცელი) რჩება.

ადიტიური მოდელის მსგავსად სუბტრაქტიული მოდელის გეომეტრიული წარმოდგენაც სამგანზომილებიან კოორდინატთა სისტემას უკავშირდება, სადაც ყოველი კოორდინატა ასახავს შესაბამისი შემადგენელი ელემენტის წვლილს კონკრეტული ფერის შექმნაში, რომელიც იცვლება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე. გრაფიკულად ისიც კუბს შეესაბამება, რომლის შიგნითაც ყველა ის ფერი ხვდება, რომელიც ამ მოდელის ფერთა სივრცეს წარმოადგენს (სურ.28). ამ კუბის მოცულობა, ანუ ციფრული ფერების რაოდენობა, ასე გამოითვლება $100*100*100 = 1\ 000\ 000$.

კოორდინატთა სათავე (0,0,0) სადაც ყველა შემადგენელი კომპონენტი ნულის ტოლია, თეთრ ფერს შეესაბამება. კომპონენტების მაქსიმალური მნიშვნელობები (100,100,100) შავ ფერს უნდა გვაძლევდეს, ხოლო კუბის დიაგონალზე კი ნაცრისფერის ელფერებია განლაგებული. კუბის სამი წვერო, სუფთა სუბტრაქტიულ ფერებს აღნიშნავს: ცისფერს, ყვითელს და ალისფერს, ხოლო დანარჩენი სამი კი – ბაზური ფერების ორობით კომბინაციას.



სურ.28. CMYK გეომეტრიული მოდელი

განვიხილოთ სუბტრაქტიული მოდელის გამოყენების ზოგიერთი პრაქტიკული ნიუანსი. ამისათვის ჩამოვწეროთ ადიტიური (წითელი, მწვანე, ლურჯი) და

სუბტრაქტიული (ცისფერი, ყვითელი, ალისფერი) ფერების დამაკავშირებელი თანაფარდობები:

მწვანე + ლურჯი = ცისფერი

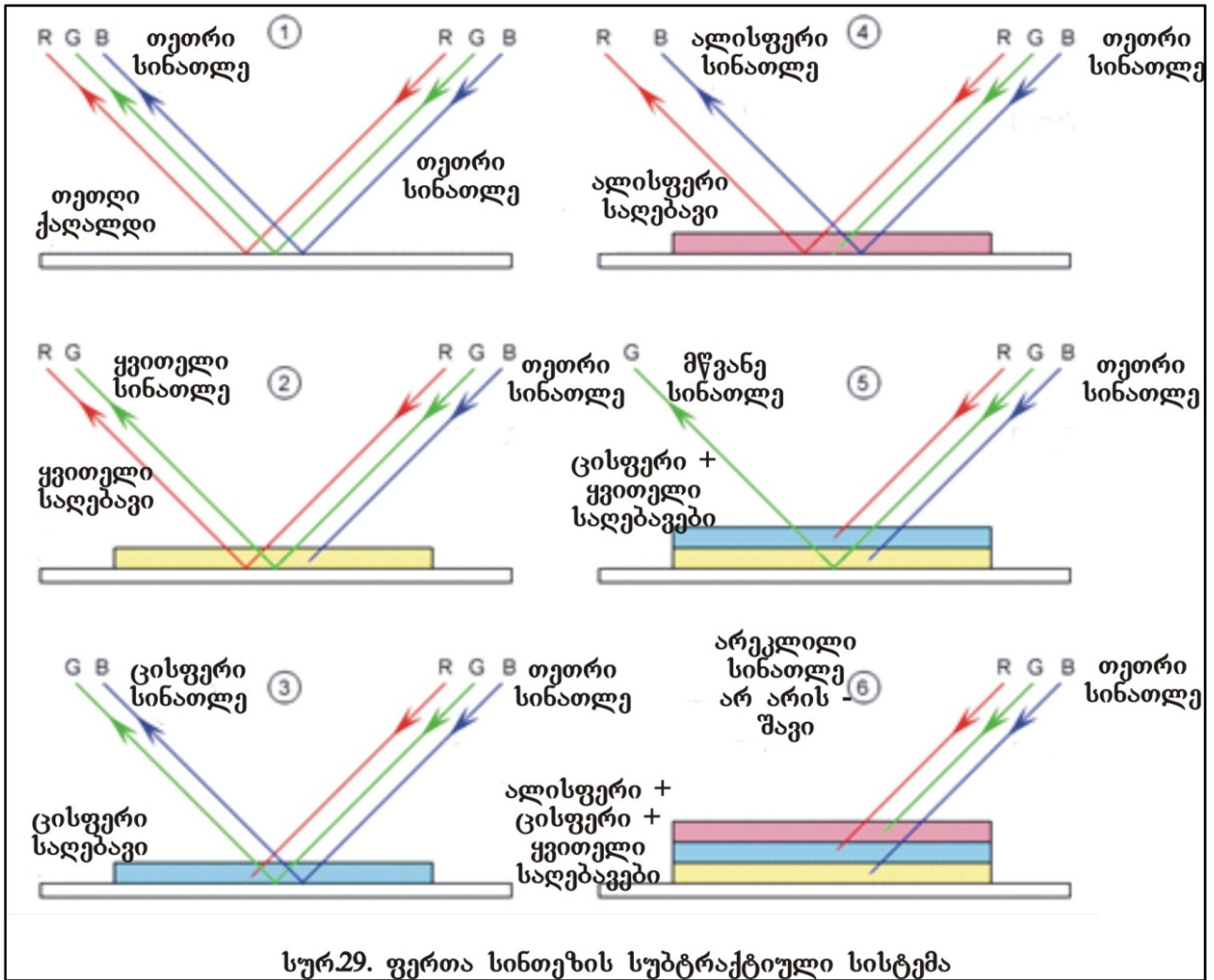
მწვანე + წითელი = ყვითელი

წითელი + ლურჯი = ალისფერი

მწვანე + ლურჯი + წითელი = თეთრი

ცისფერი + ყვითელი + ალისფერი = შავი

გავითვალისწინოთ ზემოთ მოყვანილი თანაფარდობები და შევეცადოთ იმის გარკვევას თუ რა ხდება რეალურად, როცა შეღებილ ფურცელს თეთრი სინათლე ეცემა? სურ.29-ზე გამოსახულია ფერთა სინთეზის სუბტრაქტიული სისტემა. თუ სინათლე თეთრ ფურცელს ეცემა, სინათლის შემადგენელი კომპონენტების შთანთქმა არ ხდება და ისევ თეთრ ფურცელს ვხედავთ (სურ. 29.1). ახლა ფურცელი ყვითლად შევღებოთ, რადგან ყვითელი ფერი წითლისა და მწვანისაგან შედგება, ამიტომ ყვითელი საღებავი თეთრი სინათლის წითელ და მწვანე კომპონენტებს გაატარებს, ხოლო ლურჯს შთანთქავს (სურ.29.2). ანალოგიურად, ცისფერი საღებავი ლურჯსა და მწვანე კომპონენტებს გაატარებს (სურ.29.3), ხოლო ალისფერი – წითელსა და ლურჯს (სურ.29.4). თუ ქაღალდზე ერთნაირი პროპორციით დავიტანთ ცისფერ და ყვითელ საღებავებს (სურ.29.5), მივიღებთ მწვანე ფერს, რადგან ცისფერი საღებავი გაატარებს ლურჯსა და მწვანე სინათლეს, ხოლო ყვითელი – მხოლოდ მწვანეს, ლურჯს კი შთანთქავს, რის გამოც აღიქმება სინათლის სპექტრის მხოლოდ მწვანე კომპონენტი. ახლა თუ ქაღალდზე დავიტანთ სამ ფენა საღებავს – ყვითელს, ცისფერსა და ალისფერს (სურ.29.6), მაშინ თეთრი სინათლის ყველა კომპონენტი შთანთქმება შესაბამის ფენებში და ჩვენ საერთოდ ვერ დავინახავთ არეკვლილ სინათლეს, ე.ი. დავინახავთ შავ ფერს. განხილული მაგალითის საფუძველზე თვალსაჩინო ხდება, რომ ქაღალდზე ფერადი გამოსახულების მისაღებად სინათლის წყაროთა გამოსხივება არ იკრიბება, პირიქით – აკლდება, რის გამოც ფერთა სინთეზის ამ სისტემას სუბტრაქტიული სისტემა (CMY) უწოდეს.



განხილული ორი მოდელის ფერთა სივრცის შედარების მიზნით, ქვემოთ მოყვანილია ასევე ცხრილი 1, სადაც აღწერილია RGB და CMY მოდელების ძირითადი ფერები.

ცხრილი 1. ფერების აღწერა RGB და CMY მოდელებში.

ფერი	RGB მოდელი			CMY მოდელი		
	R	G	B	C	M	Y
წითელი	1	0	0	0	1	1
ყვითელი	1	1	0	0	0	1
მკვეთრი - მწვანე	0	1	0	1	0	1
ცისფერი	0	1	1	1	0	0
ღურჯი	0	0	1	1	1	0
აღისფერი	1	0	1	0	1	0
შავი	0	0	0	1	1	1
თეთრი	1	1	1	0	0	0

სუბტრაქტიულ მეთოდს, ფერთა მოდელის ორი ვერსია შეესაბამება: CMY და CMYK.

პირველი ვერსიის გამოყენება მხოლოდ თეორიულად არის გამართლებული შავ-თეთრ პრინტერებში, სადაც კარტრიჯი შეიძლება შევცვალოთ ფერადით. CMY მოდელს საფუძვლად უდევს სამი სუბტრაქტიული ფერი: ცისფერი (Cyan), აღისფერი (Magenta) და ყვითელი (Yellow). თეორიულად, ამ ფერთა თანაბარი რაოდენობით შერევისას თეთრ ქაღალდზე შავი ფერი უნდა მივიღოთ, თუმცა რეალურად, შავი ფერის მიღების ეს ტექნოლოგიური პროცესი, რამდენიმე მიზეზის გამო არაეფექტურია. ძირითადი პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ ეს მოდელი აღწერს რეალურ პოლიგრაფიულ საღებავებს, რომლებიც არც ისე იდეალურია, როგორც ფერადი სხივი. ისინი მინარევებს შეიცავენ და ამიტომ არ შეუძლიათ ფერთა მთელი დიაპაზონის გადაფარვა. ამის გამო სამი ძირითადი საღებავის სინთეზის დროს შავი ფერის მაგივრად ვღებულობთ რაღაც გაურკვეველ (ჭუჭყიან) მუქ ფერს, რომელიც უფრო მუქ ყავისფერს ჰგავს, ვიდრე სუფთა შავს. გარდა ამისა CMY მოდელში შავი ფერის შექმნაზე სამჯერ მეტი საღებავი იხარჯება.

ამ ნაკლოვანებათა კომპენსაციისთვის, ძირითადი პოლიგრაფიული საღებავების სიას დაუმატეს სუფთა შავი საღებავი. ასე შეიქმნა სუბტრაქტიულ ფერთა მოდელის მეორე ვერსია CMYK. მის დასახელებაში მეოთხე ასო K (black) - სიტყვა „შავის“ ბოლო ასოს აღნიშნავს. ბეჭდვის ეს ტექნოლოგია ასევე აუმჯობესებს ჩრდილებისა და ნაცრისფერის ტონების ბეჭდვის ხარისხს. ამ ოთხი კომპონენტიდან ყოველი ფერის ინტენსივობა შეიძლება იცვლებოდეს 0-დან 100%- მდე დიაპაზონში. გრაფიკულ პროგრამებში CMYK მოდელს, ოთხი ფერის არხი შეესაბამება: ცისფერი (Cyan), აღისფერი (Magenta), ყვითელი (Yellow) და შავი (black).

4.7. CMYK მოდელის ნაკლოვანებები

მიუხედავად იმისა, რომ RGB და CMYK მოდელებს შორის ერთგვარი კავშირი არსებობს, მათი გადასვლა ერთიდან მეორეში (კონვერტაცია) დანაკარგის გარეშე არ ხდება. ამის მიზეზი ისაა, რომ ამ მოდელებს ფერთა სხვადასხვა დიაპაზონი (გადაფარვა) აქვთ. ამ სიტუაციაში საუბარი შეიძლება მხოლოდ დანაკარგის მისაღებ დონემდე შემცირებაზე. ამ პრობლემის გადაჭრა კი დაკავშირებულია ფერთან მომუშავე ყველა აპარატული მოწყობილობის (მონოტორი, სკანერი, პრინტერი და სხვ.) საკმაოდ რთულ კალიბრაციასთან.

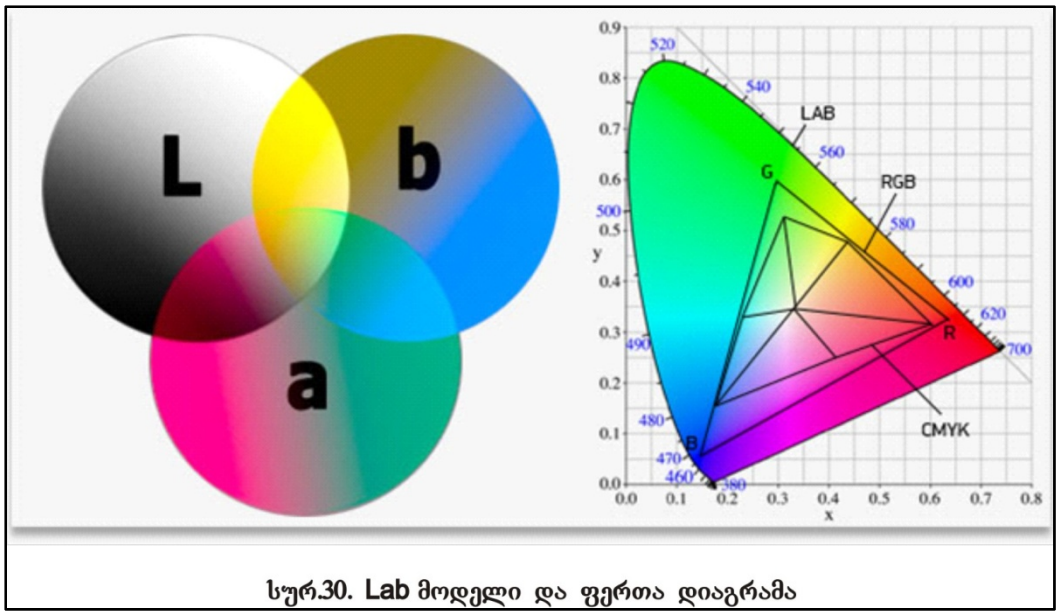
როგორც ვხედავთ, CMYK მოდელსაც იგივე ტიპის ნაკლოვანებები აქვს, რაც RGB მოდელს: აპარატული დამოკიდებულება და ფერების შეზღუდული დიაპაზონი.

CMYK მოდელში ასევე შეუძლებელია ზუსტად განვსაზღვროთ შედეგობრივი ფერი, მხოლოდ მისი ცალკეული კომპონენტების რიცხვითი მნიშვნელობების მიხედვით. აღსანიშნავია, რომ ეს მოდელი უფრო მეტად არის დამოკიდებული აპარატურაზე, ვიდრე RGB მოდელი. ეს გამოწვეულია შემდეგი ფაქტორებით: ფერადი საღებავების კომპოზიციები სხვადასხვა ვარიაციებად გვევლინება; ბეჭდვისას იყენებენ სხვადასხვა ტიპისა და ხარისხის ქაღალდს; არსებობს ბეჭდვის განსხვავებული ხერხები და ყველაზე მთავარი - გარე განათება, რომელიც მუდმივად ცვალებადია. იმის გამო, რომ ფერად საღებავებს ლუმინაფორებთან შედარებით უარესი მახასიათებლები აქვთ, CMYK მოდელს ფერთა დიაპაზონიც უფრო ვიწრო აქვს, ვიდრე RGB მოდელს. კერძოდ, მას არ შეუძლია ასახოს მკვეთრი და გაჯერებული ფერები და ასევე მთელი რიგი სპეციფიკური ფერები, როგორცაა მაგალითად მეტალის ან ოქროს ფერი. ეკრანული ფერები, რომელთა ზუსტი ასახვაც ბეჭდვისას შეუძლებელია, CMYK მოდელის ფერთა სივრცის (gamut alarm) გარეთ არის მოთავსებული.

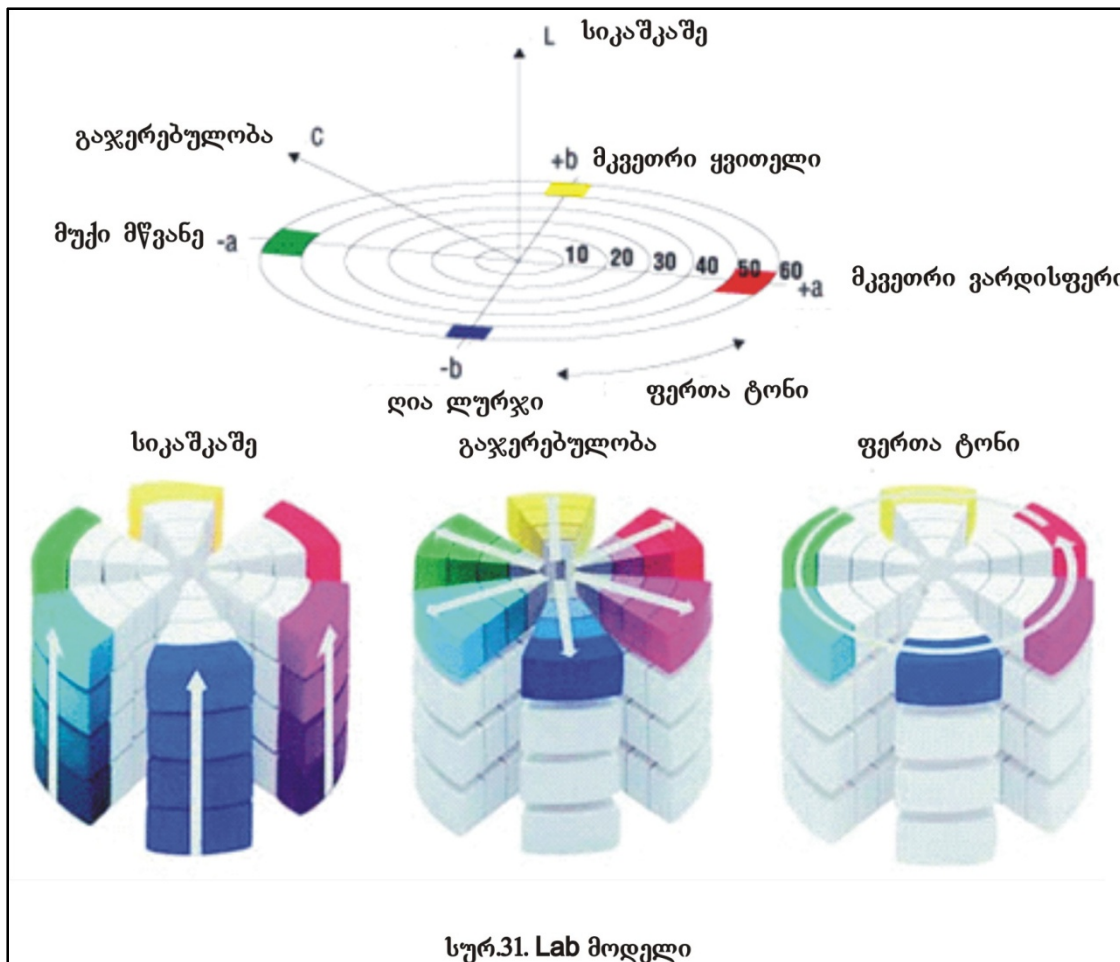
RGB და CMYK მოდელის ფერთა სივრცის შეუსაბამობა სერიოზულ პრობლემას ქმნის. ამ სიტუაციების აღსაკვეთად გრაფიკულ პროგრამებში შექმნილია სპეციალური საშუალებების მთელი კომპლექსი. ყველაზე მარტივი გზა გულისხმობს ამ შეუსაბამობის გამოვლენას და მის კორექციას უშუალოდ რედაქტირების დროს, უფრო კარდინალური საშუალებაა CMYK მოდელის ფერთა სივრცის გაფართოება (ახალი ფერების დამატება - PANTONE® HEXACHROME(TM) Colors), და ბოლოს ყველაზე ფართომასშტაბიანი პროცესია - ფერის მართვის სისტემის გამოყენება CMS (color management systems).

4.8. ფერთა აღქმითი მოდელები, Lab მოდელი

როგორც ვხედავთ, ბუნებაში არსებული ფერების სრულყოფილი აღქმა, თითქმის არც ერთ ფერთა მოდელს არ შეუძლია. ამ მოდელების ფერთა დიაპაზონი საკმაოდ ღარიბია იმასთან შედარებით, რისი აღქმაც ადამიანის თვალს შეუძლია, ამიტომ ძალიან ძნელია და ალბათ პრაქტიკულად შეუძლებელიც, როგორც დისპლეის ეკრანზე, ისე ფურცელზე ზუსტად ავსახოთ ზოგიერთი მაღალმხატვრული ნიმუში. როგორც აღმოჩნდა, ამ ნაკლოვანებებისგან თავისუფალია Lab მოდელი, რომელსაც წარმატებით იყენებენ კომპიუტერულ გრაფიკაში მომუშავე პროფესიონალები. სურ.30-ზე გამოსახულია ფერთა დიაგრამა, რომელზეც მოცემულია ყველა ის ფერი, რომელსაც ადამიანის თვალი არჩევს. სამკუთხედებით მონიშნულია ფერთა ის არეები, რომლებიც შეიძლება ავსახოთ მონიტორის ეკრანზე RGB მოდელით და გამოვიტანოთ საბეჭდო მოწყობილობებზე CMYK მოდელის საშუალებით. როგორც ამ დიაგრამიდან ჩანს, ყველაზე ფართო ფერთა სივრცე **Lab მოდელს** აქვს. ამ მოდელის ფერთა სივრცე პრაქტიკულად ფარავს ადამიანის მხედველობით შესაძლებლობებს. სწორედ ეს იყო Lab მოდელის შექმნის მიზანიც.



Lab მოდელი აპარატურისგან დამოუკიდებელი (არ არის დამოკიდებული არც მონიტორზე და არც სხვა შეტანა/გამოტანის მოწყობილობებზე), მათემატიკური, ფერთა მოდელია, რომელიც ადამიანის ვიზუალურ აღქმას შეესაბამება. ის შეიქმნა განათების საერთაშორისო კომისიის (International Commission on Illumination) მიერ. Lab მოდელი (სურ.31.) სამი პარამეტრით ხასიათდება: სიკაშკაშე L (Lightness), და ორი ქრომატული კომპონენტი – ფერთა პარამეტრები a და b. პარამეტრი a იცვლება მწვანიდან ალისფერამდე, ხოლო პარამეტრი b კი – ლურჯიდან ყვითლამდე ღიაპახონში. RGB და CMYK მოდელებისგან განსხვავებით, Lab მოდელში L-სიკაშკაშის მნიშვნელობა გამოყოფილია ფერის ქრომატული კომპონენტების მნიშვნელობებისგან (ტონი და გაჯერებულობა), ის არ არის დამოკიდებული ფერზე, ამიტომ სიკაშკაშის გაზრდა არ იწვევს ფერის შეცვლას. L პარამეტრს ზოგჯერ განათებასაც უწოდებენ. ის იცვლება 0-დან 100-მდე, ე.ი. ყველაზე მუქიდან ყველაზე ღიამდე.



a და b ფერთა გამის შერევისას, ისევე როგორც RGB მოდელში, უფრო კაშკაშა ფერები მიიღება. შედეგობრივი ფერის სიკაშკაშის შემცირება კი L პარამეტრის რეგულირებით შეიძლება.

გრაფიკულ პროგრამებში Lab მოდელს, სამი ფერთა არხი შეესაბამება:

L – რომელიც ინახავს ინფორმაციას გამოსახულების განათებულობის შესახებ, a – ინფორმაციას მწვანედიან ალისფრამდე ფერთა ტონის შესახებ და

b - ინფორმაციას ლურჯიდან ყვითლამდე ფერთა ტონის შესახებ.

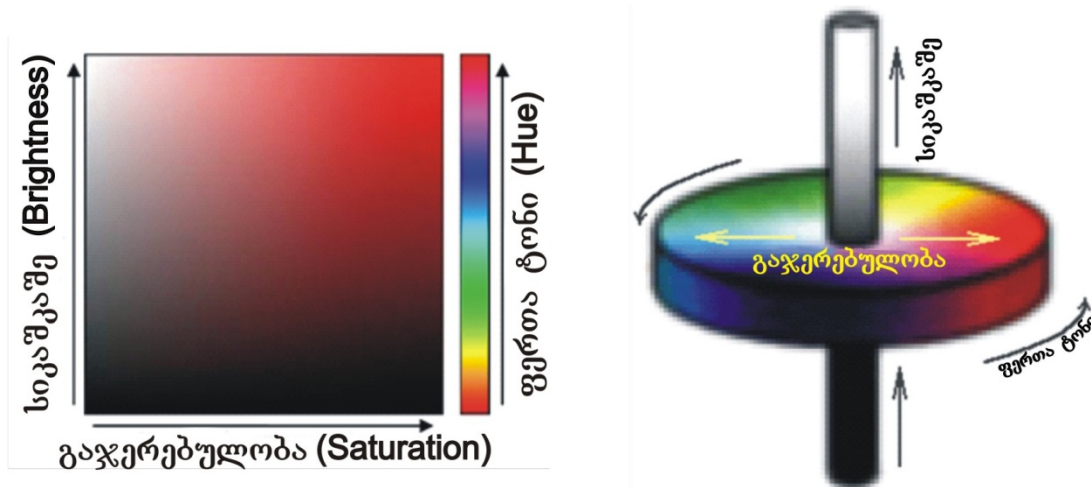
Lab მოდელი ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ფერს. მისი ფერთა სივრცე მოიცავს ყველა დანარჩენ კომპიუტერულ ფერთა მოდელების სივრცეს, ამიტომ ის ფართოდ გამოიყენება პროგრამულ უზრუნველყოფაში. ეს მოდელი შუალედური ფერთა სივრცის როლს ასრულებს, რომელიც ორ ფერთა სივრცეს შორის (მაგალითად, RGB სკანერიდან CMYK ბეჭდურ პროცესში) მონაცემთა უდანაკარგო კონვერტაციას ემსახურება. ამავე დროს, Lab მოდელის ამ განსაკუთრებული თვისებების საფუძველზე, გრაფიკულ პროგრამებში რედაქტირების მძლავრი ინსტრუმენტები გაჩნდა, როგორცაა: ფერის კორექცია, ფერის სიმკვეთრის (მკაფიოობის) გაზრდა და ციფრული ხმაურის შემცირება.

4.9. HSB და HLS მოდელები

HSB მოდელი, ფაქტობრივად, RGB მოდელის ანალოგია, ის იგივე ფერებს იყენებს, მაგრამ განსხვავდება კოორდინატთა სისტემით. ბაზური ფერების მაგივრად ის ეფუძნება აღქმისთვის უფრო ბუნებრივ ცნებებს, რაც გულისხმობს ძირითადი ფერების ერთგვარ მოდიფიკაციას. HSB მოდელში ნებისმიერი ფერი ხასიათდება ტონით (Hue), გაჯერებულობით (Saturation), და სიკაშკაშით (Brightness). ტონი – რეალურად ფერია. გაჯერებულობა – თეთრი საღებავით ფერის განზავების პროცენტი. სიკაშკაშე – შავი საღებავით ფერის განზავების პროცენტი. ამგვარად, HSB მოდელი სამარხიან ფერთა მოდელია, სადც ნებისმიერი ფერი მიიღება ძირითად სპექტრზე შავი ან თეთრი, ანუ ფაქტობრივად, ნაცრისფერი საღებავის დამატებით. HSB მოდელი არ არის მკაცრად მათემატიკური მოდელი.

HSB მოდელის გრაფიკული წარმოდგენა შეიძლება რგოლს შეუსაბამოთ, რომლის გასწვრივაც ფერთა ელფერებია განლაგებული. ამ რგოლის გარე კიდე სუფთა სპექტრულ ფერებს შეესაბამება. რაც უფრო უახლოვდება ფერი რგოლის ცენტრს, მით ნაკლებია მისი გაჯერებულობა, ე.ი. უფრო ფერმკრთალია. სიკაშკაშე აისახება ფერთა რგოლის სიბრტყის მართობულ ზოლზე. გარე წრეზე განლაგებულ ყველა ფერს მაქსიმალური სიკაშკაშე აქვს.

სურ.32-ზე გამოსახულია HSB მოდელის გრაფიკული წარმოდგენა.



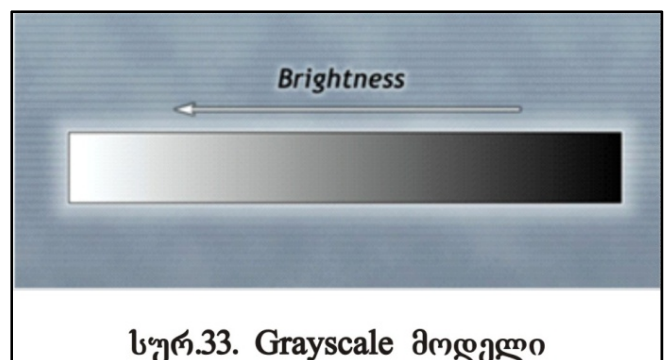
სურ. 32. HSB მოდელის გრაფიკული წარმოდგენა

ზოგიერთი გრაფიკული პროგრამა, მაგალითად Macromedia FreeHand იყენებს HLS (Hue, Lightness, Saturation) მოდელს, რომელიც HSB –ს მსგავსია. მისგან განსხვავებით ამ მოდელში იყენებენ L (Lightness) განათების ცნებას. განათების შემცირება შავ ფერთან მიახლოებას იწვევს, ხოლო მომატება - თეთრთან. სუფთა სპექტრული ფერი კი 50%-იანი განათებისას მიიღება.

თუ RGB მოდელი მისაღებია კომპიუტერისთვის, ხოლო CMYK მოდელი – ტიპოგრაფიისთვის, მაშინ HSB და HLS მოდელები მოსახერხებელია ადამიანისთვის. ეს მოდელები აპარატულად დამოუკიდებელია და შესაბამისად არ არიან ორიენტირებული ტექნიკურ მოწყობილობებზე ფერის წარმოდგენისთვის. სწორედ ეს არის მათი ნაკლი, რადგან მონიტორის ეკრანზე მათი ასახვა საჭიროებს RGB მოდელში გარდაქმნას, ხოლო პოლიგრაფიული ნაბეჭდის მიღება კი CMYK მოდელში გარდაქმნას.

4.10. შავ-თეთრ ფერის მოდელი (Grayscale)

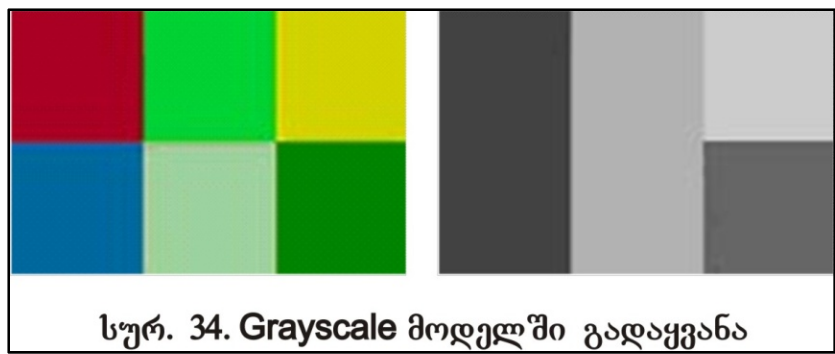
Grayscale მოდელი შეიცავს ინფორმაციას მხოლოდ შავი ფერის შესახებ. ეს ინფორმაცია სერის შკალაზე სიკაშკაშის პროცენტული თანაფარდობით აისახება. მის ნულოვან მნიშვნელობას თეთრი ფერი შეესაბამება, ხოლო მაქსიმალურს (255) – შავი, ამ დიაპაზონის დანარჩენი მნიშვნელობები კი ნაცრისფერის



სურ.33. Grayscale მოდელი

გრადაციებს წარმოადგენენ (სურ. 33). შავ-თეთრ გამოსახულებას მხოლოდ ეს მოდელი აღწერს. გრაფიკულ პროგრამებში ამ მოდელს იყენებენ სხვადასხვა ეფექტების, მასკების და ალფა არხების შექმნისას, ის აქტუალურია ასევე მონიშვნებთან მუშაობის დროსაც. ასევე მნიშვნელოვანია, რომ გრაფიკულ პროგრამებში არსებული მოდელების ნებისმიერ ფერთა არხი წარმოადგენილია სწორედ ნაცრისფერის ელფერებით.

შავ-თეთრ პოლიგრაფიაში მაგალითად, გაზეთებისა და წიგნების ბეჭდვისას, სასურველია ფერადი გამოსახულების **Grayscale** მოდელში გადაყვანა. მაგრამ აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ეს განსაკუთრებულ ყურადღებას ითხოვს. ის რაც ფერად სურათში ლამაზად ჩანს, ამ მოდელში გადატანით შეიძლება ძალიან უხარისხო და არაკონტრასტული აღმოჩნდეს. თუ განვიხილავთ სურ. 34-ზე გამოსახულ ფერად ოთხკუთხედებს და მათ შესაბამის შავ-თეთრ ანალოგს, უხარისხო კონვერტაციის



მიზეზს მარტივად დავადგენთ. როგორც სურათიდან ჩანს, ფერადი ოთხკუთხედების **Grayscale** მოდელში კონვერტირება შავ-თეთრ გამოსახულებას არაადეკვატურს ხდის. წითელი და ლურჯი კვადრატები ერთი ფერით (მუქი ფერით) აისახება, ისევე როგორც მისი მომდევნო ორი კვადრატი (ღია ფერით). საქმე იმაშია, რომ ფერად ვარიანტში წითელსა და ლურჯს შორის არსებობს ფერთა კონტრასტი (განსხვავებული ფერი), რაც შავ-თეთრ გამოსახულებაში არანაირად არ გამოჩნდება. ცენტრში განლაგებულ ორ კვადრატს შორისაც არსებობს კონტრასტი (გაჯერებულობა), ოღონდ ფერთა გაჯერებულობის მიხედვით. შავ-თეთრ გამოსახულებაში ეს ორი ინფორმაცია, ფერისა და გაჯერებულობის შესახებ, იკარგება და შესაბამისად გარდაქმნა უხარისხოა. რაც შეეხება მესამე რიგში განლაგებულ კვადრატებს, მათ შორის არსებული კონტრასტი უკავშირდება არა ფერს და გაჯერებულობას არამედ სიკაშკაშეს, ეს კი შავ-თეთრი გამოსახულების ის ერთადერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია, რომლის გათვალისწინებაც მას შეუძლია.

ამგვარად, თუ ფერად გამოსახულებაში ჭარბობს სიკაშკაშესთან დაკავშირებული კონტრასტები, მაშინ **Grayscale** მოდელში კონვერტირება წარმატებული იქნება, წინააღმდეგ შემთხვევაში, როცა ფერადი უბნები ერთი და იგივე სიკაშკაშით

ხასიათებიან, საჭირო იქნება დამატებითი მოქმედებების ჩატარება. გრაფიკული პროგრამები გვთავაზობენ ამ პრობლემის გადაწყვეტის რამდენიმე ხერხს, რომელთა ამორჩევაც მომხმარებლის მიდგომაზე და საბოლოო მიზანზეა დამოკიდებული.

4.11. ფერთა რეჟიმები და ფერის სიღრმე

თუ ფერთა მოდელი ფერთა სივრცის პროგრამული აღწერაა, მაშინ ფერთა რეჟიმი მისი განხორციელება, ანუ პრაქტიკული რეალიზაციაა, რაც უშუალოდ ფერთან მუშაობას გულისხმობს. ფერთა რეჟიმები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ისეთ ცნებებთან, როგორცაა: ფერის სიღრმე, ფერების კოდირება და ფერთა პალიტრები.

ნებისმიერი კომპიუტერული გამოსახულება, გარდა გეომეტრიული ზომისა და რეზოლუციისა, ამ გამოსახულებაში გამოყენებული ფერების მაქსიმალური რაოდენობით ხასიათდება. ეს კი ფერადი ინფორმაციის კოდირების მეთოდებს უკავშირდება, რადგან ამაზეა დამოკიდებული თუ ერთდროულად რამდენი ფერი შეიძლება აისახოს ეკრანზე და როგორი იქნება ფერთა გადაცემის ხარისხი. კომპიუტერული გამოსახულების ასეთ დახასიათებას უზრუნველყოფს *ფერის სიღრმე*.

კომპიუტერულ გრაფიკაში ტერმინი *ფერის სიღრმე* (Color depth), რასაც ზოგჯერ ფერთა გადაცემის ხარისხსაც უწოდებენ, აღნიშნავს იმ მეხსიერების ზომას ბიტებში, რაც რასტრული გამოსახულების ან ვიდეოგამოსახულების ერთი პიქსელის ფერის წარმოდგენას და კოდირებას სჭირდება. ეს სიდიდე ხშირად აღიწერება ბიტების ან თანრიგების რაოდენობით ერთ პიქსელზე (*bits per pixel, bpp*).

მარტივად რომ ვთქვათ, ფერის სიღრმე გვიჩვენებს, რა რაოდენობის ფერის ან ტონების გადაცემა შეუძლია გამოსახულებას და რამდენი ბიტია ამისთვის საჭირო. ფერის სიღრმე მოცემული გამოსახულებისთვის მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს.

რაც მეტი ბიტია გამოყოფილი ერთი წერტილის ფერის დამახსოვრებაზე, მით მეტი ფერის გადაცემა შეიძლება ერთჯერადად. თუ ფერის სიღრმე 1 ბიტია, მაშინ ყოველ პიქსელს 1 ბიტი ინფორმაცია შეესაბამება და ყოველი მათგანი შეიძლება იყოს ან თეთრი ან შავი. 2 ბიტის გამოყენების შემთხვევაში, ყოველი პიქსელისთვის შესაძლებელია ოთხი სხვადასხვა ფერის დამახსოვრება. შესაბამისად, 4 ბიტის ერთ პიქსელზე გამოყენებისას – 16 ფერის, ხოლო 8 ბიტის შემთხვევაში - 256 სხვადასხვა ფერის დამახსოვრება. ფერის სიღრმის უფრო მაღალი მანქვენებლები, როგორცაა 16 ბიტი, უზრუნველყოფს 65536 ელფერის ერთდროულ დამახსოვრებას და ამ რეჟიმს High Color –ს უწოდებენ. არსებობს ასევე True Color რეჟიმიც, რომელიც სამ ბაიტს ანუ 24 ბიტს იყენებს და ერთდროულად 16,5 მილიონ ფერს ასახავს.

კომპიუტერულ გრაფიკაში არსებული ფერთა მოდელებიდან მხოლოდ სამ მათგანს (RGB, CMYK და Lab) შეესაბამება იგივე დასახელების ფერთა რეჟიმი. ასევე

აღსანიშნავია, რომ გრაფიკულ პროგრამებში ფართოდ არის წარმოდგენილი ფერთა პალიტრებით განსაზღვრული რეჟიმებიც. ყველა ეს რეჟიმი გრაფიკული რედაქტორების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს წარმოადგენს. მაგალითად, ისეთ გრაფიკულ პროგრამებში, როგორცაა Adobe Photoshop და Corel PHOTO-PAINT, ფერთა რეჟიმები ყველაზე ფართო სპექტრით არის წარმოდგენილი.

შავ-თეთრი გრაფიკის რეჟიმები

კომპიუტერულ გრაფიკაში არსებული მოდელებიდან შავ-თეთრი მოდელი ყველაზე მარტივია. მას ერთბიტიანი შავ-თეთრი (Black and White (1-bit)) რეჟიმი შეესაბამება. როგორც დასახელებიდან ჩანს, ამ რეჟიმში ასახული გამოსახულების ყოველ თეთრ და შავ პიქსელს მეხსიერების მხოლოდ ერთი ბიტი უკავია. ცხადია, ეს რეჟიმი მხოლოდ შავ-თეთრი გამოსახულების რეალიზაციას ემსახურება, რაც ზოგჯერ **Grayscale** რეჟიმში კონვერტირებული ფერადი გამოსახულების ბეჭდვასაც გულისხმობს. შავ-თეთრ გრაფიკას რეჟიმების რამდენმე სახეობა შეესაბამება, რომლებიც ერთმანეთისგან გრაფიკის პროგრამული წარმოდგენით განსხვავდებიან. მათ რიცხვს მიეკუთვნება, 8 ბიტიანი *Grayscale გრადაციის რეჟიმი* (Grayscale (8-bit)), რომელიც ერთბიტიანი შავ-თეთრი რეჟიმის მოდერნიზებულ ვერსიას წარმოადგენს. ამ რეჟიმს 256 ელფერის ასახვა შეუძლია. არსებობს ასევე 16 ბიტიანი Grayscale (16-bit) რეჟიმიც, რომელიც უკვე გრაფიკული პროგრამების ახალ ვერსიებში ჩნდება.

ასევე ძალიან საინტერესოა 8 თანრიგიან *დუპლექსურ ფერთა (Duotone (8-bit))* რეჟიმი. ის შეიძლება განვიხილოთ როგორც Grayscale ფერთა მოდელში წარმოდგენილი გამოსახულების გაუმჯობესების ინსტრუმენტი. ეს გაუმჯობესება დამატებითი ფერების (ერთიდან ოთხამდე ფერის) შემოტანის ხარჯზე მიიღწევა. დუპლექსურ ფერთა რეჟიმში გამოსახულება აღიწერება ერთი (Monotone), ორი (Duotone), სამი (Tritone) ან ოთხი (Quadtone) საღებავის, 256 ელფერით. მაგალითად, ამ რეჟიმის ორსაღებავიან (Duotone) ვარიანტს ფართოდ იყენებენ პოლიგრაფიაში. ეს იდეალური საშუალებაა ფოტოსურათებში აქცენტირებული ფერის დამატებისთვის ან საღებავის ტონალური დიაპაზონის გაზრდისთვის. დუპლექსურ ფერთა რეჟიმს ასევე წარმატებით იყენებენ, შავ-თეთრი გამოსახულების შეფერადებისთვის ან ტონირების სხვადასხვა პარამეტრების საშუალებით საინტერესო ეფექტების შექმნისთვის.

გავისხენოთ ასევე, რომ გრაფიკულ პროგრამებში ფერადი გამოსახულება სხვადასხვა მოდელების ფერთა არხებითაა წარმოდგენილი. ფერთა არხი კი ამ გამოსახულების Grayscale გრადაციის რეჟიმში წარმოდგენას ნიშნავს. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ არხის ცნება საკმაოდ მნიშვნელოვანია და მას, როგორც ინსტრუმენტს, ყველა რასტრულ გრაფიკულ რედაქტორში იყენებენ.

RGB რეჟიმს ხშირად RGB –ფერს უწოდებენ. ის ძალიან მოსახერხებელია მონიტორის ეკრანზე გამოსახულების რედაქტირებისთვის. ეს რეჟიმი

უზრუნველყოფს 24 ბიტ/პიქსელზე ფერის სიღრმეს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფერადი ციფრული გამოსახულების ასახვისთვის ის 16,7 მილიონ ფერს იყენებს.

პროგრამისტები ამ მოდელს ბუნებრივს (true color) უწოდებენ, რადგან ფერთა ეს რაოდენობა სავსებით საკმარისია ადამიანის ვიზუალური აღქმისთვის.

რაც შეეხება CMYK რეჟიმს, ის მთლიანად ორიენტირებულია მხოლოდ ბეჭდვაზე და სათქმელიც არაფერია. Lab რეჟიმი კი 24 თანრიგიანი ფერადი რეჟიმია, რომელიც სამი არხისგან შედგება. ამ რეჟიმში მხოლოდ ნახევარტონური, RGB და CMYK გამოსახულებათა გარდაქმნა შეიძლება.

4.12. ფერების და პალიტრების შესაბამისობის სისტემა.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ფერთა ყოველი მოდელი საკუთარ ფერთა სივრცით ხასიათდება, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ფერების ნაწილი, რომელსაც მრავალფენიანი ბეჭდვისას ვიყენებთ, ზუსტად არ აისახება მონიტორის ეკრანზე. ფერების ეკრანიდან აღქმაც (რეპროდუქცია) ასევე არაერთმნიშვნელოვანია, რაც უკვშირდება მთელ რიგ ფაქტორებს: განთების პირობებს, ექსპლუატაციის ვადას და პარამეტრების დაყენების სიზუსტეს. აქედან გამომდინარე, შეუძლებელია საჭირო ფერის შერჩევა უშუალოდ დისპლეის ეკრანზე.

ბეჭდვის ეტაპზე, ფერების მიღების სიზუსტის ხარისხის ამადლების მიზნით, გრაფიკულ პროგრამებში ჩართულია ფერებისა და პალიტრების შეპირისპირების (შედარების) სისტემა.

ფერის იდენტიფიკაციის პროცესის გამარტივებისთვის შეიქმნა ფერების შესაბამისობის სისტემა, რომელიც შემდეგ კომპონენტებს შეიცავს:

- ფერების ეტალონური ცხრილები (რუკები ან კატალოგები);
- ელექტრონულ ფერთა პალიტრები (ან უბრალოდ პალიტრები);
- სპეციალური პროგრამული და აპარატული საშუალებები გამოტანის მოწყობილობათა კალიბრაციისთვის.

ეტალონური ცხრილები იმ ფერთა ნაკრებს (ნიმუშებს) წარმოადგენს, რომელიც ადეკვატურად აისახება ფურცელზე ბეჭდვის პროცესში. ეტალონების დამზადება ზედმიწევნით კონტროლდება, რათა მინიმუმადე შემცირდეს ფერთა ვარიაციები. ყოველ ფერს ანიჭებენ საკუთარ, უნიკალურ სახელს და უთითებენ პიგმენტის ტიპს ან პიგმენტების ნაზავის შემადგენლობას. მითითებულია ასევე მოცემულ პიგმენტებთან იდენტიფიცირებული ქადალდის სახეობაც. ამ შაბლონების გამოყენებით, ფერთა მართვის სისტემა უზრუნველყოფს ეკრანზე ასახულ და ფურცელზე დაბეჭდილ ინფორმაციათა ადეკვატურობის ზუსტ ვიზუალურ კონტროლს. ასეთი ფერთა რუკების ტიპური მაგალითია, TRUMATCH და Pantone

ფირმების მიერ შექმნილი კატალოგები, რომლებიც Colorfinder და Process Color Guide სახელებითაა ცნობილი.

ელექტრონულ ფერთა პალიტრა მონაცემთა ცხრილია. ამ ცხრილში ინახება ინფორმაცია ფერთა კოდირების შესახებ. ის გრაფიკულ ფაილთან ერთად იქმნება. ელექტრონული პალიტრა უჯრების გარკვეული რაოდენობისგან შედგება. მისი ყოველი უჯრა შეიცავს ინფორმაციას ცალკეული ელფერის (ტონის) შესახებ. ყოველი კონკრეტული პალიტრა განსაზღვრულ ფერთა მოდელს მიესადაგება, რადგან მისი ფერები ამ მოდელის ფერთა სივრცის მიხედვით იქმნება. თუ ფერთა მოდელი ასახავს მასში აღწერილ ყოველ შესაძლო ფერს, მაშინ ასეთი ფერთა პალიტრა ფერების შეზღუდულ ნაკრებს შეიცავს და მას სტანდარტულს უწოდებენ. მაგალითად Pantone - სტანდარტული ფერთა პალიტრაა.

კომპიუტერისთვის ყველაზე მოსახერხებელია ფერების 24-თანრიგიანი კოდირება, როდესაც ყოველი შემადგენელი ფერის (წითელი, მწვანე, ლურჯი) კოდისთვის ერთი ბაიტი (8 ბიტი) გამოყოფილი. ამ ფერების სიკაშკაშე კი 0-დან 256-მდე რიცხვით აისახება. შესაბამისად, კომპიუტერს 16,5 მილიონი ფერიდან ნებისმიერი ფერის ასახვა შეუძლია სამი კოდის საშუალებით. ამ შემთხვევაში ფერთა პალიტრის ცალკე დამახსოვრება, აღარ არის საჭირო, რადგან სამ ბაიტში ისედაც საკმარისი ინფორმაცია ინახება კონკრეტული პიქსელის ფერის შესახებ.

ინდექსურ ფერთა პალიტრა

თუ გამოსახულებას მხოლოდ 256 ფერი გააჩნია და კოდირებაც ერთი ბაიტით ხდება, სიტუაცია უფრო რთულდება. ამ შემთხვევაში ყოველი ელფერი წარმოდგენილია ერთი რიცხვით და თანაც ეს რიცხვი ფერის ინდექსს (ნომერს) აღნიშნავს და არა პიქსელის ფერს. თვით ფერი ამ ნომერის მიხედვით იძებნება იმ თანდართულ ფერთა პალიტრაში, რომელიც ფაილზეა მიმაგრებული. ასეთ ფერთა პალიტრებს ინდექსურ ფერთა პალიტრები ეწოდება. სხვადასხვა გამოსახულებებს შესაძლოა სხვადასხვა პალიტრები ჰქონდეთ. მაგალითად, ერთ გამოსახულებაში მწვანე ფერს შეიძლება შეესაბამებოდეს ინდექსი – 64, ხოლო მეორე გამოსახულებაში ეს ინდექსი შეიძლება ვარდისფერს მიენიჭოს. თუ გამოსახულებას ავსახავთ „არა საკუთარი (სხვისი)“ ფერთა პალიტრით, მაშინ მწვანე ნაძვი ეკრანზე შეიძლება ვარდისფრად გამოჩნდეს.

ფიქსირებულ ფერთა პალიტრა

თუ გამოსახულების ფერი ორი ბაიტით (High Color mode) არის კოდირებული, მაშინ ეკრანზე 65 ათასი ფერი აისახება. ცხადია, ეს ყველა შესაძლო ფერი არ არის. True Color რეჟიმის ფერთა სივრცესთან შედარებით ეს 256-ჯერ ნაკლებია. ასეთი გამოსახულების ყოველი ორბაიტიანი კოდი ასევე ასახავს გარკვეულ ფერს ზოგადი სპექტრიდან, მაგრამ ამ შემთხვევაში ამ ინფორმაციის აღმწერი ინდექსური

პალიტრის ფაილზე მიმაგრება გაუმართლებელი იქნება, რადგან კოდირების ცხრილში 65 ათასი ჩანაწერი გაჩნდება, მისი ზომა კი ასობით ათასი ბაიტი იქნება. ალბათ აზრს მოკლებულია ისეთი ჩანაწერის ფაილზე მიმაგრება, რომლის ზომაც შეიძლება თვით ფაილზე დიდი აღმოჩნდეს. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში იყენებენ ფიქსირებული პალიტრის ცნებას. ასეთი პალიტრის ფაილზე მიმაგრება საჭირო არ არის, რადგან ნებისმიერ გრაფიკულ ფაილში, სადაც ფერს 16 თანრიგიანი კოდირება აქვს, კონკრეტული კოდი ყოველთვის მის შესაბამის ფერს აღნიშნავს.

„უსაფრთხო“ ფერთა პალიტრა

„უსაფრთხო“ ფერთა პალიტრას Web-გრაფიკაში იყენებენ. ასეთი პალიტრის შექმნის აუცილებლობა ინტერნეტს და მასთან დაკავშირებულ პრობლემებს უკავშირდება. პირველი - მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე ინტერნეტში ჯერ კიდევ არადაამაკმაყოფილებელია და მეორე - Web-გვერდების შექმნისას იყენებენ მხოლოდ ისეთ გრაფიკას, სადაც ფერის 8-თანრიგიანი კოდირებაა გამოყენებული. გარდა ამისა Web-გვერდების პროექტირებისას დიზაინერისთვის უცნობია თუ კომპიუტერის რომელ მოდელზე და რომელ პროგრამაში იქნება განხილული მათ მიერ შექმნილი ეს თუ ის პროდუქტი და შესაბამისად იქნება თუ არა ადეკვატური რეალური და მომხმარებლის მიერ დანახული სურათი. ამდენად, ის სულაც არ არის დარწმუნებული, რომ მისი „მწვანე ნაძვი“ მომხმარებლის ეკრანზე ვარდისფრად არ გადაიქცევა.

ამასთან დაკავშირებით მიღებული იქნა შემდეგი გადაწყვეტილება. ყველა პოპულარული საძიებო პროგრამები (Browser) წინასწარ აეწყოს ერთ ფიქსირებულ ფერთა პალიტრაზე. თუ Web-გვერდების პროექტირებისას მხოლოდ ამ ფერთა პალიტრას გამოიყენებენ, შექმნილი პროდუქტი დაზღვეული იქნება არაადეკვატური აღმისგან.

ამ უსაფრთხო ფერთა პალიტრაში იყენებენ არა 256 ფერს, რაც უფრო მოსალოდნელი იყო, არამედ მხოლოდ 216, რაც გამოწვეულია კომპიუტერების შეუთავსებლობით. ასეთ ფიქსირებულ ფერთა პალიტრას, სადაც მკაცრად არის განსაზღვრული ინდექსები 216 ფერისთვის, უსაფრთხო ფერთა პალიტრა ეწოდება.

როგორ უკვე არაერთხელ აღვნიშნეთ, კომპიუტერული გრაფიკის შესწავლის მთავარ ობიექტს წარმოადგენს გამოსახულება, რომელიც სხვადასხვაგვარად აღიქმება, გარდაიქმნება და აისახება, რაც დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია მისი წარმოდგენის ფორმები, გარდაქმნის მეთოდები და ასახვის ხერხები. გამოსახულების ეს მრავალფეროვანი წარმოდგენები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ინფორმაციის ვიზუალიზაციასთან და კერძოდ კომპიუტერულ ვიზუალიზაციასთან.

5. ვიზუალიზაცია

ინფორმაციის ვიზუალიზაცია შეიძლება ასე განვმარტოთ - დაინახე. . . იფიქრე . . . შეიგრძენი და შეაფასე. . .

სიტყვები ხშირად შეუმჩნეველი და არაფრის მთქმელია. სათქმელის უკეთ გადმოსაცემად ადამიანები ოდითგანვე სხვადასხვა საშუალებებს მიმართავდნენ.

მარტივი ვიზუალიზაციის ნიმუშები კაცობრიობის განვითარების საწყის ეტაპზეც გვხვდება, მაგალითად გამოქვაბულის მხატვრობა. უძველესი ადამიანები მსგავსი ხერხებით ცდილობდნენ საკუთარი მესიჯების გავრცელებას. ეს იყო შინაარსის ვიზუალიზაცია და სხვა ადამიანებისთვის მისი დემონსტრირების პირველი გაცნობიერებული მცდელობა.

ადამიანის მიერ მიღებული და აღქმული ინფორმაციის უდიდესი ნაწილი ვიზუალურია (ტექსტი, ციფრი, გამოსახულება). ვიზუალიზაცია არის ერთგვარი დამხმარე საშუალება, რაც აადვილებს ინფორმაციის გააზრებას, გაგებას და დამახსოვრებას. კარგი ვიზუალი ხშირად უფრო ნათლად გადმოსცემს სათქმელს, ვიდრე უბრალოდ სიტყვები და მათი დამახსოვრებაც ბევრად უფრო ადვილია. ვიზუალიზაციის მთავარი მიზანია ინფორმაციის გასაგებად და ეფექტურად მიწოდება. ხშირ შემთხვევაში ამ გზით მცირდება გზავნილის მოცულობა, მიმღების ძალისხმევა მიწოდებული ინფორმაციის აღსაქმელად და იზრდება ინფორმაციის ეფექტურობის ხარისხი. მაგალითად, ვიზუალიზაცია საუკეთესო საშუალებაა რთული სტატისტიკური გრაფიკებისა და თემატური კარტოგრაფიის გადაცემისთვის. ვიზუალიზაცია, ძალიან ეფექტურად მუშაობს აგრეთვე, არამხედველობითი ინფორმაციის წარმოდგენისას, მაგალითად, როგორცაა ტემპერატურა, მოსახლეობის სიმჭიდროვე, ელექტრომაგნიტური ველების დონეების განაწილება და სხვ. თუ გავისხენებთ, რომ ადამიანი ინფორმაციის 90%-ს მხედველობის არხებით იღებს, გასაგები იქნება ვიზუალიზაციის გამოყენების ასეთი ეფექტურობა.

ცხადია, რომ ვიზუალიზაცია, როგორც გონებრივი მოდელების თვალსაჩინო წარმოდგენა, კომპიუტერული ტექნოლოგიების შემოსვლამდეც არსებობდა.

ეს მეთოდი XXI საუკუნეში კვლავ მუშაობს, ტექნიკურად დახვეწილი, მაღალტექნოლოგიური, მრავალფეროვანი და მასშტაბური.

ვიზუალიზაცია, კომპიუტერული გრაფიკის მთავარ იარაღს წარმოადგენს. ის გამოსახულების აბსტრაქტული წარმოდგენის გეომეტრიულ ფორმაში გარდაქმნას გულისხმობს, რაც მკვლევარებს ან უბრალოდ მომხმარებელს საშუალებას აძლევს დააკვირდეს კომპიუტერული მოდელების შედეგებს, მოვლენებსა და პროცესებს.

ვიზუალიზაცია, და განსაკუთრებით კომპიუტერული ვიზუალიზაცია, დღეს უკვე ყველა სფეროში შეიჭრა. ეს არის მულტიმედია-ციფრული სწავლება და გულისხმობს დიდი მოცულობის ინფორმაციის ვიზუალურ წარმოდგენას და მასთან

დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტას. აღნიშნული დისციპლინა უკავშირდება ადამიანისა და კომპიუტერის ურთიერთქმედებას (HCI), ინფორმატიკას, გრაფიკას, ვიზუალურ პროექტირებას, ფსიქოლოგიას და ბიზნეს მეთოდების კვლევას. ინფორმაციის ვიზუალიზაცია სულ უფრო აქტიურად გამოიყენება მეცნიერულ კვლევებში, ციფრულ ბიბლიოთეკებში, მონაცემების ანალიზში, ბაზრის კვლევაში და სხვ.

მონაცემთა ვიზუალიზაცია, როგორც XXI საუკუნის ახალი დარგი, მუდმივი ევოლუციის პროცესშია. რთულია იმის პროგნოზირება, თუ სად გაივლის ზღვარი ადამიანის შესაძლებლობებსა და კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს შორის.

5.1. კომპიუტერული ვიზუალიზაცია

რა არის კომპიუტერული ვიზუალიზაცია?

თავისთავად კომპიუტერული ვიზუალიზაცია განიხილება, როგორც დამოუკიდებელი დისციპლინა, მაგრამ ამავდროულად ის წარმოადგენს დამხმარე დისციპლინას გამოთვლით მეცნიერებათა (Computer Sciences) სფეროში.

თუმცა, ზოგჯერ ვიზუალიზაციას მარტივად აღიქვამენ, მხოლოდ როგორც სამგანზომილებიანი ობიექტის ასახვის პროცესს (რენდერს).

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, კომპიუტერული ვიზუალიზაცია არის მონაცემთა მენტალური (გონებრივი) მოდელის ფორმირების პროცესი. ეს პროცესი გულისხმობს ობიექტის აბსტრაქტული წარმოდგენის ბაზაზე მისი ვიზუალური (გეომეტრიული) გამოსახულების აგებას. ეს აბსტრაქტული წარმოდგენები კვლევის ობიექტის ან რაიმე პროცესის მოდელს წარმოადგენს, რომელიც მომხმარებლის კოგნიტიურ (შემეცნებით) სტრუქტურებს უკავშირდება.

ვიზუალური გამოსახულებები შეიძლება შეიქმნას ან აღდგეს ამ მოდელის მიხედვით, რაც ამ მოდელირების არსის გამომხატველი კოგნიტიური სტრუქტურების შესაბამისი იქნება. ვიზუალიზაციის ამოცანაა ისეთი მეთოდებისა და პრინციპების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს ვიზუალური გამოსახულების საშუალებით ადეკვატური კოგნიტიური სტრუქტურების აღდგენას. ეს პროცესი ორმაგი ბუნებით ხასიათდება, ვინაიდან არსებობს ვიზუალიზაციის შებრუნებული პროცესი – ინტერპრეტაცია, რომელიც ვიზუალური გამოსახულებების მიხედვით წამოშობს კოგნიტიურ სტრუქტურებს.

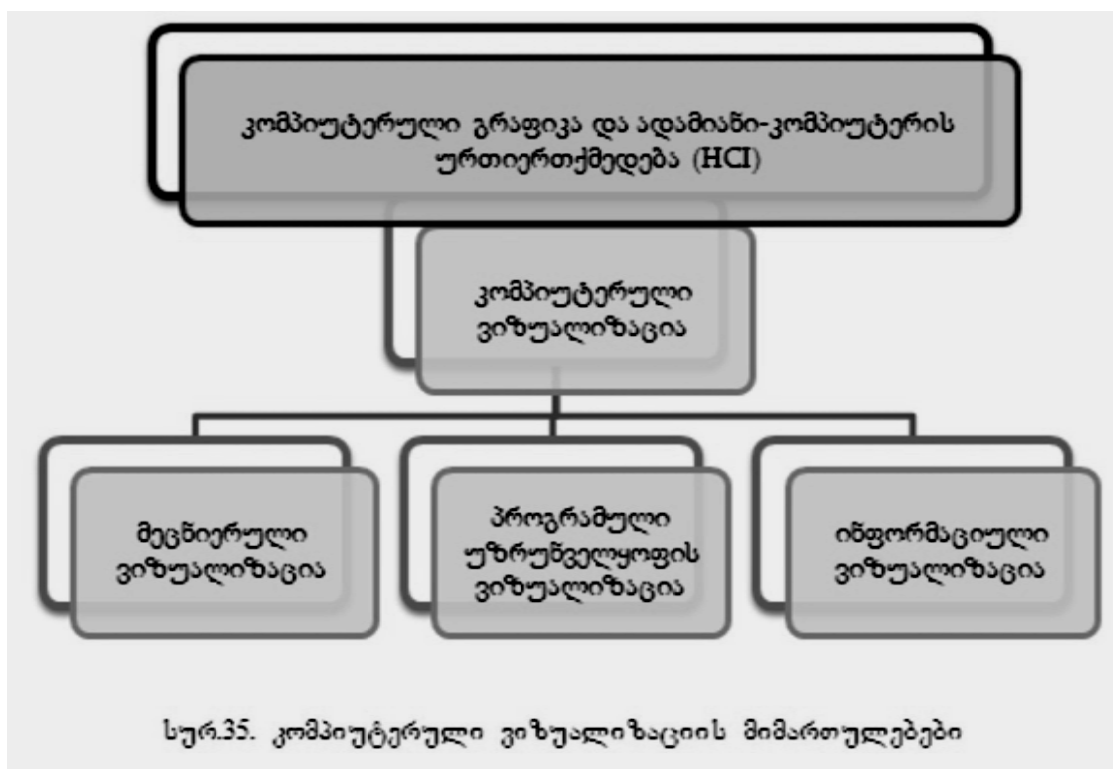
ამგვარად ვიზუალიზაციის მიზანია ისეთი სისტემის შექმნა, რომელიც კომპიუტერული მოდელირების შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზისა და ინტერპრეტაციის პროცესში მომხმარებელს შეუმსუბუქებს სამუშაოს. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ეფექტური ინტერაქტიული ვიზუალიზაციის სისტემების შექმნისას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია კომპიუტერულ გრაფიკას.

ვიზუალური და ინტერაქტიული სისტემების პროექტირებისას დიდი ყურადღება ეთმობა აგრეთვე “ადამიანის” ფაქტორს, მასთან დაკავშირებულ ყველა პრობლემას და მათი გადაჭრის ხერხებს. ადამიანი თითქმის ყველა სახის ვიზუალიზაციაში მონაწილეობს, ამიტომ ტექნიკურ ფაქტორებთან ერთად ითვალისწინებენ მრავალრიცხოვან ფსიქოლოგიურ ფაქტორებს, რომლებიც ზეგავლენას ახდენს მომხმარებლის მუშაობაზე ვირტუალურ გარემოში. ამგვარად, კომპიუტერული ვიზუალიზაცია მჭიდრო კავშირშია როგორც კომპიუტერულ გრაფიკასთან, ასევე ადამიანი-კომპიუტერის ურთიერთქმედებასთან (HCI).

მაგალითად, კომპიუტერული მოდელირება შეიძლება ასეთი სქემით წარმოვიდგინოთ:

1. საწყისი მონაცემების მოძიება და დამახსოვრება;
2. ფიზიკური მოდელის შექმნა;
3. მათემატიკური მოდელის შექმნა;
4. ალგორითმების დამუშავება;
5. პროგრამირება;
6. არსებული პროგრამის მიხედვით გამოთვლების ჩატარება;
7. კომპიუტერული ვიზუალიზაცია;
8. შედეგების ინტერპრეტაცია და ანალიზი.

ამ სქემიდან ნათლად ჩანს, რომ კომპიუტერული ვიზუალიზაცია ამ პროცესის ერთ-ერთი მთავარი და აუცილებელი შემადგენელი ნაწილია.



ტრადიციულად, კომპიუტერულ ვიზუალიზაციას სამ მიმართულებად ყოფენ:

- *მეცნიერული ვიზუალიზაცია* – მეცნიერული გამოთვლების შედეგად მიღებული ინფორმაციის ვიზუალიზაცია;
- *პროგრამული უზრუნველყოფის ვიზუალიზაცია* – გრაფიკის გამოყენება პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავების პროცესში, რაც მათი ეფექტური ექსპლუატაციის საშუალებას იძლევა;
- *ინფორმაციული ვიზუალიზაცია* – სხვადასხვა დანიშნულების მქონე მონაცემთა შეგროვებისა და დამუშავების პროცესში მიიღებული აბსტრაქტული ინფორმაციის ვიზუალური აღწერა და წარმოდგენა.

კომპიუტერული ვიზუალიზაციის ასეთი დაყოფა (სურ.35), გამოწვეულია ვიზუალიზაციის სხვადასხვა მიმართულებებისა და მრავალფეროვანი ამოცანების არსებობით. თუმცა, ამავედროულად ადგილი აქვს ამ მიმართულებათა უდიდეს ერთიანობასაც როგორც ასახვის სხვადასხვა მეთოდების (მაგალითად, რენდერი), ისე საბოლოო მიზნებისა და ამოცანების მიხედვით. საუბარია კომპიუტერული მოდელირების შედეგების ინტერპრეტაციისა და ანალიზის უზრუნველყოფაზე.

გამოთვლების მოცულობის მკვეთრი ზრდა, რომელიც დაკავშირებულია პარალელური და განაწილებული გამოთვლების გამოყენებასთან, ცხადია, უკავშირდება უფრო მეტი და მეტი მონაცემების დამუშავებას, ანალიზს და ინტერპრეტაციას. კომპიუტერული მოდელირების ამ მოთხოვნებს უზრუნველყოფს მეცნიერული და ინფორმაციული ვიზუალიზაცია.

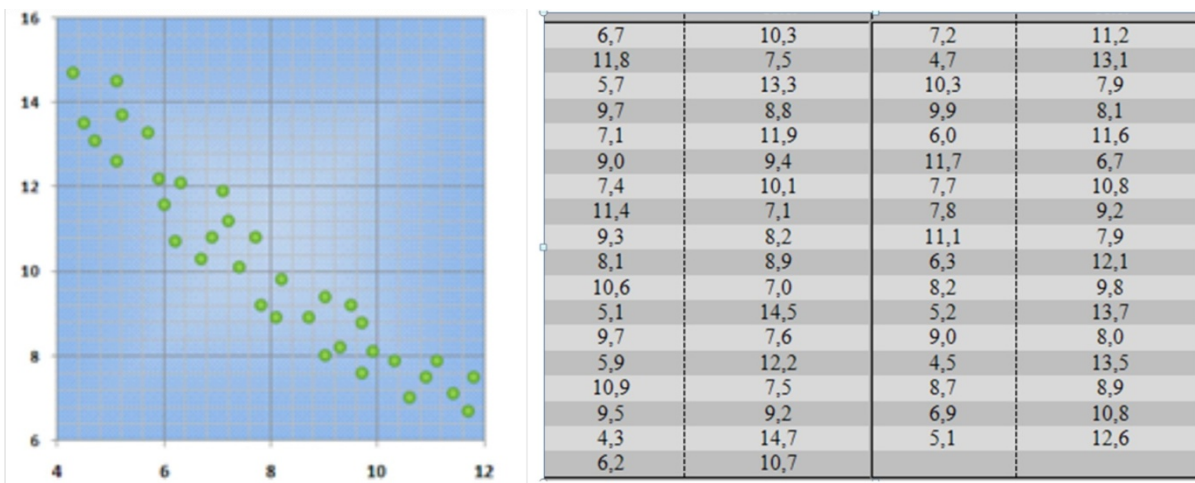
მეცნიერული ვიზუალიზაცია ერთ-ერთი თანამედროვე და ეფექტური საშუალებაა მეცნიერული გათვლების შედეგად მიღებული მონაცემებისა და მეთოდების ანალიზისთვის. ის ფართო გამოყენებას პოულობს როგორც თეორიულ, ისე ექსპერიმენტულ კვლევებში. მეცნიერული ვიზუალიზაცია შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა ბუნების მქონე მონაცემთა ანალიზისთვის, ამ დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს როგორც ანალიზის განსხვავებულ მიზნებს, ისე მონაცემთა წარმოდგენის სხვადასხვა გრაფიკულ ხერხებს. მეცნიერული ვიზუალიზაციის ძირითადი ამოცანაა უხილავი გახადოს ხილვადი. ამის მაგალითია ისეთი მაკროსტრუქტურა, როგორცაა გალაქტიკა და ასევე რეალური სამყაროს მიკროსტრუქტურები და ნანოსტრუქტურები.

ინფორმაციული ვიზუალიზაციის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს, რასაც მონაცემთა ორგანიზების რამდენიმე კლასიკური სახეობა განსაზღვრავს: იერარქიული, წრფივი, სივრცული, უწყვეტი, არასტრუქტურირებული. ვიზუალიზაციის მეთოდები მობილურია როგორც ახალი ფუნქციების, ასევე ახალი გრაფიკული საშუალებების მიმართ.

იერარქიული მონაცემების ასახვის ერთ-ერთი მეთოდი “ხის” სტრუქტურის გამოყენებას გულისხმობს. მაგალითად, სამგანზომილებიან გრაფიკაში სცენის

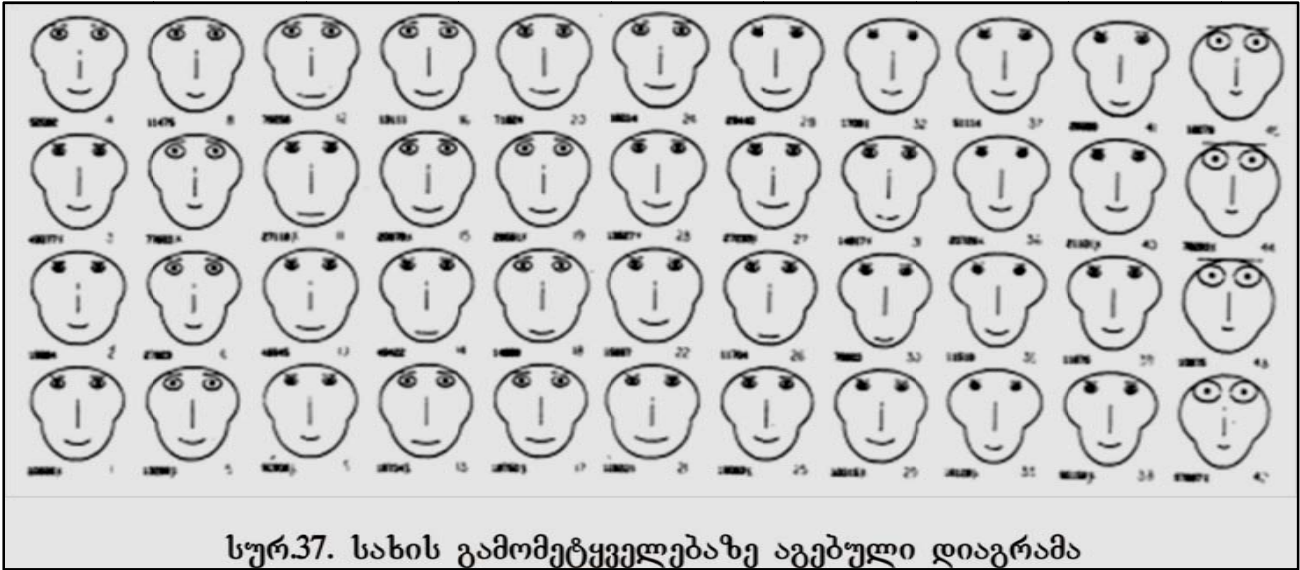
განათების საშუალებები რეალიზებულია კონუსისებური ხეების სტრუქტურის საშუალებით როგორც ვერტიკალურ, ისე ჰორიზონტალურ ვარიანტში.

წრფივი მონაცემები შეიძლება აისახოს “ინფორმაციული კედლის” საშუალებით. ასახვის ეს პრინციპი გულისხმობს დიდი მოცულობის მონაცემთა ასახვას ვირტუალურ ზედაპირზე, რომელიც კედელს მოგვაგონებს. მონაცემების გარჩევითობისთვის აფიქსირებენ პოზიციას ვერტიკალურ სვეტში და ამ სვეტის პოზიციას სხვა სვეტების მიმართ. ნავიგაცია ხორციელდება მომხმარებლის გადაადგილებით ამ კედლის გასწვრივ ან შესაძლოა სიმაღლეზეც. ინტერესის წერტილში ხშირად იყენებენ “თევზის თვალსაც”, რაც გულისხმობს აღნიშნულ უბანზე გამოსახულების გაზრდას, ხოლო პერიფერიებზე – შემცირებას.



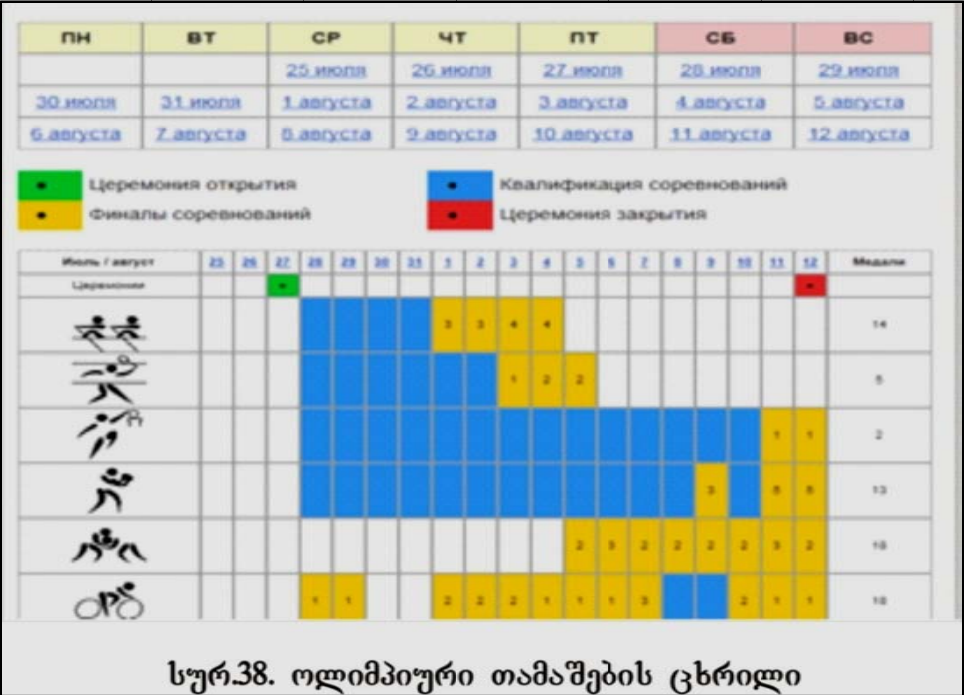
სურ.36. წერტილოვანი დიაგრამა

რიცხვითი ინფორმაციის ასახვა ხშირად გრაფიკების საშუალებით ხორციელდება. ამ დროს მონაცემების წარმოდგენა ხდება გეომეტრიული ელემენტების პოზიციისა და მნიშვნელობის მიხედვით. ამის კლასიკური მაგალითია ერთ-, ორ- და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მონაცემების დეკარტეს (მართკუთხა) ან პოლარულ კოორდინატებში წარმოდგენა. მონაცემთა ასახვის ამ სახეს მიეკუთვნება აგრეთვე წერტილოვანი დიაგრამა (*scatter plot*) (სურ.36), ასევე სხვადასხვა ტიპის მინიშნების ნიშნები, ჰისტოგრამები, ტორტის ფორმის დიაგრამები, სახის გამომეტყველებაზე აგებული დიაგრამები (*Chernofffaces*) (სურ.37) და სხვ.



უნდა აღინიშნოს რომ გრაფიკები უფრო სრულყოფილად და ეფექტურად გადმოსცემენ ასახული ინფორმაციის არსს, ვიდრე იგივე ინფორმაციაზე აგებული ცხრილები. მაგალითად, თუ გვაქვს, $Y(t)$ დამოკიდებულების შესაბამისი 5000 მიმდევრობითი მნიშვნელობის ცხრილი, ცხადია, უპირველეს ყოვლისა ავაგებთ გრაფიკს და არ ვეცდებით ცხრილის წაკითხვას. გრაფიკზე აისახება ამ დამოკიდებულების საერთო სურათი და ცალკეული ტენდენციები, გამოიკვეთება საინტერესო უბნები, სადაც აუცილებლობის შემთხვევაში შევძლებთ მონაცემთა უფრო დეტალურ შესწავლას.

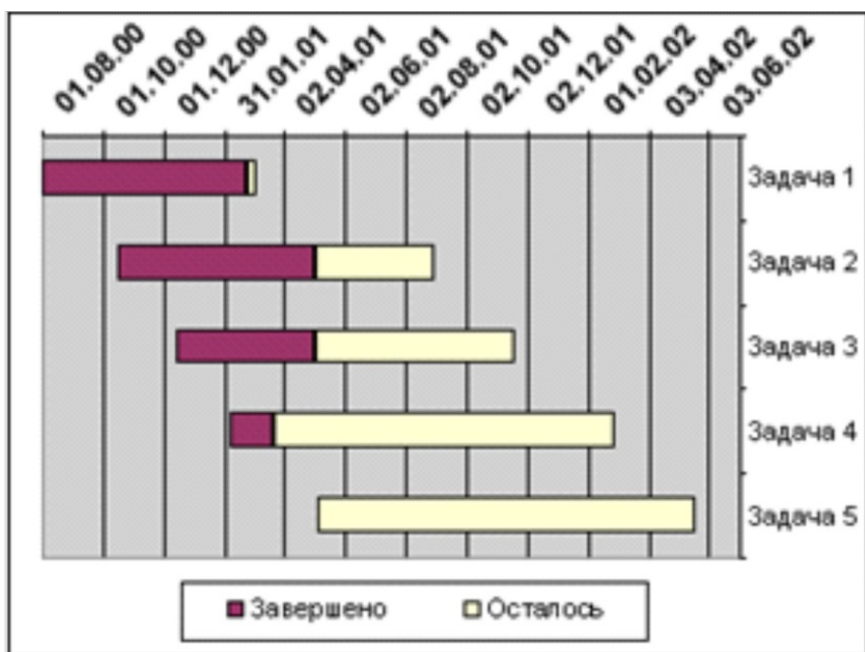
განვიხილოთ მონაცემთა კიდევ ერთი სახე – დროზე დამოკიდებული მონაცემები.



სურ.38. ოლიმპიური თამაშების ცხრილი

მაგალითად ოლიმპიური თამაშების ცხრილი (სურ.38), სადაც ყოველ დღეს შეესაბამება პიქტოგრამების ნაკრები, რომელთაგან თვითოეული სპორტის ცალკეულ სახეობას წარმოადგენს. ასეთ მონაცემებს ე.წ. დროითი სქემებით აღწერენ.

ასეთი სქემის მაგალითია ასევე განტის დიაგრამა (Gantt charts) (სურ.39), სადაც მოქმედების ხანგრძლივობის საჩვენებლად ერთგვარ ზოლებს იყენებენ. განტის დიაგრამა ასახავს გარკვეული რაოდენობის პროცესების მდგომარეობას. ყოველ ასეთ პროცესს შეესაბამება საკუთარი ვერტიკალური ან ჰორიზონტალური ზოლი, სადაც პროცესის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა სხვადასხვა ფერით აღინიშნება. განტის დიაგრამა შეიძლება განვიხილოთ როგორც დროითი ღერძი, რაზეც აღნიშნულია კონკრეტული მოვლენები. განტის დიაგრამა მიმდინარე პროცესების ასახვის გარდა, პროცესების განვითარების ისტორიაზე, ანუ პროცესის მიმდინარეობაზე დაეაყვირების საშუალებასც იძლევა.



სურ.39. განტის დიაგრამა

5.2. ვიზუალური ენა, ნიშანთა სისტემა და ვიზუალური მეტაფორა

კომპიუტერული ვიზუალიზაცია, როგორც ასახვის პროცესი და ამავდროულად ასახვის ინსტრუმენტი, კიდევ სამი ფუნქციით ხასიათდება: წარმომადგენლობითი (ილუსტრაციული), საკომუნიკაციო და შემეცნებითი (კოგნიტიური).

ეს ფუნქციები თანსდევდა ტრადიციულ, არაკომპიუტერულ ვიზუალიზაციასაც, რომელიც აღიქმებოდა, როგორც ობიექტის ვიზუალური ასახვის პროცესი, ან მოვლენათა ინტერპრეტაცია *ვიზუალურ ენაზე*. ანალიზი გვჩვენებს, რომ ორივე შემთხვევაში, როგორც კომპიუტერული, ისე ტრადიციული ვიზუალიზაციის დროს, ეს პროცესი სრულად შეიძლება აღიწეროს *“ნიშნებით”*.

ნიშნის კლასიკური განსაზღვრების თანახმად: *“ნიშანი ახდენს საგნის რეპრეზენტაციას და ენაცვლება მას ცნობიერებაში”*

კომპიუტერული ვიზუალიზაციის ამ კუთხით შესწავლა დაკავშირებულია დისციპლინა - *სემიოტიკასთან*, რომელიც იკვლევს ნიშანთა სისტემების ფუნქციონირების ზოგად კანონზომიერებებს. განვიხილოთ, სემიოტიკის ძირითადი ცნებების გამარტივებული განმარტებები, როგორცა არის: ნიშანი, ნიშანთა სისტემა, ვიზუალური ენა და მეტაფორა.

სემიოტიკის ზოგიერთი განმარტებები.

სემიოტიკა არის მეცნიერება, რომელიც იკვლევს ნიშანთა სისტემებს, მათი ფუნქციონირების ზოგად კანონზომიერებებს და ენის ყველაზე მნიშვნელოვან საკითხებს. მისი შესწავლის ობიექტია სხვადასხვა ტიპის ნიშნები. მაგალითად, სიგნალიზაციის უმარტივესი სისტემები, ბუნებრივი და მეცნიერულად ფორმალიზებული ენები. სემიოტიკა ერთიან დამოუკიდებელ მეცნიერულ მიმართულებად ჩამოყალიბდა, რაც პირველ რიგში, დაკავშირებულია ხელოვნური ფორმალური ენების პრობლემატიკასთან, როგორც არის ლოგიკა, მათემატიკური აღრიცხვა, მათემატიკური ლინგვისტიკა, საინფორმაციო საძიებო ენები, დაპროგრამების ენები და სხვ.

რაიმე აზრის ინტერპრეტაციის პროცესში *“ნიშანი”* აღნიშნავს კონკრეტულ ფაქტს ან ობიექტს. სიტუაციას, სადაც იყენებენ ნიშნებს ან ამ ნიშნებს შორის დამოკიდებულებას, აღწერენ სამი ელემენტით – *ობიექტი, ნიშანი და ინტერპრეტანტი*.

მეორე განმარტების თანახმად, ნიშანი არის ინფორმაციის მატარებელი ელემენტი, რომელიც გვამცნობს რაიმეს გარე სისტემიდან. იმას, რასაც ის აღნიშნავს – ობიექტს უწოდებენ, იმას რასაც გვამცნობს – მის მნიშვნელობას, ხოლო აზრს ან იდეას, რასაც ის იწვევს ან ბადებს ჩვენში – მის ინტერპრეტანტს.

ნიშანთა სისტემა წარმოადგენს ნიშნების ერთგვარ ერთობლიობას; ამ ნიშნებს შორის არსებობს გარკვეული შინაგანი კავშირი; ეს ნიშნები ქმნიან სტრუქტურებს;

ყოველი მათგანი ისეთ კავშირშია სხვა ნიშნებთან, რომ სისტემაში რომელიმე მათგანის შეცვლა იწვევს ამ სისტემის ყველა სხვა ერთეულის გარკვეულ ცვლილებას.

ნიშანთა ყველაზე სრულყოფილ და გავრცელებულ სისტემას წარმოადგენს ენა. ენა არის ყველა სხვა სისტემის ინტერპრეტატორი.

სემიოტიკა ნიშნებს იკვლევს ფორმის, შინაარსისა და გამოყენების მიხედვით. შესაბამისად, სემიოტიკაში გამოყოფენ სამ მიმართულებას:

1. სინტაქტიკა – რომელიც სწავლობს ნიშნების ფორმალურ სტრუქტურას შინაარსისაგან დამოუკიდებლად
2. სემანტიკა – რომელიც შეისწავლის ნიშნებს შინაარსის მიხედვით:
 - საზრისს, რომელსაც ისინი (ეს ნიშნები) გამოსახავენ
 - ობიექტებს, რომელთაც ისინი (ნიშნები) აღნიშნავენ
3. პრაგმატიკა – რომელიც სწავლობს ნიშნების პრაქტიკულ გამოყენებას, ე.ი. იმას, თუ ვინ, როგორ და რა მიზნით მოიხმარს მათ.

ტერმინი - **ვიზუალური ენა**, გულისხმობს ისეთ ენას, რომელიც სისტემატურად იყენებს ვიზუალურ მნიშვნელობებს სხვადასხვა კონცეფციების გადმოსაცემად. ცხადია, ვიზუალური ენა, ისე როგორც ნებისმიერი სხვა ენა, ხასიათდება საკუთარი ლექსიკონით, სინტაქსით, სემანტიკით და პრაგმატიკით.

ვიზუალური ენის უმარტივესი მაგალითია საგზაო ნიშნები. ასეთი მარტივი ვიზუალური ენების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მათი ლექსიკონი ძირითადად აგებულია პიქტოგრაფიების ერთობლიობაზე. ამასთანავე ლექსიკონის ელემენტებად შეიძლება განიხილებოდეს გრაფიკული ელემენტების მახასიათებლები, როგორიცაა კონტურის ფორმა ან ფონის ფერი. ენის სინტაქსი განისაზღვრება ენის ელემენტთა კომბინირება – შეთანხმების მეთოდებით. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ "ვიზუალური ტექსტების" მნიშვნელობათა აღწერა და ის, თუ როგორია მომხმარებლის მიერ მათი ინტერპრეტაცია, მკაცრად არის განსაზღვრული სისტემის დანიშნულებით. უფრო რთულ შემთხვევებში, როდესაც საქმე ეხება რეკლამას, კომიქსებს, კინემატოგრაფიას ან მულტფილმებს, მათი ვიზუალიზაციის ენის ელემენტების გამოყოფა გაცილებით რთულია. ასეთ შემთხვევებში საქმე გვაქვს შეუზღუდავ და არადანაწევრებად ლექსიკონთან დაუზუსტებელი სინტაქსით. ამის გამო, შეუძლებელია ასეთი "ტექსტების" ცალსახად ინტერპრეტაცია და მითუმეტეს მათი აგების ფორმალური მეთოდების დადგენა და ანალიზი.

ვიზუალური ენების შექმნისას უნდა არსებობდეს რაღაც ძირითადი იდეა, რის მიხედვითაც მოხდება მოდელირების სისტემის არსის და ვიზუალიზაციის ობიექტის ასიმილაცია (მიმსგავსება, შერწყმა, შეთვისება) და კონვერგენცია (სხვადასხვა ბუნების მქონე სახეობების ნიშანთვისებათა მსგავსება), რაც აღიქმება როგორც ვიზუალიზაციის მეტაფორა.

მეტაფორა (ბერძნ.: *metaphora* – გადატანა) კლასიკური განმარტებით მიმსგავსებას, ანალოგიებით წარმოდგენას ან გადატანით მნიშვნელობას აღნიშნავს, რასაც სხვადასხვა დარგში სხვადასხვა გზებით აღწევენ. მეტაფორა, და კერძოდ ვიზუალური მეტაფორა, ბევრი სამეცნიერო დარგის შესწავლის საგანია. არსებობს სხვადასხვა მიდგომა როგორც მისი შესწავლის, ისე განმარტების მიმართ. თანამედროვე მიდგომა მეტაფორას განიხილავს, როგორც ძირითად მენტალურ ოპერაციას, როგორც შემეცნების ხერხს. ითვლება, რომ ადამიანი არა მარტო აზრს გამოხატავს მეტაფორის საშუალებით, არამედ აზროვნებს კიდევ მეტაფორით და მეტაფორით ქმნის იმ სამყაროს რომელშიც ცხოვრობს. მეტაფორა უნივერსალური მოვლენაა. ის ენის თვითგანვითარების ამოუწურავი წყაროა.

5.3. დაბოლოს . . .

კომპიუტერული ვიზუალიზაცია, როგორც თეორია, შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ძირითადი დებულებების სახით:

- კომპიუტერული ვიზუალიზაციის "სიმბოლური" (ნიშნებზე დამოკიდებული) ბუნება ესმით როგორც კომპიუტერული მოდელირების ობიექტის აბსტრაქტული წარმოდგენების გეომეტრიულ გამოსახულებაში გარდაქმნის მეთოდია.
- ვიზუალიზაციის "სიმბოლური" ბუნება სემიოტიკური ანალიზის საშუალებას იძლევა, რაც ვიზუალური ენის შექმნის საფუძველია.
- ვიზუალური ენის შექმნა გულისხმობს მისი კომპონენტების დადგენას და სრული ლექსიკონი აღიწერას – სივრცითი სინტაქსით და სემანტიკით და რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია ენის პრაგმატიკით, სადაც გათვალისწინებული უნდა იყოს პოტენციალური მომხმარებელი.
- გრაფიკული ვიზუალიზაცია არის აბსტრაქტული ასახვის ხორცშესხმა (განსახიერება).
- ვიზუალიზაციის მრავალფეროვნება აღიქმება, როგორც ვიზუალიზაციის ერთგვარი პროცედურები, რომლიც შეესაბამება კონკრეტულ ვიზუალურ გარემოში რეალური მონაცემების რეალიზებას, სხვადასხვა გრაფიკულ მოწყობილობებზე. ვიზუალიზაციის ეს მრავალფეროვნება ითვალისწინებს ვიზუალის შესაძლო ცვლილებებსაც.
- ვიზუალიზაციის ეს განზოგადებული სახესხვაობები ვიზუალური ენის ლექსიკონს წარმოადგენს. კონკრეტული ინფორმაციის გამოტანის წესი კი განიხილება როგორც გრამატიკა. ეს წესი განსაზღვრავს ამ გამოსახულებათა მიმდევრობის ცვლილებას.
- ვიზუალური ენების პროექტირებისას აუცილებლობას წარმოადგენს "ძირითადი იდეა", რისი მიხედვითაც ხდება მოდელირების სისტემისა და

ვიზუალიზაციის არსის მიმსგავსება და მსგავსება. "ძირითადი იდეა" კი აღიქმება როგორც ვიზუალიზაციის მეტაფორა.

- ვიზუალიზაციის მეტაფორა ასახვის ხერხია, რომელსაც შესაბამისობაში მოჰყავს მოდელირებადი სისტემის მიმსგავსებები და ანალოგიები კონკრეტულ ცნებებთან და ობიექტებთან. ეს კი წარმოქმნის ასახვის ზოგად სახეობათა ნაკრებს.
- როდესაც საუბარია კომპიუტერული მოდელების იერარქიაზე, იგულისხმება იერარქია ფიზიკურ, მათემატიკურ, ალგორითმულ და პროგრამულ დონეზე. ამავედროულად აღნიშნავენ, რომ იერარქიის ყოველ დონეზე ბუნებრივად იზრდება მოდელირების აბსტრაქციის დონე.
- სწორად არჩეული მეტაფორა, რომელიც გულისხმობს კომპიუტერული მოდელირებისა და მისი ობიექტების ვიზუალიზაციის მეთოდების არჩევას და მათ რეალიზებას, ამცირებს აბსტრაქციის დონეს და ამით ხელს უწყობს მოდელირების შედეგების საუკეთესო ინტერპრეტაციას.

როგორც არაერთხელ აღვნიშნეთ, კომპიუტერული გრაფიკა ბევრ სხვადასხვა დისციპლინასთან იკვეთება. ამიტომ საჭირო ხდება კომპიუტერულ გრაფიკასთან სისტემურად დაკავშირებული ძირითადი თემების შესწავლა. ამ ძირითადი თემების ქვეშ იგულისხმება მათემატიკური, ალგორითმული, აპარატული და მეთოდური უზრუნველყოფა.

ერთ-ერთ მნიშვნელოვან თემას კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი წარმოადგენს, რომელიც უზრუნველყოფს გეომეტრიული ობიექტების ასახვას და მათ მანიპულირებას ეკრანზე. ადვილი მისახვედრია, რომ საუბარია ორ- და სამგანზომილებიან ვექტორულ და ფრაქტალურ გრაფიკაზე, რომელთა მუშაობაც მათემატიკურ აპარატს ემყარება.

კომპიუტერული გრაფიკის ზემოთ მოყვანილი განმარტებებიდან გამომდინარე, ის მრავალ დისციპლინასთან იკვეთება. ამიტომ, კომპიუტერული გრაფიკის სრულფასოვანი შესწავლა, მასთან სისტემურად დაკავშირებული ძირითადი საკითხების ცოდნას საჭიროებს. ამ საკითხებს მიეკუთვნება კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური, ალგორითმული, აპარატული და მეთოდური უზრუნველყოფა. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ეს თემები განიხილება, როგორც კომპიუტერული გრაფიკის შემადგენელი ელემენტები და ყოველი მათგანი სერიოზულ ყურადღებას მოითხოვს.

6. კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური საფუძვლები

6.1. კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი

კომპიუტერული გრაფიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან თემას კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი წარმოადგენს, რომელიც უზრუნველყოფს გეომეტრიული ობიექტების ასახვას და მათ მანიპულირებას ეკრანზე. ადვილი მისახვედრია, რომ საუბარია ორ- და სამგანზომილებიან ვექტორულ და ფრაქტალურ გრაფიკაზე, რადგან გამოსახულების აღწერას და მათ გარდაქმნებს გრაფიკის ამ სახეობებში საფუძვლად უდევს ამ პროცესების მათემატიკური წარმოდგენა.

კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანების გადაჭრისას იყენებენ სხვადასხვა მათემატიკურ მეთოდებს და ფიზიკურ კანონებს, აღწერილს მათემატიკური გამოსახულებებით, რაც ცხადია მნიშვნელოვან გამოთვლით რესურსებს და მძლავრ კომპიუტერებს საჭიროებს. კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავერკვეთ, რა ხდება გრაფიკულ სისტემებში და როგორ შეიძლება ამ სისტემის თვისებებზე ზემოქმედება მათი პროექტირების პროცესში.

კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანათა მრავალფეროვნების მიუხედავად, ყველა მისი ამოცანა ობიექტების ანალიზურ აღწერას და მათ გრაფიკულ წარმოდგენას უკავშირდება, რაც ანალიზური გეომეტრიის, ვექტორული ალგებრის და მხაზველობითი გეომეტრიის ელემენტების თეორიულ ცოდნას მოითხოვს.

კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი უზრუნველყოფს 2D და 3D ობიექტების გეომეტრიული მოდელის შექმნას, მათ გარდაქმნებს (მობრუნება, გადაადგილება, არეკვლა, მასშტაბირება და სხვ.), გამოსახულებათა თვალსაჩინო წარმოდგენას (აქსონომეტრიაში და პერსპექტივაში) მონიტორზე, გეომეტრიული პრიმიტივებით შედგენილი ობიექტების აღწერას, მრუდებისა და ზედაპირების კონსტრუირებას.

კომპიუტერული გეომეტრიისა და გრაფიკის შესწავლის საგანია ასევე 3D ობიექტების რეალისტური გამოსახულებების ვიზუალიზაცია და ანიმაცია, რაც გულისხმობს სამგანზომილებიანი სცენების შექმნას, მათ განათებას, კამერების დაყენებას და ასევე ობიექტების სხვადასხვა ფერით თუ ტექსტურით შეფერადება/შევისებას.

ამგვარად, შეიძლება ითქვას რომ კომპიუტერული გრაფიკის მათემატიკური აპარატი საკმაოდ სპეციფიკურია, რადგან ის ორიენტირებულია მხოლოდ პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნაზე, რაც ძირითადად ანალიზურ გეომეტრიას და გეომეტრიულ მოდელირებას უკავშირდება. ასეთი, ერთი მხრივ, არაფორმალური მიდგომა საშუალებას გვაძლევს ანალიზური გეომეტრია განვიხილოთ არა როგორც წრფივი ალგებრის ნაწილი, არამედ როგორც იმ პრაქტიკულ გეომეტრიულ ამოცანათა

ამოხსნის მძლავრი მეთოდოლოგია და ინსტრუმენტი, რომელიც ორ- და სამგანზომილებიან გრაფიკაში გვხვდება. ეს პროცესი შეიძლება ორ ძირითად ნაწილად დავყოთ: გეომეტრიული გარდაქმნები და გეომეტრიული მონაცემების დამუშავება.

6.2. ანალიზური გეომეტრიის ელემენტები

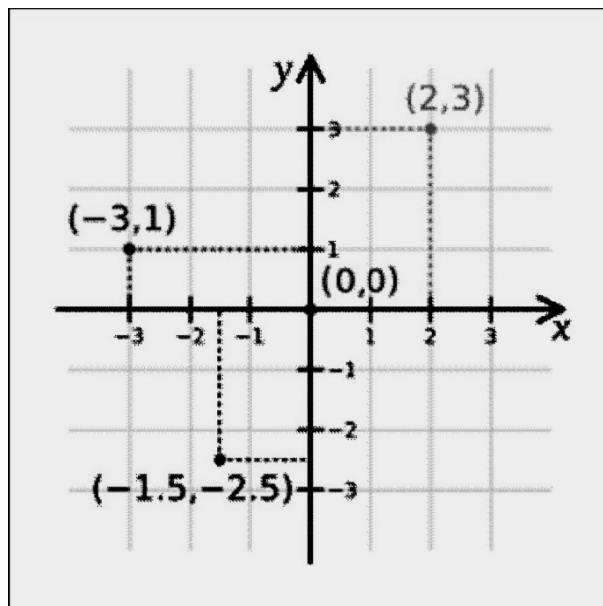
კოორდინატა სისტემები

იმისათვის, რომ შევძლოთ გამოსახულებათა სინთეზი და რედაქტირება კომპიუტერის ეკრანზე, აუცილებელია განვიხილოთ ამ ობიექტების მათემატიკური აღწერის ხერხები როგორც სამგანზომილებიან სივრცეში, ისე სიბრტყეზე.

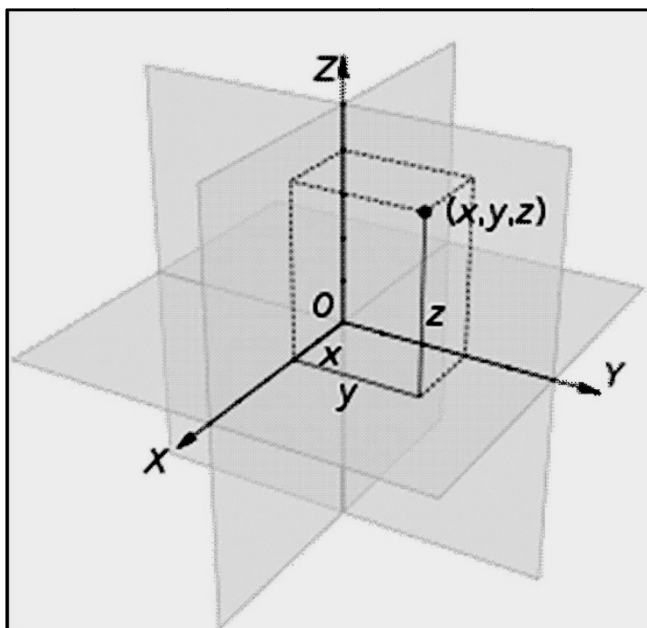
სივრცე, რომელშიც ჩვენ ვცხოვრობთ, განისაზღვრება სამგანზომილებიანი ევკლიდეს სივრცით. სამგანზომილებიანი ობიექტის აღწერა კი გულისხმობს დროის ნებისმიერ მომენტში მისი ყოველი წერტილის ადგილმდებარეობის დაფიქსირებას ამ სივრცეში. წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრა სიბრტყეზე ან სივრცეში ძალიან მოსახერხებელია დეკარტეს კოორდინატა სისტემაში.

ნებისმიერი წერტილის მდებარეობა დეკარტეს კოორდინატა სისტემაში (სურ. 40.), განისაზღვრება ორი რიცხვის x, y კოორდინატების მეშვეობით. ეს რიცხვები განსაზღვრავენ მანძილს ამ წერტილიდან ორ ფიქსირებულ ურთიერთმართობულ (ორთოგონალურ) წრფემდე – (X, Y) კოორდინატა დერძებამდე, რომელთა გადაკვეთის წერტილს კოორდინატა სათავე $O(0,0)$ წარმოადგენს.

ეს პრინციპი მარტივად შეიძლება განზოგადდეს სამგანზომილებიან სივრცეზეც (სურ. 41.), სადაც სამი X, Y, Z



სურ.40. დეკარტეს კოორდინატა სისტემა

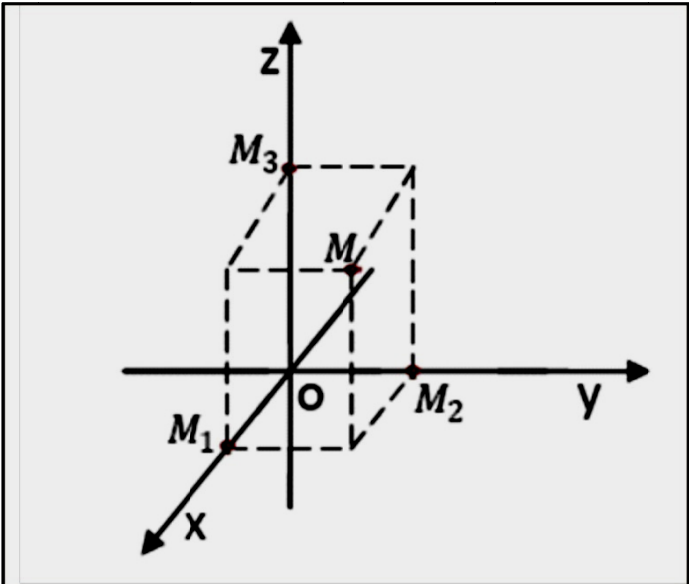


სურ.41. სამგანზომილებიანი სივრცე

ორთოგონალურ კოორდინატა დერძი გვაქვს. წერტილის მდებარეობა ამ სისტემაში განისაზღვრება, როგორც მანძილი ამ წერტილიდან კოორდინატა დერძების წყვილებზე გავლებულ სიბრტყეებამდე

დეკარტეს კოორდინატები წარმოადგენენ ანალიზური გეომეტრიის საფუძველს და მას ინტენსიურად იყენებენ როგორც მათემატიკის სხვადასხვა დარგში, ისე სხვა მეცნიერებებში.

სურ. 42 -ზე მოცემულია დეკარტეს ორთოგონალური სისტემა, სადაც M წერტილზე გავლებულია (Z, X) , (Z, Y) და (Y, X) , დერძებით შექმნილი სიბრტყეების პარალელური სიბრტყეები და დაფიქსირებულია მათი OX , OY და OZ დერძებთან გადაკვეთის წერტილები M_1, M_2 და M_3 .

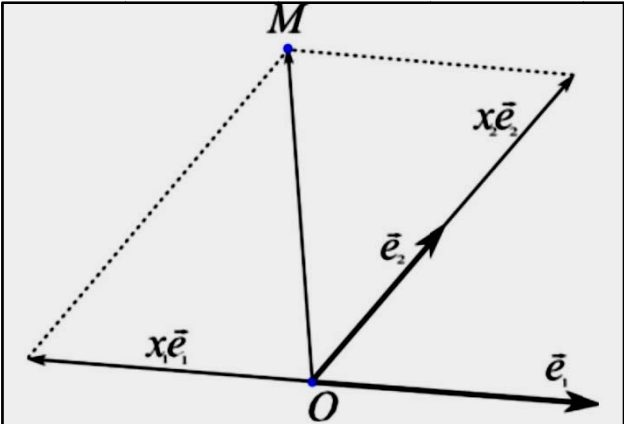


სურ.42. დეკარტეს ორთოგონალური სისტემა

სივრცის ყოველი M წერტილისთვის მოიძებნება ისეთი სამი x, y და z , რომლებიც ამ წერტილის კოორდინატებს წარმოადგენენ. ამგვარად, M წერტილის მდებარეობა სივრცეში აღიწერება მისი კოორდინატებით, რაც ასე ჩაიწერება: $M = (M_x, M_y, M_z)$.

თუმცა, ამგვარი მეთოდით აღწერილ ობიექტებზე რაიმე გარდაქმნების ჩატარება გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული და საჭიროებს კიდევ დამატებითი მათემატიკური აპარატის შემოტანას, რაც აფინურ (*affinity* - ბერძნული სიტყვაა და ნათესაობას ნიშნავს) და ვექტორულ სივრცეს უკავშირდება.

n -განზომილებიან აფინურ სივრცეში კოორდინატა სისტემა მოცემულია O კოორდინატა სათავიდან გამოსული წრფივად დამოუკიდებელი $\vec{e}_1, \dots, \vec{e}_n$ ვექტორების მოწესრიგებული სისტემის სახით. აფინურ სივრცეში M წერტილის აფინური კოორდინატები ისეთი x_i რიცხვებია, რომ



სურ.43. აფინური კოორდინატა სისტემა

$$\vec{OM} = x_1\vec{e}_1 + \dots + x_n\vec{e}_n.$$

ორგანზომილებიანი სიბრტყის შემთხვევაში აფინურ კოორდინატთა სისტემა მოცემული იქნება ვექტორთა წყვილით e_1 , და e_2 (აფინური ბაზისი) და კოორდინატთა O სათავით.

სურ. 43 -ზე მოცემულია $n=2$ აფინურ კოორდინატთა სისტემაში M წერტილის აღწერა აფინური კოორდინატებით.

წრფეებს, რომლებიც გადის O წერტილზე, ბაზის ვექტორების პარალელურად, კოორდინატთა ღერძებს უწოდებენ. e_1 , და e_2 ვექტორები დადებით მიმმართველებს წარმოადგენენ. e_1 , ვექტორის პარალელურ ღერძს აბცისა ეწოდება ხოლო e_2 – ის ორდინატა. M წერტილის აფინური კოორდინატებია (x,y) რიცხვები, რომლებიც OM ვექტორის ბაზისურ ვექტორებად განშლის კოეფიციენტებს წარმოადგენენ:

$$\overline{OM} = xe_1 + ye_2.$$

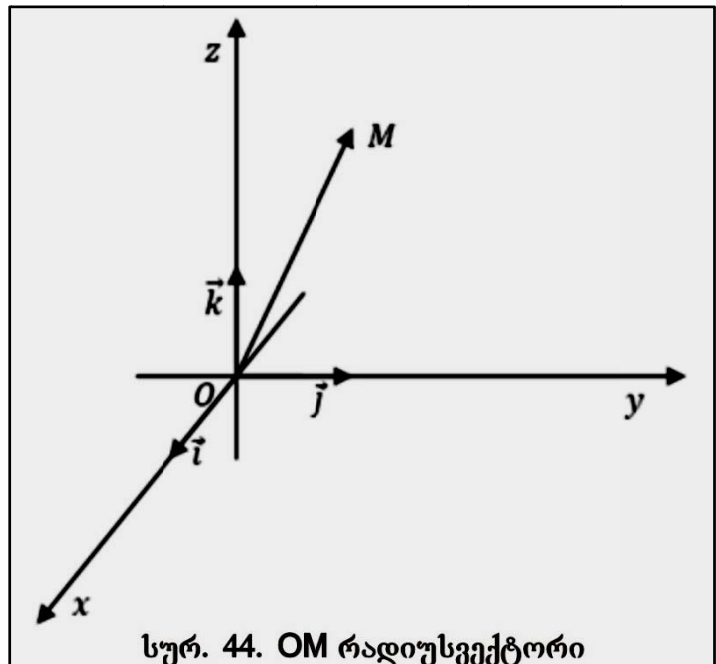
სამგანზომილებიან სივრცეში, აფინურ კოორდინატთა სისტემა მოცემულია e_1, e_2 და e_3 ბაზისური ვექტორით და კოორდინატთა O სათავით. კოორდინატთა ღერძები და წერტილის კოორდინატები კი სიბრტყის ანალოგიურად განისაზღვრება.

დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში ნებისმიერი M წერტილი შეიძლება წარმოდგენილი იქნას აგრეთვე როგორც ვექტორი, რომლის ერთი ბოლო მდებარეობს კოორდინატთა სათავეში, მეორე ბოლო – განსახილველ წერტილში და მიმართულია სათავიდან წერტილისკენ. ასეთ ვექტორს რადიუსვექტორს უწოდებენ.

რადიუსვექტორები ვექტორთა ყველა თვისებით ხასიათდებიან და დამატებით

ზემოთ აღნიშნული თავისებურება გააჩნიათ: რადიუსვექტორის სათავე ყოველთვის კოორდინატთა სისტემის სათავეში მდებარეობს, ხოლო რადიუსვექტორის ბოლო კი სივრცის რაიმე წერტილს შეესაბამება. ეს თვისება საშუალებას იძლევა სივრცის ნებისმიერ წერტილს ცალსახად შევუსაბამოთ მისი შესაბამისი რადიუსვექტორი.

ვთქვათ, სივრცეში მოცემულია $Oxyz$ კოორდინატთა სისტემა, სადაც i, j და k ერთეულოვანი ბაზისური ვექტორებია და Ox, Oy, Oz , ღერძების მიმართულებებს განსაზღვრავენ.



სურ. 44. OM რადიუსვექტორი

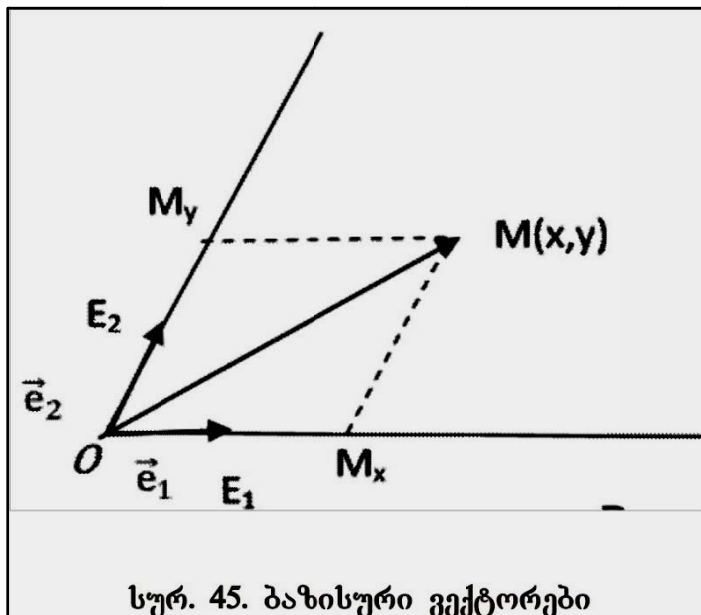
როგორც სურ. 44-ზე ჩანს, ეს ვექტორები კოორდინატა სათავეშია მოდებული. OM ვექტორი $M(M_x, M_y, M_z)$ წერტილის რადიუსვექტორია და ასე აღიწერება: $OM = M_x i + M_y j + M_z k$.

(M_x, M_y, M_z) სამეულს კი OM ვექტორის კოორდინატები ეწოდება: $OM(x,y,z)$.

აქედან გამომდინარე, ნებისმიერი M წერტილი, როგორც სიბრტყეზე ისე სივრცეში, განისაზღვრება თავისი OM რადიუს ვექტორით და ამავდროულად შეიძლება დაიშალოს და თანაც ერთადერთი გზით, ბაზისურ e_i ვექტორებად. სურ. 45-ზე გამოსახულია სიბრტყის შემთხვევა:

$$\overline{OM} = x\vec{e}_1 + y\vec{e}_2.$$

რიცხვები x, y წარმოადგენენ როგორც M წერტილის, ისე OM რადიუსვექტორის აფინურ კოორდინატებს.



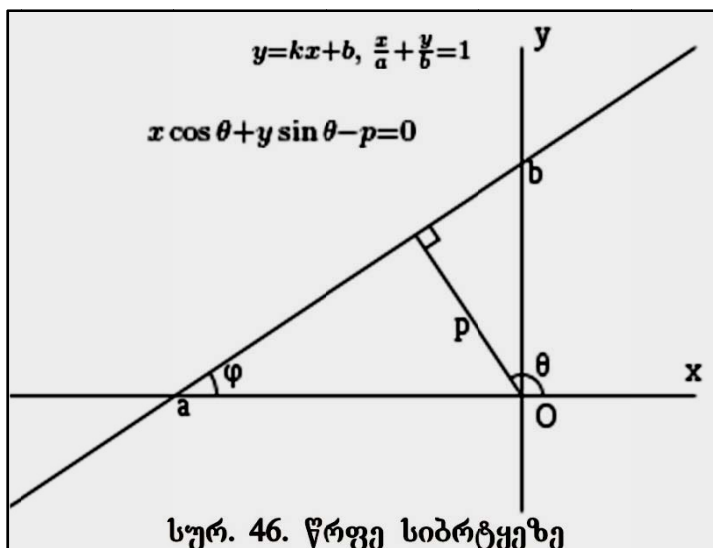
ამგვარად, როგორც ვხედავთ, განხილულ კოორდინატა სისტემებს ბევრი საერთო აქვთ და, შესაბამისად, ადვილად შეიძლება წერტილის კოორდინატებიდან რადიუსვექტორებზე გადასვლა და, პირიქით, რასაც კომპიუტერულ გრაფიკაში კონკრეტული პრაქტიკული გამოყენება აქვს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ვექტორული გრაფიკის უმარტივესი ობიექტებია წერტილი და წრფე.

წრფე სიბრტყეზე ორი პარამეტრით განისაზღვრება, ხოლო წრფის გრაფიკული წარმოდგენა აღიწერება განტოლებით

$$y = kx + b.$$

თუ ცნობილია k და b პარამეტრები, მოცემულ კოორდინატა სისტემაში ყოველთვის შეიძლება დავხაზოთ უსასრულო წრფე სურ. 46-ზე



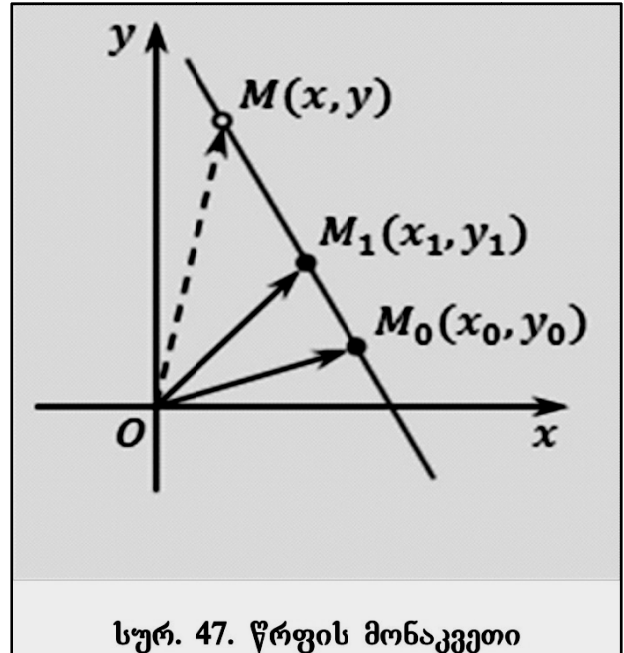
წრფის მონაკვეთის განსაზღვრისთვის უნდა ვიცოდეთ მონაკვეთის დასაწყისი $M_0(x_0, y_0)$ და დასასრული $M_1(x_1, y_1)$, რომელიც ოთხი პარამეტრით აღიწერება: კოორდინატებით (x_0, y_0) და (x_1, y_1) (სურ. 47.) ორ წერტილზე ($M_0 M_1$) გამავალი წრფის განტოლებას ავინურს უწოდებენ და მას ასეთი სახე აქვს:

$$\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0}$$

ამჯერათაც, თუ წერტილის კოორდინატებიდან რადიუსვექტორებზე გადავალთ, ამ განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

$$\vec{M_0M_1} = (x_1 - x_0)\vec{i} + (y_1 - y_0)\vec{j}$$

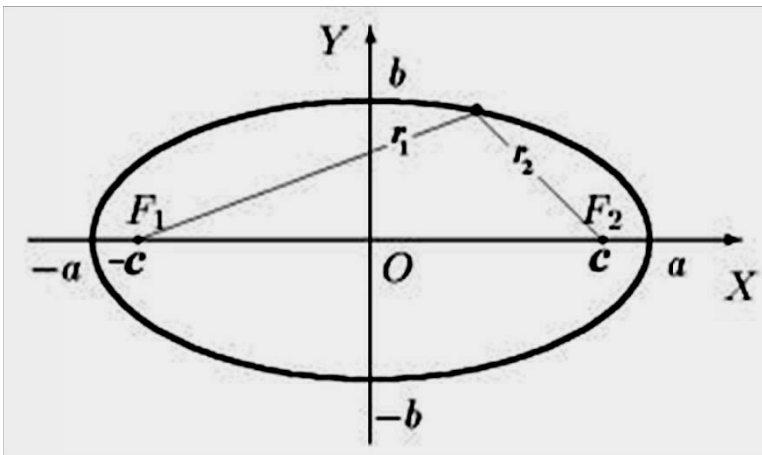
$$\vec{r} = a\vec{i} + b\vec{j} \quad a = x_1 - x_0, \quad b = y_1 - y_0$$



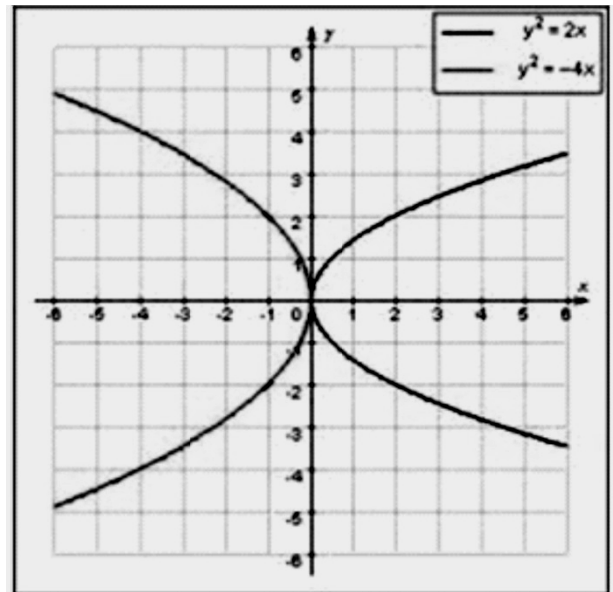
სურ. 47. წრფის მონაკვეთი

მეორე რიგის მრუდებს მიეკუთვნება პარაბოლა, ჰიპერბოლა, ელიფსი, წრესაზი და სხვა წირები, მათი აღწერა ხდება განტოლებით, რომელიც მეორე რიგზე უფრო მაღალ ხარისხს არ შეიცავს. მეორე რიგის მრუდებს არა აქვთ გადაღუნვის წერტილი და აღიწერებიან მეორე ხარისხის განტოლებით:

$$x^2 + a_1xy + a_2y^2 + a_3x + a_4y + a_5 = 0$$



სურ. 48. მეორე რიგის მრუდი - ელიფსი



სურ. 49. მეორე რიგის მრუდი - პარაბოლა

სადაც a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – მოცემული ნამდვილი რიცხვებია.

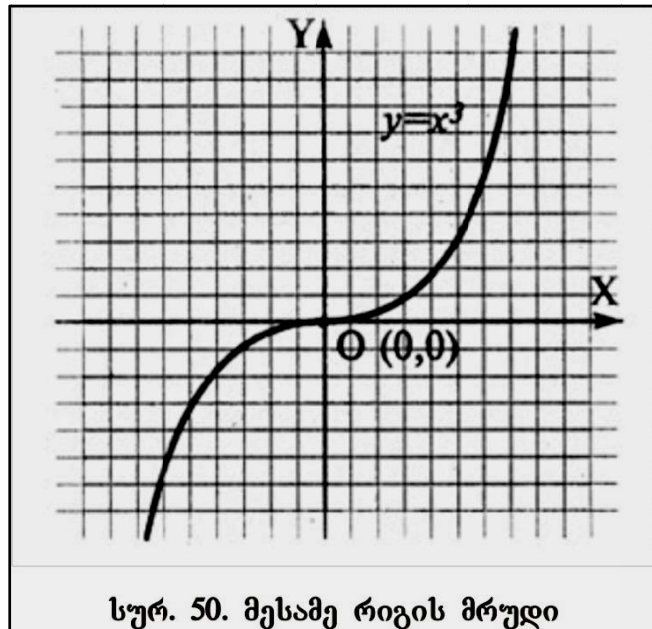
მაგალითად, წრე – მეორე რიგის მრუდების კერძო შემთხვევაა. სურ. 48-ზე და სურ. 49-ზე გამოსახულია ასეთი მრუდების ორი მაგალითი, რომელიც მეორე ხარისხის ზოგადი განტოლების ორ მნიშვნელოვან შემთხვევას შეესაბამება: ელიფსი და პარაბოლა. მათ განტოლებებს ასეთი სახე აქვთ:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a, b > 0) \qquad y^2 = 2px \quad (p > 0)$$

როგორც მეორე რიგის მრუდების ზოგადი განტოლებიდან ჩანს, ხუთი პარამეტრი საკმარისია უსასრულო მრუდის აღწერისთვის. რაც შეეხება მეორე რიგის მრუდის მონაკვეთის აღწერას, ის ორი პარამეტრით მეტს საჭიროებს.

მესამე რიგის მრუდები შედარებით უფრო რთული მრუდებია მეორე რიგის მრუდებისგან განსხვავებით, მათ შეიძლება ჰქონდეთ გადაღუნვის წერტილი.

მაგალითად სურ. 50-ზე გამოსახულ $y = x^3$ ფუნქციის გრაფიკს გადაღუნვის წერტილი კოორდინატთა სათავეში აქვს. მესამე რიგის მრუდები კარგად მიესადაგება იმ საზებს, რომელთაც ჩვენ ბუნებაში ვხვდებით, მაგალითად ადამიანის სხეულის მოხაზულობა, ამიტომ ვექტორული გრაფიკის ძირითადი ობიექტები სწორედ ასეთ წირებს წარმოადგენს. მეორე რიგის ყველა მრუდი მესამე რიგის მრუდის კერძო შემთხვევაა.



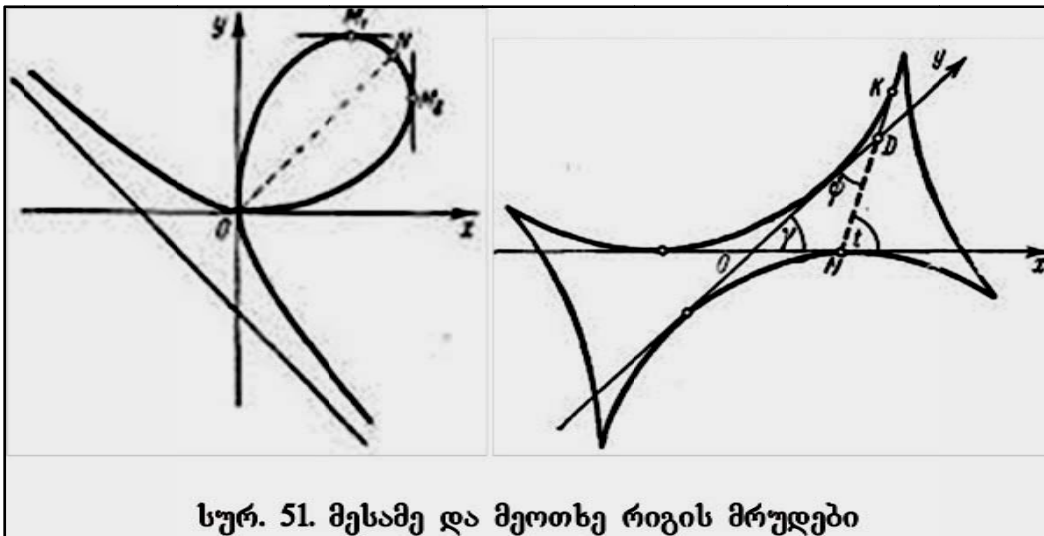
სურ. 50. მესამე რიგის მრუდი

მესამე რიგის მრუდის ზოგადი განტოლება ასე ჩაიწერება:

$$x^3 + a_1y^3 + a_2x^2y + a_3xy^2 + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy + a_7x + a_8y + a_9 = 0$$

როგორც ჩანს, მესამე რიგის მრუდის ჩაწერისათვის საკმარისია ცხრა პარამეტრი, ხოლო მრუდის მონაკვეთის აღწერისთვის კი ორი პარამეტრით მეტი.

სურ. 51-ზე გამოსახულია მესამე და მეოთხე რიგის მრუდების მაგალითები.



სურ. 51. მესამე და მეოთხე რიგის მრუდები

6.3. ბრტყელი მრუდების წარმოდგენა

ზემოთ განხილული სიბრტყეზე მდებარე მრუდები ბრტყელი მრუდებია. მრუდების წარმოდგენის უამრავი ხერხი და მეთოდი არსებობს. ერთ შემთხვევაში მრუდს განსაზღვრავენ, როგორც წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს, ხოლო მეორე შემთხვევაში – როგორც წერტილის მოძრაობით შექმნილ გარკვეულ ტრაექტორიას. მრუდის მიღება შეიძლება ასევე უკვე ცნობილი მრუდის გეომეტრიული გარდაქმნების შედეგად ან მრუდი შეიძლება თავიდანვე იყოს მოცემული ანალიზური ფორმით.

წარმოვიდგინოთ მრუდი, როგორც წერტილთა ერთობლიობა. თუ ეს წერტილები ერთმანეთთან ახლოს არის განლაგებული, მაშინ მათი მონაკვეთებით შეერთება, მრუდის გამოსახულებას მოგვცემს. თუმცა ამგვარი წარმოდგენა ხშირად უხარისხოა, განსაკუთრებით როდესაც სიმრუდის რადიუსი ძალიან მცირეა. ამგვარი წარმოდგენის გაუმჯობესება ამ უბნებზე წერტილთა სიმჭიდროვის გაზრდით შეიძლება და საკმაოდ კარგადაც, მაგრამ მიუხედავად ამისა უპირატესობა მაინც მრუდის ანალიზურ წარმოდგენას ენიჭება, რადგან ამ დროს სიზუსტე მაღალია, ჩანაწერი კი კომპაქტური და შუალედური წერტილების გამოთვლაც უფრო მარტივია. მრუდის ანალიზური წარმოდგენა საშუალებას იძლევა ასევე განვსაზღვროთ მრუდის დახრა და რადიუსი. წერტილოვანი წარმოდგენისას კი ამისთვის საჭიროა რიცხვითი ლიფერენცირება, რაც საკმაოდ



სურ. 52. წრეხაზის წერტილოვან და ანალიზური წარმოდგენა

არაზუსტი პროცედურაა. ამის ნათელსაყოფად მოვიყვანოთ შედარებითი მაგალითი. სურ. 52-ზე გამოსახულია წრეხაზის წერტილოვანი და ანალიზური წარმოდგენა. პირველ შემთხვევაში წრეხაზი აგებულია ერთმანეთის გვერდზე განლაგებული 32 წერტილის შეერთებით, რასაც ცხადია მეხსიერების დიდი მოცულობა სჭირდება. მეორე შემთხვევაში კი ვიმახსოვრებთ მხოლოდ წრეხაზის ცენტრის კოორდინატებს და რადიუსს. გარდა ამისა, წრეხაზის ანალიზური წარმოდგენისას ნებისმიერი წერტილის მდებარეობა ზუსტად განისაზღვრება, ხოლო წერტილოვანის დროს კი საჭიროა ინტერპოლაცია. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ანალიზურად წარმოდგენილი წრეხაზი ადვილად გამოისახება ნახაზზე და მოხერხებულია მაშინაც, როცა საჭიროა ხდება მოცემული კრიტერიუმით ამ მრუდის ფორმის ხშირი ცვლილება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ბრტყელი მრუდების ანალიზური წარმოდგენისთვის სხვადასხვა მეთოდს იყენებენ. ზოგჯერ საჭიროა ისეთი მრუდის ანალიზური წარმოდგენა, რომელიც თავდაპირველად წერტილებით იყო მოცემული. მათემატიკური თვალსაზრისით ეს ინტერპოლაციის პრობლემაა. იმისათვის, რომ მრუდი გავატაროთ ყველა მოცემულ წერტილზე, უბან-უბან პოლინომურ აპროქსიმაციის მეთოდს იყენებენ. ამისათვის საჭიროა რაიმე ხარისხის პოლინომის კოეფიციენტების განსაზღვრა. მრუდის სახე შუალედურ წერტილებში პოლინომის ხარისხსა და საზღვრის პირობებზეა დამოკიდებული. თუ წერტილები მოცემულია, როგორც მიახლოებითი მნიშვნელობები, მაგალითად ექსპერიმენტული გაზომვის ან დაკვირვების შედეგი, მაშინ საჭიროა ისეთი მრუდი, რომელიც ამ გაზომვებს სწორად ასახავს და მიმართავს. ზოგადად, მრუდმა შეიძლება არც ერთ მოცემულ წერტილზე არ გაიაროს. მაგალითად, თუ გამოვიყენებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდს, მაშინ $y = f(x)$

მრუდი, y ღერძზე საწყის მონაცემებსა და მიღებულ მრუდს შორის გადახრათა კვადრატების ჯამის მინიმიზაციას მოახდენს.

$y = f(x)$ ფუნქციის არჩევა კი შესასწავლი პროცესის ხასიათიდან გამომდინარეობს.

უმცირეს კვადრატთა მეთოდში იყენებენ პოლინომებს, ხარისხობრივ და ექსპონენციალურ ფუნქციებს:

$$y = ax^b, y = ae^{bx}, y = c_1 + c_2x + c_3x^2 + \dots + c_{n+1}x^n$$

სადაც a, b და c_i - კონსტანტებია.

ამ უცნობი კონსტანტების განსაზღვრა, მრუდის არჩევისგან დამოუკიდებლად, წრფივ აღგებრულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნას ითხოვს.

ბრტყელი მრუდების წარმოდგენა კიდევ რამდენიმე ცნების განმარტებას ითხოვს, როგორიცაა *პარამეტრული და არაპარამეტრული მრუდები*.

მათემატიკური მრუდი შეიძლება წარმოვიდგინოთ პარამეტრული ან არაპარამეტრული ფორმით. არაპარამეტრული მრუდი შეიძლება მოცემული იყოს

ცხადი ან არაცხადი ფუნქციის სახით. ბრტყელი მრუდის ცხადი არაპარამეტრული სახეა:

$$y = f(x)$$

ამის მაგალითია წრფის განტოლება $y = mx + b$, სადაც x -ის ერთ მნიშვნელობას შეესაბამება y -ის მხოლოდ ერთი მნიშვნელობა. ჩაკეტილი ან მრავალსახა მრუდების, მაგალითად წრეხაზის, ცხადი სახით წარმოდგენა არ შეიძლება. არაცხადი წარმოდგენა კი ასეთია

$$f(x,y) = 0.$$

რაც ამ შეზღუდვის გვერდის ავლის საშუალებას იძლევა.

მრუდის *პარამეტრული წარმოდგენისას* მისი ყოველი წერტილის კოორდინატი, ერთი პარამეტრის ფუნქციაა. პარამეტრის მნიშვნელობა კი მოცემულია მრუდის წერტილთა კოორდინატული ვექტორით.

t პარამეტრის მქონე ორგანზომილებიანი მრუდისათვის წერტილის კოორდინატები ასე გამოისახება:

$$x = x(t)$$

$$y = y(t)$$

ხოლო, მრუდის რაიმე წერტილის ვექტორული წარმოდგენა კი ასეთი იქნება:

$$P(t) = [x(t) \ y(t)].$$

6.4. ბეზიეს მრუდი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მესამე რიგის მრუდები საკმაოდ რთული მრუდებია, ამიტომ მათი შექმნა ანუ აგება, შესაბამისი განტოლების მოცემული კოეფიციენტების მიხედვით, საკმაოდ შრომატევადი და უინტერესოა. ამ დამღლევი პროცედურის გასამარტივებლად ვექტორულ გრაფიკაში წარმატებით იყენებენ მესამე რიგის მრუდების განსაკუთრებულ სახეს, რომელსაც *ბეზიეს მრუდები* ეწოდება. ბეზიეს მრუდის მონაკვეთები მესამე რიგის მრუდის მონაკვეთების კერძო შემთხვევაა.

ბეზიეს მრუდები ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს წარმოადგენს ავტომატიზებული სისტემების პროექტირებასა და კომპიუტერული გრაფიკის პროგრამებში.

ბეზიეს მრუდები (Bezier curves) – პარამეტრული მრუდებია და მოცემულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$\mathbf{B}(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{P}_i \mathbf{b}_{i,n}(t), \quad 0 \leq t \leq 1$$

სადაც \mathbf{P}_i საყრდენი წვეროების ვექტორთა კომპონენტების ფუნქციაა, ხოლო $\mathbf{b}_{i,n}(t)$ კი ბეზიეს მრუდის ბაზისური ფუნქციები, რომელსაც ასევე ბერნშტეინის პოლინომებსაც უწოდებენ.

$$\mathbf{b}_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad \text{სადაც} \quad \binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad - \text{ n-დან } i \text{-ის მიხედვით კომბინაციათა რიცხვია, სადაც } n \text{ - პოლინომის ხარისხია, ხოლო } i \text{ - საყრდენი წვეროების რიგითი ნომერი.}$$

ბეზიეს წრფივი მრუდები

როდესაც $n=1$ წრფივი მრუდი მიიღება, რომელიც წრფის მონაკვეთს წარმოადგენს. \mathbf{P}_0 და \mathbf{P}_1 საყრდენი წერტილებია და მონაკვეთის დასაწყისს და ბოლოს განსაზღვრავს. თვით მრუდის განტოლებას კი ასეთი სახე ექნება:

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)\mathbf{P}_0 + t\mathbf{P}_1 \quad t \in [0, 1]$$

ბეზიეს კვადრატული მრუდები

კვადრატული ბეზიეს მრუდი ($n=2$) მოცემულია სამი საყრდენი წერტილით: $\mathbf{P}_0, \mathbf{P}_1$ და \mathbf{P}_2 და აღიწერება განტოლებით:

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)^2\mathbf{P}_0 + 2t(1-t)\mathbf{P}_1 + t^2\mathbf{P}_2, \quad t \in [0, 1]$$

სადაც t პარამეტრი ასე გამოითვლება:

$$t = \frac{\mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_1 \pm \sqrt{(\mathbf{P}_0 - 2\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)\mathbf{B} + \mathbf{P}_1^2 - \mathbf{P}_0\mathbf{P}_2}}{\mathbf{P}_0 - 2\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2}, \quad \mathbf{P}_0 - 2\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 \neq 0$$

$$t = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{P}_0}{2(\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_0)}, \quad \mathbf{P}_0 - 2\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 = 0, \quad \mathbf{P}_0 \neq \mathbf{P}_1$$

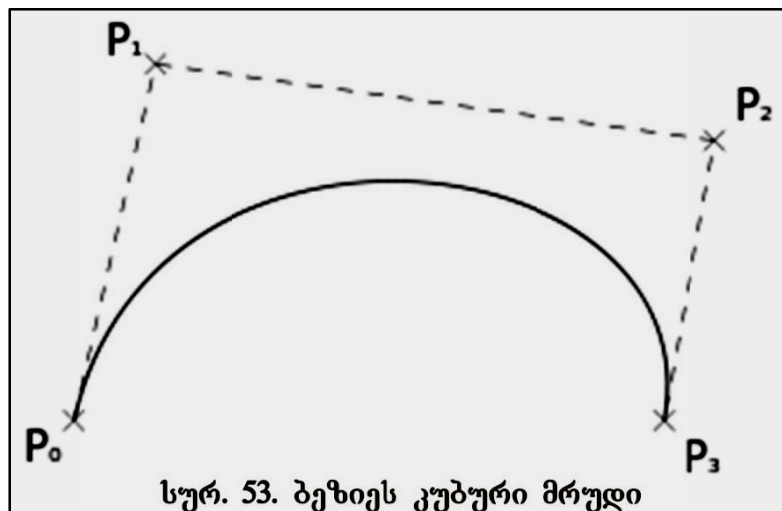
$$t = \sqrt{\frac{\mathbf{B} - \mathbf{P}_0}{\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1}}, \quad \mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_1 \neq \mathbf{P}_2$$

ბეზიეს კუბური მრუდები

ბეზიეს კუბური მრუდი ($n=3$), პარამეტრულ ფორმაში აღიწერება შემდეგი განტოლებით:

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)^3\mathbf{P}_0 + 3t(1-t)^2\mathbf{P}_1 + 3t^2(1-t)\mathbf{P}_2 + t^3\mathbf{P}_3, \quad t \in [0, 1]$$

სურ.53 -ზე ნაჩვენებია ბეზიეს კუბური მრუდის გეომეტრიული წარმოდგენა, სადაც $\mathbf{P}_0, \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2$ და \mathbf{P}_3 მრუდის ოთხი საყრდენი წერტილია, რომელიც მოცემულია ორ- და სამგანზომილებიან სივრცეში. ისინი განსაზღვრავენ მრუდის ფორმას. წირი სათავეს იღებს \mathbf{P}_0 წერტილში და მიემართება \mathbf{P}_1 წერტილისკენ, ის უახლოვდება \mathbf{P}_3 წერტილს \mathbf{P}_2 წერტილის მხრიდან და ბოლოს ასრულებს მოძრაობას \mathbf{P}_3 წერტილში. ამდენად მრუდი არ გაივლის \mathbf{P}_1 და \mathbf{P}_2 წერტილებს, ისინი ასრულებენ მხოლოდ მიმმართველების როლს. \mathbf{P}_0 და \mathbf{P}_1 შორის მონაკვეთის სიგრძე კი განსაზღვრავს, თუ როგორ სწრაფად მოუხვევს მრუდი \mathbf{P}_3 წერტილისკენ.



სურ. 53. ბეზიეს კუბური მრუდი

ბეზიეს კუბური მრუდი მატრიცულ ფორმაში შემდეგნაირად ჩაიწერება:

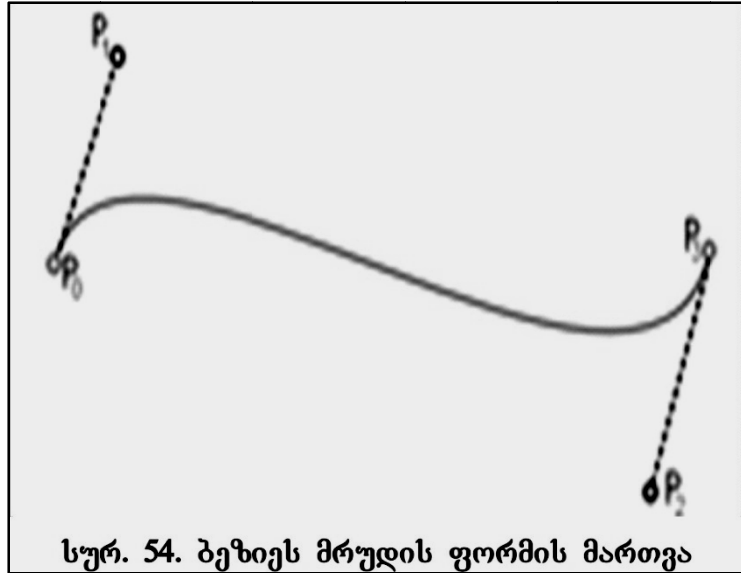
$$\mathbf{B}(t) = [t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1] \mathbf{M}_B \begin{bmatrix} \mathbf{P}_0 \\ \mathbf{P}_1 \\ \mathbf{P}_2 \\ \mathbf{P}_3 \end{bmatrix}$$

სადაც \mathbf{M}_B ბეზიეს ბაზისური მატრიცაა

$$\mathbf{M}_B = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6.5. ბეზიეს მრუდების აგება

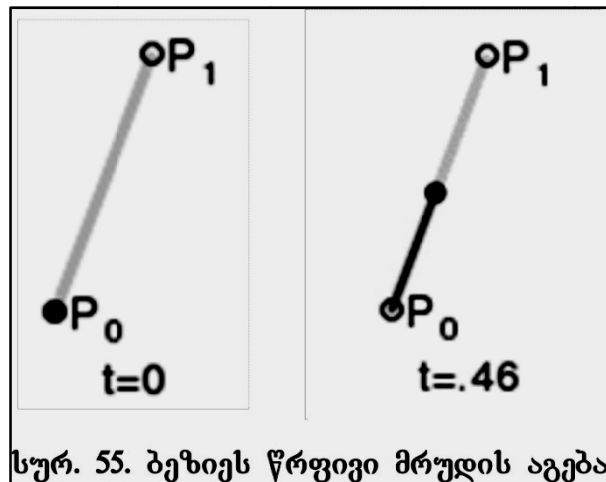
ბეზიეს მრუდების აგების მეთოდი წყვილი მხების გამოყენებას ეფუძნება, რომელიც მრუდის ბოლო წერტილებზეა გავლებული. პრაქტიკაში ეს მხები “ბერკეტის” როლს ასრულებს, რომლის საშუალებითაც მრუდს ისე ვლუნავთ, როგორც გვჭირდება (სურ.54). მრუდის ფორმაზე მოქმედებს როგორც მხების დახრის კუთხე, ისე მისი მონაკვეთის სიგრძე. მხების (და მასთან ერთად მრუდის ფორმის) მართვა გრაფიკულ რედაქტორებში ხორციელდება მაუსის საშუალებით, მრუდის წერტილების მარკერებზე ზემოქმედებით. ვექტორული გრაფიკის რედაქტორთა უმრავლესობა სწორედ ბეზიეს მრუდებს იყენებს.



ბეზიეს კვადრატულ მრუდებს იყენებენ **True Type** შრიფტების სიმბოლოთა ფორმის აღწერისთვის და ასევე ანიმაციური და ვიდეოინფორმაციის წარმოდგენისას (**SWF**). **SWF** – ფაილებში იყენებენ ასევე ბეზიეს კუბურ მრუდებსაც.

ბეზიეს წრფივი მრუდების აგებისას t პარამეტრი განსაზღვრავს სად, რომელ წერტილში იმყოფება $\mathbf{B}(t)$ ფუნქცია – \mathbf{P}_0 დან \mathbf{P}_1 მდე მონაკვეთზე.

მაგალითად, როცა $t = 0,25$, $\mathbf{B}(t)$ ფუნქციის მნიშვნელობა შეესაბამება \mathbf{P}_0 დან \mathbf{P}_1 მდე მონაკვეთის ერთ მეოთხედს, რადგან t პარამეტრი იცვლება 0-დან 1-მდე, ხოლო $\mathbf{B}(t)$ ფუნქცია კი აღწერს \mathbf{P}_0 და \mathbf{P}_1 წერტილებით შემოსაზღვრული წრფის მონაკვეთს. სურ.55-ზე მოცემულია $\mathbf{B}(t)$ ფუნქციის გრაფიკული წარმოდგენა, როცა $t = 0$ და $t = 0,46$.

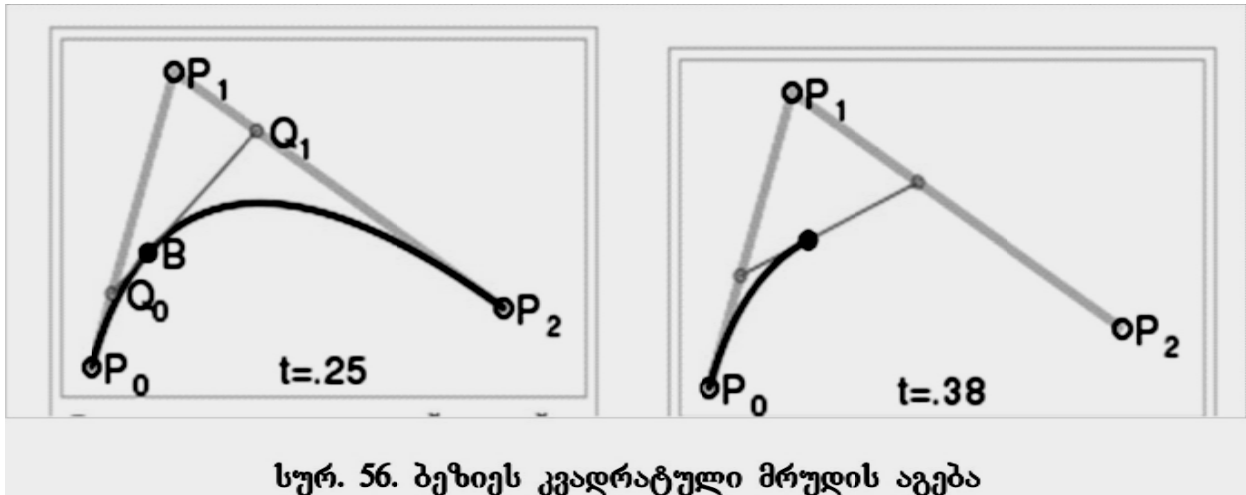


ბეზიეს კვადრატული მრუდების აგებისას საჭიროა ხდება ორი

შუალედური წერტილის \mathbf{Q}_0 და \mathbf{Q}_1 გამოყოფა, იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ t პარამეტრი იცვლება 0 -დან 1 - მდე:

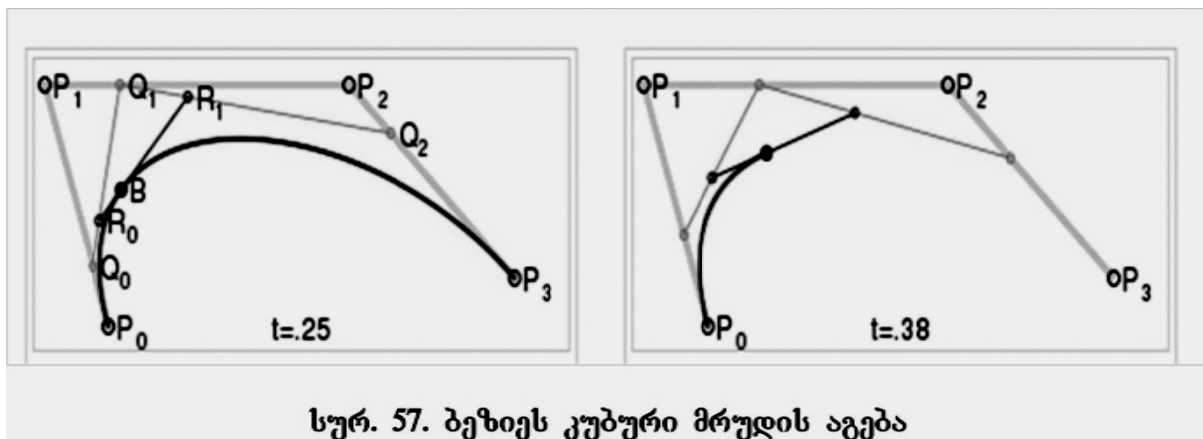
- წერტილი Q_0 იცვლება P_0 დან P_1 მდე და აღწერს ბეზიეს წრფივ მრუდს.
- წერტილი Q_1 იცვლება P_1 დან P_2 მდე და ასევე აღწერს ბეზიეს წრფივ მრუდს.
- წერტილი B იცვლება Q_0 დან Q_1 მდე და აღწერს ბეზიეს კვადრატულ მრუდს.

სურ.56-ზე მოცემულია ბეზიეს კვადრატული მრუდის აგების გრაფიკული წარმოდგენა, როცა $t=0.25$ და $t=0.38$.



მაღალი რიგის მრუდების აგებისას შესაბამისად საჭირო ხდება მეტი შუალედური წერტილები. კუბური მრუდების შემთხვევაში ეს შუალედური წერტილებია Q_0, Q_1 და Q_2 , რომლებიც აღწერენ ბეზიეს წრფივ მრუდებს და ასევე R_0 და R_1 , რომლებიც აღწერენ ბეზიეს კვადრატულ მრუდებს.

სურ.57-ზე მოცემულია ბეზიეს კუბური მრუდის აგების გრაფიკული წარმოდგენა, როცა $t=0.25$ და $t=0.38$.



ბეზიეს მრუდები შემდეგი თვისებებით ხასიათდებიან:

- საწყის და ბოლო წერტილებს შორის სეგმენტის შევსება უწყვეტად ხდება;
- მრუდი ყოველთვის იმ ფიგურის შიგნით ხვდება, რომელიც საკონტროლო წერტილების შემაერთებელი ხაზებით არის წარმოქმნილი;
- ორი საკონტროლო წერტილის არსებობის შემთხვევაში, სეგმენტი სწორ ხაზს წარმოადგენს;
- სწორი ხაზი წარმოიქმნება მმართველი წერტილების ერთ ხაზზე განლაგებისას;
- ბეზიეს მრუდი სიმეტრიულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ საწყისი და ბოლო წერტილების ადგილების შეცვლით (ტრაექტორიის მიმართულების შეცვლით) მრუდის ფორმა არ იცვლება;
- მასშტაბირება და ბეზიეს მრუდის პროპორციის ცვლილება არ არღვევს მის სტაბილურობას, რადგან მათემატიკური თვალსაზრისით ის “აფინურად ინვარიანტულია”;
- კოორდინატების, თუნდაც ერთი მათგანის ცვლილება იწვევს მთელი ბეზიეს მრუდის ფორმის შეცვლას;
- ბეზიეს მრუდის ნებისმიერი მონაკვეთი, ისევე ბეზიეს მრუდს წარმოადგენს;
- მრუდის ხარისხი ყოველთვის ერთი რიგით დაბალია საკონტროლო წერტილების რაოდენობასთან შედარებით. მაგალითად, სამი საკონტროლო წერტილის შემთხვევაში მრუდის ფორმაა პარაბოლა;
- წრეხაზი ვერ იქნება აღწერილი ბეზიეს მრუდის პარამეტრული განტოლებით;
- შეუძლებელია პარალელური ბეზიეს მრუდების აგება, გამონაკლისს წარმოადგენს ისეთი ტრივიალური შემთხვევები, როცა გვაქვს სწორი ხაზები ან ურთიერთდამთხვეული მრუდები. თუმცა არსებობს ალგორითმები, რომელთა საშუალებითაც იგება პარალელური ბეზიეს მრუდები, პრაქტიკაში მისაღები მიახლოებით.

ბეზიეს მრუდები და სპლაინები

სპლაინი (Spline) ვექტორული გრაფიკის ძირითადი ცნებაა, ის მათემატიკური მრუდია, რომელიც მდორედ აერთებს ცალკეულ წერტილებს.

შესაბამისად, სპლაინი გლუვი მრუდია, რომელიც გადის ორ ან მეტ საყრდენ წერტილზე და გააჩნია მმართველი წერტილები მის გარეთ. ამ წერტილებზე ზემოქმედებით იცვლება სპლაინის ფორმა. სპლაინების ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული ტიპია ბეზიეს მრუდი.

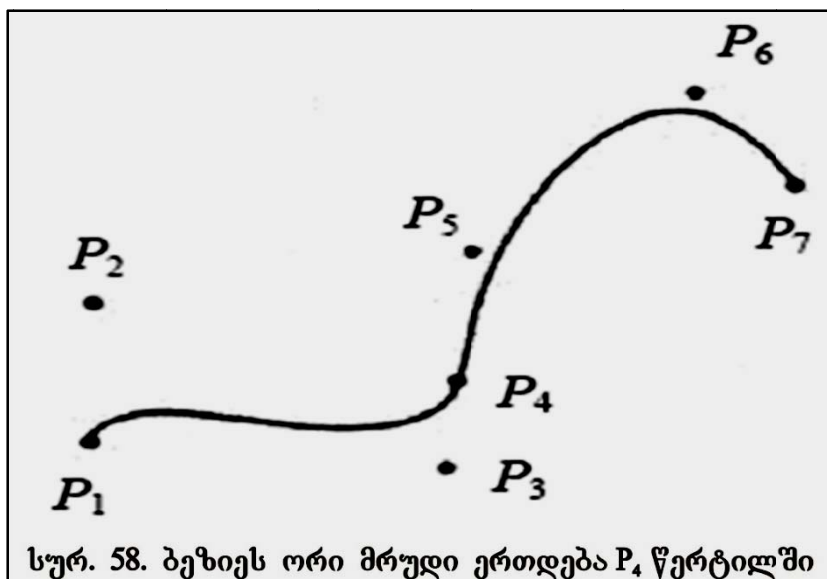
სპლაინები შედგება წვეროებისგან (Vertices) და სეგმენტებისგან (Segments).

სპლაინის ყოველ წვეროს შეესაბამება მხები – ვექტორები (Tangents), რომელთა

ბოლოებზეც მოთავსებულია მმართველი წერტილები, ანუ მარკერები (Handels). ამ მარკერების საშუალებით იმართება სპლაინის სეგმენტების სიმრუდე.

როდესაც წვეროთა რაოდენობა ემთხვევა სპლაინების ხარისხს, ვღებულობთ ბეზიეს მრუდებს ანუ ბეზიეს სპლაინებს.

თანამედროვე გრაფიკულ სისტემებში მრუდწირული ფორმების წარმოდგენისას ძირითადად ბეზიეს სპლაინებს იყენებენ. რთული ფორმის მრუდების აგებისას ბეზიეს ცალკეული მრუდები თანმიმდევრობით ერთდება ერთმანეთთან ბეზიეს სპლაინებში (სურ.58.).

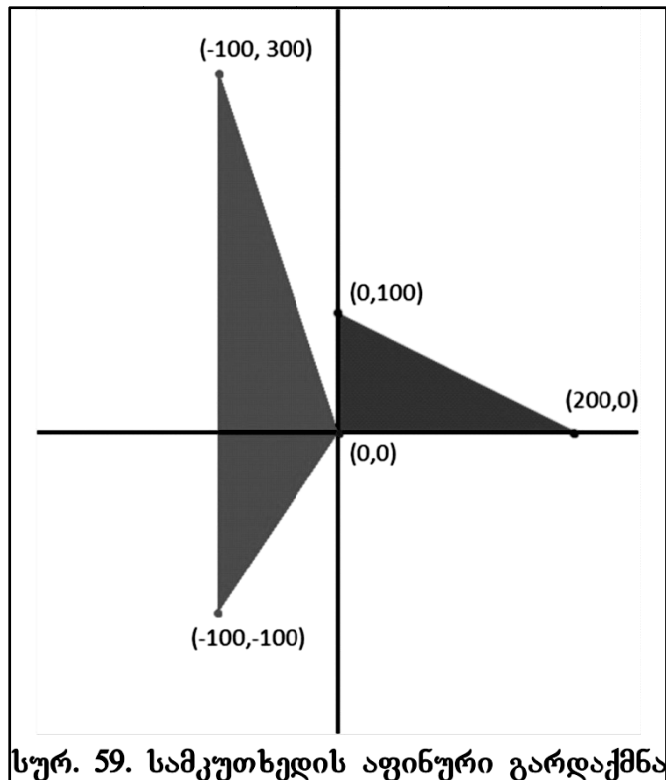


ბეზიეს კვადრატულ და კუბურ მრუდებს, გაცილებით უფრო მეტ მნიშვნელობას ანიჭებენ, რადგან მაღალი ხარისხის მრუდების დამუშავებას დიდი მოცულობის გამოთვლები სჭირდება და პრაქტიკული მიზნებისთვის მათი გამოყენება ნაკლებად ეფექტურია.

6.6. აფინური გარდაქმნები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კომპიუტერული გრაფიკის ერთ-ერთი ამოცანაა აღწერილი გეომეტრიული ობიექტების რედაქტირება, რაც აფინურ გარდაქმნებს უკავშირდება. აფინური გეომეტრია გეომეტრიის ნაწილია და სწავლობს ფიგურების იმ თვისებებს სიბრტყეზე და სივრცეში, რომელიც შენარჩუნებულია აფინურ გარდაქმნებში – წრფივობა, პარალელურობა და სხვა, იცვლება მხოლოდ ფიგურათა მეტრული თვისებები – მონაკვეთის სიგრძე, კუთხის სიდიდე და სხვა.

სურ.59-ზე გამოსახულია აფინური გარდაქმნის მაგალითი, სადაც წითელი სამკუთხედი გარდაიქმნება ცისფერ სამკუთხედში.



$$(x, y) \mapsto (y - 100, 2 \cdot x + y - 100)$$

როგორც აღმოჩნდა, ფიგურათა ეს თვისებები ინვარიანტულია ნებისმიერი აფინური გარდაქმნების მიმართ, ანუ ისინი ინარჩუნებენ ამ თვისებებს გარდაქმნის შემდეგაც. აფინური გარდაქმნები უზრუნველყოფენ სიბრტყის ან სივრცის ზუსტ ურთიერთ ცალსახა ასახვას თავის თავზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ ერთ წრფეზე მდებარე სამ წერტილს შეესაბამება ასევე ერთ წრფეზე მდებარე სამი წერტილი. აფინური გარდაქმნების დროს, გადამკვეთი ხაზები გარდაიქმნება ისევ გადამკვეთ ხაზებში, პარალელური ხაზები კი – პარალელურ ხაზებში. აფინური სიბრტყე ასევე აისახება რაიმე სიბრტყეზე. არსებობს მრავალი ტიპის აფინური გარდაქმნა, მათ მიეკუთვნება მობრუნება, არეკვლა, მასშტაბირება და სხვა. ამგვარად გამოიკვეთა კომპიუტერული გრაფიკის ის ელემენტარული ოპერაციები, რომელთა შესრულებისას არ ირღვევა ასახული ობიექტის გეომეტრიული თვისებები.

6.7. აფინური გარდაქმნების მატრიცული წარმოდგენა

წერტილთა გარდაქმნები

კომპიუტერულ გრაფიკაში აფინური გარდაქმნების აღწერისათვის ხშირად იყენებენ მატრიცულ წარმოდგენას. მაგალითად, წერტილი სიბრტყეზე შეიძლება

წარმოვიდგინოთ $\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix}$ ვექტორ-სვეტების საშუალებით, ხოლო სივრცეში $\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix}$, მათ

ზოგჯერ კოორდინატულ ვექტორსაც უწოდებენ.

ასეთი სახით წარმოდგენილ წერტილებზე გარდაქმნების შესრულება მატრიცებზე ოპერაციების ჩატარებას უკავშირდება, რაც კარგად შეესატყვისება გამოთვლითი ტექნიკის შესაძლებლობებს.

ცხადია, წერტილთა პოზიციის მართვა შესაბამისი მატრიცებით მანიპულირების გზით მოხდება. ამ წერტილთა შეერთებით კი მონაკვეთებს, მრუდებს და ობიექტებს ვლესულობთ. მატრიცის ელემენტი შეიძლება იყოს რიცხვი ან განტოლებათა სისტემის კოეფიციენტები. ოპერაციები ამ ელემენტებზე კი მატრიცული აღგებრის წესებით განისაზღვრება. კომპიუტერული გრაფიკის ამოცანათა უმრავლესობა კარგად იხდენს მატრიცულ წარმოდგენას. გეომეტრიული ობიექტების მოდელირებისას, ამოცანა ჩვეულებრივ ასე იხდება: მოცემულია $[A]$ და $[B]$ მატრიცა, ვიპოვოთ ისეთი $[T]$ შედეგობრივი მატრიცა, რომ $[A][T] = [B]$. ამ შემთხვევაში ამონახსნი არის $[T] = [A]^{-1} [B]$ მატრიცა, სადაც $[A]^{-1}$, კვადრატული $[A]$ მატრიცის შებრუნებული მატრიცაა.

$[T]$ მატრიცა ფაქტიურად $\begin{vmatrix} a & b \\ d & e \end{vmatrix}$ კოეფიციენტების მატრიცაა და ის შეიძლება

ინტერპრეტირებული იყოს, როგორც გეომეტრიული ოპერატორი. მაშინ, მატრიცების გადამრავლება შეიძლება გამოვიყენოთ გეომეტრიული გარდაქმნების შესასრულებლად იმ წერტილთა სისტემაზე, რომლებიც წარმოდგენილია ცალკეული წერტილების მდგომარეობის ვექტორით და აღიწერებიან $[A]$ მატრიცით. მატრიცების გადამრავლების ინტერპრეტაცია, $[T]$ გეომეტრიულ ოპერატორად, საფუძვლად უდევს მათემატიკურ გარდაქმნებს გრაფიკაში.

აფინურ გარდაქმნებში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს რამდენიმე კერძო შემთხვევა, რომელთა კომბინაციაც საშუალებას გვაძლევს აღვწეროთ ერთი წერტილის ნებისმიერი გარდაქმნა მეორე წერტილში შემდეგი ფორმულების საშუალებით:

$$x' = a * x + b * y + c ; \quad y' = d * x + e * y + f$$

ფაქტიურად ეს კერძო შემთხვევები აღწერენ $[T]$ მატრიცის სახეს, ე.ი. გვაძლევენ წერტილის საწყის კოორდინატთა გარდაქმნის კოეფიციენტებს. განვიხილოთ კომპიუტერულ გრაფიკაში გამოყენებული ელემენტარული გეომეტრიული გარდაქმნები, რომლებსაც მიეკუთვნება: წანაცვლება, მასშტაბირება, არეკვლა და მობრუნება.

წანაცვლება

წერტილი სიბრტყეზე შეიძლება გადავიტანოთ ახალ პოზიციაში, თუ ამ წერტილის კოორდინატებს დავუმატებთ კონსტანტას, რომელიც ამ წანაცვლების მნიშვნელობას წარმოადგენს (სურ.60.)

$$x' = x + Dx \quad y' = y + Dy$$

განვსაზღვროთ შესაბამისი ვექტორები

$$P=[x,y] \quad P'=[x',y'] \quad T=[Dx,Dy]$$

წერტილის წანაცვლება ვექტორულ ფორმაში

$$[x',y']=[x,y]+[Dx,Dy]$$

ან უფრო მოკლედ

$$P' = P + T$$

ობიექტი შეიძლება წანაცვლოთ, თუ გამოვიყენებთ ამ გამოსახულებას ყველა მისი წერტილის მიმართ. თუმცა მონაკვეთის შემთხვევაში საკმარისია ამ პროცესის გამოყენება მხოლოდ მის ბოლოებზე არსებულ წერტილებისთვის. ეს მართებულია მონაკვეთის მასშტაბირებისა და მობრუნების დროსაც.

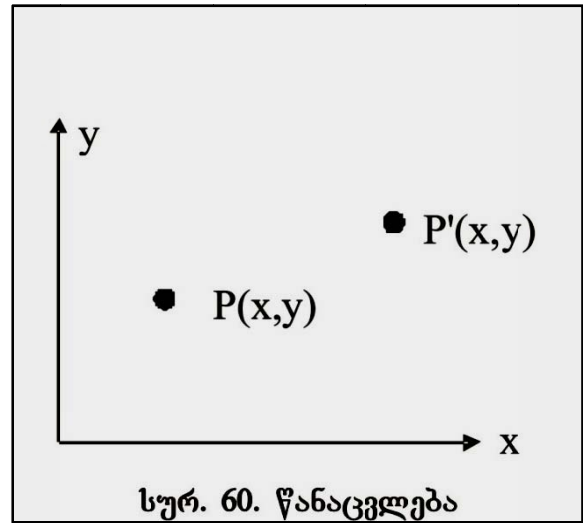
მასშტაბირება

ობიექტის მასშტაბირებისათვის მისი ყოველი წერტილი საჭიროა გავჭიმოთ S_x -ჯერ x ღერძზე და S_y -ჯერ y ღერძზე.

$$x' = x \cdot S_x \quad y' = y \cdot S_y$$

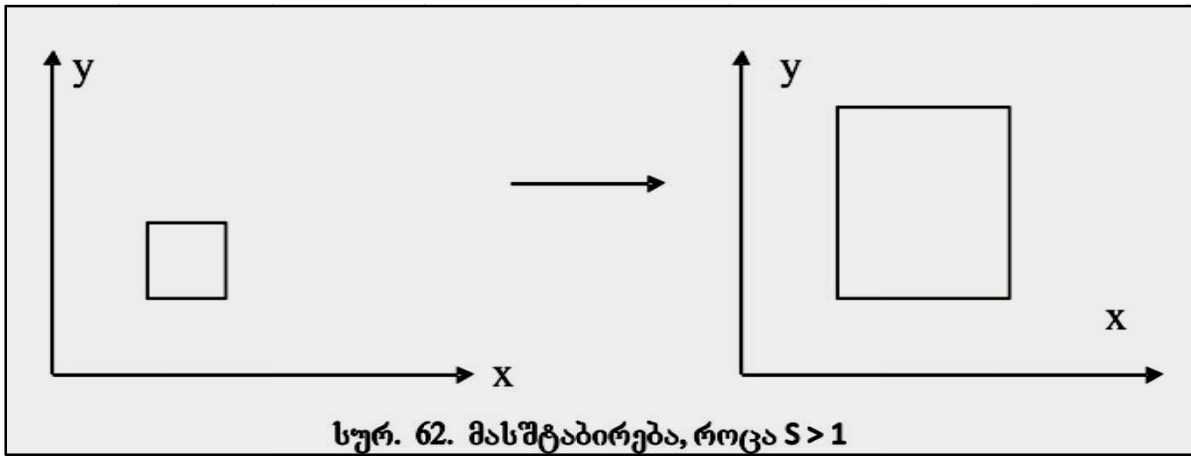
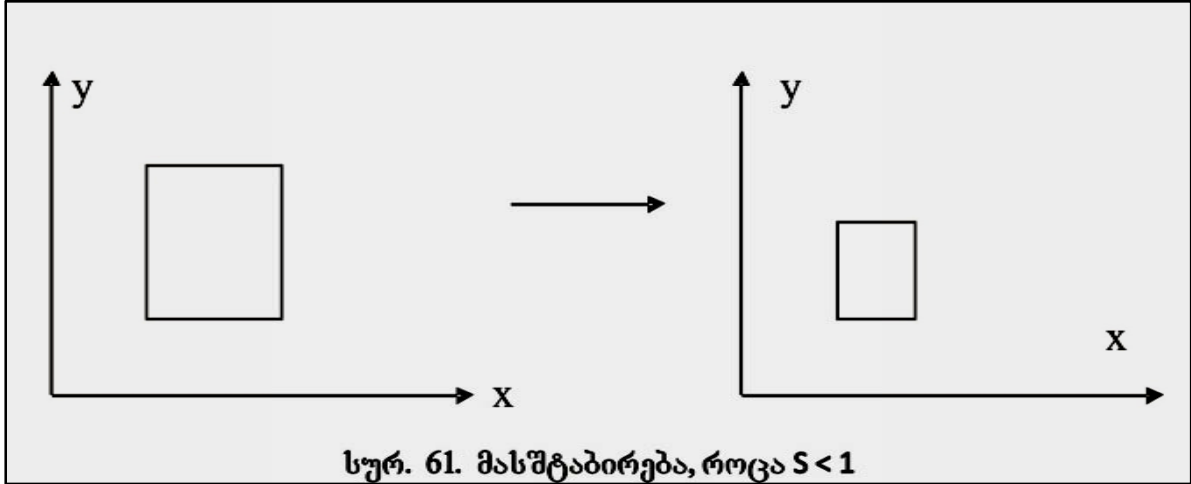
განვსაზღვროთ:

$$S = \begin{vmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{vmatrix}$$



ახ $P'=P \cdot S$.

სურ.61-ზე და სურ.62-ზე გამოსახულია მასშტაბირების მაგალითები, ზომის შემცირების ($S < 1$) და გაზრდის ($S > 1$) შემთხვევებში. უნდა აღვნიშნოთ ასევე, რომ მასშტაბირება განიხილებოდა კოორდინატთა სათავის მიმართ.



მობრუნება

ობიექტი შეიძლება შემოვარუნოთ, თუ ყოველი მისი წერტილის კოორდინატები დაექვემდებარებიან ასეთ გარდაქმნებს:

$$x' = x \cdot \cos\theta - y \cdot \sin\theta$$

$$y' = x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta$$

მატრიცულ ფორმაში ეს ასე გამოისახება:

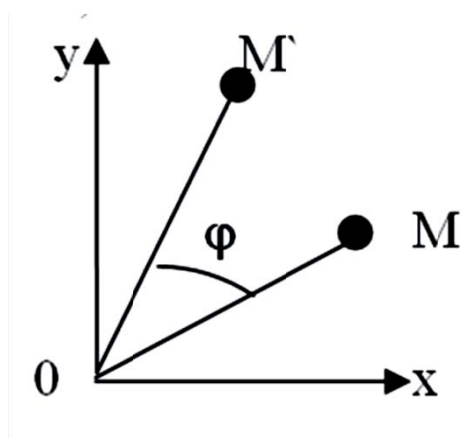
$$[x' \ y'] = [x \ y] \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{vmatrix}$$

ან $P' = P \cdot R$.

უარყოფითი კუთხეების შემთხვევაში ეს ასე ჩაიწერება:

$$\begin{aligned} \cos(-\theta) &= \cos(\theta) \\ \sin(-\theta) &= -\sin(\theta) \end{aligned}$$

უნდა აღვნიშნოთ, რომ მობრუნება (სურ.63.) სრულდება კოორდინატთა სათავეს მიმართ.



სურ. 63. მობრუნება

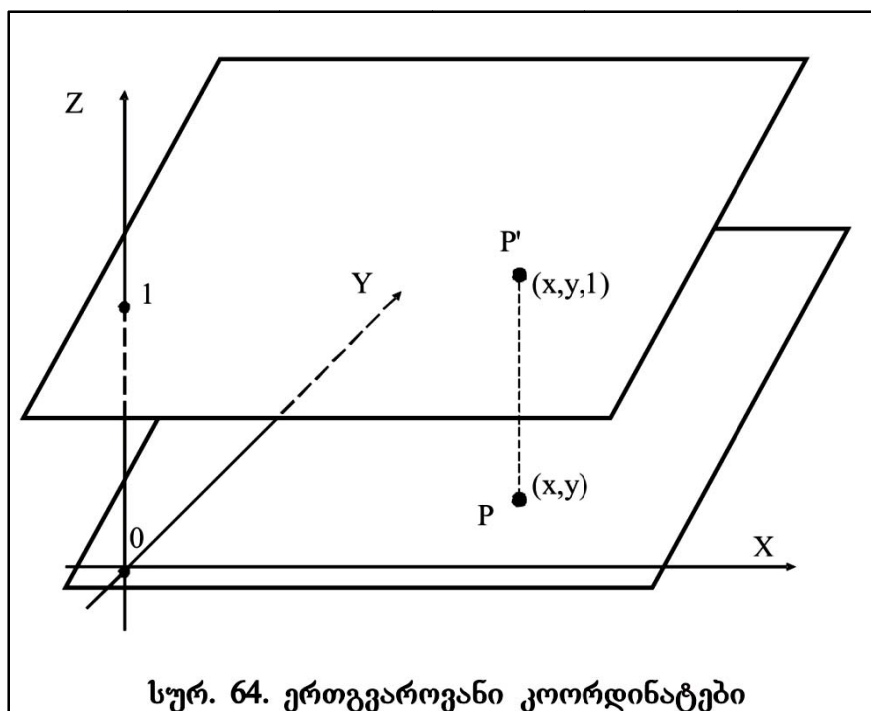
6.8. ერთგვაროვანი კოორდინატები

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, წანაცვლების, მასშტაბირების და მობრუნების გარდაქმნები მატრიცულ ფორმაში ასე ჩაიწერება:

$$\begin{aligned} P' &= P + T \\ P' &= P \cdot S \\ P' &= P \cdot R \end{aligned}$$

სამწუხაროდ, წანაცვლება, სხვა გარდაქმნებისგან განსხვავებით, მატრიცების შეკრებით სორციელდება. კარგი იქნებოდა, თუ ყველა ეს ელემენტარული გარდაქმნა წარმოდგენილი იქნებოდა ერთი ფორმით – მატრიცების გადამრავლებით. მაშინ შევძლებდით ყველა ტიპის გარდაქმნათა შეთავსებას, ანუ ერთ სახეზე დაყვანას, რაც გულისხმობს ერთ, გეომეტრიულ გარდაქმნათა შედეგობრივ მატრიცაზე გამრავლებას.

ამის განხორციელება შესაძლებელია, თუ წერტილებს ერთგვაროვან კოორდინატებში წარმოვადგენთ.



წერტილი $P(x,y)$ ერთგვაროვან კოორდინატებში ჩაიწერება როგორც $P(Wx, Wy, W)$ ნებისმიერი მასშტაბური W მამრავლისთვის, რომელიც არ უდრის ნულს. ამავედროულად, თუ წერტილი მოცემულია ერთგვაროვან კოორდინატებში $P(X,Y,W)$, შესაძლებელია ასევე მისი შესაბამისი დეკარტეს კოორდინატების გამოთვლაც: $x=X/W$ $y=Y/W$.

ერთგვაროვანი კოორდინატების გეომეტრიული არსი კარგად ჩანს სურ.64-ზე ზე. ნებისმიერი წერტილი წრფეზე, რომელიც კოორდინატთა სათავეს $O(0,0,0)$ აერთებს $P'(x,y,1)$ წერტილთან, შეიძლება მოცემული იყოს რიცხვთა სამეულით (W_x, W_y, W) . ვექტორი, რომლის კოორდინატებია (W_x, W_y, W) , წარმოადგენს წრფის მიმართველ ვექტორს, რომელიც აერთებს $O(0,0,0)$ და $P'(x,y,1)$ წერტილებს. ეს წრფე $z=1$ სიბრტყეს კვეთს $(x,y,1)$ წერტილში, რომელიც ცალსახად განსაზღვრავს (x,y) წერტილს x,y კოორდინატულ სიბრტყეზე.

ამგვარად, ნებისმიერ $P(x,y)$ წერტილსა და (W_x, W_y, W) , $W \neq 0$ ტიპის სამეული რიცხვების სიმრავლეს შორის მყარდება ურთიერთცალსახა დამოკიდებულება, რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ W_x, W_y, W რიცხვები ჩავთვალოთ ამ წერტილის ახალ კოორდინატებად.

ერთგვაროვანი კოორდინატები შემდეგი თვისებით ხასიათდებიან: მათ მიერ განსაზღვრული ობიექტი არ იცვლება, მისი ყველა კოორდინატის ერთი და იგივე რიცხვზე გამრავლებით და მათთვის გარდაქმნის მატრიცა 3×3 ზომისაა.

განვიხილოთ ორგანზომილებიანი გარდაქმნების მატრიცული წარმოდგენა ერთგვაროვანი კოორდინატების გამოყენებით.

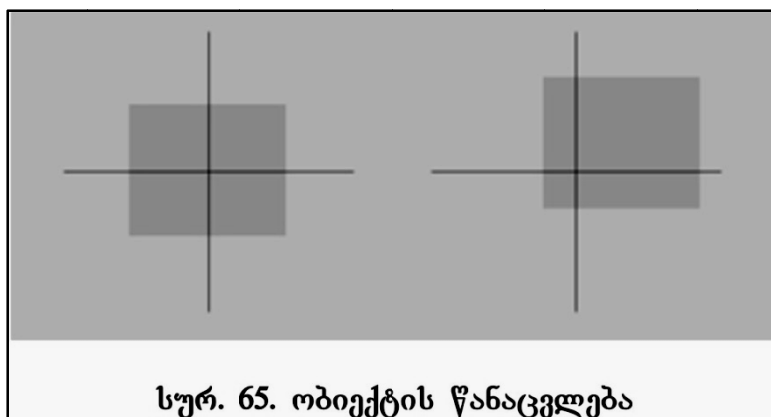
წანაცვლების განტოლება

ერთგვაროვანი კოორდინატების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს ყველა გარდაქმნა ერთი ტიპის მატრიცული გამოსახულებით ჩავწეროთ

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx & dy & 1 \end{bmatrix}$$

ან $P' = P \cdot T(dx, dy)$

სადაც $T(dx, dy) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx & dy & 1 \end{bmatrix}$.



სურ. 65. ობიექტის წანაცვლება

თუ წერტილს გადავიტანოთ (dx_1, dy_1) -ზე, ხოლო შემდეგ (dx_2, dy_2) -ზე, მაშინ წანაცვლების თანმიმდევრული გამოყენების შედეგად ჯამური წანაცვლება განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$P' = P \cdot T(dx_1, dy_1),$$

$$P'' = P' \cdot T(dx_2, dy_2)$$

$$P'' = P \cdot (T(dx_1, dy_1) \cdot T(dx_2, dy_2)).$$

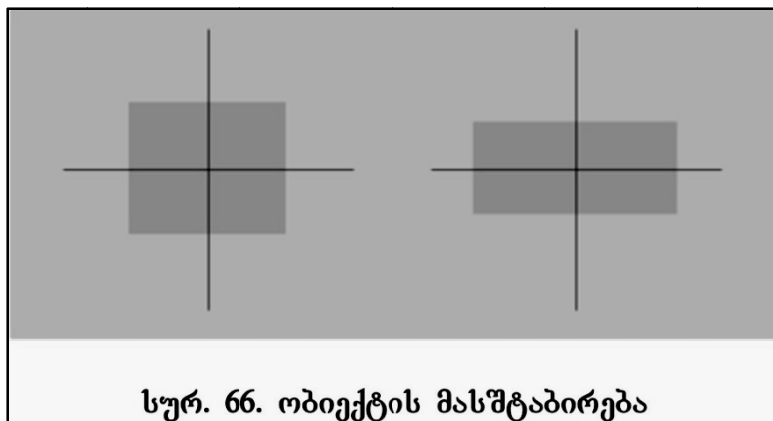
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx_1 & dy_1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx_2 & dy_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx_1 + dx_2 & dy_1 + dy_2 & 1 \end{bmatrix}$$

ამგვარად შედეგობრივი წანაცვლება (dx_1+dx_2, dy_1+dy_2) , ე.ი. მიმდევრობითი წანაცვლებები ადიტიურია. სურ.65-ზე გამოსახულია ობიექტის წანაცვლება.

მასშტაბირების განტოლება

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{სადაც } S(S_x, S_y) = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$



$$\text{აბ } P' = P \cdot S(S_x, S_y)$$

თანმიმდევრულ მასშტაბირების შედეგობრივ მატრიცას ასეთი სახე აქვს:

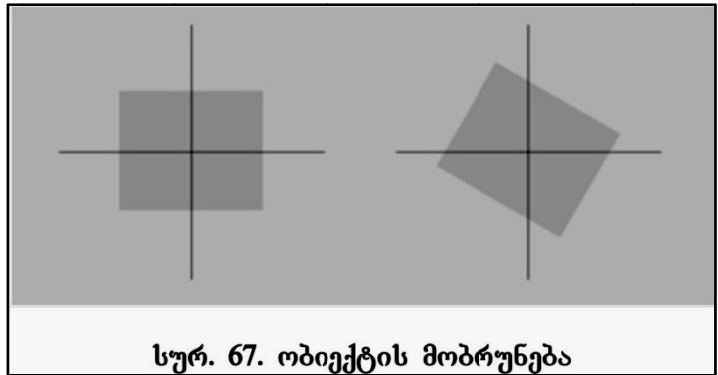
$$\begin{bmatrix} S_{x1} & 0 & 0 \\ 0 & S_{y1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{x2} & 0 & 0 \\ 0 & S_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{x1} \cdot S_{x2} & 0 & 0 \\ 0 & S_{y1} \cdot S_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

სურ.66-ზე გამოსახულია ობიექტის მასშტაბირება - შეკუმშვა და გაწელება.

მობრუნების განტოლება

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$P' = P \cdot R(A).$$



სურ.67 -ზე გამოსახულია ობიექტის მობრუნება.

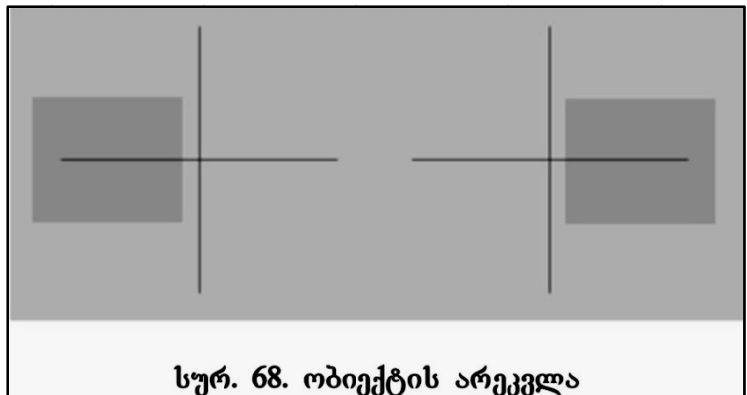
არეკვლის განტოლება

არეკვლა x ღერძის მიმართ

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

არეკვლა y ღერძის მიმართ

$$[x' \ y' \ 1] = [x \ y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



სურ.68-ზე გამოსახულია ობიექტის არეკვლა.

6.9. ორგანზომილებიანი გარდაქმნების კომპოზიცია

უფრო ეფექტური იქნება, თუ წერტილის მიმართ გარდაქმნათა თანმიმდევრული გამეორების მაგივრად, ერთ შეთავსებულ გარდაქმნას გამოვიყენებთ.

განვიხილოთ მაგალითი: ობიექტი შემოვაბრუნოთ რაიმე $\mathbf{P}(x_1, y_1)$ წერტილის მიმართ. ამისათვის საჭიროა სამი ელემენტარული გარდაქმნის ჩატარება:

1. წანაცვლება, როცა $\mathbf{P}(x_1, y_1)$ წერტილი მოთავსებულია კოორდინატთა სათავეში;
2. მობრუნება;
3. წანაცვლება საწყის მდგომარეობაში.

ამ გარდაქმნა შედეგს ასეთი სახე აქვს:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_1 & -y_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_1 & y_1 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ x_1(1 - \cos A) + y_1 \sin A & y_1(1 - \cos A) + x_1 \sin A & 1 \end{bmatrix}$$

ანალოგიური მიდგომით, შეიძლება ობიექტის მასშტაბირება ნებისმიერი წერტილის მიმართ:

1. წანაცვლება კოორდინატთა სათავეში;
2. მასშტაბირება;
3. წანაცვლება საწყის მდგომარეობაში.

ცხადია, ასეთი გზით შესაძლებელია გაცილებით რთული ოპერაციების ჩატარება, რის საფუძველზეც ვლესულობთ რთულ გეომეტრიულ ფიგურებს, როგორც გეომეტრიულ გარდაქმნათა შედეგს.

ლიტერატურა:

1. Соснин, Н. В. Компьютерная графика. Математические основы. [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Красноярск : ИПК СФУ, 2008. ISBN 978-5-7638-1382-1 (комплекса) ISBN 978-5-7638-1380-7 (пособия) 138 с.
2. Васильев В.Е., Морозов А.В. Компьютерная графика: Учебное пособие. - СПб.: СЗТУ, 2005. - 101 с.
3. П. Я. Пантюхин, А. В. Быков, А. В. Репинская. Компьютерная графика. В 2 частях. Серия: Профессиональное образование. Издательство Инфра-М, 2007 г. 88 стр. ISBN 978-5-8199-0284-4, 978-5-16-002734-0
4. Роджерс Д., Адамс Дж., Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. — 604 с. ISBN 5-03-002143-4
5. Курс лекций по компьютерной геометрии и графике Компьютерная графика <http://256.ru/pages/graphics.php>
6. J. Foley, A. van Dam, et al. Computer Graphics: principle and Practice Second Edition, 1990, pp.599-600 ISBN 0-201-84840-6
7. J. Foley, A. van Dam, et al. Computer Graphics: principle and Practice 2004
8. В.Л. Авербух. К ТЕОРИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ. Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург, Россия 2005 г.
9. მანანა კვაჭანტირაძე _ სემიოლოგიური კვლევების მეთოდოლოგიისათვის. 2010 წ.
10. მ.თუშიშვილი – სახელმძღვანელო, კომპიუტერული გრაფიკა (I ნაწილი). - გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი“ თბილისი 2007 წ. ISBN 99940-57-69-3 (ყველა ნაწილი), ISBN 99940-57-68-5 (პირველი ნაწილი).
11. მ.თუშიშვილი, ქ. ავალიშვილი – სახელმძღვანელო, კომპიუტერული გრაფიკა (II ნაწილი). - გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი“ თბილისი 2007 წ. ISBN 99940-57-69-3 (ყველა ნაწილი), ISBN 978-99940-949-1-2 (მეორე ნაწილი)
12. Методы и алгоритмы подготовки к визуализации. Теория компьютерной визуализации. Лекции <http://tim.freedom-vrn.ru/lekcia.html#>
13. Falconer, Kenneth. Techniques in Fractal Geometry. John Wiley and Sons, 1997. ISBN 0-471-92287-0
14. Косников Ю.Н. Геометрические преобразования в компьютерной графике. Конспект лекций. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2011. – 50 с.
15. Свет и цвет в компьютерной графике. Алексей Игнатенко, к.ф.-м.н. Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа ВМК МГУ. 2010 г.