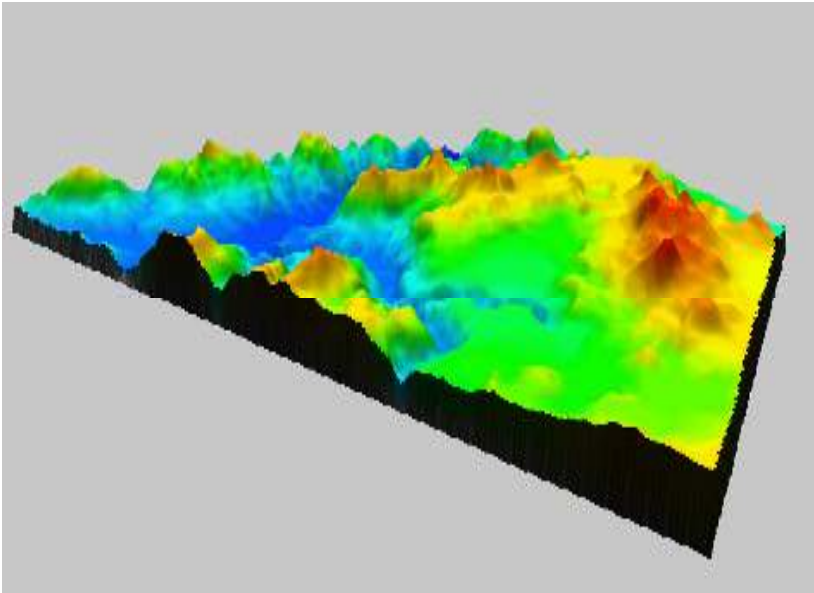


ელიზბარ ელიზბარაშვილი
შალვა ელიზბარაშვილი

გეოგრაფიულ დაკვირვებათა
მოდელირება და
გეოინფორმაციული სისტემები



თბილისი
2020

თელავის იაკობ გოგებაშვილის სახელობის
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ე. ელიზბარაშვილი

შ. ელიზბარაშვილი

გეოგრაფიულ დაკვირვებათა
მოდელირება და
გეოინფორმაციული სისტემები

თბილისი

2020

2

უაკ 57.026: 551.5

სალექციო კურსის შინაარსი შეესაბამება მოქმედ სასწავლო პროგრამებს და განკუთვნილია საბუნებისმეტყველო სპეციალობების სტუდენტებისათვის. ის აგრეთვე გამოადგება დოქტორანტებს, მაგისტრანტებს და მასწავლებლებს, ვისაც აინტერესებს მონაცემთა ბაზების დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები.

რედაქტორი: გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი
მ. ელიზბარაშვილი

რეზენზენტი: გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი
ლ. ქართველიშვილი

სარჩევი

გვ.

1. გეოგრაფიულ დაკვირვებათა სისტემა -----5
2. მონაცემთა ბაზები -----17
3. გეოგრაფიულ დაკვირვებათა პირველადი სტატისტიკური დამუშავების მეთოდები -----23
4. სტატისტიკური მახასიათებლების პრაქტიკული გაანგარიშება-----35
5. საშუალო მნიშვნელობათა შედარება -----38
6. დაკვირვებათა რიგის ემპირიული მოდელი ---41
7. დაკვირვებათა რიგის მათემატიკური მოდელირება -----49
8. კორელაციური ანალიზი -----63
9. წრფივი რეგრესიის განტოლება -----73
10. არაწრფივი კორელაცია -----80
11. მრავლობითი კორელაცია -----82
12. გეოინფორმატიკა და მისი ადგილი გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სისტემაში -----85
13. გეოინფორმაციული სისტემები და მათი ტიპები -----86
14. ძირითადი სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები -----91
15. სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემები-96
16. ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველი ---100
17. მათემატიკური მოდელი გეოინფორმაციული კარტოგრაფირებისათვის -----105
18. ატმოსფერული ნალექების გეოინფორმაციული კარტოგრაფირება -----122
- ლიტერატურა -----129

1. გეოგრაფიულ დაკვირვებათა სისტემა

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში კვლევის ობიექტს ბუნების მოვლენა წარმოადგენს. მოვლენის ქვეშ იგულისხმება ყველა ის პროცესი, რაც მიმდინარეობს ბუნებაში. მაგალითად ბუნების მოვლენად შეიძლება მივიჩნიოთ მიწისძვრა, წვიმა, გრიგალი, ღვარცოფი და ა.შ. ბუნების მოვლენების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ეს უპირველეს ყოვლისა საჭიროა მათი წარმოქმნის და განვითარების მექანიზმების დასადგენად, ამავე დროს ის საშუალებას იძლევა შემუშავდეს მათი პროგნოზირების მეთოდები და თავიდან იქნას აცილებული მათგან მოსალოდნელი ზარალი.

ბუნების მოვლენების შესასწავლად მათზე აწარმოებენ დაკვირვებებს. განასხვავებენ 2 კლასის დაკვირვებას: ინსტრუმენტულს და ვიზუალურს (ცხრილი 1)..

ინსტრუმენტული ეწოდება ისეთ დაკვირვებას, რომელიც წარმოებს სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით. მაგალითად ასეთი დაკვირვებაა ჰაერის ტემპერატურის გაზომვა, რადგანაც ის ხორციელდება სპეციალური თერმომეტრების საშუალებით.

ატმოსფერული წნევის გასაზომად გამოიყენება ხელსაწყო ბარომეტრი, მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა იზომება პლუვიოგრაფით, მიწისძვრის დაფიქსირება ხდება სეისმოგრაფით და ა.შ.

ცხრილი 1. დაკვირვებათა კლასები

კლასი	პრინციპი
ინსტრუმენტული	<p>წარმოებს სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით. მაგალითად ასეთი დაკვირვებაა ჰაერის ტემპერატურის გაზომვა, რადგანაც ის ხორციელდება სპეციალური თერმომეტრების საშუალებით.</p> <p>ატმოსფერული წნევის გასაზომად გამოიყენება ხელსაწყო ბარომეტრი, მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა იზომება პლუვიოგრაფით, მიწისძვრის დაფიქსირება ხდება სეისმოგრაფით და ა.შ.</p>
ვიზუალური	დაკვირვება ხორციელდება მხედველობით, ანუ ვიზუალურად.

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია თერმომეტრების განლაგება მეტეოროლოგიურ ჯიხურში მეტეოროლოგიურ სადგურებზე. წინა პლანზე მოჩანს ორი ერთნაირი ვერტიკალურად განლაგებული ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრი, მათ ვადიან თერმომეტრებს უწოდებენ. ვადიანი ეწოდება იმიტომ, რომ მათზე დაკვირვება ტარდება გარკვეულ ვადებზე, ყოველ სამ საათში ერთხელ. ვადიანი თერმომეტრებიდან ერთი არის მშრალი, ხოლო მეორე სველი. სველს უწოდებენ იმიტომ, რომ მის რეზერვუარს შემოსვეული აქვს ბატისტი, რომელიც ჩაშვებულია წყლიან ჭიქაში. ასეთი გზით სველი

თერმომეტრი ზომავს აორთქლების პოტენციალურ ტემპერატურას. მშრალი თერმომეტრის ჩვენება კი განსაზღვრავს ჰაერის ტემპერატურას. მშრალი და სველი თერმომეტრების ჩვენებებით სპეციალური ფსიქრომეტრული ცხრილებიდან განსაზღვრავენ ჰაერის სინოტივის მახასიათებლებს: წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას, შეფარდებით სინოტივეს და სინოტივის დეფიციტს.

ამავე ჯიხურში ათავსებენ მაქსიმალურ და მინიმალურ თერმომეტრებს, ისინი განლაგებულია ჰორიზონტალურად. მაქსიმალური თერმომეტრი ჩვეულებრივი ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრია. მას რეზერვუარის თავი შევიწროებული აქვს, ისე რომ როდესაც ტემპერატურა იზრდება, ვერცხლისწყალი ფართოვდება და თერმომეტრი მაქსიმალურ ტემპერატურას აჩვენებს. ხოლო, როდესაც ტემპერატურა დაიკლებს, ვერცხლისწყლის სვეტი თავისით არ ჩამოდის, რადგანაც შევიწროებული რეზერვუარი ამის საშუალებას არ აძლევს. ამიტომ ანათვალის ადების შემდეგ თერმომეტრი უნდა დაიბერტყოს, ისე როგორც ჩვეულებრივ სიცხის საზომ ტერმომეტრს ბერტყავენ. ამრიგად სიცხის საზომი თერმომეტრი ჩვეულებრივი მაქსიმალური თერმომეტრია. მინიმალური თერმომეტრი სპირტიანია, ვერცხლის წყლის ნაცვლად ის შეიცავს სპირტს. სპირტში მოთავსებულია ღერაკი, რომელიც თავისუფლად ცურავს. როდესაც ტემპერატურა დაიკლებს სპირტი აწევს ღერაკს და აიძულებს მოძრაოს ქვემოთ, დაბალი ჩვენებებისაკენ. როდესაც ტემპერატურა გაიზრდება სპირტი თავისუფლად შემოუვლის ღერაკს, ამით მისი მდებარეობა აფიქსირებს მინიმალურ ტემპერატურას. ანათვალის ადების შემდეგ ტერმომეტრს ისე გადააბრუნებენ, რომ ღერაკი სპირიტს დონეზე მიიყვანონ.



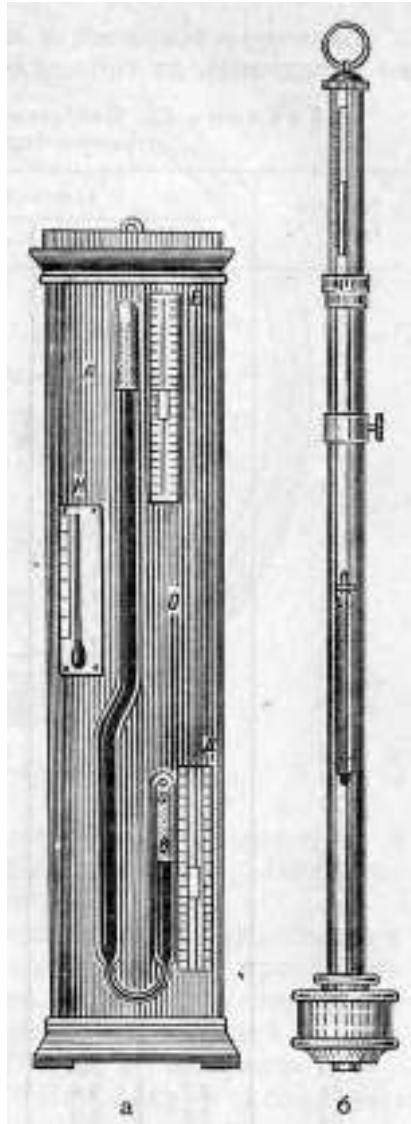
ნახ. 1 თერმომეტრების განლაგება მეტეოროლოგიურ ჯიხურში

ამავე ჯიხურში (ნახ.1) უკანა პლანზე მოჩანს ორი ციფერბლავტი. ეს ბეწვის ჰიგრომეტრია – ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც ზომავენ ჰაერის შეფარდებით სინოტივეს. ბეწვის ჰიგრომეტრი ეწოდება იმიტომ, რომ მისი მუშაობა ეფუძნება ადამიანის ცხიმგაცლილი თმის ბეწვის თვისებას. მისი თვისებაა, რომ ჰაერის სინოტივის გაზრდისას ის წაგრძელებს, ხოლო შემცირებისას მოკლდება, რაც

გადაეცემა სკალაზე და ფიქსირდება ჰაერის შეფარდებითი სინოტივის მნიშვნელობა.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ორი განსხვავებული ტიპის ბარომეტრი- ატმოსფერული წნევის გამზომი ხელსაწყოები. ატმოსფეროს წნევა პირველად გაზომა ტორიჩელმა, ეს ფიზიკაში კარგად ცნობილი ტორიჩელის ცდაა. მან აიღო ერთი მეტრის სიგრძის მინის მილი, რომელიც ცალ მხრიდან იყო დახშული. ჩაასხა მასში ვერცხლისწყალი და ამოაპირქვა ფინჯანში, სადაც აგრეთვე ვერცხლისწყალი ესხა. მილიდან ვერცხლისწყლის ნაწილი ფინჯანში გადმოიღვარა, ხოლო ნაწილი მილში დარჩა. როდესაც გაზომეს ვერცხლისწყლის სვეტის სიგრძე მილში ის ზღვის დონეზე 760მმ აღმოჩნდა. ამით დამტკიცდა ატმოსფეროს წნევის არსებობა, ხოლო 760 მმ-ს ნორმალური წნევა ეწოდა. ზუსტად ამ პრინციპზეა შექმნილი თანამედროვე ბარომეტრები. ნახ.2 –ზე მარჯვნივ წარმოდგენილ ბარომეტრს ფინჯანიანი ბარომეტრი ეწოდება, ის ტორიჩელის ბარომეტრის ასლია, თუმცა მოდერნიზებული. რადგანაც წნევის ცვლილება დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ბარომეტრში ჩამონტაჟებულია თერმომეტრი. ბარომეტრიდან წნევის ანათვალთან ერთად აიღებენ თერმომეტრის ჩვენებასაც და სპეციალური ცხრილებიდან ანგარიშობენ წნევის ანათვალის შესაბამის შესწორებას. ასე გამოყავთ ატმოსფერული წნევის რეალური სიდიდე.

ნახ.3-ზე ნაჩვენებია პლუვიოგრაფი- ატმოსფერული ნალექების გამზომი ხელსაწყო. ხელსაწყოს ქვედა ნაწილში მოთავსებულია ფინჯანი, რომელშიც გროვდება მოსული ნალექი. დაკვირვების ვადაზე ნალექს გადმოღვრიან სპეციალურ მენზურაში და გაზომავენ მის რაოდენობას.



ნახ. 2. ბარომეტრი

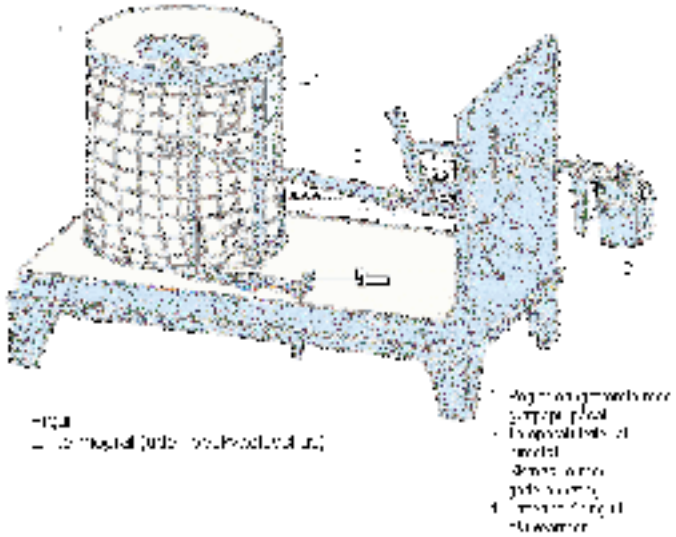
პლუვიოგრაფის ცენტრალურ ნაწილში მოჩანს ცილინდრისმაგვარი ნაწილი. ის საათის მექანიზმის საშუალებით ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო და ერთ ბრუნს 24 საათს ანდომებს. ცილინდრზე შემოსვეულია ბაფთა, ხოლო ბაფთაზე მიდებულია კალამი, რომელიც აფიქსირებს ნალექების ინტენსივობას დროის სხვადასხვა მომენტში. ამრიგად მთელი 24 საათის განმავლობაში ბაფთაზე იწერება ნალექების ინტენსივობის ცვლილება წვიმის განმავლობაში. როგორც ვხედავთ პლუვიოგრაფი არა მხოლოდ ნალექების გამზომი, არამედ ჩამწერი, ანუ თვითმწერი ხელსაწყოცაა.



ნახ. 3 . პლუვიოგრაფი

არსებობს ბევრი თვითმწერი ხელსაწყო, მაგალითად თერმოგრაფი - ტემპერატურის ჩამწერი, ჰიგროგრაფი - სინოტივის ჩამწერი, სეისმოგრაფი - მიწისძვრის ბიძგების ჩამწერი და ა.შ.

ნახ.4-ზე ნახვენებია თერმოგრაფის სქემა.

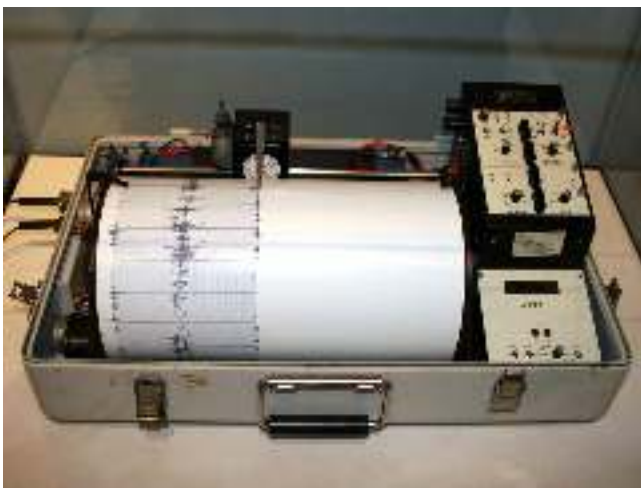


ნახ. 4. თერმოგრაფის სქემა

თერმოგრაფის პრინციპი აგრეთვე საათის მექანიზმზეა დამყარებული. სქემაზე 1-ით აღნიშნულია მბრუნავი ცილინდრი და მასზე შემოხვეული ბაფთა. ის 24 საათის განმავლობაში ასრულებს ერთ ბრუნს. 2-ით აღნიშნულია ხელსაწყოს მგრძნობიარე ნაწილი, რომელიც შეიგრძნობს ტემპერატურას. დათბობის დროს ის ფართოვდება, ხოლო აციებისას იკუმშება. ეს გადაეცემა ისარს (სქემაზე 3), რომელიც შესაბამის სიდიდეს აფიქსირებს ბაფთაზე. როდესაც

მოსხნიან ბაფთას, მასზე ჩანაწერი აჩვენებს ტემპერატურის სვლას მთელი დღეღამის განმავლობაში.

ნახ.5-ზე ნაჩვენებია მიწისძვრის ბიძგების ჩამწერი ხელსაწყო სეისმოგრაფი. კარგად ჩანს, თუ ბაფთაზე როგორ არის ჩაწერილი ბიძგები. ჩანაწერის დამუშავების შემდეგ აღგენენ მიწისძვრის ბიძგების მაგნიტუდას, ბალიანობას, ადგილმდებარეობას, სიღრმეს და სახვა პარამეტრებს.



ნახ. 5. სეისმოგრაფი

ვიზუალური დაკვირვება ნიშნავს იმას, რომ ამ შემთხვევაში ხელსაწყო არ გამოიყენება, არამედ დაკვირვება ხორციელდება მხედველობით, ანუ ვიზუალურად. ვიზუალური დაკვირვების მაგალითია დაკვირვება ღრუბლიანობაზე. მიღებულია, რომ თუ მთელი ცა დაფარულია ღრუბლებით ღრუბლიანობა 10 ბალით ფასდება. თუ ცა მთლიანად მოწმენდილია, მაშინ ღრუბლიანობა 0 ბალია, ხოლო თუ ნახევარი

ცა არის დრუბლებით დაფარული-დრუბლიანობა 5 ბალია და ა.შ.

ასევე ვიზუალურად აკვირდებიან ელჭექის მოვლენას. აფიქსირებენ მოვლენის დაწყებას, დასასრულს, ხანგრძლივობას, ინტენსივობას, განმუხტვის რაოდენობას და ა.შ.

ნისლზე დაკვირვების დროს აგრეთვე აგრეთვე აფიქსირებენ მოვლენის დასაწყისს და დასასრულს, აგრეთვე ხილვადობის სიშორეს. განსაკუთრებით სახიფათოა ნისლი თუ მხედველობის არე 50მ-ზე ნაკლებია. ის აფერხებს ტრანსპორტის მოძრაობას, ხშირდება ავტოკატასტროფები. ჩუდი ხილვადობა განსაკუთრებით სახიფათოა საავიაციო ტრანსპორტისთვის.

ხელსაწყოს საშუალებით ნებისმიერ გაზომვას გააჩნია თავისი ცდომილება, ანუ გაზომვის შეცდომა. არსებობს 2 კლასის შეცდომა- სისტემატიური და შემთხვევითი. სისტემატიური შეცდომები გამოწვეულია მრავალი მიზეზის გამო. ესენია მაგალითად ხელსაწყოს არასწორი რეგულირება ან გარემო პირობების შეცვლა, რამაც გავლენა მოახდინა გაზომვების შედეგებზე და სხვა. მაგალითად ხელსაწყოს არასწორმა რეგულირებამ შეიძლება გამოიწვიოს ათვლის წერტილის წანაცვლება, შესაბამისად ყველა გაზომვა წანაცვლებული იქნება მუდმივი სიდიდით. მეორე შემთხვევაში, გარემოს პირობების შეცვლა, მაგალითად ჰაერის ტემპერატურის შეცვლა, გავლენას ახდენს მგრძნობიარე ხელსაწყოს ჩვენებაზე. ასევე სისტემატიური ცდომილებები წარმოიქმნება მეტეოროლოგიურ დაკვირვებებში, თუ მეტეოროლოგიური სადგურის რაიონში შეიცვლება გეოგრაფიული პირობები, მაგალითად თუ გაიჩეხება, ან გაშენდება ტყე. ეს გავლენას მოახდენს კლიმატურ

ელემენტებზე, კერძოდ ქარის რეჟიმზე, ატმოსფერულ ნალექებზე, სინოტივეზე და ა.შ. თითოეული ასეთი მიზეზი განაპირობებს სისტემატიურ ცდომილებას. საჭიროა თითოეული მათგანის გამოკვლევა და გამორიცხვა.

სისტემატიური შეცდომების გამორიცხვის და, შესაბამისად, სპეციალური შესწორებების შეტანის შემდეგ რჩება შემთხვევითი შეცდომები. შემთხვევითი შეცდომა წარმოადგენს სხვადასხვა მცირე ცდომილებების ჯამს. ეს ცდომილება შეიძლება იყოს დადებითი, ან უარყოფითი მრავალი შემთხვევითი მიზეზის გამო. თუ ცდომილებები თანაბრად არიან გადახრილნი, როგორც დადებით ისე უარყოფით მიმართულებით, მაშინ ერთმანეთს აბათილებენ და შემთხვევითი შეცდომა მცირდება. ხოლო, თუ ყველა ცდომილება გადახრილია ერთი მიმართულებით, ამით საერთო შეცდომა იზრდება. შემთხვევითი შეცდომების გამორიცხვა დაკვირვებებიდან თითქმის შეუძლებელია.

გარკვეულწილად შესაძლებელია მათი გათვალისწინება თუ ცნობილია განაწილების ფუნქცია, ანუ მათემატიკური მოდელი.

აღნიშნული ცდომილებების მაქსიმალურად გათვალისწინების შემდეგ მიღებულ დაკვირვებათა რიგს ერთგვაროვან რიგს უწოდებენ.

ცხრილი 2. გაზომვების ცდომილებები

ცდომილება	მიზეზი
სისტემატიური	ხელსაწყოთა არასწორი რეგულირება ან გარემო პირობების შეცვლა, რამაც გავლენა მოახდინა გაზომვების შედეგებზე და სხვა. მაგალითად

	<p>ხელსაწყოს არასწორმა რეგულირებამ შეიძლება გამოიწვიოს ათვლის წერტილის წანაცვლება, შესაბამისად ყველა გაზომვა წანაცვლებული იქნება მუდმივი სიდიდით. მეორე შემთხვევაში, გარემოს პირობების შეცვლა, მაგალითად ჰაერის ტემპერატურის შეცვლა, გავლენას ახდენს მგრძობიარე ხელსაწყოს ჩვენებაზე.</p>
<p>შემთხვევითი</p>	<p>შემთხვევითი შეცდომა წარმოადგენს სხვადასხვა მცირე ცდომილებების ჯამს. ეს ცდომილება შეიძლება იყოს დადებითი, ან უარყოფითი მრავალი შემთხვევითი მიზეზის გამო. თუ ცდომილებები თანაბრად არიან გადახრილნი, როგორც დადებით ისე უარყოფით მიმართულებით, მაშინ ერთმანეთს აბათილებენ და შემთხვევითი შეცდომა მცირდება.</p>

2. მონაცემთა ბაზები

გეოგრაფიული დაკვირვებები საფუძვლად უდევს მონაცემთა ბაზების შექმნას. მონაცემთა ბაზა არის მონაცემების ნაკრები, რომელიც გამიზნულია ობიექტის ინფორმაციული მოდელების შესაქმნელად და გამოიყენება ინფორმაციის დამუშავებისათვის.

მონაცემთა ბაზების განსხვავებული ტიპებია ცნობილი (იხ.ცხრილი 3).

ცხრილი 3. მონაცემთა ბაზების ტიპები.

ტიპი	დახასიათება
ინვერტირებული სისტემები	მონაცემები ინახება ცხრილურ ფაილებში, რომლებიც წარმოდგენილია სტრიქონებისა და სვეტების სახით
იერარქიული სისტემები	იგი აგებულია იერარქიული ხის სახით, სადაც წარმოდგენილია ურთიერთდაკავშირებული დონეები.
ქსელური სისტემები	აქაც წარმოდგენილია ურთიერთდაკავშირებული დონეები, იმ განსხვავებით, რომ თითოეულ დონეს რამოდენიმე დონესთანა აქვს კავშირი.
რელაციური სისტემები	იგი წარმოდგენილია სტრიქონებისა და სვეტების სახით და აღწერს ურთიერთკავშირს “მრავალი-მრავალზე”

ასეთი მონაცემთა ბაზები შექმნილია მეტეოროლოგიურ და ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა

საფუძველზე გარემოს ეროვნულ სააგენტოში, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში, გეოგრაფიის ინსტიტუტში და სხვა.

კლიმატური მონაცემების მნიშვნელოვანი ბაზები შეიქმნა ჰიდრომეტეოროლოგიის და გეოგრაფიის ინსტიტუტებში გასული საუკუნის 90-იანი წლების დასაწყისში კლიმატის ცვლილების ეროვნული პროგრამის ფარგლებში. შექმნილი იყო ჰაერის ტემპერატურის, სინოტივის და ატმოსფერული ნალექების მონაცემთა ბაზები საქართველოში მოქმედი ყველა მეტეოროლოგიური სადგურისათვის მათი დაარსებიდან დაწყებული 1995 წლამდე.

მაგალითისათვის ცხრილში მოცემულია ჰაერის შეფარდებითი სინოტივის მონაცემთა ბაზის ფრაგმენტი თელავისათვის.

ცხრილი 4. ჰაერის შეფარდებითი სინოტივის(%) მონაცემთა ბაზის ფრაგმენტი (თელავი)

წელი	თვე												საშ.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1933	78	73	67	59	70	64	69	58	65	76	78	72	69
1934	82	60	69	73	70	62	63	62	66	73	77	66	68
1935	77	72	64	52	60	70	65	59	65	72	89	82	69
1936	62	73	69	72	80	69	70	62	69	71	83	72	71
1937	75	70	74	69	80	72	63	62	65	76	83	73	72
1938	70	68	63	64	74	62	52	52	59	68	67	90	66
1939	75	63	69	67	69	69	66	66	68	77	82	71	70
1940	79	77	60	74	78	72	66	43	65	74	77	67	69
1941	70	57	67	72	61	60	52	60	59	56	73	61	62
1942	66	82	66	65	76	63	66	64	75	78	80	75	71
1943	72	77	74	58	72	64	68	68	76	84	78	70	72
1944	66	62	57	67	72	72	72	75	73	82	76	80	71
1945	78	70	60	57	59	72	58	60	68	67	75	63	66

1946	68	58	71	62	77	69	62	61	56	71	69	81	67
1947	80	71	72	66	71	67	60	65	73	70	72	62	69
1948	65	65	67	64	67	66	62	54	76	71	72	71	67
1949	70	70	73	62	71	64	53	71	78	76	76	72	70
1950	66	73	68	52	66	67	59	55	58	71	75	77	66

ცხრილი 4-ის პირველ მარცხენა სვეტში ჩამოწერილია წლები 1933 დან 1950-მდე. პირველ სტრიქონში კი ჩამოწერილია თვეები 1-დან 12-მდე და საშუალო წლიური მნიშვნელობა. მათ გადაკვეთაზე შეგვიძლია მოვნახოთ ჰაერის შეფარდებითი სინოტივის მნიშვნელობა ნებისმიერი წლისა და თვისათვის.

მაგალითად, წარმოდგენილი ფრაგმენტიდან ჩანს, რომ ჰაერის საშუალო შეფარდებითი სინოტივე 1949 წლის მარტის თვეში თელავში 73% იყო, ხოლო 1947 წელს ჰაერის საშუალო წლიური სინოტივე 69% იყო და ა.შ.

მონაცემთა ბაზა შეიძლება მოცემული იყოს კათალოგის სახით, სადაც ნაჩვენებია ამ მოვლენის წარმოშობის თარიღი, დრო, ეპიცენტრი, მაქსიმალური ინტენსივობა, დაზიანების არე, სტიქიური უბედურების მასშტაბები (დაღუპულთა რიცხვი, ზარალი და სხვა). ასეთი კატალოგები შეიქმნა მ.ნოდლას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში ყველა ბუნებრივი კატასტროფული მოვლენისათვის. მათ მიეკუთვნება მიწისძვრა, ღვარცოფი, წყალდიდობა, მეწყერი, თოვლის ზვავი, თავსხმა წვიმა, გრიგალი, ნისლი, წაყინვა, ლიპკინული, გვალვა, ელჭექი, სეტყვა. ასეთი მონაცემთა ბაზები გამოიყენება ამ მოვლენათა შესასწავლად.

ცხრილში 5 ნაჩვენებია კატალოგის ფრაგმენტი წაყინვებისათვის. წაყინვა დახასიათებულია მინიმალური ტემპერატურით, რომელიც ჩამოწერილია ცხრილის მე-6 სვეტში. ირველ სვეტში წინა ცხრილის მსგავსად წლებია ჩამოწერილი, შემდეგ სვეტებში

თანმიმდევრულად თვე, რიცხვი, განედი, გრძედი (სადაც ადგილი ჰქონდა მოვლენას), შემდეგ სიდიდე, ანუ მინიმალური ტემპერატურე, სპეციალური სკალით განსაზღვრული მოვლენის ინტენსივობა, დაზიანების არე კვადრატულ კილომეტრებში და ადგილის სიმაღლე და კონკრეტული პუნქტი.

ცხრილი 5. კატალოგი წაყინვა

წელი	თვე	რიცხვი	განედი	გრძედი	სიდიდე	ინტენსივ.	დაზარე	სიმაღლე
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1961	4	15	42.12	44.49	-0.7	1	500	760ახალგორი
1961	4	16	42.12	44.49	-1	1	500	760ახალგორი
1961	9	22	41.85	42.33	-0.3	1	400	1926ბახმარო
1961	9	23	41.85	42.33	-0.5	1	400	1926ბახმარო
1961	10	24	41.85	43.41	-0.1	1	400	789ბორჯომი
1961	10	26	41.85	43.41	-1.6	2	800	789ბორჯომი
1961	10	27	41.85	43.41	-1.1	2	800	789ბორჯომი
1961	11	23	41.74	45.8	-1.8	2	600	415გურჯაანი
1961	11	24	42.27	42.63	-0.2	1	400	114კუთაისი
1961	11	25	41.74	45.8	-0.5	1	700	415გურჯაანი
1962	4	19	41.66	44.71	-1.9	2	800	1338კოდჯორი
1962	4	20	41.57	43.25	-0.2	1	400	1098ასპინჯა
1962	4	22	41.66	44.71	-1.9	2	400	1338კოდჯორი
1962	6	9	41.85	42.33	-1.1	2	400	1926ბახმარო

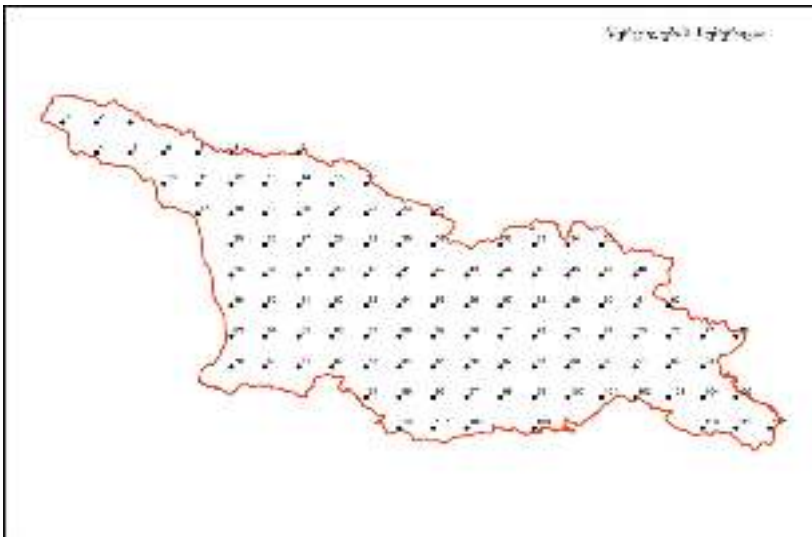
წარმოდგენილი კატალოგიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ, რომ 1962 წლის 19 აპრილს კოჯორში დაფიქსირდა წაყინვა სიდიდით მინუს 1.9⁰, რომლის ინტენსივობამ შეადგინა 2 ბალი. წაყინვის შედეგად დაზარალდა 800 კვადრატული კილომეტრი ფართობი.

2010 წელს გლობალური დათბობის პირობებში საქართველოს კლიმატის ცვლილების კვლევასთან დაკავშირებით ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში შეიქმნა ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მონაცემთა ახალი ბაზები 2008 წლამდე პერიოდისათვის. ამ ბაზიდან ფრაგმენტი თელავისათვის წარმოდგენილია ცხრილში 6.

ცხრილი 6. ჰაერის ტემპერატურის მონაცემთა ბაზის ფრაგმენტი (თელავი)

წელი	იანვარი	თებერვალი	მარტი	აპრილი	მაისი	ივნისი
1991	0.8	0.2	6.1	13	15.6	21.2
1992	-0.5	0.4	5.6	10.9	14.6	19.2
1993	-1.4	-0.2	6.6	11	15.6	19.5
1994	3	-0.3	6.8	12.8	16.5	19.3
1995	3.5	4.5	7.4	13.1	18.6	21.8
1996	1	2.5	4.2	9.8	18	19.4
1997	2.5	-0.4	3.7	12.3	17.4	20.5
1998	0.6	2.2	6.4	15.1	17	23.3
1999	3.2	5.5	7.2	11.8	14.6	20.2
2000	0.6	3.8	5.8	15.6	16.2	21.4
2001	1.7	4	8.7	13	15.3	21.1
2002	1.7	5.8	9.1	9.9	14.8	19.3
2003	1.7	2.5	3.1	8.5	17.5	19.5
2004	3.6	4.9	8.3	11.1	16.2	21.1
2005	2.3	2.1	6.4	12.4	17.1	19.4
2006	0.1	4.1	8.1	12	16.2	23.9
2007	2.5	2.9	5	8.7	17.4	20.9
2008	-0.8	-0.6	11.7	14.9	15.1	19.7

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში, ცალკეული მეტეოროლოგიური სადგურებისათვის მონაცემთა ბაზების გარდა, შეიქმნა ტემპერატურის და ნალექების უნიკალური ბაზები საქართველოს ტერიტორიაზე თანაბრად 25კმ დაშორებით განლაგებული წერტილებისათვის, სადაც მეტეოროლოგიური დაკვირვებები არ წარმოებს (იხ.ნახ. 6).



ნახ. 6. მონაცემთა ბაზების ბადე

ნახ.6-ზე მოცემული რუკის ბადის ყველა 112 –ვე წერტილისათვის შექმნილია მონაცემთა ბაზები, დიდ ბრიტანეთში, საფრანგეთში, სვეიცარიაში და ევროპის და მსოფლიოს სხვა ქვეყნებში შექმნილ ანალოგიურ ბაზებთან ერთად დედამიწის ბაღურ მონაცემებს.

3. გეოგრაფიულ დაკვირვებათა პირველადი სტატისტიკური დამუშავების მეთოდები

ყოველივე ინფორმაცია, მიღებული როგორც ინსტრუმენტული, ისე ვიზუალური დაკვირვებებიდან, მათ შორის ექსპერიმენტებიდან, მოითხოვს შესაბამის გაანალიზებას და განზოგადლებას. ამისათვის კი გამოიყენება მათემატიკური მეთოდები, უპირველეს ყოვლისა კი-მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მიდგომები.

ვთქვათ ჩავატარეთ დაკვირვებები რაიმე **X** მოვლენაზე და **n** დაკვირვების შემდეგ მივიღეთ შემდეგი მონაცემები:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n. \quad (1)$$

რიგს, რომელიც შედგენილია დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე დაკვირვებათა რიგი, ან მწკრივი ეწოდება. იმის და მიხედვით, თუ რა თანმიმდევრობით არის დაკვირვებათა რიგში განლაგებული მისი შემადგენელი ელემენტები, განასხვავებენ ქრონოლოგიურ და რანჟირებულ რიგს. ქრონოლოგიურს ეწოდებენ დაკვირვებათა რიგს, თუ ის შედგენილია ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით, ანუ ჩატარებულ დაკვირვებათა თანმიმდევრობით. ხშირად საჭიროა რიგი წარმოვადგინოთ მისი ელემენტების ზრდადობის ან კლებადობის მიხედვით, მაშინ მას რანჟირებულს ეწოდებენ.

ცხრილში 7 წარმოდგენილია იანვრის თვეში მოსული ატმოსფერული ნალექების ჯამების ქრონოლოგიური და რანჟირებული რიგები თბილისის მონაცემებით.

ცხრილი 7. იანვრის თვეში მოსული ატმოსფერული ნალექების ჯამების ქრონოლოგიური და რანჟირებული რიგები (თბილისი)

ქრონოლ.	მმ	რანჟირებ.	მმ
1990	23	2006	45
1991	33	1991	33
1992	18	1993	32
1993	32	2008	29
1994	15	2000	24
1995	7	1990	23
1996	12	1992	18
1997	6	1994	15
1998	10	2004	15
1999	1	1996	12
2000	24	2005	11
2001	7	1998	10
2002	9	2002	9
2003	4	1995	7
2004	15	2001	7
2005	11	1997	6
2006	45	2003	4
2007	3	2007	3
2008	29	1999	1

როგორც ვხედავთ ცხრილის მარცხენაწილში წარმოდგენილია ქრონოლოგიური რიგი, ხოლო მარჯვენა ნაწილში იგივე რიგი წარმოდგენილია ნალექების კლებადობის მიხედვით, ეს არის რანჟირებული რიგი.

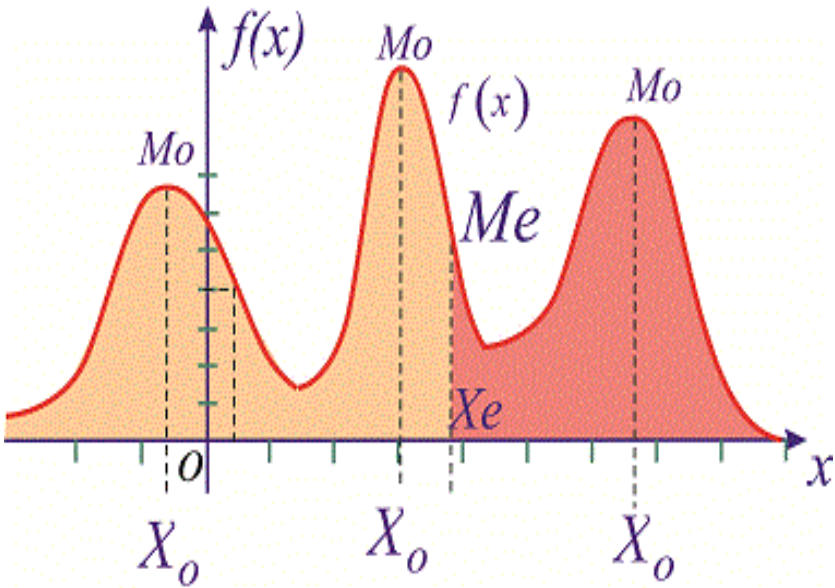
დაკვირვებათა რიგი თავისთავად შეიცავს უამრავ ინფორმაციას ამ მოვლენის შესახებ. ამ ინფორმაციის გამოსახატავად გამოიყენება მათემატიკური სტატისტიკის და ალბათობის თეორიის ცნობილი მეთოდები.

ნებისმიერი გეოგრაფიული დაკვირვებათა რიგის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია მისი ათემატიკური მოლოდინი, ანუ საშუალო მნიშვნელობა. ცხადია, იმისათვის, რომ შევაფასოთ დაკვირვებათა რიგის საშუალო მნიშვნელობა, საჭიროა შევკრიბოთ მისი წევრები და გავყოთ დაკვირვებათა რიცხვზე:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{საშ} &= (\sum x_i) / n = \\ &= (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n \end{aligned} \quad (2)$$

სადაც $\bar{x}_{საშ}$ - მოვლენის საშუალო მნიშვნელობაა, მას მათემატიკურ მოლოდინსაც უწოდებენ. n - დაკვირვებათა რიცხვია, ანუ დაკვირვების რიგის სიგრძე.

ხშირად საშუალო სიდიდესთან ერთად დაკვირვებათა რიგის დასახასიათებლად გამოიყენებენ მედიანას და მოდას. მედიანა (**Me**) წარმოადგენს დაკვირვებათა მონაცემების ცენტრალურ მნიშვნელობას, დაკვირვებათა ერთი ნახევარი მასზე ნაკლებია, ხოლო ზუსტად მეორე ნახევარი მასზე მეტია. მოდა (**Mo**) წარმოადგენს მონაცემების ყველაზე უაღბათეს მნიშვნელობას (იხ. ნახ. 7).



ნახ. 7. განაწილების მედიანა და მოდა

საშუალო მნიშვნელობა დაკვირვებათა რიგის ყველაზე მოხერხებული მახასიათებელია, მას რიგი უპირატესობა გააჩნია მედიანასა და მოდასთან. მაგრამ ამავე დროს ის არ არის საკმარისი დაკვირვებათა რიგის, ანუ მოვლენის სრულფასოვანი დახასიათებისათვის. დაკვირვებებს გააჩნია უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები, ანუ მაქსიმუმი (X_{max}) და მინიმუმი (X_{min}). სხვაობას მათ შორის ამპლიტუდა ეწოდება:

$$B = (X_{max}) - (X_{min}) \quad (3)$$

ამპლიტუდა არის მონაცემების გაბნევის უხეში საზომი. მისი სიდიდე დამოკიდებულია დაკვირვების

რიცხვზე, მაკვირვებათა რაოდენობის გაზრდით ამპლიტუდაც მატულობს.

ცხრილი 7-ის თანახმად 1990-დან 2008 წლამდე პერიოდის განმავლობაში თბილისში იანვრის თვეში მოსული ნალექების მაქსიმუმმა 45მმ, ხოლო მინიმუმმა- 1მმ შეადგინა. ამრიგად ამპლიტუდამ 44მმ შეადგინა.

საშუალო, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, აგრეთვე ამპლიტუდა არ არის საკმარისი დაკვირვებათა მონაცემების სრულფასოვანი დახასიათებისათვის. საშუალო მნიშვნელობის მიმართ დაკვირვებათა მონაცემების გაბნევას ახასიათებენ აგრეთვე საშუალო გადახრით, საშუალო კვადრატული გადახრით, ვარიაციის, ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტებით.

დაკვირვებათა რიგის საშუალო არითმეტიკული გადახრა გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$V = \sum(x_i - x_{საშ})/n \quad (4)$$

სადაც x_i - დაკვირვებათა რიგის i -ური წევრია, ხოლო $x_{საშ}$ რიგის საშუალო მნიშვნელობაა, ხოლო n - დაკვირვებათა რიგის სიგრძეა.

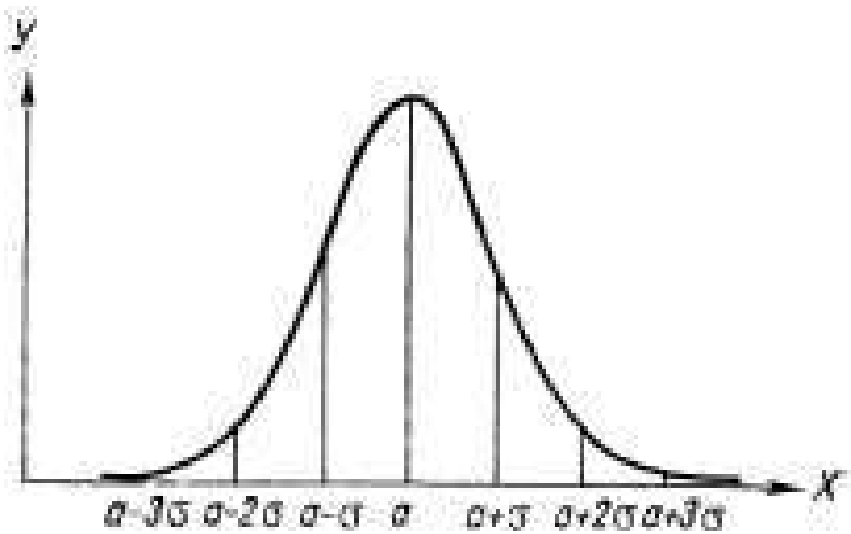
ამ სიდიდეს პრაქტიკაში დიდი გამოყენება არა აქვს, რადგანაც დადებითმა და უარყოფითმა გადახრებმა შესაძლოა ერთმანეთი გააწონასწოროს და თანაბარი დადებითი და უარყოფითი გადახრების პირობებში ნული იყოს.

დაკვირვებათა მონაცემების დროში გაბნევის დასახასიათებლად უფრო მიზანშეწონილია

გამოვიყენოთ საშუალო კვადრატული გადახრა, რომელიც გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$S = [\sum(x_i - \bar{x})^2 / n]^{1/2} \quad (5)$$

საშუალო კვადრატულ გადახრას დაკვირვებათა რიგის დასახასიათებლად ისეთივე დიდი მნიშვნელობა აქვს, როგორც მის საშუალო მნიშვნელობას.



ნახ. 8. საშუალო კვადრატული გადახრის საზღვრები

ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია მარტივი განაწილება, როდესაც საშუალოდან დადებითი და უარყოფითი გადახრები თანაბარია. ამ შემთხვევაში საშუალო მნიშვნელობა, მოდა და მედიანა ერთი და იგივეა. გრაფიკიდან ჩანს აგრეთვე, რომ საშუალოდან, როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი გადახრები

საშუალო კვადრატული გადახრის სამჯერად საზღვრებში თავსდება.

დღეისათვის მიღებულია საშუალო კვადრატული გადახრები მთელი რიგი კლიმატური ელემენტებისათვის. მათი სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ადგილის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებზე. მაგალითად, ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურის საშუალო კვადრატული გადახრა ადგილის სიმაღლის შემცირებასა და ზღვასთან მიახლოებისას მცირდება.

ეს აიხსნება სითბური ბალანსის თავისებურებებით: ზღვის სანაპიროზე სითბოს მნიშვნელოვანი მოდენა, ტემპერატურული ველის შედარებითი ერთგვაროვნება და ზღვის მასტაბილიზირებელი მოქმედება განაპირობებს ტემპერატურის მცირე ცვლილებას. სიმაღლის გაზრდით ირღვევა ერთგვაროვნების პირობა, აგრეთვე სუსტდება ზღვის მოქმედება, რაც განაპირობებს ტემპერატურის დისპერსიის გაზრდას.

საშუალო კვადრატული გადახრის კვადრატს დისპერსიას უწოდებენ, ხოლო საშუალო კვადრატული გადახრის შეფარდებას მათემატიკურ მოლოდინთან ვარიაციის კოეფიციენტს უწოდებენ:

$$C=S/x_{საშ} \quad (6)$$

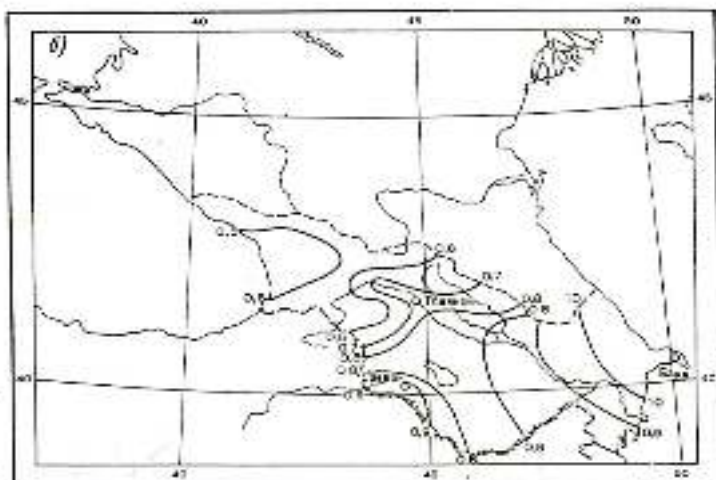
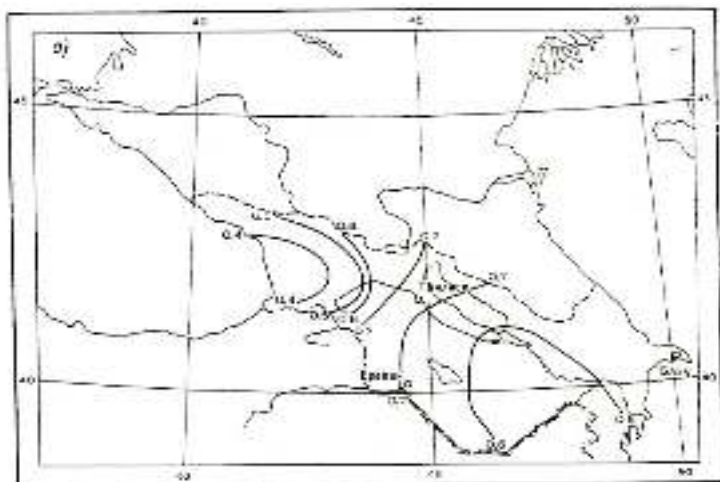
ვარიაციის კოეფიციენტი წარმოადგენს მოვლენის საშუალო კვადრატული გადახრის ნორმირებულ მნიშვნელობას, ამიტომაც დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს დაკვირვებათა რიგების შედარებისას.

ამიერკავკასიის პირობებში ჰაერის საშუალო დღეღამური და თვიური ტემპერატურის ვარიაციის

კოეფიციენტების შედარებით დაბალი მნიშვნელობები აღინიშნება საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროზე, კოლხეთის და ლენქორანის დაბლობებზე. ადგილის სიმაღლის გაზრდით ვარიაციის კოეფიციენტი იზრდება და აღწევს მაქსიმუმს ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლეზე, ანუ იმ სიმაღლეზე სადაც ტემპერატურა უტოლდება 0⁰-ს. ნულოვანი იზოთერმის მაღლა ვარიაციის კოეფიციენტი თანდათან მცირდება.

ნახ. 9-ზე წარმოდგენილია ატმოსფერული ნალექების იანვრის და ივლისის თვიური ჯამების ვარიაციის კოეფიციენტების რუკები ამიერკავკასიის ტერიტორიისათვის.

როგორც რუკებიდან ჩანს, ნალექების ჯამების ვარიაციის კოეფიციენტი მჭიდრო კავშირშია კლიმატის არიდზაციის ხარისხთან. კერძოდ, შავი ზღვის სანაპიროზე და კოლხეთში, სადაც ნალექების დიდი რაოდენობა მოდის და კლიმატი ჰუმიდურია, ნალექების ვარიაციის კოეფიციენტი დაბალია და 0.6-ს არ აღემატება. აღმოსავლეთის მიმართულებით ნალექების რაოდენობა კანონზომიერად კლებულობს, შესაბამისად მცირდება ვარიაციის კოეფიციენტიც და უმცირეს მნიშვნელობებს ზერბაიჯანის ბტერიტორიაზე მკვეთრად არიდულ კლიმატურ ზონაში დებულობს.



ნახ. 9. ატმოსფერული ნალექების ვარიაციის კოეფიციენტი: ა)-იანვარი; ბ)-ივლისი

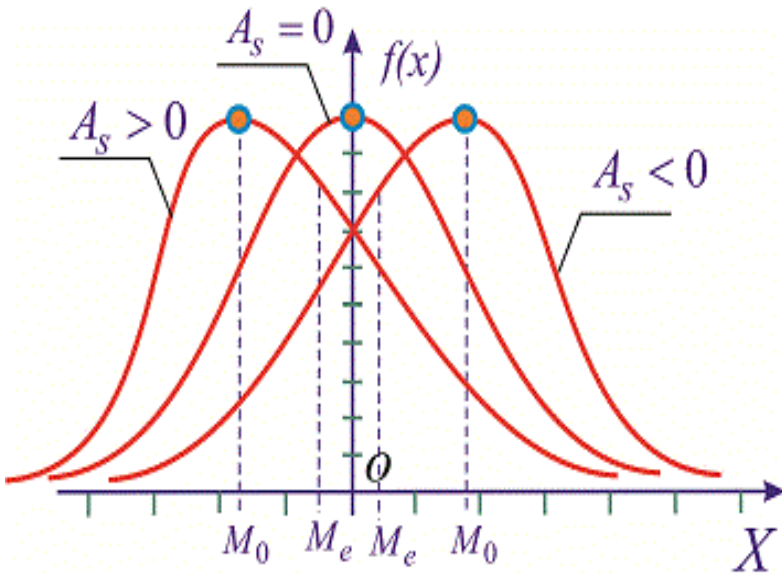
ზემოთ განხილული მახასიათებლების გარდა იშვიათად მიმართავენ აგრეთვე შედარებით მაღალი რიგის მომენტებს-ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტებს. ასიმეტრიის კოეფიციენტს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$A=(1/nS^3) \sum (x_i - x_{საშ})^3 \quad (7)$$

ასიმეტრიის კოეფიციენტი უჩვენებს განაწილების სიმეტრიულობის ხარისხს. კერძოდ მკაცრად სიმეტრიული განაწილებისთვის $A=0$ (იხ. ნახ. 10). ამ დროს საშუალო მნიშვნელობა, მედიანა და მოდა ერთმენეთის ტოლია. თუ $A>0$ მაშინ იტყვიან, რომ მარჯვენა ასიმეტრიულობაა, ე.ი. საშუალო სიდიდე უდიდეს მნიშვნელობაზე, ანუ მოდაზე ნაკლებია. შებრუნებული სურათია მარცხენა ასიმეტრიულობის დროს, როდესაც $A<0$. ამ დროს საშუალო სიდიდე აღემატება მოდას. გეოგრაფიულ კვლევებში მიღებულია, რომ თუ ასიმეტრია ნაკლებია 0,25-ზე, ის მცირეა, თუ მერყეობს 0,25-სა და 0,50-ს შორის-ზომიერია, ხოლო თუ აღემატება 0,50-ს მაშინ დიდია.

ჰერის საშუალო თვიური ტემპერატურის ასიმეტრიის კოეფიციენტი იცვლება 0,2-0,5-ფარგლებში, რასაც უმნიშვნელო და ზომიერ ასიმეტრიას უწოდებენ.

ატმოსფერული ნალექების ასიმეტრია დადებითია და უმთავრესად არ აღემატება 0,5-ს. მკვეთრი ასიმეტრია დამახასიათებელია მშრალი რაიონებისათვის.



ნახ. 10. განაწილების ასიმეტრია

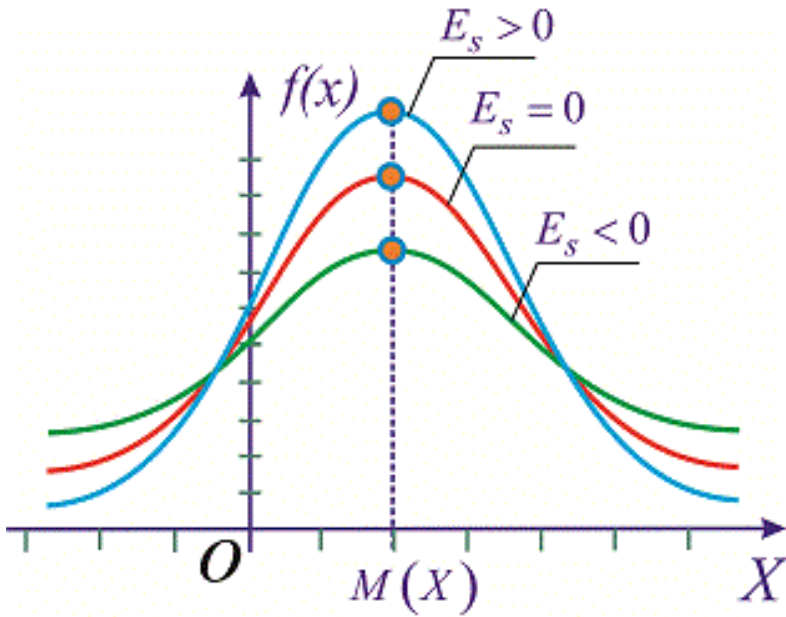
დაკვირვებათა მონაცემების განაწილების სიმრუდეს ახასიათებენ ექსცესის კოეფიციენტი:

$$E = (1/nS^4) \sum (x_i - x_{საშ})^4 - 3 \quad (8)$$

სადაც S - საშუალო კვადრატული გადახრაა, ხოლო n - დაკვირვებათა რიცხის სიგრძეა.

ექსცესის კოეფიციენტი უჩვენებს თუ რამდენად ამოზნექილია, ან ჩაზნექილი განაწილება (ნახ. 11).

მრუდის ნორმალური ჩაზნექილობის პირობებში $E=0$. თუ $E>0$ მაშინ იტყვიან, რომ განაწილება ამოზნექილია, ხოლო თუ $E<0$ - განაწილება ჩაზნექილია.



ნახ. 11. განაწილების ექსცესი

ექსცესის კოეფიციენტი იცვლება მინუს 2-დან უსასრულობამდე. როდესაც მისი მნიშვნელობა ახლოსაა მინუს 2-თან განაწილების მრუდი გარდაიქმნება ბიმოდალურში, ანუ მას 2 მაქსიმუმი ექნება, ხოლო თუ ის გაუტოლდება მინუს 2-ს, მაშინ ეს განაწილება გაიყოფა 2 მრუდად.

ჰერის საშუალო თეორი ტემპერატურის ექსცესის კოეფიციენტი ერთზე ნაკლებია, ანუ ექსცესი სუსტია.

ატმოსფერული ნალექების ექსცესის კოეფიციენტი მერყეობს 0,5-1,5 ფარგლებში. ექსცესის დიდი მნიშვნელობები დამახასიათებელია ღრუბლიანობისთვის.

4. სტატისტიკური მახასიათებლების პრაქტიკული გაანგარიშება

ზემოდ განხილული მახასიათებლების გაანგარიშება, რაც გეოგრაფიულ დაკვირვებათა მონაცემების პირველად ანალიზს შეადგენს, ხდება სპეციალური პროგრამების შესაბამისად კომპიუტერზე. ეს განსაკუთრებით ხელსაყრელია მაშინ, როდესაც დაკვირვებათა დიდი მასივები გვაქვს. მონაცემთა ბაზებიდან ხდება ყველა სტატისტიკური მახასიათებლის კომპიუტერული გაანგარიშება. შედარებით მოკლე რიგებისათვის კი მათი გამოთვლა შესაძლებელია ხელით ცხრილური ხერხის გამოყენებით, როგორც ეს ნაჩვენებია ცხრილში 8.

ცხრილი 8. სტატისტიკური მახასიათებლების გაანგარიშების ცხრილური ხერხი

1	2	3	4	5
x_1	$x_1 - x_{საშ}$	$(x_1 - x_{საშ})^2$	$(x_1 - x_{საშ})^3$	$(x_1 - x_{საშ})^4$
x_2	$x_2 - x_{საშ}$	$(x_2 - x_{საშ})^2$	$(x_2 - x_{საშ})^3$	$(x_2 - x_{საშ})^4$
x_3	$x_3 - x_{საშ}$	$(x_3 - x_{საშ})^2$	$(x_3 - x_{საშ})^3$	$(x_3 - x_{საშ})^4$
.				
x_n	$x_n - x_{საშ}$	$(x_n - x_{საშ})^2$	$(x_n - x_{საშ})^3$	$(x_n - x_{საშ})^4$
$\sum x_i$	$\sum (x_i - x_{საშ})$	$\sum (x_i - x_{საშ})^2$	$\sum (x_i - x_{საშ})^3$	$\sum (x_i - x_{საშ})^4$
$x_{საშ} = \frac{\sum x_i}{n}$	$V = \frac{\sum (x_i - x_{საშ})}{n}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{საშ})^2}{n}}$	$A = \frac{\sum (x_i - x_{საშ})^3}{n}$	$E = \frac{\sum (x_i - x_{საშ})^4}{n} - 3$

ცხრილის პირველ სვეტში წარმოდგენილია დაკვირვებათა რიგის ელემენტები- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. ამავე სვეტის ბოლოსწინა სტრიქონში ეს

ელემენტები დაჯამებულია($\sum x_i$), ხოლო ბოლო სტრიქონში ეს ჯამი გაყოფილია დაკვირვებათა რიგზე(n) და მიღებულია საშუალო მნიშვნელობა ($x_{საშ} = \sum x_i / n$). ცხრილის მეორე სვეტში ჩამოწერილია სხვაობები რიგის თითოეულ ელემენტსა და მის საშუალო მნიშვნელობას შორის. ბოლოსწინა სტრიქონში მეორე სვეტი დაჯამებულია ($\sum(x_i - x_{საშ})$), ხოლო ამავე სტრიქონში მისი დაკვირვებათა რიგზე გაყოფით მიღებულია რიგის საშუალო გადახრა ($V = \sum(x_i - x_{საშ})/n$). ცხრილი 8-ს მესამე, მეოთხე და მეხუთე სვეტებში –მეორე სვეტის ელემენტები($x_i - x_{საშ}$) შესაბამისად აყვანილია კვადრატში, კუბში და მეოთხე ხარისხში. თითოეული სვეტის ელემენტები ბოლოსწინა სტრიქონში დაჯამებულიაჯამდება და ამ ჯამების საფუძველზე (2-8)-ფორმულების გამოიყენებით დაანგარიშებულია დაკვირვებათა რიგის საშუალო კვადრატული გადახრა(), ასიმეტრიის() და ექსცესის კოეფიციენტები().

მაგალითი. ზემოდ ჩამოყალიბებული მიდგომის საფუძველზე მოვახდინოთ ჰაერის ტემპერატურაზე ჩატარებული დაკვირვებების პირველადი ანალიზი. ცხრილი 9-ში, პირველ სვეტში ჩამოწერილია ჰაერის ტემპერატურაზე დაკვირვების 5 მონაცემი, ე.ი. $n=5$.

ცხრილი 9. ჰაერის ტემპერატურის რიგის პირველადი ანალიზი

T	T-T _{საშ}	(T-T _{საშ}) ²	(T-T _{საშ}) ³	(T-T _{საშ}) ⁴
---	--------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

4	-2	4	-8	16
7	1	1	1	1
5	-1	1	-1	1
5	-1	1	-1	1
9	3	9	27	81
$\Sigma T_i=30$	0	16	18	100
$T_{საშ}=6$	0	1.8	0.63	-1.1

ცხრილის ბოლოსწინა სტრიქონში დაჯამებულია თითოეული სვეტის ელემენტები ($\Sigma T_i = 30$) და გამოანგარიშებულია საშუალო ტემპერატურა ($T_{საშ}=30/5=6$).

ცხრილი 9-ს მეორე, მესამე, მეოთხე და მეხუთე სვეტებში ჩამოწერილია სხვაობები ($T-T_{საშ}$), შესაბამისად პირველ, მეორე, მესამე და მეოთხე ხარისხში. მ სვეტების ელემენტები დაჯამებულია და წარმოდგენილია ცხრილის ბოლოსწინა სტრიქონში. ოლო სტრიქონში კი (2-8)-ფორმულების თანახმად გამოანგარიშებულია ტემპერატურის რიგის სტატისტიკური მახასიათებლები:

$$V=0/5=0;$$

$$S=(16/5)^{1/2}=(3,2)^{1/2}=1.8;$$

$$C=S/a_{საშ} = 1.8/6=0,3;$$

$$A=(1/5*(1.8)^3*18=0.63;$$

$$K=(1/5*(1.8)^4*100-3=1.9-3=-1,1.$$

ამრიგად, ცხრილში 9 წარმოდგენილი დაკვირვებების პირველადი ანალიზის საფუძველზე მივიღეთ, რომ ჰაერის საშუალო ტემპერატურა უდრის 6^0 -ს, მისი საშუალო გადახრა-0-ს, საშუალო

კვადრატული გადახრა-1,8⁰-ს, ვარიაციის კოეფიციენტი-0,3-ს, ასიმეტრიის კოეფიციენტი- 0,63-ს, ხოლო ექსცესის კოეფიციენტი-მინუს 1,1-ს.

5. საშუალო მნიშვნელობათა შედარება

სხვადასხვა სტაციონარული, საველე, თუ ექსპერიმენტული დაკვირვებების ჩატარების დროს ერთი და იგივე მოვლენის გაზომვისას ხშირად მიიღება საშუალო სიდიდეების სხვადასხვა მნიშვნელობა. ისმის კითხვა არსებითია, თუ შემთხვევით ხასიათს ატარებს ეს სხვაობა. ეს სახითხი განსაკუთრებით აქტუალური გახდა თანამედროვე გლობალური დათბობის პირობებში, როდესაც საჭიროა შედარდეს ტემპერატურაზე დაკვირვებათა ორი რიგი, ვთქვათ გლობალური დათბობის დაწყებამდე და გლობალური დათბობის დროს. კიდევ ბევრი მაგალითის მოყვანა შეიძლება, როდესაც კლიმატოლოგიის სხვადასხვა ამოცანების განხილვისას საჭიროა სხვადასხვა სადგურების რიგების, ან განსხვავებული პერიოდების შედარება. ამ საკითხის გადასაწყვეტად მიმართავენ სხვადასხვა კრიტერიუმებს, მათ შორის ერთერთი ყველაზე საიმედო და პრაქტიკაში გავრცელებულია სტიუდენტის კრიტერიუმი.

ვთქვათ ერთი ტიპის ორი სხვადასხვა დაკვირვებათა სერიის შედგენად მივიღეთ მათემატიკური მოლოდინის (საშუალო მნიშვნელობა) და მისი შესაბამისი საშუალო კვადრატული გადახრის შემდეგი მნიშვნელობები:

$$x_1, S_1 \quad \text{და} \quad x_2, S_2.$$

ვთქვათ პირველი ექსპერიმენტის დროს ჩატარდა n_1 გაზომვა, ხოლო მეორე ექსპერიმენტის დროს- n_2 გაზომვა.

ანგარიშობენ სტიუდენტის კრიტერიუმს:

$$t = (x_1 - x_2) / \left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right) \quad (9)$$

შემდეგ, სპეციალურ ცხრილებში ეძებენ t -ს კრიტიკულ მნიშვნელობას შესაბამისი თავისუფლების ხარისხისათვის. თავისუფლების ხარისხი უდრის:

$$K = n_1 + n_2 - 2 \quad (10)$$

თუ აღმოჩნდა, რომ სტიუდენტის კრიტერიუმის გამოთვლილი მნიშვნელობა აღემატება ცხრილიდან აღებულ მის კრიტიკულ მნიშვნელობას, მაშინ განსხვავება საშუალო მნიშვნელობებს შორის არ არის შემთხვევითი, ის არსებითია. ხოლო, თუ კრიტერიუმის გამოთვლილი მნიშვნელობა ნაკლებია მის კრიტიკულ მნიშვნელობაზე, განსხვავება საშუალო მნიშვნელობებს შორის შემთხვევით ხასიათს ატარებს და შეიძლება ჩაითვალოს, რომ $x_1 = x_2$.

ცხრილში 10-ში წარმოდგენილია სტიუდენტის პარამეტრის კრიტიკული მნიშვნელობების ფრაგმენტი თავისუფლების ხარისხის ზოგიერთ მნიშვნელობაზე (K) და მის შესაბამის ალბათობაზე (P) დამოკიდებულებით.

ცხრილი 10. სტიუდენტის პარამეტრის კრიტიკული მნიშვნელობები

K	P			
	0.95	0.98	0.99	0.999
50	2.008	2.403	2.677	3.497
60	2.000	2.390	2.660	3.460
70	1.995	2.381	2.648	3.436
80	1.990	2.374	2.639	3.416
90	1.987	2.368	2.632	3.401
100	1.984	2.364	2.626	3.391

მაგალითი. ვთქვათ ჩავატარეთ გაზომვათა 2 სერია: $n_1=25$ და $n_2=50$. $x_1=23,56$, $x_2=22,80$, ხოლო $S_1=S_2=1,20$.

მაშინ (9) ფორმულის თანახმად $t=2,59$, ხოლო თავისუფლების ხარისხი (10) ფორმულის თანახმად იქნება:

$$K = n_1 + n_2 - 2 = 25 + 50 - 2 = 73 \quad (11)$$

ცხრილი 10-ის თანახმად $K=70$ თავისუფლების ხარისხისათვის სტიუდენტის კრიტერიუმის გამოთვლითი მნიშვნელობა ($t=2,59$) აღემატება ცხრილში მოცემულ კრიტიკულ მნიშვნელობას $P=0,98$ ალბათობის დონეზე ($t=2,381$), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ განსხვავება საშუალო მნიშვნელობებს შორის არსებითია და უზრუნველყოფილია $0,98$ ალბათობის დონეზე. ამრიგად ამ შემთხვევაში გვაქვს 2 სხვადასხვა რიგი.

თუ იგივე საკითხს განვიხილავთ $0,99$ ალბათობის დონეზე, რომლისთვისაც სტიუდენტის კრიტიკული

მნიშვნელობა ცხრილი10-ის თანახმად შეადგენს ($t=2,648$), და აღემატება მისივე გამოთვლილ მნიშვნელობას($t=2,59$), შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ **0.99** ალბათობის დონეზე განსხვავება საშუალო მნიშვნელობებს შორის შემთხვევით ხასიათს ატარებს.

6. დაკვირვებათა რიგის ემპირიული მოდელი

ბუნების მოვლენაზე დაკვირვებათა რიგის სრულყოფილი ანალიზისათვის არ არის საკმარისი ჩვენს მიერ განხილული რიგის სტატისტიკური მახასიათებლები, ანუ მისი საშუალო მნიშვნელობა, საშუალო კვადრატული გადახრა, ვარიაციის, ასიმეტრიის, ექსცესის კოეფიციენტები და სხვა. საჭიროა ვიცოდეთ ამა თუ იმ მოვლენის ცალკეულ მნიშვნელობათა განაწილების მთელი სპექტრი. ამისათვის ანგარიშობენ მოვლენის ცალკეულ სიდიდეთა ალბათობებს და აგებენ განაწილების ემპირიულ მრუდს, რითაც ფაქტიურად ქმნიან ემპირიულ მოდელს. სიტყვა “ემპირიკა” აღნიშნავს ცდას, ხოლო ემპირიული მოდელი გულისხმობს ცდებით, ანუ დაკვირვებებთა (გაზომვათა) მონაცემების საფუძველზე შექმნილ მოდელს.

ვთქვათ გვაქვს რაიმე **X** მოვლენაზე **n** სიგრძის დაკვირვებათა რიგი. ვთქვათ ამ დაკვირვებათა რიგში **X1**-სიდიდე განმეორდა **n1**-ჯერ, **X2**-სიდიდე განმეორდა **n2**-ჯერ, **X3**-სიდიდე – **n3**-ჯერ და ა.შ., **Xn**-სიდიდე განმეორდა **nn**-ჯერ.

n1, n2, n3, nn –ს აბსოლუტურ სიხშირეს უწოდებენ. ცხადია, რომ $n_1+n_2+n_3+ \dots + n_n = n$.

თითოეული სიდიდის ალბათობის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა მისი შესაბამისი აბსოლუტური სიხშირე გავყოთ დაკვირვებათა საერთო რიცხვზე. ანუ, თუ ალბათობას ავლნიშნავთ **P**-თი, მაშინ მოვლენის ნებისმიერი **i**-ური სიდიდის ალბათობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_i = n_i/n \quad (12)$$

პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისას, ემპირიული მოდელის შესადგენად, ალბათობებს ანგარიშობენ შემდეგი სახის ცხრილის გამოყენებით. ალბათობა შეიძლება გამოისახოს აგრეთვე %-ში.

ცხრილი 11. ალბათობათა გაანგარიშება ემპირიული მოდელისათვის

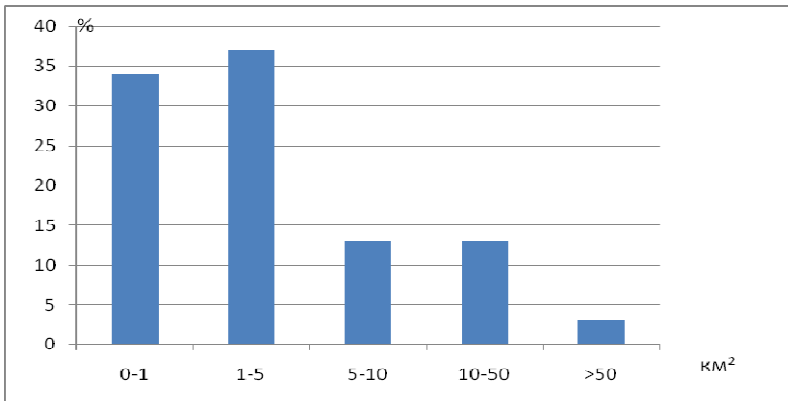
X_i	n_i	P_i
X ₁	n ₁	n ₁ /n
X ₂	n ₂	n ₂ /n
X ₃	n ₃	n ₃ /n
.	.	.
X _n	n _n	n _n /n
ჯამი	n	1

როგორც ვხედავთ, ცხრილის პირველ სვეტში ჩამოწერილია მოვლენის კონკრეტული მნიშვნელობები, მეორე სვეტში – მათი შესაბამისი აბსოლუტური სიხშირეები, ხოლო მესამე სვეტში – შესაბამისი ემპირიული ალბათობები. ცხადია, რომ

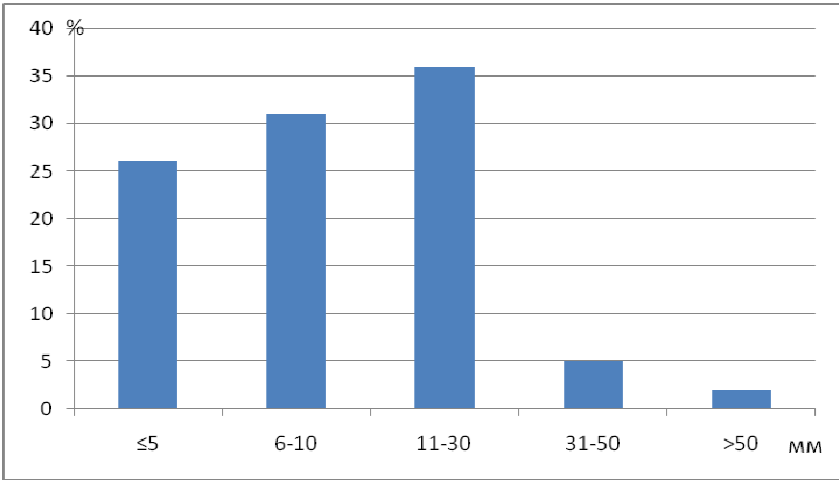
$$n_1/n + n_2/n + n_3/n + \dots + n_n/n = 1 \quad (13)$$

ცხრილი 11-ის მონაცემები გამოხატავს მოვლენის სიდიდეთა ალბათობების განაწილების მთელ სპექტრს, ანუ ის წარმოადგენს ამ მოვლენის ემპირიულ მოდელს. ცხრილის მონაცემების საფუძველზე შეგვიძლია ავაგოთ ავაგოთ დიაგრამა, რომელიც გამოსახავს ამ მოვლენის ემპირიული განაწილების ფუნქციას. ასეთი ფუნქციის სახე დამოკიდებულია თვით მოვლენის ბუნებაზე.

ნახ. 12 და ნახ.13-ზე წარმოდგენილია სხვადასხვა კლიმატური პარამეტრის ემპირიული მოდელი.



ნახ. 12. სეტყვის შედეგად სრულად დაზიანებული არელების განმეორადობის მოდელი(კვ.კმ)



ნახ. 13. სეტყვის დროს მოსული სხვადასხვა სიდიდის ნალექების განმეორადობის მოდელი(მმ)

ნახ. 12 გამოსახავს სეტყვის დროს სრულად დაზიანებული არეალების განმეორადობას. მოდელის თანახმად სეტყვის შემთხვევაში ყველაზე ხშირად ზიანდება ტერიტორია 1-5 კვ.კმ ფართობით. ასეთი არეალების დაზიანების ალბათობა დაახლოებით 36%-ს შეადგენს. აგრეთვე მაღალია 1კვ.კმ-ზე ნაკლები არეალების დაზიანების ალბათობა(34%). მხოლოდ 2-3% შემთხვევაში ზიანდება 5კვ.კმ-ზე მეტი ფართობები.

ნახ. 13-ზე წარმოდგენილია სეტყვის დროს მოსული სხვადასხვა სიდიდის ნალექების განმეორადობის მოდელი. მოდელის თანახმად სეტყვის დროს ყველაზე ალბათურია 11-30მმ ნალექი, მისი ალბათობა 35%-ს აღემატება. ასევე დიდი ალბათობით არის მოსალოდნელი 6-10მმ (30%-ზე მეტი) და 5მმ-ზე ნაკლები (25%). იშვიათია 31მმ-ზე

მეტი ნალექი, ხოლო 50მმ-ზე მეტი ნალექის ალბათობა 2%-ს არ აღემატება.

მაგალითი1. ვთქვათ გვაქვს ჰაერის ტემპერატურაზე (T_i) ჩატარებული დაკვირვებათა შემდეგი რიგი:

5; 6; 7; 7; 6; 7; 8; 8; 9; 8.

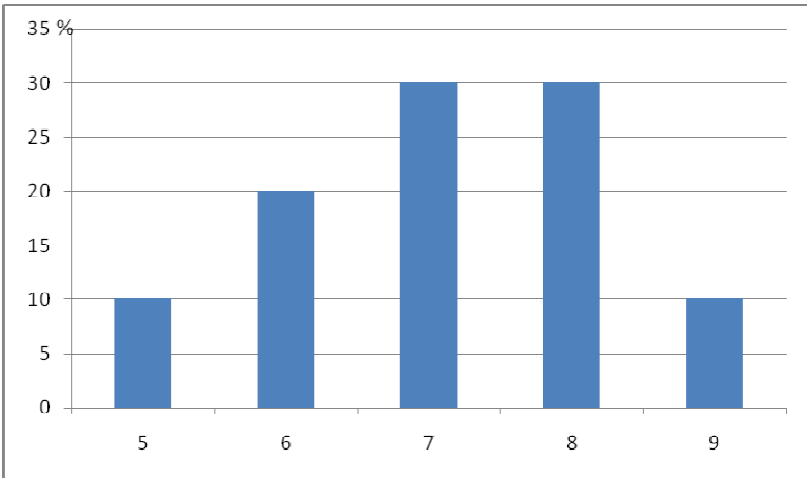
როგორც ვხედავთ ჩატარებულია 10 დაკვირვება ჰაერის ტემპერატურაზე. დაკვირვებების განმავლობაში ტემპერატურა იცვლებოდა 5 დან 9 გრადუსის ფარგლებში. ქედან 5^0 აღინიშნებოდა ერთხელ, 6^0 -2ჯერ, 7^0 -3ჯერ, 8^0 -3ჯერ და 9^0 -ჯერ. ესენია შესაბამისად ტემპერატურის აღნიშნულ მნიშვნელობათა აბსოლუტური სიხშირეები. თუ თითოეულ მათგანს გავყოფთ დაკვირვებათა საერთო რიცხვზე, ანუ 10-ზე, მივიღებთ შესაბამის ალბათობებს. ნათქვამი ცხრილის სახით გამოიხატება შემდეგნაირად:

ცხრილი 12. ალბათობათა გაანგარიშება ჰაერის ტემპერატურის რიგისათვის

T_i	n_i	P_i	$P\%$
5	1	0,1	10
6	2	0,2	20
7	3	0,3	30
8	3	0,3	30
9	1	0,1	10
ჯამი	10	1,0	100

როგორც ცხრილიდან ჩანს განხილულ შემთხვევაში ტემპერატურის ყველაზე ალბათური მნიშვნელობებია 7 და 8 გრადუსი. მათი ალბათობებია 0,3. ყველაზე ნაკლები ალბათობა კი შეესაბამება 5 და 9 გრადუსს, და ალბათობა უდრის 0,1-ს.

ნახ. 14-ზე წარმოდგენილია ცხრილი 12-ის მონაცემების გრაფიკული მოდელი.



ნახ. 14. ჰაერის ტემპერატურის განმეორადობის მოდელი

ნახ 14-ზე წარმოდგენილი მოდელი გამოსახავს ჰაერის ტემპერატურის სხვადასხვა სიდიდის ალბათობათა განაწილების მთელ სპექტრს. ის გვიჩვენებს, რომ უდიდესი ალბათობა 30% შეესაბამება 7 და 8⁰ ტემპერატურას. მცირესი ალბათობით-10% ფიქსირდება ტემპერატურები 5 და 9⁰.

მაგალითი 2. განვიხილოთ ატმოსფერული ნალექების რაოდენობის განაწილების ემპირიული მოდელი ცხრილ 7-ში მოცემული იანვრის თვეში თბილისში მოსული ატმოსფერული ნალექების ჯამების საფუძველზე. ამ ცხრილის მარჯვენა ნაწილი, ანუ ნალექების რანჟირებული რიგი შემდგენაირად გამოიყურება:

წლები	მმ
2006	45
1991	33
1993	32
2008	29
2000	24
1990	23
1992	18
1994	15
2004	15
1996	12
2005	11
1998	10
2002	9
1995	7
2001	7
1997	6
2003	4
2007	3
1999	1

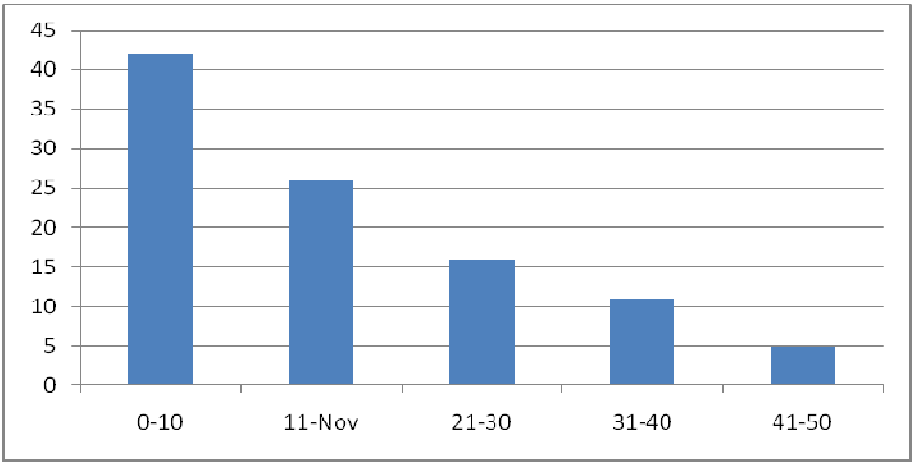
როდესაც შედარებით გრძელი და არაერთგვაროვანი რიგი გვაქვს მიზანშეწონილია ნალექები დავყოთ გრადაციებათ. ნალექების ჯამები იცვლება 1-დან 45მმ-მდე, ამიტომ თუ გრადაციის

სიგრძეს ავიღებთ 10მმ-ს, მაშინ გვექნება 5 გრადაცია: 1-10მმ; 11-20მმ; 21-30მმ; 31-40მმ; და 40მმ-ზე მეტი. მაშინ თუ დავთვლით თითოეულ გრადაციაში მოხვედრილ შემთხვევას მივიღებთ აბსოლუტურ სიხშირეს(n_i), ხოლო მისი გაყოფით რიგის სიგრძეზე, ანუ 19-ზე, მივიღებთ შესაბამის ალბათობებს. ეს ყველაფერი ასახულია ცხრილში 13.

ცხრილი 13. ალბათობათა გაანგარიშება ატმოსფერული ნალექების რიგისათვის

ნალექი, მმ	n_i	P_i	$P\%$
0-10	8	0,42	42
11-20	5	0,26	26
21-30	3	0,16	16
31-40	2	0,11	11
41 და მეტი	1	0,05	5
ჯამი	19	1,0	100

ცხრილი 13 –ის მონაცემებზე დაყრდნობით შედგენილია თბილისში იანვრის თვეში მოსული ატმოსფერული ნალექების განმეორადობის მოდელი (ნახ.15). მოდელის თანახმად უდიდესი ალბათობა(42%) შეესაბამება ნალექების თვიურ ჯამს არაუმეტეს 10მმ-ისა. შემდეგი გრადაციების ალბათობა კანონზომიერად კლებულობს და უმცირესი ალბათობა (95%) შეესაბამება 41 მმ-ზე მეტ ნალექების ჯამს.



ნახ. 15. თბილისში იანვრის თვეში მოსული ატმოსფერული ნალექების განმეორადობის მოდელი

7. დაკვირვებათა რიგის მათემატიკური მოდელირება

როგორც ვნახეთ, ემპირიული მონაცემების საფუძველზე გაანგარიშებულ ალბათობათა სპექტრს, ანუ ემპირიულ განაწილების ფუნქციას სხვადასხვა სახე შეიძლება ჰქონდეს, რაც დამოკიდებულია თვით ამ მოვლენის ბუნებაზე. ამ ბუნების გამოსავლენად და მოვლენის ღრმად შესასწავლად ახდენენ მის აღწერას რაიმე მათემატიკური ფორმულის საშუალებით. თუ ეს ხერხდება, ამ პროცესს დაკვირვებათა რიგის მათემატიკურ მოდელირებას უწოდებენ, ხოლო თვით ფორმულას, რომელიც აღწერს ამ მოვლენას, მათემატიკურ მოდელს უწოდებენ.

გეოგრაფიულ დაკვირვებათა რიგების განაწილებათა ფუნქციების აღწერისათვის გამოიყენება თეორიული ფუნქციები-ბინომიალური, პუასონის, ნორმალური, პირსონის, გამა, შარლეს, გუმბელის და სხვა განაწილებები. ეს ცნობილი ფორმულებია, ცნობილია მათი თვისებები და თუ რომელიმე ასეთი ფორმულით მოხერხდა განაწილების ემპირიული მოდელის აღწერა ის დიდ უპირატესობას იძლევა ამ მოვლენის ბუნების ასახსნელად. განვიხილოთ მათ შორის ყველაზე ცნობილი ფუნქციები.

ბინომიალური განაწილების ალბათობა გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} k^x (1-k)^{n-x}, \quad (14)$$

სადაც **n** და **k**- ბინომიალური განაწილების პარამეტრებია. ბინომიალური განაწილების თვისებაა $\sigma^2 < \bar{x}$ ის, რომ დისპერსია ნაკლებია საშუალო სიდიდეზე.

ბინომიალური განაწილება ზღვარში, როდესაც **k**→0, ან **n**→∞, პუასონის განაწილებას წარმოადგენს:

$$P(x) = \frac{e^{-a} a^x}{x!}, \quad (15)$$

აქ **a**- პუასონის პარამეტრია. პუასონის განაწილების მთავარი თვისებაა ის, რომ პუასონის პარამეტრი ერთდროულად საშუალო სიდიდეცაა, დისპერსიაც და ასიმეტრიაც.

ნახ. 16-ზე წარმოდგენილია პუასონის განაწილება, პუასონის პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

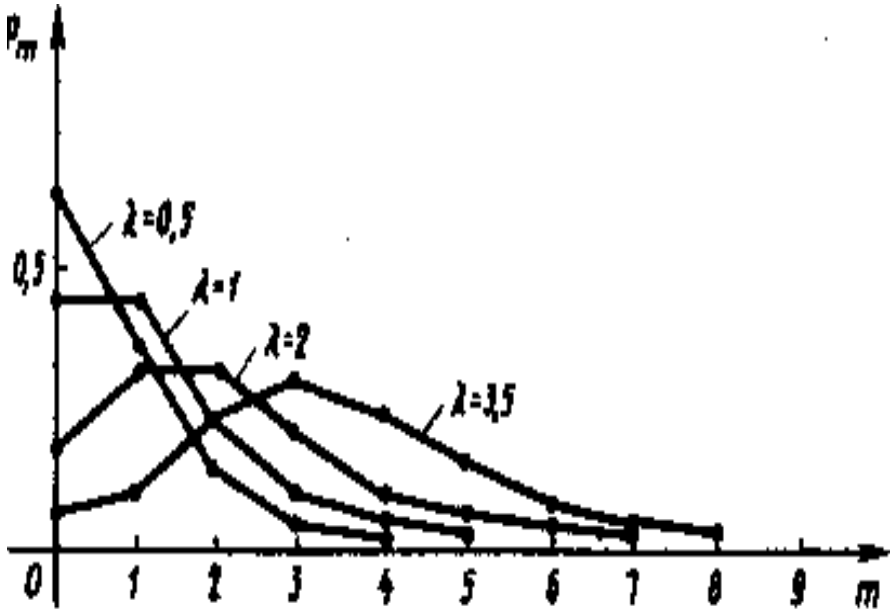


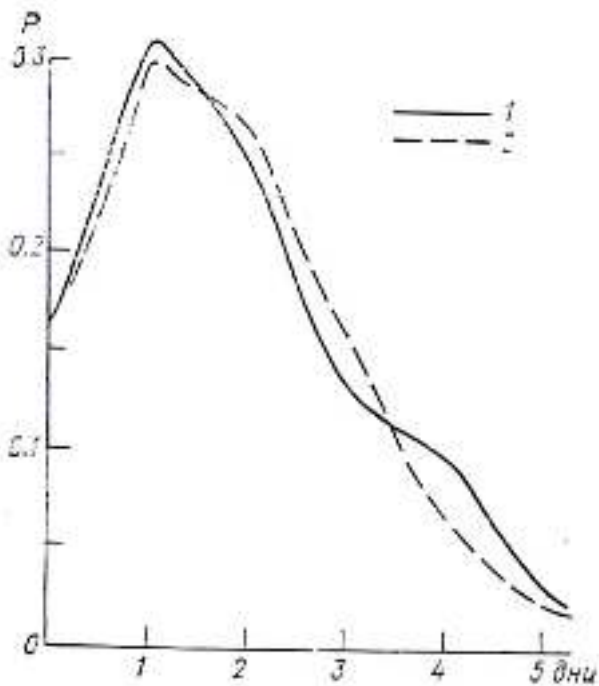
Рис. 6.10

ნახ. 16. პუასონის განაწილება, პუასონის პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის

ნახ. 16-დან გამომდინარეობს, რომ როდესაც პუასონის პარამეტრიც მცირეა (მაგალითად 0.5 ან 1) განაწილების მოდალური, ანუ უდიდესი მნიშვნელობა ნულთან სიდიდეს შეესაბამება და პუასონის განაწილება ფორმით ექსპონენციალურ განაწილებას წააგავს. უასონის პარამეტრის გაზრდისას, რაც ნახ.-ზე შეესაბამება 2 და 3.5-ს,

მოდალური მნიშვნელობა აღარ არის ნული და პუასონის განაწილება სიმეტრიული განაწილებისკენ მიისწრაფვის.

საქართველოს პირობებში პუასონის განაწილება კარგად აღწერს უხვ და ინტენსიურ ნალექებიან დღეთა რიცხვის განაწილებას, რისი ერთ-ერთი მაგალითიც ნახ. 17-ზეა წარმოდგენილი.



ნახ. 17. უხვი ნალექების დღეთა რიცხვის დიფერენციალური განაწილება თბილისში: 1-ემპირიული; 2-თეორიული პუასონის მიხედვით

ნახ. 17-დან კარგად ჩანს, რომ თანხვედრა ემპირიულ და თეორიულ (ამ შემთხვევაში პუასონის) განაწილებებს შორის საკმაოდ კარგია.

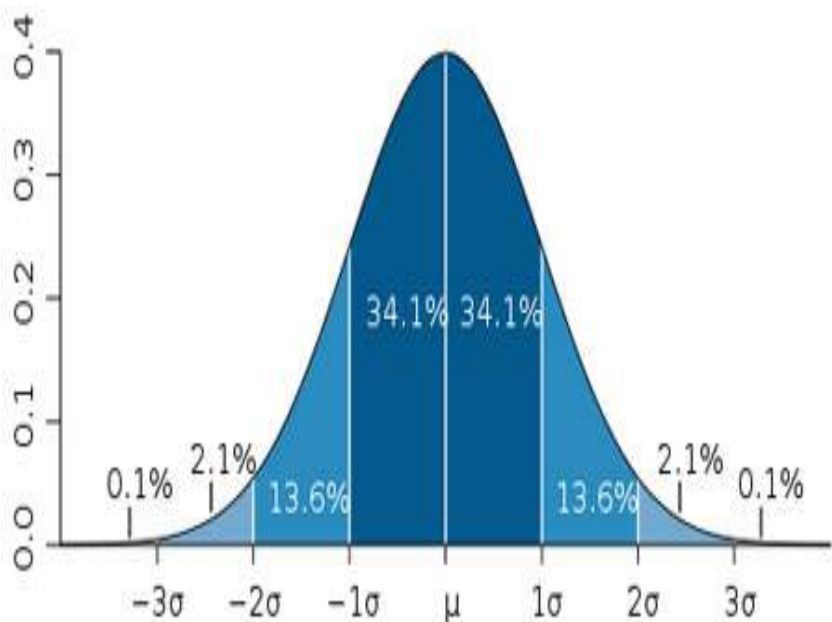
დიდი თეორიული მნიშვნელობა და პრაქტიკული გამოყენება აქვს ალბათობის გაანგარიშებას ნორმალური განაწილების კანონის მიხედვით. ამ შემთხვევაში რაიმე სიდიდის ალბათობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P(x) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1), \quad (16)$$

სადაც
$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt$$
 - ნორმალური

განაწილების ფუნქციაა, ხოლო $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ (17).

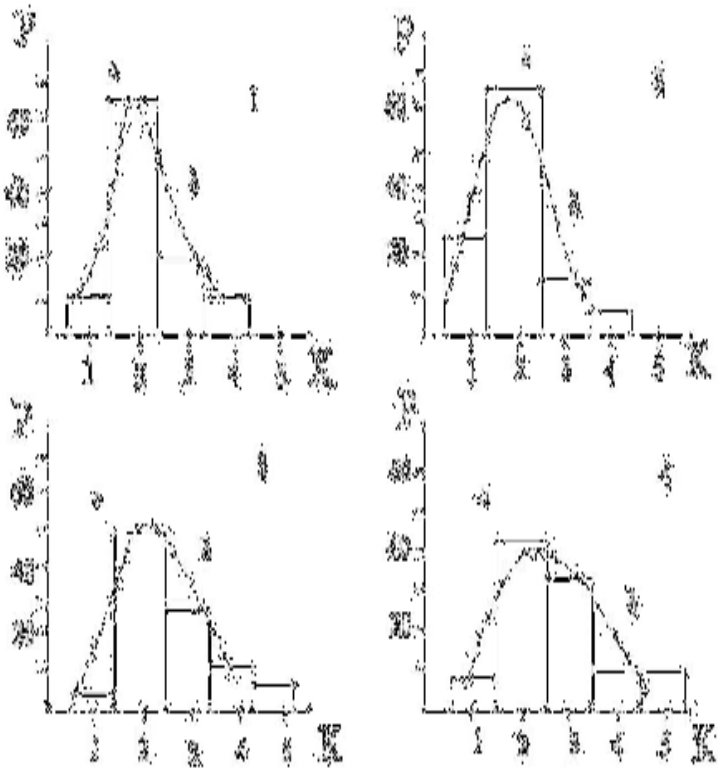
ნახ. 18-ზე წარმოდგენილია ნორმალური განაწილების ფუნქციის ზოგადი სახე. როგორც ვხედავთ ის არის სიმეტრიული ფუნქცია, რომელიც თანაბრად ეშვება მისი მოდალური მნიშვნელობიდან მარცხნივ და მარჯვნივ. მოდალური მნიშვნელობა ამავე დროს არის საშუალოც და მედიანაც. შწორედ მათი ტოლობაა ნორმალური განაწილების ძირითადი თვისება. ნახ-დან ჩანს აგრეთვე, რომ ნორმალური განაწილების შემთხვევაში საშუალო სიდიდიდან მაჯვნივ და მარცხნივ საშუალო კვადრატული გადახრის ინტერვალში თავმოყრილია დაკვირვებების 68.2% შემთხვევა, თითოეული მიმართულებით 34.1%. ორმაგ საშუალო კვადრატული გადახრებს შორის ინტერვალში ხვდება დაკვირვებათა 95.4% რაოდენობა (13.6+34.1+34.1+13.6=95.4%). სამმაგ საშუალო კვადრატული გადახრებს შორის ინტერვალში მოხვედრილი დაკვირვებათა რაოდენობა 99.6%-ს შეადგენს (2.1+13.6+34.1+34.1+13.6+2.1=99.6%). სეც ნორმალური განაწილების ფუნქციის ერთერთი თვისებაა.



ნახ.18. ნორმალური განაწილების ფუნქცია

ნორმალური განაწილების კანონი საქართველოს პირობებში წარმატებით იყო გამოყენებული ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების, სიმშრალის რადიაციული ინდექსის და სხვა კლიმატური პარამეტრების მიმართ. ქვემოთ ნაჩვენებია ნორმალური განაწილების ფუნქციის გამოყენების მაგალითი სიმშრალის რადიაციული ინდექსის მიმართ (ნახ. 19).

სიმშრალის რადიაციული ინდექსი წარმოადგენს რადიაციული ბალანსის წლიური ჯამის შეფარდებას ატმოსფერული ნალექების ჯამისა და აორთქლების ფარული სითბოს ნამრავლთან.



0

ნახ. 19. სიმშრალის რადიაციული ინდექსის ალბათობის განაწილება

ა - ემპირიული; ბ - თეორიული, ნორმალური განაწილებით.

ა. - ბოლნისი, 2 - თბილისი, 3 - გარდაბანი, 4 - უდაბნო

ნახ. 19-დან ჩანს, რომ შესაბამისობა ემპირიულ მონაცემებსა და თეორიულ მრუდს შორის კარგია. ეს გვაძლევს საფუძველს ნორმალური განაწილების ფუნქცია წარმატებით გამოვიყენოთ გაუდაბნოების ალბათობის გამოსაანგარიშებლად.

დედამიწის ყველა განედებში უდაბნოებისათვის სიმშრალის რადიაციული ინდექსი აღემატება 3-ს. მისი საშუალო მნიშვნელობა შეადგენს გარდაბანში 2.4-ს, ბოლნისსა და უგაბნოში-2.3-ს, თბილისში-2-ს, თელავში-1.2-ს. სციფრები კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ საქართველოში კლასიკური უდაბნო არ არის, რადგანაც სიმშრალის რადიაციული ინდექსის საშუალო მნიშვნელობა არ აღწევს 3-მდე. თუმცა, როგორც ნახ. 19 გვიჩვენებს ცალკეულ წლებში მან შეიძლება გადააჭარბოს 3-ს. მიტომ, თუ რამდენი პროცენტია გაუდაბნოების ალბათობა მარტივად შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს ნორმალური განაწილების ფუნქციის საშუალებით.

ბუნებაში არსებულ განაწილებათა მრუდების მთელი მრავალფეროვნება დამაკმაყოფილებლად აღიწერება პირსონის სისტემით, რომელიც 13 ტიპისაგან შედგება და ყველა ტიპის სიმკვრივე ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{d(\lg y)}{dx} = \frac{x - a}{B_0 + B_1(x - a) + B_2(x - a)^2}, \quad (18)$$

სადაც α -განაწილების მოდაა, x -პარამეტრია, y -სიმკვრივის მრუდის ორდინატაა.

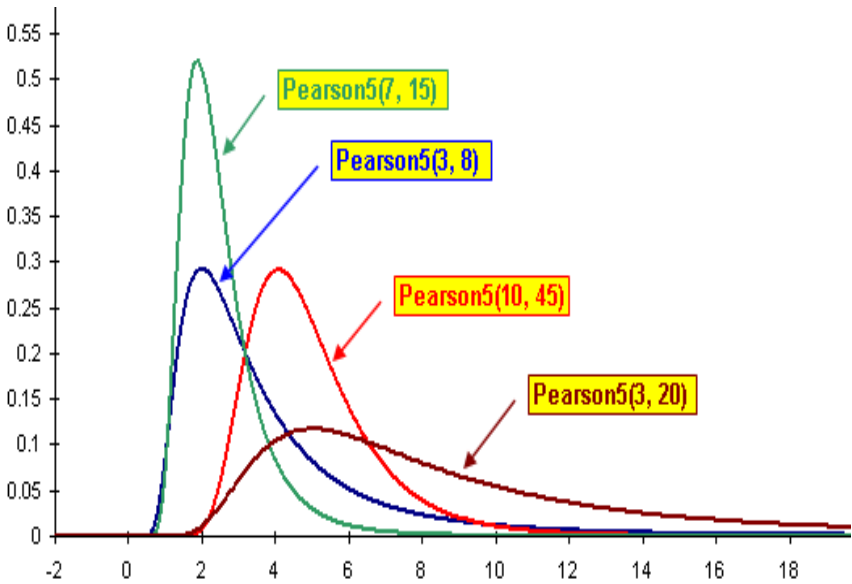
პირსონის ფუნქციის ტიპი განისაზღვრება კრიტერიუმით:

$$K = -\frac{r_3^2(S+2)^2}{16(S+1)}, \quad (19)$$

სადაც $K = \frac{\sigma(r_4 - r_3^2 - 1)}{3r_3^2 - 2r_4 + 6}$, r_3 და r_4 შესაბამისად

მესამე და მეოთხე რიგის ძირითადი მომენტებია. კრიტერიუმის მნიშვნელობის შესაბამისად ხდება მრუდის ტიპის შერჩევა.

ნახ. 20 –ზე ნაჩვენებია პირსონის მე-5 ტიპის ფუნქციები განსხვავებული პარამეტრების შემთხვევაში.



ნახ. 20. პირსონის ფუნქციები

საქართველოს პირობებში პირსონის განაწილებები გამოყენებული იყო ნალექების წლიური ჯამების მიმართ, თუმცა დამაკმაყოფილებელი შედეგი არ მოჰყვა.

შარლემ შემოიტანა **A** და **B** ფუნქციები, რომლებიც ემყარებიან სიმკვრივის გაშლას მწკრივად. **A**-ტიპის განაწილებაში გამოიყენება ნორმალური განაწილების სიმკვრივის, ხოლო **B** - ტიპის განაწილებაში-პუასონის განაწილების სიმკვრივის გაშლა მწკრივად.

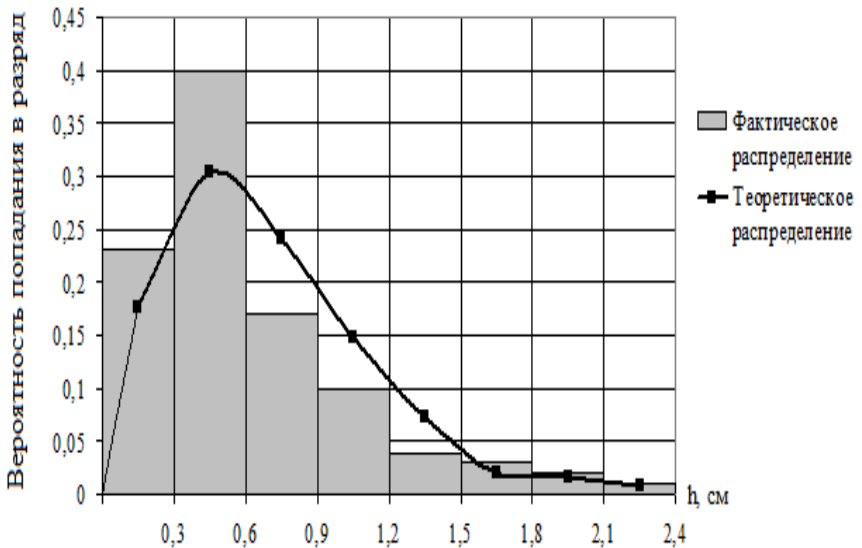
შარლეს **A** -ტიპის განაწილებისათვის შემთხვევითი სიდიდის **t_{i-1}-t_i** ინტერვალში მოხვედრის ალბათობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$F(t_i)-F(t_{i-1})=[\Phi(t_i)+AB_i+KC_i]-[\Phi(t_{i-1})+AB_{i-1}+KC_{i-1}], \quad (20)$$

სადაც **A** და **k** -შესაბამისად ასიმეტრიის და ექსცესის კოეფიციენტებია, **Φ(t_i)** -ნორმალური განაწილების ინტეგრალური ფუნქციაა, **B** და **C** – შესწორებებია, შესაბამისად ასიმეტრიის და ექსცესის.

ნახ. 21-ზე წარმოდგენილია ემპირიული მონაცემების განზწილება (დიაგრამ) და თეორიული ფუნქცია შარლეს განაწილების მიხედვით. როგორც ჩანს შარლეს განაწილება მთლიანობაში შეესაბამება ემპირიულ მონაცემებს, თუმცა ცალკეულ გრადაციებში მნიშვნელოვანი განსხვავებები შეიმჩნევა.

შარლეს განაწილებას ხშირად იყენებენ ატმოსფერული ნალექების თვიური, სეზონური და წლიური ჯამების მიმართ.



ნახ. 21. შარღეს განაწილება

შარღეს სისტემას მიეკუთვნება U -ს მაგვარი განაწილება. ის კარგად აღწერს ღრუბლიანობის რაოდენობის განაწილებას, რადგანაც ორივე მხრიდან შემოსაზღვრულია.

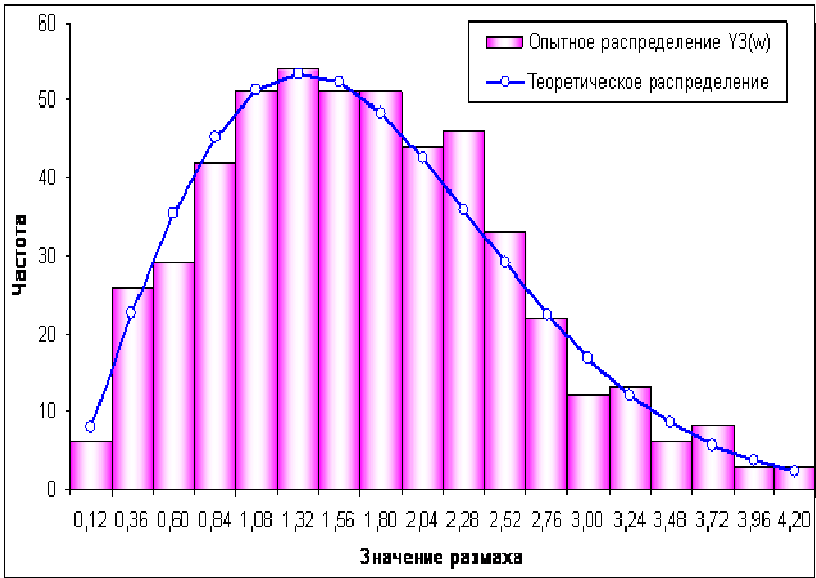
მრავალმხრივი პრაქტიკული გამოყენება აქვს გუმბელის კანონს:

$$p(x) = e^{-e^{-y}} \quad , \quad (21)$$

სადაც $y = \alpha(x - q)$ -ნორმირებული გადახრაა მოდისაგან, $\alpha > 0$, q -მუდმივაა.

გუმბელის კანონი გამოიყენება კლიმატური ელემენტების ექსტრემუმების მიმართ. საქართველოსათვის ეს ნაჩვენები იყო ჰაერის

ტემპერატურის და ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმების მაგალითზე.



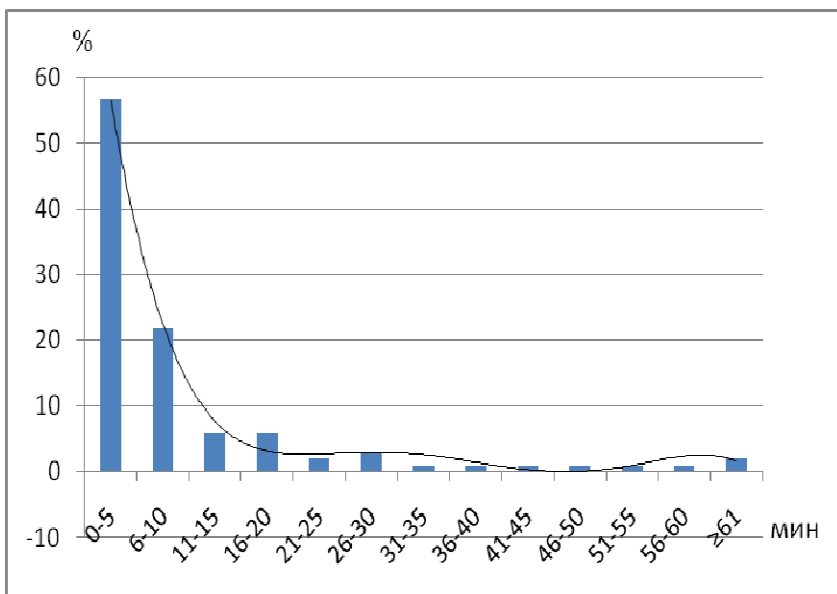
ნახ. 22. გუმბელის კანონის გამოყენების მაგალითი

გეოგრაფიულ დაკვირვებათა მახასიათებლების ემპირიულ განაწილებათა აპროკსიმაციისათვის (მოდელირებისათვის) შედარებით იშვიათად გამოიყენება რელეის განაწილება, ჯონსის განაწილებათა სისტემა და სხვა თეორიული ფუნქციები.

ემპირიული მონაცემების აღწერისათვის ყოველთვის არ მიმართავენ ზემოდ განხილულ ცნობილ თეორიულ ფუნქციებს. ხშირად, განსაკუთრებით კი მაშინ, როდესაც დიდი სიზუსტეა მისაღწევი მონაცემების აღსაწერად მიმართავენ

სხვადასხვა რიგის პოლინომებს და შემდეგ მათ შორის აარჩევენ იმას, რომელიც საუკეთესოდ შეესაბამება ემპირიულ განაწილებას.

ნახ. 23-ზე წარმოდგენილია სეტყვის მოსვლის პროცესის ხანგრძლივობის ემპირიული (დიაგრამები) და მოდელური(უწყვეტი ხაზი) ფუნქციები.



ნახ. 23. სეტყვის მოსვლის პროცესის ხანგრძლივობის ემპირიული და მოდელური ფუნქციები

ნახ-ზე წარმოდგენილი ემპირიული განაწილება კარგად აღიწერება მე-5 რიგის შემდეგი პოლინომით:

$$y = -0.005x^5 + 0.212x^4 - 3.325x^3 + 24.84x^2 - 88.39x + 123.3,$$

სადაც X – არის სეტყვის მოსვლის პროცესის ხანგრძლივობა, ხოლო Y – ამ ხანგრძლივობის შესაბამისი ალბათობა. როგორც ნახ. 23-დან ჩანს ყველაზე ხშირად ,57% შემთხვევაში, სეტყვა გრძელდება 5 წუთამდე.

მაგალითი. განვიხილოთ დაკვირვებათა მონაცემების თეორიული ფუნქციებით მოდელირების მაგალითი. ცხრილი 14-ის პირველ სტრიქონში მოცემულია ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამების ემპირიული განაწილება თბილისისათვის. ომდევნო სტრიქონებში წარმოდგენილია შესაბამისად ნორმალური, შარლეს და პირსონის ფუნქციების გამოყენების შედეგები..

ცხრილი 14. ნალექების წლიური ჯამების აბსოლუტური სიხშირე. თბილისი.

განაწილების ფუნქცია	ნალექების გრადაცია, მმ							
	<360	361 - 400	401- 440	441- 480	481- 520	521- 560	561 - 600	>601
ემპირიული	6	6	9	10	8	10	7	9
ნორმალური	5	6	8	11	12	10	7	6
შარლეს A ტიპი	6	8	9	8	8	7	8	9
პირსონის III ტიპი	4	7	8	15	5	13	6	7

თუ შევადარებთ თეორიული ფუნქციებით მოდელირებულ სიდიდეებს ნალექების ემპირიულ განაწილებას დავრწმუნდებით, რომ ყველაზე ცუდად

ფაქტობრივ მონაცემებს პირსონის III ტიპის განაწილება შეესაბამება. მაგალითად 441-480 მმ ინტერვალის გრადაციაში მოხვედრის აბსოლუტური სიხშირე ემპირიული მონაცემების თანახმად 10-ია, ხოლო პირსონის განაწილების თანახმად 15-ია, ამრიგად სხვაობა ძალზე დიდია, მაშინ როდესაც აბსოლუტური სიხშირე ნორმალური განაწილების მიხედვით 11, ხოლო შარლეს განაწილების მიხედვით 8-ს ტოლია. სხვა გრადაციებში ემპირიულ სიხშირეებთან ყველაზე ახლოს შარლეს A ტიპის განაწილების მიხედვით გამოანგარიშებული სიხშირეებია. ამრიგად განხილულ მაგალითში მიზანშეწონილია ნალექების წლიური ჯამების მოდელირებისათვის შევარჩიოთ შარლეს A ტიპის განაწილება.

სტატისტიკური შეფასების თანახმად ნალექების წლიური ჯამების ემპირიული განაწილება შეესაბამება პირსონის III-ტიპის განაწილებას-30% , ნორმალურ განაწილებას 60%, ხოლო შარლეს A ტიპის განაწილებას -95% ალბათობათა დონეზე.

8. კორელაციური ანალიზი

კორელაციური ანალიზი არის მათემატიკური მეთოდი, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება კავშირის დადგენა ორ სხვადასხვა პარამეტრს შორის. მეთოდის საშუალებით ადგენენ ერთი სიდიდის მეორეზე დამოკიდებულების გასაშუალოებულ კანონს და მათ შორის ურთიერთკავშირის ხარისხს. კავშირის ხარისხი ფასდება კორელაციის კოეფიციენტის საშუალებით. კორელაციას ეწოდება წრფივი, თუ ამ სიდიდეებს შორის კავშირი წრფივია.

ვთქვათ გვაქვს ერთდროული დაკვირვებები X და Y პარამეტრებზე. მათ შორის კავშირის ხარისხი გამოიხატება კორელაციის კოეფიციენტით:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{nS_x S_y} \quad (22)$$

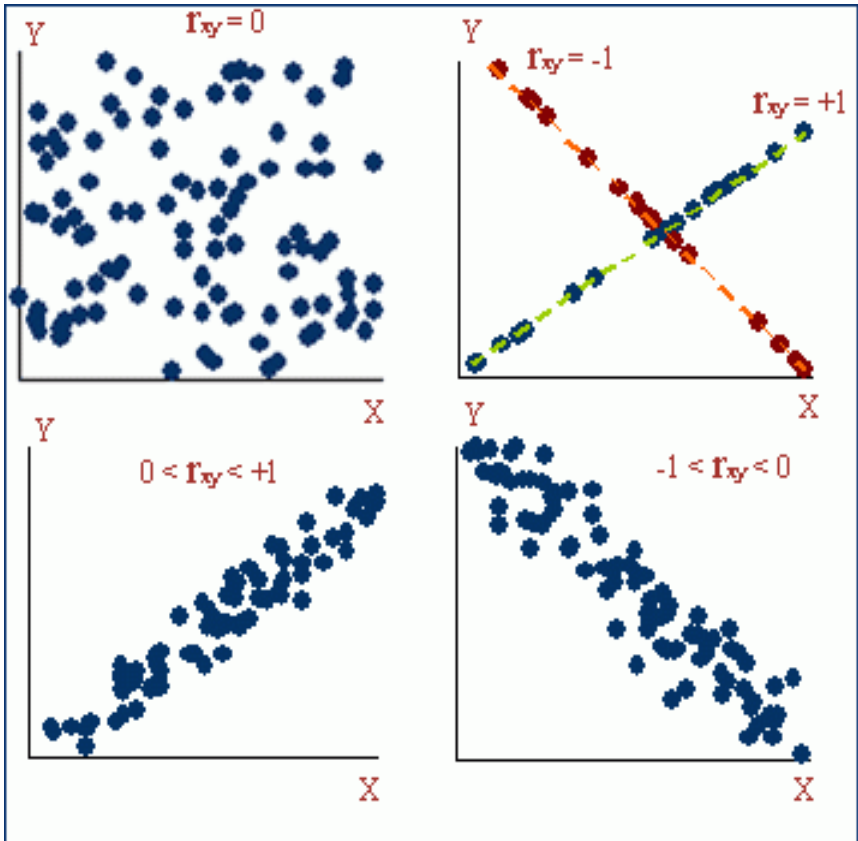
სადაც, \bar{x} და \bar{y} შესაბამისად ამ პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობებია, S_x და S_y – მათი საშუალო კვადრატული გადახრებია, n – დაკვირვებათა რიგის სიგრძეა, ანუ დაკვირვებათა რაოდენობაა.

კორელაციის კოეფიციენტს ხშირად შემდეგი სახის ფორმულითაც გამოსახავენ:

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

კორელაციის კოეფიციენტი იცვლება 0-დან პლიუს-მინუს 1-ის ფარგლებში. თუ ის უდრის 1-ს, კავშირი ფუნქციონალურია, ხოლო თუ უდრის 0-ს კავშირი პარამეტრებს შორის არ არსებობს. თუ კორელაციის კოეფიციენტი დადებითია კავშირი პირდაპირპროპორციულია, ხოლო თუ ის უარყოფითია კავშირი უკუპროპორციულია. ამაში მდგომარეობს კორელაციის კოეფიციენტის არსი სტატისტიკური თვალსაზრისით.

ნახ. 24-ზე წარმოდგენილია ორ ცვლადს შორის შესაძლო სხვადასხვა ხარისხის კორელაციური კავშირები.



ნახ. 24. სხვადასხვა ხარისხის კორელაციური კავშირები

ნახ. 24-ის ზედა მარცხენა ნაწილში განლაგებული ფრაგმენტიდან ჩანს, რომ წერტილები ძალიან გაბნეულია და არავითარი კავშირი ამ

სიდიდეებს შორის არ არსებობს. ამ შემთხვევაში კორელაციის კოეფიციენტი ნულის ტოლია. ზედა მარჯვენა ფრაგმენტზე გამოსახულია ფუნქციონალური კავშირები **X** და **Y** შორის. ერთ შემთხვევაში ფუნქციონალური კავშირი პირდაპირია, როდესაც კორელაციის კოეფიციენტი უდრის 1-ს, ხოლო მეორე შემთხვევაში კავშირი შებრუნებულია და კორელაციის კოეფიციენტი უდრის მინუს 1-ს. ნახ. 24-ის ქვედა ნაწილში განლაგებულ ფრაგმენტებში კორელაციის კოეფიციენტს საშუალოდ მნიშვნელობები უკავია, ერთ შემთხვევაში ის დადებითია, ხოლო მეორე შემთხვევაში უარყოფითია.

კორელაციის კოეფიციენტის გამოთვლა სპეციალური კომპიუტერული პროგრამებით ხორციელდება. ეს განსაკუთრებით ხელსაყრელია დაკვირვებათა დიდი მასივების შემთხვევაში. იშვიათი მონაცემების შემთხვევაში კი ხელითაც შეიძლება მისი გამოთვლა.

განვიხილოთ კორელაციის კოეფიციენტის გამოთვლის მარტივი-ცხრილური მეთოდი.

ცხრილის 15-ის პირველ და მეორე სვეტში წარმოდგენილია **X** და **Y** მოვლენებზე დაკვირვებათა შედეგები. ამ სვეტების დაჯამებით და დაკვირვებათა რიცხვზე, ანუ **n**-ზე გაყოფით მიიღება მათი საშუალო მნიშვნელობები, რაც შეტანილია ამ სვეტების ბოლო სტრიქონში. მე-3 და მე-4 სვეტებში ჩამოწერილია შესაბამისად **X**- სიდიდის საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრები და მათი კვადრატები. ხოლო მე-5 და მე-6 სვეტებში – ანალოგიურად **Y** – სიდიდის საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრები და მათი კვადრატები. მე-4 და მე-6 სვეტების საშუალებით გამოიანგარიშება **X** და **Y** სიდიდეების

საშუალო კვადრატული გადახრები- S_x და S_y . ამისათვის საჭიროა ეს სვეტები დავაჯამოთ და შემდეგ ამოვიღოთ კვადრატული ფესვი. ბოლო, ანუ მე-7 სვეტის ჯამი კი იძლევა კორელაციის კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებელი ფორმულის მრიცხველს. ამრიგად შედგენილი ცხრილის დახმარებით (17)- ფორმულის გამოყენებით ადვილად შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ კორელაციის კოეფიციენტი.

ცხრილი 15. კორელაციის კოეფიციენტის გაანგარიშების ცხრილური ხერხი

x_i	y_i	$(x_i - x_{საშ})$	$(x_i - x_{საშ})^2$	$(y_i - y_{საშ})$	$(y_i - y_{საშ})^2$	$(x_i - x_{საშ})(y_i - y_{საშ})$
x_1	y_1	$x_1 - x_{საშ}$	$(x_1 - x_{საშ})^2$	$y_1 - y_{საშ}$	$(y_1 - y_{საშ})^2$	$(x_1 - x_{საშ})(y_1 - y_{საშ})$
x_2	y_2	$x_2 - x_{საშ}$	$(x_2 - x_{საშ})^2$	$y_2 - y_{საშ}$	$(y_2 - y_{საშ})^2$	$(x_2 - x_{საშ})(y_2 - y_{საშ})$
x_3	y_3	$x_3 - x_{საშ}$	$(x_3 - x_{საშ})^2$	$y_3 - y_{საშ}$	$(y_3 - y_{საშ})^2$	$(x_3 - x_{საშ})(y_3 - y_{საშ})$
.
x_n	y_n	$x_n - x_{საშ}$	$(x_n - x_{საშ})^2$	$y_n - y_{საშ}$	$(y_n - y_{საშ})^2$	$(x_n - x_{საშ})(y_n - y_{საშ})$
Σx_i	Σy_i	$\Sigma(x_i - x_{საშ})$	$\Sigma(x_i - x_{საშ})^2$	$\Sigma(y_i - y_{საშ})$	$\Sigma(y_i - y_{საშ})^2$	$\Sigma(x_i - x_{საშ})(y_i - y_{საშ})$
$x_{საშ}$	$y_{საშ}$		$S_x = \frac{[\Sigma(x_i - x_{საშ})^2]}{n}^{1/2}$		$S_y = \frac{[\Sigma(y_i - y_{საშ})^2]}{n}^{1/2}$	$\frac{\Sigma(x_i - x_{საშ})(y_i - y_{საშ})}{n}$

ახლა გავარკვიოთ საკითხი, თუ რაში მდგომარეობს კორელაციის კოეფიციენტის ფიზიკური არსი. უნდა გვახსოვდეს, რომ კორელაციის კოეფიციენტი არის 2 დაკვირვებათა რიგს შორის შესაბამისობის მხოლოდ მათემატიკური

გამოსახულება და მისი მაღალი მნიშვნელობა არ არის საკმარისი იმის დასამტკიცებლად, რომ ცვლილებები დაკვირვებათა ერთ რიგში მაინცდამაინც განპირობებულია ცვლილებებით დაკვირვებათა მეორე რიგში. ასეთ თანხვედრას შეიძლება ჰქონდეს შემთხვევითი ხასიათი და არავითარი ფიზიკური კავშირი მოვლენებს შორის არ არსებობდეს. ასეთ შემთხვევაში იტყვიან, რომ ადგილი აქვს უაზრო კორელაციას. ამიტომ 2 მოვლენას შორის კორელაციური კავშირის შესწავლისას უპირველეს ყოვლისა უნდა დავრწმუნდეთ ასეთი კავშირის არსებობის უტყუარობაზე. მაგალითად კავშირი დასაშვებია მეზობელი რაიონების ამინდის პირობებს შორის, ან რომელიმე პუნქტში შტორმის სიძლიერესა და გამოწვეულ ზარალს შორის. ამასთანავე უაზროა კავშირის ძიება სიმინდის მოსავლიანობასა და შობადობას შორის. ამდენად პარამეტრებს შორის კორელაციური კავშირის ძიებას აზრი აქვს მაშინ თუ კი არის მათ შორის ფიზიკური კავშირის არსებობის საფუძველი.

მავე დროს ისმის კითხვა თუ რა შემთხვევაშია კორელაციური კავშირი საიმედო? ანუ, კორელაციის კოეფიციენტის რა მნიშვნელობა მიუთითებს ორ სიდიდეს შორის საიმედო კავშირზე- 0.8; 0.6; 0.4? ამის დასადგენად არ არის საკმარისი მხოლოდ კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, მისი სიდიდე. საჭიროა გათვალისწინებულ იქნას აგრეთვე დაკვირვებათა რიგი, ანუ სტატისტიკა. რაც მეტი სტატისტიკა გვექნება, ანუ რაც მეტი დაკვირვებათა რიგი გვექნება, ბუნებრივია მით უფრო საიმედო იქნება ორ სიდიდეს შორის დადგენილი კავშირი.

კორელაციის კოეფიციენტის საიმედობის დასადგენად ანგარიშობენ სიდიდეს:

$$H=r(n-1)^{1/2}, \quad (23)$$

სადაც r – კორელაციის კოეფიციენტი, ხოლო n – დაკვირვების რიგის სიგრძე.

გამოთვლილ H სიდიდეს ადარებენ მისივე კრიტიკულ მნიშვნელობას სპეციალური ცხრილიდან (იხ.ცხრილი 16). თუ აღმოჩნდა, რომ H გამოთვლილი მნიშვნელობა აღემატება მის კრიტიკულ მნიშვნელობას ცხრილიდან, მაშინ თვლიან, რომ კორელაციის კოეფიციენტი არსებითია P ალბათობის დონეზე და კავშირი განხილულ სიდიდეებს შორის საიმედოა. წინააღმდეგ შემთხვევაში კავშირი არ შეიძლება ჩაითვალოს საიმედოდ.

ცხრილი 16. $H=r(n-1)^{1/2}$ კრიტიკული მნიშვნელობები

n	P		
	0.95	0.99	0.999
15	1.92	2.40	2.85
20	1.94	2.45	2.96
25	1.94	2.48	3.03
30	1.94	2.49	3.07
35	1.95	2.50	3.10
40	1.95	2.52	3.12
45	1.95	2.52	3.14
50	1.95	2.53	3.16
60	1.95	2.54	3.18
70	1.95	2.54	3.20
80	1.96	2.55	3.21
90	1.96	2.55	3.22
100	1.96	2.55	3.23

მაგალითი. განვიხილოთ კორელაციის კოეფიციენტის გამოთვლის და მისი საიმედობის შეფასების მაგალითი თბილისისა და გორის საშუალო წლიურ ტემპერატურების მაგალითზე. საწყისი მონაცემები და შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 17.

ცხრილი 17. კორელაციის კოეფიციენტის გაანგარიშება თბილისისა და გორის საშუალო წლიურ ტემპერატურებს შორის

x_i	y_i	$(x_i - \bar{x}_{საშ})$	$(x_i - \bar{x}_{საშ})^2$	$(y_i - \bar{y}_{საშ})$	$(y_i - \bar{y}_{საშ})^2$	$(x_i - \bar{x}_{საშ})(y_i - \bar{y}_{საშ})$
5,1	3,4	-0,9	0,81	0,9	0,81	0,81
6,3	5,2	0,3	0,09	0,9	0,81	0,27
7,4	6,1	1,4	1,96	1,8	3,24	2,52
4,7	2,2	-1,3	1,69	-2,1	4,41	2,73
5,2	3,8	-0,8	0,81	-0,5	0,25	0,40
5,2	3,2	-0,8	0,64	-1,1	1,21	0,88
7,0	5,2	1,0	1,00	0,9	0,81	0,90
4,9	3,1	-1,1	1,21	-1,2	1,44	1,32
3,0	2,2	-3,0	9,00	-2,1	4,41	6,30
9,5	8,0	3,5	12,25	3,7	13,69	12,35
6,4	4,6	-0,8	0,64	-1,4	1,96	1,12
10,7	9,3	4,7	22,09	5,0	25,0	23,50
4,0	1,3	-2,0	4,00	-3,0	9,00	6,00
4,8	3,1	-1,2	1,44	-3,2	10,24	3,84
7,2	4,9	1,2	1,44	0,6	0,36	0,72
96,6	68,5		59		69	62
6,0	4,3		1,9		2,1	

ცხრილში პირველ სვეტში ჩამოწერილია ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურები თბილისისათვის (X_i), ხოლო მეორე სვეტში ჩამოწერილია ტემპერატურები გორისათვის (Y_i). სულ არის 15-15 მონაცემი, ამუ გვაქვს 15 წლიანი რიგი, ე.ი. **$n=15$** . პირველი და მეორე სვეტები დაჯამებულია, ჯამები გაყოფილია 15-ზე და მიღებულია თბილისისა და გორისათვის საშუალო წლიური ტემპერატურები: **$X_i = 6.0$** და **$Y_i = 4.3$** .

მესამე და მეოთხე სვეტებში ჩამოწერილია შესაბამისად X_i –ს გადახრები საშუალო მნიშვნელობიდან ($X_i - X_{საშ}$) და ამ გადახრების კვადრატები ($X_i - X_{საშ}$)², ხოლო მე-5 და მე-6 სვეტებში ჩამოწერილია ანალოგიური გადახრები Y_i –თვის. ბოლო სვეტის ელემენტები წარმოადგენს გადახრების ნამრავლს ($X_i - X_{საშ}$) ($Y_i - Y_{საშ}$).

ცხრილის ბოლოსწინა სტრიქონში შეჯამებულია საშუალო ტემპერატურების გადახრების კვადრატები (მე-4 და მე-6 სვეტები) და გადახრების ნამრავლები (მე-7 სვეტი). მე-4 და მე-6 სვეტების ჯამების დაკვირვებათა რიცხვზე გაყოფით და კვადრატული ფესვის ამოღებით ვღებულობთ ტემპერატურის საშუალო კვადრატულ გადახრებს, შესაბამისად თბილისში (1.9⁰) და გორში (2.1⁰). ტემპერატურის საშუალო კვადრატული გადახრები თბილისსა და გორისათვის შესაბამისად მოცემულია მე-4 და მე-6 სვეტების ბოლო სტრიქონში. მე-7 სვეტის ბოლოსწინა სტრიქონში მოცემულია ჯამი წარმოადგენს კორელაციის კოეფიციენტის მრიცხველს. ამრიგად ცხრილში წარმოდგენილია ყველა პარამეტრი, რაც საჭიროა კორელაციის

კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებლად. საბოლოოდ ვღებულობთ:

$$r = \frac{62}{15 * 1,9 * 2,1} = 0,97 \quad (24)$$

ამიგად კორელაციის კოეფიციენტი თბილისსა და გორის ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურებს შორის საკმაოდ მაღალია, რაც მიუთითებს კარგ კავშირზე. შედარებისათვის, ავღნიშნავთ, რომ კორელაციის კოეფიციენტი თელავისა და ქუთაისის ჰაერის ტემპერატურებს შორის მხოლოდ 0,88-ია. ასეთი სხვაობა ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების განსხვავებულობით აიხსნება.

ახლა გავარკვიოთ საკითხი, თუ რამდენად საიმედოა კორელაციის კოეფიციენტის მიღებული მნიშვნელობა. ამისათვის (23) ფორმულის გამოყენებით უნდა გამოვიანგარიშოთ H პარამეტრიც;

$$H = r(n-1)^{1/2} = 0,97(15-1)^{1/2} = 3,59 \quad (25)$$

ახლა ცხრილ 16-ში $n=15$ სათვის სტრიქონში მოვუძებნით H -ის კრიტიკულ მნიშვნელობებს 1,92; 2,40 და 2,85 შესაბამისად ალბათობის 0,95; 0,99 და 0,999 დონეებზე. H -ის გამოთვლილი მნიშვნელობა (3,59) აღემატება ცხრილიდან აღებულ მის შესაბამის ყველა კრიტიკულ მნიშვნელობას ალბათობის ყველა დონეზე. ამიტომ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ კორელაციის კოეფიციენტი თბილისსა და გორში ჰაერის ტემპერატურებს შორის

არსებითა **0.999** ალბათობის დონეზე და ეს კავშირი საიმედოა.

9. წრფივი რეგრესიის განტოლება

ორ მოვლენას შორის გამოანგარიშებული კორელაციის კოეფიციენტი საშუალებას იძლევა ამ მოვლენებს შორის კავშირი გამოვსახოთ მათემატიკური ფორმულის, ანუ განტოლების მეშვეობით. ასეთ განტოლებას რეგრესიის განტოლება ეწოდება. თუ კავშირი აღნიშნულ სიდიდეებს შორის წრფივია, მაშინ მიიღება წრფივი რეგრესიის განტოლება.

ვთქვათ ჩავატარეთ დაკვირვებები x და y მოვლენებზე. და მივიღეთ მათი საშუალო მნიშვნელობები $-x_{საშ}$ და $y_{საშ}$, და საშუალო კვადრატული გადახრები $-S_x$ და S_y —შესაბამისად. მაშინ რეგრესიის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

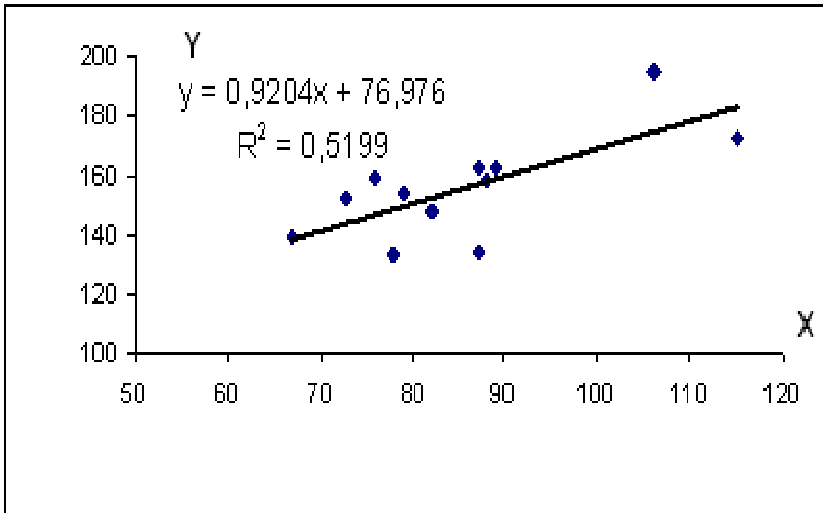
$$y - y_{საშ} = r \frac{S_y}{S_x} (x - x_{საშ}) \quad (26)$$

სადაც r - კორელაციის კოეფიციენტია.

მიღებულ განტოლებას ეწოდება წრფივი რეგრესიის განტოლება, რადგანაც განიხილება წრფივი კავშირი მოვლენებს შორის. ამ ფორმულის საშუალებით შეგვიძლია გამოვსახოთ დამოკიდებულება 2 პარამეტრს შორის, თუ კორელაციის კოეფიციენტი ნიშნადია, ანუ თუკი ასეთი კავშირი ბუნებაში არსებობს. მას ძალიან

დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც არარსებული დაკვირვებების პირობებში საშუალება იქმნება შევაფასოთ ის, თუკი ცნობილია ერთ-ერთი მათგანი.

ნახ. 25-ზე ნაჩვენებია რეგრესიის წრფე და მისი შესაბამისი წრფივი რეგრესიის განტოლება აგრეთვე კორელაციის კოეფიციენტის კვადრატი, ანუ რეტერმინაციის კოეფიციენტი (R^2).



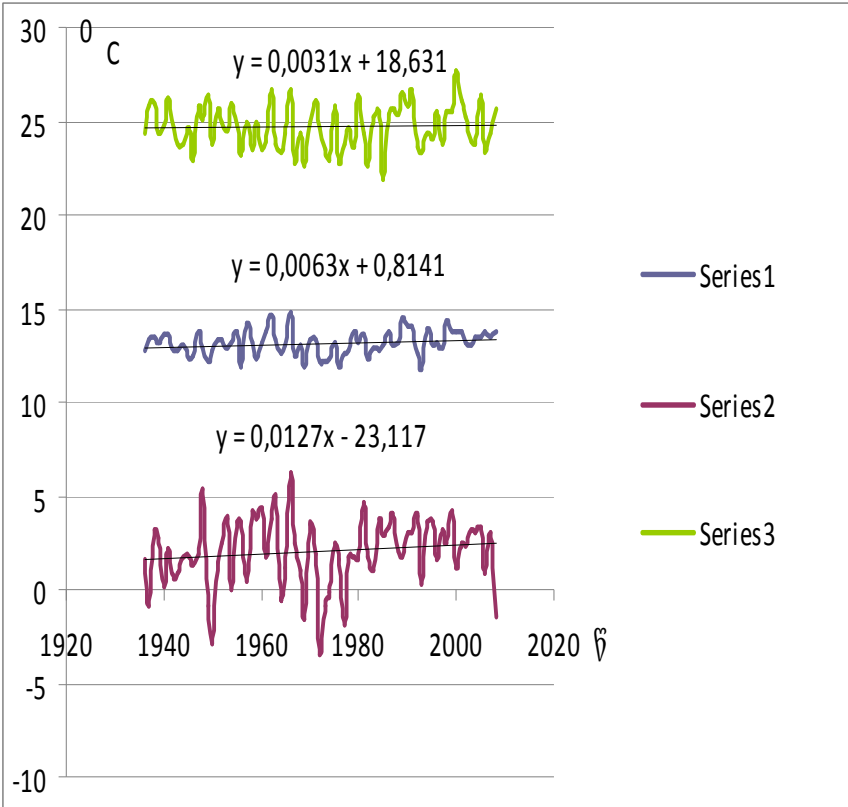
ნახ. 25. რეგრესიის წრფე და რეგრესიის განტოლება

კორელაციური ანალიზის მეთოდი გეოგრაფიაში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ამოცანებში. განსაკუთრებით ხშირია მისი გამოყენება ტრენდების შეფასებაში, მაგალითად გლობალურ დათბობასთან დაკავშირებით საჭიროა გამოვიანგარიშოთ ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე ამა თუ იმ გეოგრაფიულ პირობებში, ანუ გამოვიანგარიშოთ ის

სიდიდე, თუ რამდენით იზრდება ტემპერატურა ყოველ 1ო წელიწადში. ამისათვის ტემპერატურის მრავალწლიურ ცვლილებას აღწერენ წრფივი განტოლებით, რომელიც თავისთავად შეიცავს ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეს.

ნახ. 26-ზე წარმოდგენილია ჰაერის ტემპერატურის მრავალწლიური სვლა თბილისში და შესაბამისი რეგრესიის განტოლება წლიური, იანვრის და ივლისის საშუალო თვიური ტემპერატურებისათვის.

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტი მიუთითებს ტემპერატურის ცვლილების ყოველწლიურ სიჩქარეზე. კერძოდ ზედა განტოლება გამოსატავს ივლისის ტემპერატურების მრავალწლიურ ცვლილებას. ამ განტოლების კოეფიციენტი 0.0031-ია, სწორედ ის გვიჩვენებს ტემპერატურის ყოველწლიურ ცვლილებას. საერთოდ ტემპერატურის ცვლილებას გამოსახავენ ათწლეულებში, მაშინ ამ განტოლების თანახმად იანვრის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე არის 0.031⁰ ათ წელიწადში. შუა გრაფიკი და აგრეთვე რეგრესიის განტოლება შეესაბამება საშუალო წლიურ ტემპერატურას. როგორც განტოლებიდან ჩანს საშუალო წლიური ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე 0.063⁰ -ია ათ წელიწადში, რაც კარგ თანხმობაშია გლობალური ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარესთან. განსაკუთრებით მაღალია ტემპერატურის ცვლის სიჩქარე იანვარში, წრფივი რეგრესიის განტოლების თანახმად ის ყოველ ათ წელიწადში შეადგენს 0.127⁰-ს.



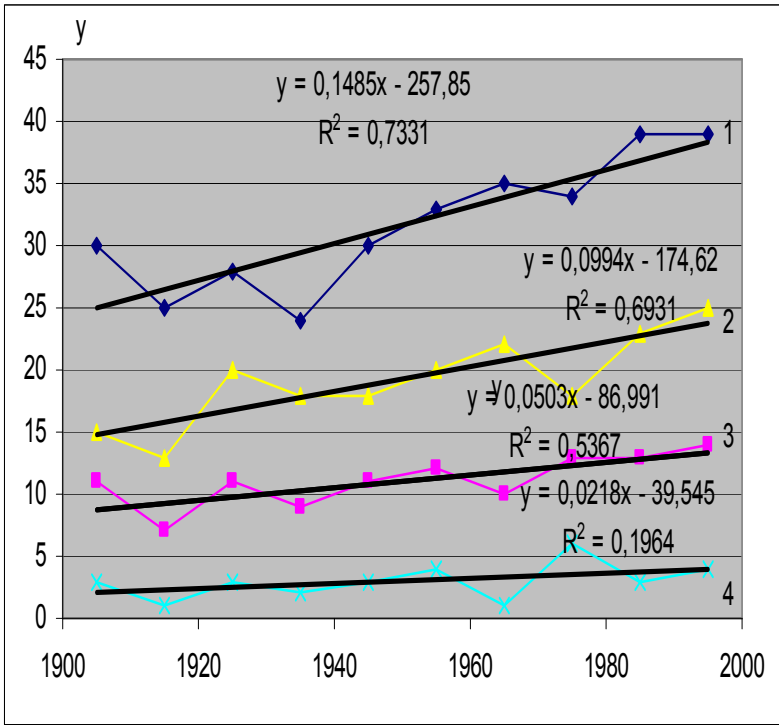
ნახ. 26. ჰაერის ტემპერატურის მრავალწლიური სველა თბილისში და შესაბამისი რეგრესიის განტოლება: 1- წლიური ტემპერატურა; 2-იანვრის საშუალო თვიური ტემპერატურა; 3- ივლისის საშუალო თვიური ტემპერატურა

ცნობილია, რომ თანამედროვე გლობალური დათბობის პირობებში აქტიურდება საშიში და

სტიქიური გეოეკოლოგიური პროცესები თავსხმა ნაღებები, მეწერი, გვალვა, წყალდიდობა, ქარბუქი და ა.შ. ამის ნათელი მაგალითია ნახ. 27, სადაც გამოსახულია სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში გვალვიან და მკაცრგვალვიან თვეთა რიცხვის ცვლილება მე-20 საუკუნის განმავლობაში ბოლნისსა და თელავში. ამავე ნახ-ზე დატანილია ამ ცვლილებების გამომსახველი წრფივი რეგრესიის განტოლებები და შესაბამისი დეტერმინაციის კოეფიციენტები, ანუ კორელაციის კოეფიციენტების კვადრატები.

პირველი წრფე და განტოლება გამოსახავენ გვალვიან თვეთა რიცხვის ცვლილებას ბოლნისში. როგორც განტოლებიდან ჩანს გვალვიანი თვეთა რიცხვი ყოველწლიურად მატულობს 0.1485-ით, ანუ საშუალოდ ათ წელიწადში- 1.5 თვით.

ეორე წრფე და განტოლება შეესაბამება თელავს, ისინი გვიჩვენებენ გვალვიან თვეთა რიცხვის ცვლილებას თელავში. განტოლების თანახმად გასული საუკუნის განმავლობაში თელავში გვალვიან თვეთა რიცხვი მატულობდა ყოველ 10 წელიწადში საშუალოდ ერთით.



ნახ. 27. გვაღვიან(1,2) და მკაცრგვაღვიან(3,4) თვეთა რიცხვის ცვლილება მე-20 საუკუნის განმავლობაში ბოლნისსა(1,3) და თელავში(2,4), მათი შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტები (R) ; y -გვაღვიან თვეთა რიცხვი, x -წელი.

მაგალითი. გამოვიყვანოთ რეგრესიის განტოლება თბილისის და გორის საშუალო წლიურ ტემპერატურებს შორის, რომლის მონაცემებიც წარმოდგენილია ცხრილში 17. ცხრილის თანახმად გვაქვს თბილისისათვის საშუალო ტემპერატურა $x_{საშ} = 6,0$ და მისი საშუალო კვადრატული გადახრა S_x

$=1,9$, ხოლო გორისათვის საშუალო ტემპერატურა $y_{საშ} = 4,3$ და საშუალო კვადრატული გადახრა $S_y = 2,1$. კორელაციის კოეფიციენტი $r=0,97$.

მაშინ რეგრესიის განტოლება ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$y - 4,3 = 0,97 \frac{2,1}{1,9} (x - 6,0) \quad (27)$$

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$y - 4,3 = 1,1(x - 6,0),$$

$$y - 4,3 = 1,1x - 6,6,$$

$$y = 1,1x - 2,3 \quad (28)$$

ამ უკანასკნელი ფორმულის საშუალებით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ჰაერის ტემპერატურა გორში (y), თუ ცნობილია ტემპერატურა თბილისში (x).

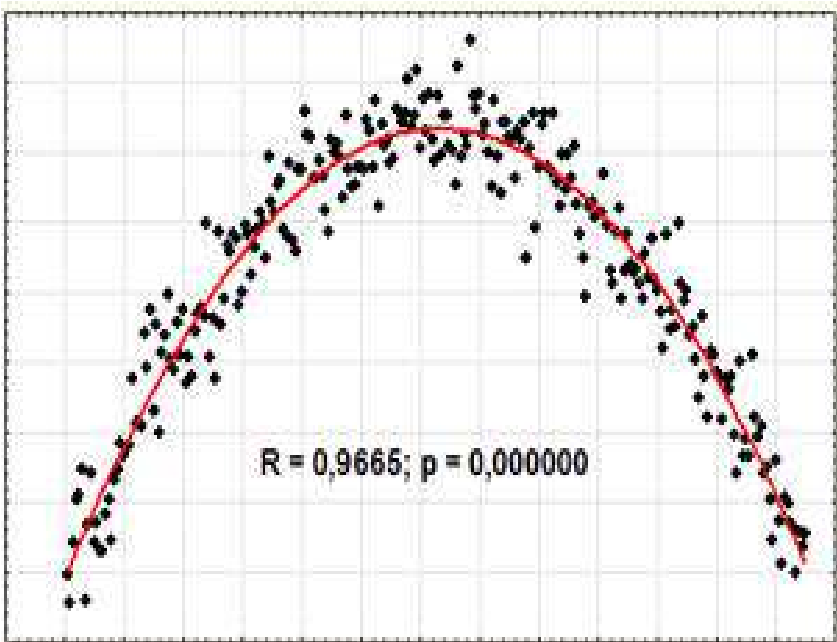
მაგალითად, ვთქვათ თბილისში ჰაერის ტემპერატურა 10^0 -ია, ანუ $x=10$. მაშინ, თუ ჩავსვამთ ამ რიცხვს (21) ფორმულაში მივიღებთ :

$$y = 1,1x - 2,3 = 8,7$$

ამრიგად გამოანგარიშებული ჰაერის ტემპერატურა გორში არის $8,7^0$.

10. არაწრფივი კორელაცია

ჩვენ აქამდე ვიხილავდით წრფივ კორელაციას, რომელიც განიხილავს 2 ცვლადს შორის მხოლოდ წრფივ დამოკიდებულებას. შესაბამისად კავშირს მათ შორის ვწერდით წრფივი რეგრესიის განტოლების სახით. მაგრამ კავშირი ბუნების მოვლენებს შორის ყოველთვის არ არის წრფივი, პირიქით უფრო ხშირად არაწრფივია. არაწრფივი კორელაციის მაგალითი ნაჩვენებია ნახ. 28-ზე.



ნახ. 28. არაწრფივი კორელაციის მაგალითი

ნახ. 28-ზე წარმოდგენილი ორ ცვლადს შორის კავშირი, ცხადია, წრფივი რეგრესიის განტოლებით ვერ აღიწერება, ეს არის კვადრატული ფუნქცია.

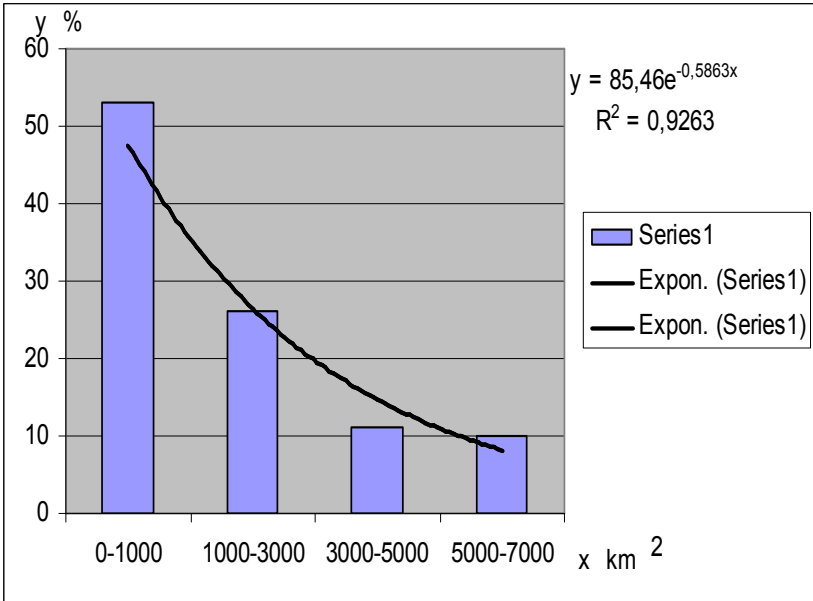
სხვა შემთხვევაში კი ფუნქცია შეიძლება იყოს უფრო რთული, მაგალითად მაღალი რიგის პოლინომი, ლოგარითმული, ექსპონენციალური და ა.შ.

ზოგადი სახით არაწრფივი რეგრესიის განტოლება X და Y შორის გამოისახება შემდეგი ზოგადი ფორმულით:

$$y=k_0+k_1x+k_2x^2+\dots+k_nx^n \quad (29)$$

სადაც $k_0, k_1, k_2, \dots, k_n$ - კოეფიციენტებია.

ნახ. 29-ზე ჰისტოგრამებით ნაჩვენებია საქართველოს ტერიტორიაზე მკვრივი ნისლების, როდესაც მხედველობის სიშორე არ აღემატება 50მ-ს, სხვადასხვა ფართობზე გავრცელების განმეორადობა ფაქტობრივი მონაცემებით, ხოლო მრუდით კი გამოსახულია მისი შესაბამისი ექსპონენციალური ფუნქცია. ცხადია, რომ ამ შემთხვევაში წრფივი რეგრესიის განტოლება არ გამოდგებოდა. ნახაზზევეა მოცემული დეტერმინაციის კოეფიციენტი, რომელიც საკმაოდ მაღალია.



ნახ. 29. მკვრივი ნისლის სხვადასხვა ფართობზე(xკვ.კმ) გავრცელების განმეორადობის(%) ემპირიული მონაცემები(ჰისტოგრამა) და მოდელური ფუნქცია.

11. მრავლობითი კორელაცია

გეოგრაფიული მოდელირების ამოცანებში ხშირად საჭიროა კავშირების გამოკვლევა ორზე მეტ ცვლადს შორის. მაგალითად, ვთქვათ გვინტერესებს გარკვეული დროის განმავლობაში მცენარის ნაზრდის დამოკიდებულება მის განმსაზღვრელ ეკოლოგიურ ფაქტორებზე- ჰაერის ტემპერატურასა და ატმოსფერულ ნალექებზე. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა მივმართოთ მრავლობით ანუ კერძო კორელაციას.

ვთქვათ გვაქვს სამი ცვლადი x , y და z . მათ შესაბამისი საშუალო კვადრატული გადახრები აღნიშნოთ S_x , S_y და S_z თი.

უპირველეს ყოვლისა გამოვიანგარიშოთ კორელაციის კოეფიციენტები თითოეულ წყვილს შორის და მათთვის შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები: r_{xy} , r_{xz} და r_{yz} , სადაც r_{xy} – კორელაციის კოეფიციენტია a და b სიდიდეს შორის, r_{xz} - კორელაციის კოეფიციენტია x და z სიდიდეს შორის, r_{yz} - კორელაციის კოეფიციენტია y და z სიდიდეს შორის. მაშინ მრავლობითი რეგრესიის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$z - z_{საშ} = A(x - x_{საშ}) + B(y - y_{საშ}) \quad (30)$$

სადაც $z_{საშ}$, $x_{საშ}$ და $y_{საშ}$ – შესაბამისად მოვლენათა საშუალო მნიშვნელობებია.

A და B – პარამეტრები იანგარიშება შემდეგი ფორმულებით:

$$A = \frac{(r_{xz} - r_{xy} r_{yz}) S_z}{1 - r_{xy}^2 S_x} \quad (31)$$

$$B = \frac{(r_{yz} - r_{xy} r_{xz}) S_z}{1 - r_{xy}^2 S_y}$$

ჩვენ განვიხილეთ 3 ცვლადის კორელაციური კავშირი. ანალოგიურად შეიძლება ვიმსჯელოთ 4 პარამეტრზე.

ნებისმიერი პუნქტის გეოგრაფიული მდებარეობა შეიძლება დახასიათდეს სამი კოორდინატით სფერულ კოორდინატთა სისტემაში: გეოგრაფიული განედით φ , გეოგრაფიული გრძედით λ და ადგილის სიმაღლით Z . კლიმატური ელემენტები კი, კერძოდ ჰაერის ტემპერატურა, სინოტივე, ატმოსფერული ნალექები და სხვა, იცვლებიან სივრცეში, სწორედ ამ პარამეტრებზე, ანუ გეოგრაფიულ განედზე, გრძედზე და ადგილის სიმაღლეზე დამოკიდებულებით. მაშინ ცხადია, რომ ნებისმიერი M კლიმატური ელემენტის მნიშვნელობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ამ კოორდინატების ფუნქცია:

$$M = \alpha_0 + \alpha_1 \varphi + \alpha_2 \lambda + \alpha_3 Z, \quad (32)$$

სადაც α_1 , α_2 და α_3 -შესაბამისად ელემენტის განედური, მერიდიანული და ვერტიკალური გრადიენტებია, α_0 -თავისუფალი წევრია.

ამ ტიპის რეგრესიის განტოლებები მიღებულია საქართველოს ტემპერატურის ველისათვის.

თუ განვიხილავთ ხუთ ცვლადის შემთხვევას მაშინ მაგალითად შეიძლება მოვოტანოთ ტემპერატურის ველის არასტაციონალური მოდელი:

$$T = \alpha_0 + \alpha_1 \varphi + \alpha_2 \lambda + \alpha_3 Z + \alpha_4 \tau, \quad (33)$$

სადაც τ -დროა, ხოლო α_4 -ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეა საშუალოდ 10 წელიწადში.

(26) - ფორმულა ამყარებს ჰაერის ტემპერატურის კავშირს ადგილის გეოგრაფიულ განედთან, გრძედთან, ადგილის სიმაღლესთან და დროის ინტერვალთან. ამ მოდელის გამოყენებით შედგენილი იქნა საქართველოს ჰაერის ტემპერატურის მოდელური ველი XXI საუკუნის პირველი ნახევრისათვის.

12. გეოინფორმატიკა და მისი ადგილი გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სისტემაში

გეოინფორმატიკა შედგება ორი სიტყვისაგან. გეო აღნიშნავს გეოგრაფიულს, ხოლო ინფორმატიკა არის მეცნიერული მიმართულება, რომელიც შეისწავლის მონაცემების შეგროვების, დამუშავების და გადაცემის თეორიას, მეთოდებს და ხერხებს ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების და სხვა ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით. მრიგად გეოინფორმატიკა, ანუ გეოგრაფიული ინფორმატიკა არის მეცნიერება გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების დაპროექტების, შექმნის, ექსპლუატაციის და გამოყენების მეცნიერული დასაბუთების შესახებ.

მისი ძირითადი ამოცანებია:

1. გეოგრაფიულ მონაცემთა ბაზის შექმნა და მართვა;
2. გეოგრაფიულ მონაცემთა ანალიზი და მოდელირება;
3. პროგრამული უზრუნველყოფის შედგენა.

გეოგრაფიული მეცნიერებები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად. პირველს მიეკუთვნება თეორიული მეცნიერებები, რომლებიც სწავლობენ გეოგრაფიულ კანონზომიერებებს, ხოლო მეორეს წარმოადგენენ გამოყენებითი მეცნიერებანი, რომლებიც ამ კანონზომიერებების გამოვლენას და მათ პრაქტიკაში

გამოყენებას უზრუნველყოფენ. გეოინფორმატიკა ახალგაზრდა მეცნიერებაა, მას გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სისტემაში შეიძლება მივაკუთვნოთ ადგილი გამოყენებითი მეცნიერებების სფეროში ისეთი დარგის გვერდით, როგორცაა კარტოგრაფია.

გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სისტემას ყოფენ ოთხ ბლოკად: საბუნებისმეტყველო გეოგრაფია, სოციალურ-ეკონომიკური გეოგრაფია, ბუნებრივ-საზოგადოებრივი გეოგრაფია და ე.წ. “გამჭოლი მეცნიერებანი” (ცხრილი 18).

ცხრილი 18. გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სტრუქტურა

ბლოკი	გეოგრაფიის დარგი
პირველი მეორე მესამე მეოთხე	საბუნებისმეტყველო სოციალურ-ეკონომიკური ბუნებრივ-საზოგადოებრივი “გამჭოლი მეცნიერებანი”

მეოთხე ბლოკს მიეკუთვნება ის საგნები, რომელთა მეთოდები, მიდგომები და ხერხები ფართოდ გამოიყენება სამივე ბლოკის დარგებში, და განსაზღვრავს მათ განვითარებას. შწორედ ამ ბლოკს მიეკუთვნება გეოინფორმატიკა კარტოგრაფიასთან ერთად.

13. გეოინფორმაციული სისტემები და მათი ტიპები

თანამედროვე პირობებში გეოგრაფიულ კვლევებში ფართოდ დაინერგა გეოინფორმაციული სისტემები, რომელთა საშუალებითაც საკმაოდ

მაღალი სიზუსტის და დიდი ინფორმაციის მატარებელი რუკები მიიღება.

გეოინფორმაცია არის სპეციალური ინფორმაცია ბუნების, მოსახლეობის და მეურნეობის ტერიტორიული ორგანიზაციის შესახებ, ხოლო ის სისტემები, რომლებიც ამგვარ ინფორმაციას ამუშავებენ, შეინახავენ და გადაამუშავებენ განიხილება, როგორც გეოინფორმაციული სისტემები. ამრიგად გეოინფორმაციული სისტემა არის სივრცითი (გეოგრაფიული) მონაცემების და მასთან დაკავშირებული ობიექტების შესახებ ინფორმაციის შეგროვების, შენახვის, ანალიზის და გეოგრაფიული ვიზუალიზაციის სისტემა.

გეოინფორმაციული სისტემა საშუალებას იძლევა:

1. განისაზღვროს რა ობიექტებია მოცემულ ტერიტორიაზე;
2. ჩატარდეს ტერიტორიის სივრცითი ანალიზი, ანუ დადგინდეს ობიექტების ადგილმდებარეობა;
3. ჩატარდეს რაიმე მოვლენის სიმკვრივის ტერიტორიული განაწილების ანალიზი (მაგალითად მოსახლეობის სიმჭიდროვის ანალიზი);
4. დადგინდეს ამა თუ იმ მოვლენის დროში ცვლილებები;
5. ჩატარდეს იმ მოვლენის მოდელირება, თუ რა მოხდება ობიექტების ადგილმდებარეობის შეცვლით (მაგალითად თუ აშენდება კაშხალი, ან ახალი გზა და ა.შ.

აქედან გამომდინარე გეოინფორმაციული სისტემების გამოყენების სფერო ფართო-კარტოგრაფია, გეოლოგია, მეტეოროლოგია,

კლიმატოლოგია, მიწათმოწეობა, ეკოლოგია,
მუნიციპალური მმართველობა, ტრანსპორტი,
ეკონომიკა, თავდაცვა და ა.შ.

გეოინფორმაციული სისტემა უპირველეს ყოვლისა უკავშირდება მონაცემთა ბაზას, რუკას და ანალიზს, ამიტომ გის-ის ფორმულას ხშირად ასე ჩაწერენ:

გის=მონაცემთა ბაზა+რუკა+ანალიზი

გეოინფორმაციული სისტემის ტიპებია:

1. სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები,
2. სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემები (იხ.ცხრილი 19).

თითოეულ მათგანში ითვლიან უამრავ გეოინფორმაციულ სისტემებს. მათ შორის ცნობილია სამაგიდო და სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები. თითოეული მათგანი ერთმანეთისგან განსხვავდება მრავალი თავისებურებით.

სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები წარმოგვიდგენს კომპიუტერული პროცედურების შესრულების ერთგვარ მზა ფორმატს. მათი საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი მონაცემთა ბაზის დაკავშირება კარტოგრაფიულ საფუძველთან, და შესაბამისად რუკის შექმნა, ამობეჭვდა და სხვა ნებისმიერი სტატისტიკური ან კარტოგრაფიული ინფორმაციის მიღება.

სტანდარტულ გეოინფორმაციულ სისტემებს მიეკუთვნება: **MapInfo, ArcInfo, ArcView, AutoCad; NetWork, Geomedia, Analyst, Atlas GIS** და სხვა.

სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემები იქმნება კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად, ამიტომ მას დარგობრივი ხასიათი აქვს. მაგე დროს

მათ საფუძველს ხშირად სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები წარმოგვიდგენს, თუმცა ხშირად სპეციალურ პროგრამებს ადგენენ, კონკრეტული, ვიწრო დანიშნულებისათვის. სპეციალური გეოინფორმაციულ სისტემებს მიეკუთვნება: **ГИЭС Кавказа, ГИС Грузии, ГИС Черное море** და სხვა.

ცხრილი 19. გეოინფორმაციული სისტემის ტიპები

სისტემის ტიპი	არსი	სისტემის პროგრამები
სტანდარტული	კომპიუტერული პროცედურების შესრულების მზა ფორმატია	MapInfo, ArcInfo, ArcView, AutoCad; NetWork, Geomedeia, Analyst, Atlas GIS
სპეციალური	იქმნება კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად, მას დარგობრივი ხასიათი აქვს	ГИЭС Кавказа, ГИС Грузии, ГИС Черное море

გეოინფორმაციული სისტემა შედგება ქვესისტემებისაგან:

- მონაცემთა მოპოვება;
- მონაცემთა შენახვა და შერჩევა;
- მონაცემთა მანიპულაცია და ანალიზი;
- მონაცემთა გამოტანა.

მონაცემთა მოპოვება გულისხმობს მათ მოპოვებას, წინასწარ დამუშავებას და გარდაქმნას. ამ დროს ტოპოგრაფიული რუკის იზოხაზები გადაყავთ გის-ის რეალურ მოდელში. ს პროცედურა შეესაბამება კლასიკური რუკათშექმნის პირველ ორ ეტაპს.

მონაცემთა შენახვა და შერჩევა ითვალისწინებს მონაცემთა შერჩევას, რედაქტირებას და შენახვას. ამ შემთხვევაში თვით რუკა გვევლინება, როგორც ინფორმაციის შენახვის და შერჩევის საშუალება.

მონაცემთა მანიპულაცია და ანალიზი ითვალისწინებს მონაცემთა დაჯგუფებას, განაწილებას, მოდელირებას, შედარებას და აღწერას. ამ სისტემას მიიჩნევენ გის-ის ერთგვად “გულად”, რადგან საშუალებას იძლევა განახორციელოს იმ ინფორმაციის გაზომვა, შედარება და აღწერა, რომელიც ინახება მონაცემთა ბაზებში.

მონაცემთა გამოტანის პროცესში იქმნება მონაცემთა ბაზა. ამრიგად სისტემა ასახავს მონაცემთა ბაზას, რომელსაც გის-სისტემა წარმოადგენს ცხრილის, დიაგრამის, ან სხვა კარტოგრაფიული გამოსახულების სახით (ცხრილი 20).

ცხრილი 20. გეოინფორმაციული სისტემების სტრუქტურა

ქვესისტემა	ფუნქცია
მონაცემთა მოპოვება	მონაცემთა მოპოვება, წინასწარი დამუშავება და გარდაქმნა
მონაცემთა შენახვა და	მონაცემთა შერჩევა,

შერჩევა	რედაქტირება და შენახვა
მონაცემთა მანიპულაცია და ანალიზი	დაჯგუფება, განაწილება, მოდელირება, შედარება, აღწერა
მონაცემთა გამოტანა	იქმნება მონაცემთა ბაზა

14. ძირითადი სტანდარტული გეოინფორმაციული სისტემები

MapInfo ერთ-ერთ მძლავრი გეოინფორმაციული სისტემაა. მასში კარტოგრაფიული ამოცანების გადაწყვეტასთან ერთად შესაძლებელია ზუსტი მათემატიკური გაანგარიშებების ჩატარება, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია სხვადასხვა სახის მოდელირებისათვის. MapInfo-ს სტანდარტულ საინსტალაციო პაკეტში შედის ყველა ის ფუნქცია რაც საჭიროა ციფრული კარტოგრაფირებისა და მოდელირებისათვის: რასტრული და ვექტორული გამოსახულების რეგისტრაცია, ვექტორული რუკების შექმნა, თემატური კარტოგრაფირება, სამგანზომილებიანი მოდელების აგება, სხვადასხვა სახის გრაფიკებისა და დიაგრამების შედგენა და სხვა. არასტანდარტული მოდელები კიდევ უფრო სრულყოფს პროგრამის ფუნქციებს და რაც მთავარია MapInfo ღიაა პროგრამირებისათვის. მისთვის შექმნილია პროგრამული ენა MapBasic, რომელშიც შეუზღუდავად შეიძლება სხვადასხვა ფუნქციების შექმნა.

MapInfo v7.5 ადვილად აღიქვამს ყველა რასტრული ფორმატს(*bil, *sid, *gen, *ntf, *ecw, *url, *tif, *grc, *bmp, *gif, *tga, *jpg, *pcx, *jp2, *j2k, *png, *psd, *wmf,

.emf), ტექსტურ ფაილს ASCII(*.txt), Microsoft Excel (*.xls), Microsoft Access Database (*.mdb), Shapefile (*.shp), dBASE DBF (*.dbf). შესაძლებელია იმპორტირება *.mif, *.dxf, *.mbi, *.mmi, *.img, *.gml ფაილების, და ექსპორტირება *.mif, *.dxf, *.txt, *.dbf ფორმატში. აგრეთვე აღსანიშნავია ფუნქცია Universal Translator რაც უზრუნველყოფს AutoCad DWG\DXF, ESRI ArcInfo Export (E00), ESRI Shape, Intergraph/MicroStation Design, MapInfo (MID/MIF), MapInfo TAB, Spatial Data Transfer Standart (SDTS), Vector Product Format (VPF) ფორმატების ურთიერთ გაცვლას.

პროგრამა MapInfo–ში ვექტორული რუკა წარმოდგენილია ფენების სახით. თითოეულ ფენაში შეიძლება გვექონდეს: ხაზოვანი, პოლიგონალური და წერტილოვანი ელემენტები, ამასთან პროგრამის ერთ–ერთ მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ ნებისმიერ ფენაში ერთდროულად შეიძლება განთავსდეს სამივე სახის ელემენტი, რაც მათემატიკური გაანგარიშებების დროს გადამწყვეტ როლს თამაშობს. ვიზუალიზაციასა და დროებითი საყრდენი ვექტორების ანალიზს საკმაოდ ამარტივებს ის ფუნქცია, რომ ერთიდაიგივე ფენაში არსებულ ობიექტებს იმისდა მიუხედავად არის თუ არა მათზე მიბმული ატრიბუტული ინფორმაცია, შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა შეფერილობა, ხაზის განსხვავებული ტიპი და წარმოდგენილი იყოს განსხვავებული სიმბოლოთა სახით.

MapInfo საშუალებას იძლევა სამუშაო ფანჯარაში ობიექტზე დაწკაპუნებით (Click) მივიღოთ არა ატრიბუტული, არამედ რეალური ინფორმაცია ობიექტის კოორდინატებზე, ფართობზე, სიგრძეზე, პერიმეტრზე, ობიექტის ტიპზე და მოვახდინოთ

ზოგიერთი მათგანის კოპირება Windows-ის სხვა ფანჯრებში.

საკმაოდ დახვეწილია MapInfo-ს გრაფიკული საშუალებები. მარტივად ხდება ნებისმიერ არააქტიურ ფენის ელემენტზე აქტიური ფენის ელემენტების მიწებება (Snap), აქტიური ფენის ობიექტებიდან არააქტიური ფენის ობიექტების ამოჭრა (Erase, Erase Outside), გაყოფა (Split, Polyline Split), წერტილების დამატება გადაკვეთაზე (Overlay odes). შესაძლებელია ხაზის ან პოლიგონის გარკვეული მონაკვეთის კოპირება ხაზოვან ელემენტად.

მონაცემთა ბაზები სადაც ხდება ობიექტებზე არსებული ატრიბუტული ინფორმაციის შენახვა და მართვა, შეიძლება შეიქმნას MapInfo-ში ან იმპორტირებული იყოს სხვა პროგრამიდან. ობიექტთა მონიშვნა მონაცემთა ბაზებიდან ხდება: ნებისმიერი ველის მნიშვნელობებიდან (მათზე მათემატიკური ოპერაციების მითითებითაც), ორი სხვადასხვა ფენის გეოგრაფიულად ურთიერთგადამფარავი ობიექტების პარამეტრებით (შემდგომში ამ ფენების ველების განახლებით), ყველა ობიექტის, უკვე მონიშნული ობიექტების გაუქმება და ყველა დანარჩენი ობიექტების გააქტიურება. აქვე ხდება გრაფიკულ გამოსახულებაზე ან ცხრილში მონიშნული ობიექტების ძებნა. ველთა განახლება შესაძლებელია: ფენის, ცხრილში არსებული სვეტის, სხვა არააქტიური ფენის სვეტების, კონკრეტული ალფანუმერული მნიშვნელობის, მათემატიკური ფორმულის, ეგრეთ წოდებული Search Replase-ის (ძებნა და განთავსება) მითითებით. ცხრილში შეიძლება გადატანილი იქნეს ობიექტების კოორდინატები ნებისმიერი კოორდინატთა

სისტემისათვის, ინფორმაცია ობიექტის ტიპზე და სხვა.

ArcInfo – ერთ-ერთი ყველაზე მძლავრი გეოინფორმაციული სისტემაა, ორიენტირებულია მონაცემთა ბაზებზე. ბევრი ფუნქციით ის პირველია. სისტემის ერთ-ერთი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი სივრცითი ინფორმაციის დამუშავება. შეუძლია იმუშაოს ნებისმიერ ქსელში და რეჟიმში. ამავე დროს **ArcInfo** პირველი სისტემაა ისეთი ფუნქციებისა და თვისებების შექმნაში, რომლებიც დღეს გეოინფორმაციული სისტემების ატრიბუტად ითვლება. ის შეუდარებელია თავისი უნიკალური ფუნქციონალური შესაძლებლობებით. ამ თვალსაზრისით მას ანალოგი არ ყავს. ის არის სივრცული მონაცემების წარმოდგენის ერთ-ერთი ხელსაყრელი მოდელი (იხ. ჩხრილი 21).

ArcInfo-ს გააჩნია შემდეგი დანართები:

1. **ArcStudio** – კარტოგრაფიული დანართია მონაცემების გამოსახვისა და ანალიზისათვის.
2. **ArcManager**- არის დანადტი მონაცემთა ბაზებზე სამუშაოდ. მისი საშუალებით შესაძლებელია მონაცემების სწრაფი მოძებნა და მართვა.
3. **ArcToolbox**- დანართია, რომელიც შეიცავს გეოდამუშავების ფუნქციებს, ვთქვათ რუკების გარდაქმნა.
4. **ArcMap**- გამოიყენება ვექტორული და რასტრული კარტოგრაფიული მონაცემების ანალიზისათვის.
5. **ArcCatalog**- გამოიყენება მონაცემთა მართვისათვის.

ცხრილი 21. ArcInfo-ს დანართები

დანართი	ფუნქცია
ArcStudio	მონაცემების გამოსახვა და ანალიზი
ArcManager	მონაცემების სწრაფი მოძებნა და მართვა
ArcToolbox	გეოდამუშავება
ArcMap	ვექტორული და რასტრული კარტოგრაფიული მონაცემების ანალიზი
ArcCatalog	მონაცემთა მართვა

ArcView – სტრუქტურული თვალსაზრისით შედარებით მარტივი გეოინფორმაციული სისტემაა. ხელსაყრელია გეოგრაფიული მონაცემების სწრაფი და ეფექტური სარგებლობისათვის. პროგრამას ერთვის რამოდენიმე დანართი (ცხრილი 22):

1. **Spatial Analyst-** არის მონაცემების სივრცული ოდელირების საშუალება.
2. **3D Analyst-** დანართი სამგანზომილებიანი გამოსახულების დასამუშავებლად.
3. **Image Support-** საშუალებას იძლევა რუკასთან ერთად გამოვსახოთ სურათებიც, მაგრამ ანალიზის ფუნქცია არ გააჩნია.
4. **IAE (Image Analises Extension)-** დანართი გამოიყენება დისტანციური მონაცემების დამუშავებისთვის. რუკასთან ერთად გამოსახავს სურათსაც, მაგრამ ამ შემთხვევაში შესაძლებელია მათი ანალიზის ჩატარება.

ცხრილი 22. ArcView -ს დანართები

დანართი	ფუნქცია
Spatial Analyst	მონაცემების სივრცული ოდელირება
3D Analyst	სამგანზომილებიანი გამოსახულების დამუშავება
Image Support	რუკასთან ერთად სურათების გამოსახვა
IAE (Image Analises Extension)	დისტანციური მონაცემების დამუშავება

15. სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემები

განვიხილოთ ზოგიერთი ძირითადი სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემა: საქართველოს გეოინფორმაციული სისტემა, კავკასიის გეოინფორმაციული სისტემა, კავკასიის გეოპოლიტიკური ატლასის გეოინფორმაციული სისტემა, გეოინფორმაციული სისტემა “შავი ზღვა” და მარტყოფის გეოინფორმაციული სისტემა (იხ. ცხრილი 23).

ცხრილი 23. ძირითადი სპეციალური
გეოინფორმაციული სისტემები

ძირითადი სპეციალური გეოინფორმაციული სისტემები
საქართველოს გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Georgia)
კავკასიის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Caucasus)
კავკასიის გეოპოლიტიკური ატლასის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of geopolitical atlas of Caucasus)
გეოინფორმაციული სისტემა “შავი ზღვა” (Gis of Black Sea)
მარტკოვის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Martkopi)

საქართველოს გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Georgia). სისტემა შეიქმნა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აეროკოსმოსური მეთოდებით გარემოს მდგომარეობის შემსწავლელ სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიაში. სისტემა ოპერატიულად ამუშავებს ინფორმაციას ლანდშაფტების დღეღამური მდგომარეობისა და მათი ლანდშაფტურ-გეოფიზიკური მდგომარეობის შესახებ.

საქართველოს გეოინფორმაციული სისტემა შეიცავს ქვესისტემებს:

1. ინფორმაციის შეგროვების ქვესისტემა. ინფორმაციის ძირითადი ბაზა ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის დაკვირვებათა მონაცემების, აგრეთვე ნაკრძალებიდან და დაცული ტერიტორიებიდან მოსული ინფორმაცია.

2. ინფორმაციის დამუშავებისა და ანალიზის ქვესისტემა. ამ ქვესისტემაში დგინდება ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსების დღედამური მდგომარეობები და იქმნება ზოგიერთი ლანდშაფტურ-გეოფიზიკური რუკა.
3. მონაცემთა ბანკის ქვესისტემა. ეს გეოინფორმაციული სისტემის მთავარი ნაწილია. მასში თავმოყრილია ყველა ინფორმაცია ლანდშაფტების შესახებ.
4. კარტოგრაფიული ქვესისტემა. ამ ქვესისტემაში ხდება კარტოგრაფირება, რისთვისაც გამოიყენება პროგრამა MapInfo.

ცხრილი 24. საქართველოს გეოინფორმაციული სისტემა

ქვესისტემა	ფუნქცია
ინფორმაციის შეგროვების	ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის დაკვირვებათა მონაცემების, ნაკრძალებიდან და დაცული ტერიტორიებიდან მოსული ინფორმაციის შეგროვება
ინფორმაციის დამუშავებისა და ანალიზის	დგინდება ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსების დღედამური მდგომარეობები და იქმნება ზოგიერთი ლანდშაფტურ-გეოფიზიკური რუკა
მონაცემთა ბანკის	ლანდშაფტების შესახებ ყველა ინფორმაციის თავმოყრა
კარტოგრაფიული	კარტოგრაფირება

კავკასიის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Caucasus). სისტემა აგრეთვე შემუშავდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აეროკოსმოსური მეთოდებით გარემოს მდგომარეობის შემსწავლელ სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიაში. მისი მეშვეობით ხდება ველზე მოპოვებული ინფორმაციის მათემატიკური და სტატისტიკური დამუშავება, გრაფიკების და რუკების შედგენა. სისტემა შეიცავს ორ ძირითად ფაილს: მონაცემთა ბაზებს და ცოდნის ბაზებს. მონაცემთა ბაზებად ძირითადად გამოიყენება მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემები: ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები, სინოტივე, თოვლის საფარის სიმაღლე, ღრუბლიანობა და სხვა.

კავკასიის გეოპოლიტიკური ატლასის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of geopolitical atlas of Caucasus). რუკები შედგენილია პროგრამა MapInfo-ში 500 000-იან მასშტაბში. სისტემა მოიცავს მრავალ თემატურ რუკას და მონაცემთა ბაზებს. საბაზო რუკებია: ზოგადგეოგრაფიული, პოლიტიკურ-ადმინისტრაციული, ეთნიკური, ისტორიულ-გეოგრაფიული და ლანდშაფტური.

გეოინფორმაციული სისტემა საშუალებას იძლევა განხორციელდეს რეგიონის გეოპოლიტიკური პროგნოზი.

გეოინფორმაციული სისტემა “შავი ზღვა”(Gis of Black Sea). სისტემა მოიცავს 7 ბლოკს: გეოგრაფიის, გეოლოგიის, მეტეოროლოგიის, ფიზიკური ოკეანოგრაფიის, ქიმიური ოკეანოგრაფიისა და დაბინძურების, ბიოლოგიის, თევზის რესურსების. გეოინფორმაციული სისტემაში მოთავსებულია 2000 რუკა, რომლებიც დაკავშირებულია მონაცემთა ბაზებთან.

ცხრილი 25. გეოინფორმაციული სისტემა “შავი ზღვა”-ს ბლოკები

ძირითადი ბლოკები
გეოგრაფიის
გეოლოგიის
მეტეოროლოგიის
ფიზიკური ოკეანოგრაფიის
ქიმიური ოკეანოგრაფიისა და დაბინძურების
ბიოლოგიის
თევზის რესურსების

მარტკოფის გეოინფორმაციული სისტემა (Gis of Martkopi). შეიქმნა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მარტკოფის ფიზიკურ-გეოგრაფიული სტაციონარისათვის და ითვალისწინებს: მცენარეულობის, ნიადაგების, ტემპერატურის, ტენიანობის, თოვლის საფარის სიმაღლის რუკების შედგენას, აგრეთვე ბუნებრივ ტერიტორიული კომპლექსების მდგომარეობების განსაზღვრას და გეომასების ცვლილების პროგნოზირებას. სამწუხაროდ ამჟამად ფიზიკურ-გეოგრაფიული სტაციონარი აღარ ფუნქციონირებს.

16. ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველი

გეოინფორმაციული კარტოგრაფირებისათვის აუცილებელია ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველის არსებობა. იგი მიიღება აეროგადაღებების, კოსმოსური გამოსახულებების ან უკვე არსებული რუკების დიგიტალიზაციით

მასშტაბის შესაბამისი სიზუსტეების და ფენების კორექტულობის დაცვით.

განვიხილოთ კარტოგრაფიული საფუძველის შექმნა საქართველოს ზოგიერთი რაიონისათვის. ამ რაიონების დიგიტალური რუკების შექმნას საფუძველად დაედო საქართველოს 1:500 000–იანი მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკები, რომლებიც შედგენილია 1942 წლის კოორდინატთა სისტემაში. ტოპოგრაფიული რუკები სკანირებულია რეზოლუციით 400 pixels/inch. პროგრამა MapInfo–ში მოხდა ზემოაღნიშნული რასტრული გამოსახულებების რეგისტრაცია Longitude/Latitude (Pulkovo 1942) სისტემაში, გეოგრაფიული გრძედითა და განედით. საკონტროლო წერტილები აღებულია რუკის კუთხეებში, კოორდინატების ბადის გადაკვეთის ადგილას, სადაც ადვილად განისაზღვრება გეოგრაფიული კოორდინატები და ცდომილება თითოეულ წერტილზე არ აღემატება 2 პიქსელს, რაც გამოწვეულია ქალაქის სიძველით და დეფორმაციით.

რასტრულ საფუძველზე აციფრულია შემდეგი ხაზოვანი ფენები: სახელმწიფო საზღვრები (Border), ადმინისტრაციული საზღვრები (Border_as), საავტომობილო გზები (Roads), რკინიგზები (Railways), ნაკრძალები და დაცული ტერიტორიები (Reserve), ჰიდროლოგიური ქსელი (მდინარეები) (Rivers), შავი ზღვის სანაპირო ზოლი (Sea), ჰორიზონტალები (Iso), რომლებიც გატარებულია ზღვისპირეთში ყოველ 50, ხოლო დანარჩენ ტერიტორიაზე ყოველ 100 მეტრში.

აციფრულია პოლიგონალური ფენები: მყინვარები (lasier), ტბები და წყალსაცავები (akes). წერტილოვანი ფენები: დასახლებული პუნქტები (Sitti), მწვერვალები და უღელტეხილები (Tops).

ატრიბუტული ინფორმაცია გააჩნიათ: (Reserve) – ნაკრძალებისა და დაცული ტერიტორიების დასახელება, (Rivers) – მდინარეების დასახელება, (Iso) – სიმაღლე ზღვის დონიდან, (Sea) – სიმაღლე ზღვის დონიდან, (Lakes) – ტბების და წყალსაცავების დასახელება და სიმაღლე ზღვის დონიდან, (Sitti) – დასახლებული პუნქტების დასახელება, (Tops) – მწვერვალების და უღელტეხილების დასახელება და სიმაღლე ზღვის დონიდან.

ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველის ფრაგმენტი ანალოგიურ რასტრულ გამოსახულებასთან ერთად ნაჩვენებია ნახ. 30 –ზე. დიგიტალური რუკა შედგენილია ტოპოგრაფიული რუკების ფურცლების მიხედვით.

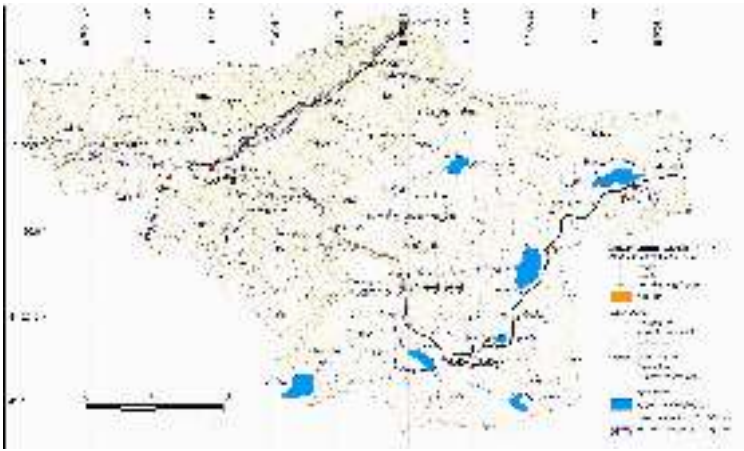


ნახ 30. ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველის ფრაგმენტი ანალოგიურ რასტრულ გამოსახულებასთან ერთად

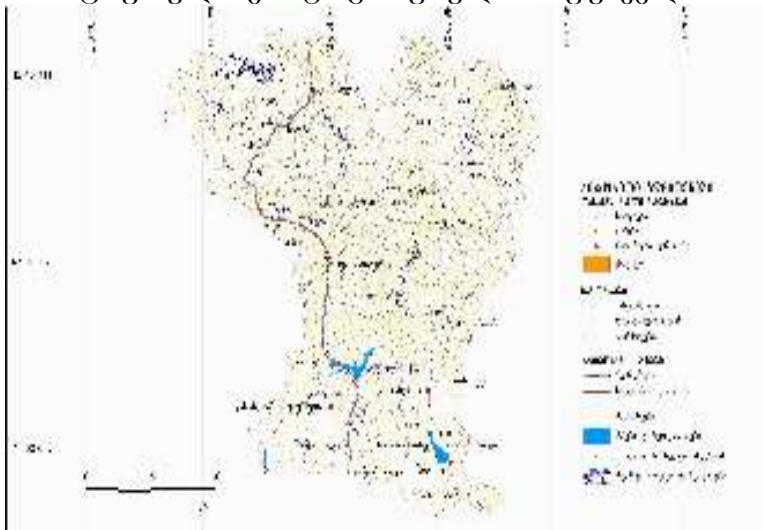
შემდგომ ეტაპს წარმოადგენს ამ ფაილების გაერთიანება, საკვლევი ტერიტორიებისთვის ცალ-ცალკე რუკების შედგენა, წარწერების, საზღვების, პოლიგონების და სიმბოლოებისთვის სტილის შერჩევა, თითოეული ტერიტორიისათვის Workspace-ების შექმნა და დარქივირება. აღნიშნული მასალა ნახვენებია ნახ. 31; 32 და 33-ზე.



ნახ. 31. აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველი



ნახ. 32 სამსრეთ საქართველო, მესხეთ ჯავახეთის ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველი



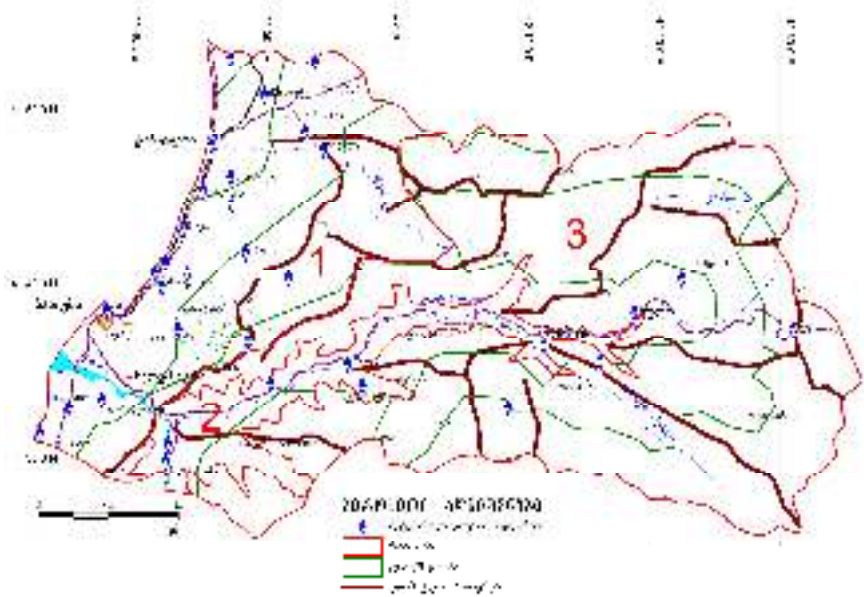
ნახ. 33. აღმოსავლეთ კავკასიონის(მთიულეთი, ფშავი, ხევი,ხევსურეთი) ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველი

შექმნილი ციფრული კარტოგრაფიული საფუძველის გამოყენებით, საკვლევ ტერიტორიებზე აციფრულია კლიმატური ბარიერები (barieri, ხაზოვანი ფენა), რომლებიც ემთხვევა ძირითად ქედებს. დატანილია ლანდშაფტების დიგიტალური საფუძველი ნ.ბერუჩაშვილის მიხედვით (Land, პოლიგონალური ფენა) და მეტეოროლოგიური სადგურები (Sadgurebi, წერტილოვანი ფენა), რომლებიც შეიცავენ ატრიბუტულ ინფორმაციას შემდეგ ველებში: Name – მეტეოროლოგიური სადგურის დასახელება; Z- მეტეოროლოგიური სადგურის სიმაღლე ზღვის დონიდან მეტრებში; Longitude/Latitude – გეოგრაფიული კოორდინატები: გრძედი და განედი გრადუსებში; Naleqebi – ნალექების ფაქტიური რაოდენობა მოცემული მეტეოროლოგიური სადგურისათვის მილიმეტრებში; ID – მეტეოროლოგიური სადგურის რიგითი ნომერი კლიმატური ცნობარის მიხედვით; Data – დაკვირვების წელთა რიგის რაოდენობა; Naleqebi-form და Region ველები რომლებშიც შემდგომში ჩაიწერება ფორმულით გამოთვლილი ნალექების რაოდენობა და რაიონის ნომერი რომელშიც მოთავსდება მეტეოროლოგიური სადგური.

17. მათემატიკური მოდელი გეოინფორმაციული კარტოგრაფირებისათვის

მეტეოროლოგიურ სადგურებში ნალექების როდენობასა და სიმაღლეს შორის არსებული ცალსახა დამოკიდებულების, ლანდშაფტების საზღვრებისა და კლიმატური ბარიერების გათვალისწინებით ჩატარებულია საკვლევ ტერიტორიების დარაიონება (region).

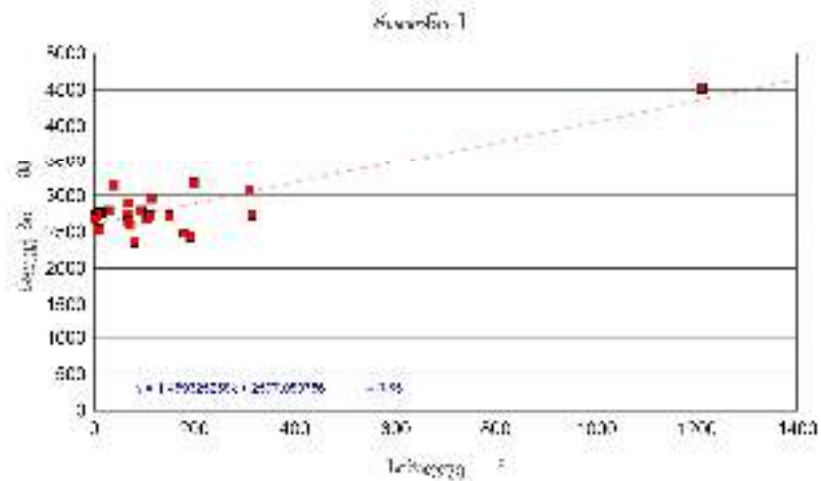
აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის ტერიტორიაზე გამოყოფილია სამი რაიონი, სადაც ატმოსფერული ნალექების განაწილება სიმაღლის მიხედვით ერთგვაროვანია. (ნახ. 34)



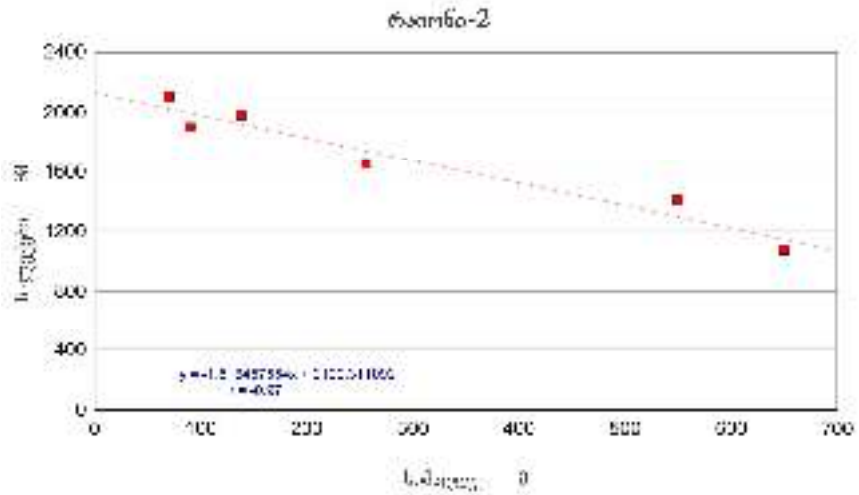
ნახ. 34. აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის დარაიონება

პირველი რაიონი ვრცელდება შავი ზღვის სანაპიროდან მესხეთის ქედის დასავლეთ ფერდობამდე, ამ ტერიტორიაზე მოთავსებულია 24 მეტეოროლოგიური სადგური. მეორე რაიონს წარმოადგენს მდინარე აჭარისწყალის და ჭოროხის ხეობა ზღვის დონიდან 700-მ. სიმაღლემდე. აქ მოთავსებულია 6 მეტეოროლოგიური სადგური. მესამე რაიონი მოიცავს მესხეთის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთ, შავშეთის ქედის ჩრდილოეთ და არსიანის ქედის დასავლეთ ფერდობებს, მდინარე

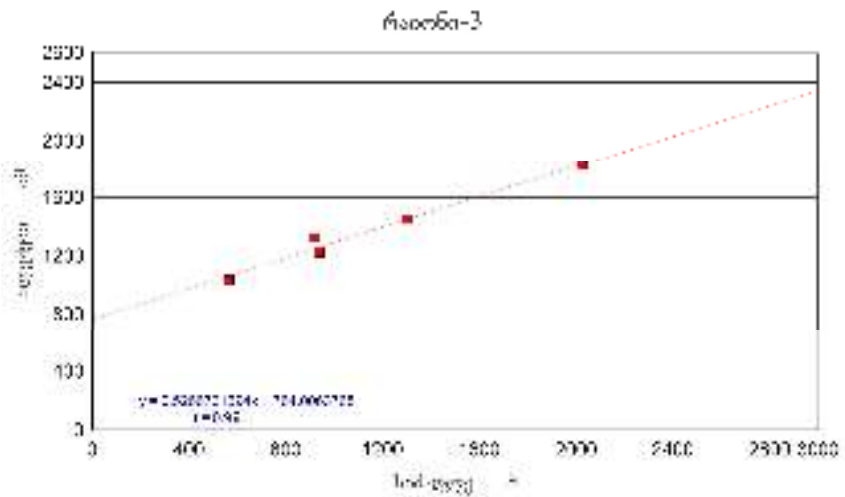
აჭარისწყალის და ჭკოროხის ხეობას ზღვის დონიდან 700-მეტრის ზემოთ. ამ ტერიტორიაზე მოთავსებულია 5 მეტეოროლოგიური სადგური. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით, შესაბამისი პოლინომი და კორელაციის კოეფიციენტი ნაჩვენებია ნახ. 35, 36 და 37-ზე.



ნახ. 35. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აჭარა, 1- რაიონი.



ნახ. 36. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აჭარა, 2- რაიონი.



ნახ. 37. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აჭარა, 3- რაიონი.

იმისდა მიხედვით თუ რომელ რაიონში მდებარეობენ მეტეოროლოგიური სადგურები, შესაბამისი განტოლებებით გამოთვლილია ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა თითოეული მათგანისათვის, რომლებიც კარგ თანხმობაშია მათ ფაქტიურ მონაცემებთან. ცხრილ 26-ში მოცემულია მეტეოროლოგიური სადგურების ფენის ყველა ატრიბუტული ინფორმაცია. როგორც აღვნიშნეთ Naleqebi-form ველში მოთავსებულია ატმოსფერული ნალექების გამოთვლითი მნიშვნელობები.

სამხრეთ საქართველო, მესხეთ-ჯავახეთის ტერიტორია დაყოფილია 5 რაიონად. (ნახ. 38)

პირველი რაიონის აღმოსავლეთ საზღვარი გადის მდინარე მტკვრის ხეობის მარჯვენა მხარეს ზღვის დონიდან 1500-1700 მ სიმაღლეზე, სამხრეთით და დასავლეთით შემოსაზღვრულია ერუშეთის და არსიანის ქედებით, ხოლო ჩრდილოეთით მესხეთის ქედით. ამ ტერიტორიაზე მოთავსებულია 12 მეტეოროლოგიური სადგური.

ცხრილი 26. აჭარის მეტეოროლოგიური სადგურების ატრიბუტული ინფორმაცია

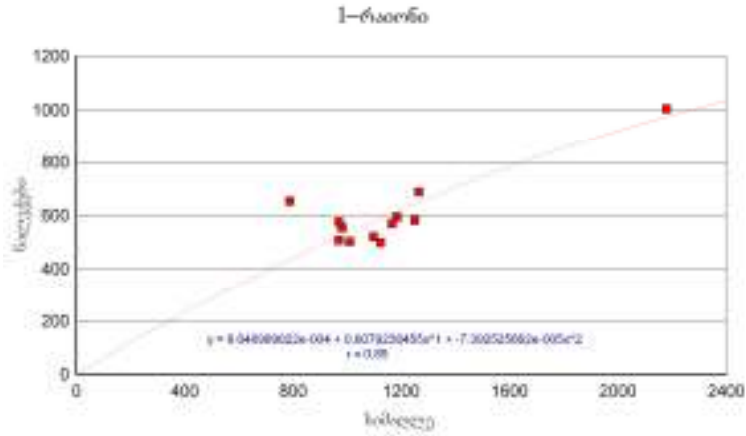
Name	Z	Longitude	Latitude	Naleqebi	Naleqebi form	ID	Region	Data
შუახევი	650	42.1986	41.6151	1076	996	430	2	19
ხულო	923	42.314	41.6481	1321	1294	426	3	42
ჩაქვისთავი	315	41.8727	41.6806	2730	3057	420	1	28
ციხისზირი	67	41.7638	41.7653	2732	2695	413	1	17
ჩაქვა, ავრო	30	41.7395	41.7291	2788	2641	416	1	49
მწვანე-კონცხი,ზ	94	41.7161	41.6969	2787	2734	418	1	56
ბობოყვათი	70	41.799	41.7771	2650	2699	412	1	29
ჯიხანჯირი	107	41.9061	41.8868	2670	2753	405	1	12
ოჩხამური	11	41.8417	41.8553	2530	2613	409	1	28
ქელა	256	41.9484	41.5984	1652	1761	431	2	32
ქვემო-მარადიდი	90	41.7161	41.5063	1900	1982	441	2	11
სარფი	40	41.5555	41.5321	3145	2655	439	1	10
ახალშენი	150	41.7314	41.6321	2721	2816	429	1	22
ქობულეთი	7	41.7781	41.8112	2514	2607	408	1	33
მახინჯაური	15	41.7109	41.6715	2754	2619	421	1	18
ბათუმი, ქელაქი	5	41.6401	41.6506	2718	2604	423	1	14
გოდერძის უღ.	2025	42.517	41.6314	1822	1771	428	3	6
ლაგვა	200	41.8	41.75	3171	2889	414	1	30
კოხი	112	41.918	41.803	2719	2761	411	1	22
პურტიო	565	42.27	41.6	1034	889	432	3	8
მახუნცეთი	138	41.85	41.58	1979	1918	433	2	8
სინდიეთი	70	41.7188	41.5221	2102	2009	440	2	19
ხალა	115	41.8176	41.7056	2960	2765	415	1	19
სიხალიძეები	550	41.9668	41.5775	1407	1370	437	2	13
ცისკარა	1210	41.8201	41.6198	4519	4363	425	1	7
ცეცხლაური	82	41.799	41.89	2356	2717	406	1	12
ელამბარი	192	41.8939	41.8199	2431	2877	407	1	13
ქობულეთი, რკ	10	41.7753	41.8065	2757	2612	410	1	28
ბათუმი, ალფონსი	72	41.7016	41.6864	2589	2702	417	1	8
მწვანე-კონცხი, კ	70	41.7439	41.685	2897	2699	419	1	11
დიდაჭარა	940	42.3749	41.6792	1224	1310	422	3	18
ბათუმი, შუქურა	2	41.6564	41.6494	2685	2600	424	1	69
ჩარნალი	310	41.5921	41.5566	3082	3050	434	1	14
მახო	180	41.6348	41.5634	2484	2860	435	1	11
ხიხაძირი	1300	42.1534	41.5566	1449	1588	438	3	4



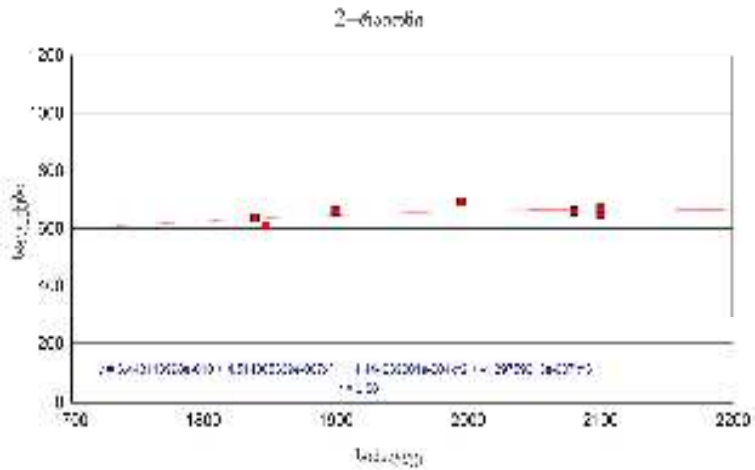
ნახ. 38. სამხრეთ საქართველო, მესხეთ-ჯავახეთის დარაიონება.

მეორე რაიონი აღმოსავლეთით და დასავლეთით შემოსაზღვრულია ჯავახეთისა და სამსარის ქედებით, სამხრეთ დასავლეთით მიუყვება მდინარე ფარაენის ხეობას, ხოლო ჩრდილო აღმოსავლეთით 135-ე გვარის ლანდშაფტის საზღვარს. ამ რაიონში მდებარეობს 7 მეტეოროლოგიური სადგური. მესამე რაიონი მოიცავს მდინარე გუჯარეთისწყალის ხეობას ზღვის დონიდან 1000მ. სიმაღლიდან 1800-2000მ. სიმაღლემდე. ამ რაიონში 6 მეტეოროლოგიური სადგურია. მეოთხე რაიონის სამხრეთ საზღვარი გადის თრიალეთის ქედზე, სამხრეთ დასავლეთით 135-ე გვარის ლანდშაფტის საზღვარზე და შემდგომ სამხრეთ აღმოსავლეთით და აღმოსავლეთით მიუყვება წალკის რაიონის ადმინისტრაციულ საზღვარს, ჩრდილოეთიდან კვლავ აკრავს თრიალეთის ქედი და მდინარე გუჯარეთისწყალის

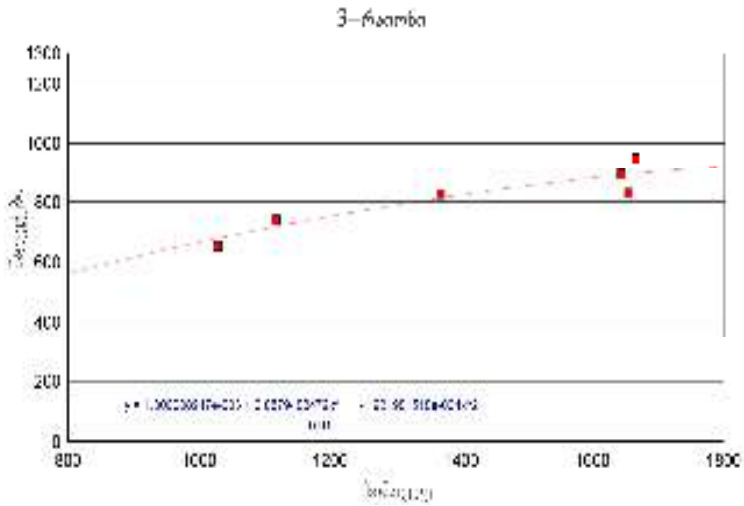
ხეობის ნაწილი ზღვის დონიდან 1800 მ. სიმაღლის ზემოთ. ამ რაიონში 5 მეტეოროლოგიური სადგურია. მესხეთე რაიონი აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია სამსარის ქედით და მდინარე ფარავანის ხეობით, სამხრეთით საქართველოს ადმინისტრაციული საზღვრით, დასავლეთით საზღვარი გადის მდინარე მტკვრის ხეობის ზღვის დონიდან 1500 მ. სიმაღლეზე და ჩრდილოეთიდან თრიალეთის ქედზე. აქ განლაგებულია 9 მეტეოროლოგიური სადგური. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით, შესაბამისი პოლინომი და კორელაციის კოეფიციენტი ნაჩვენებია ნახ. 39, 40, 41, 42, 43 -ზე.



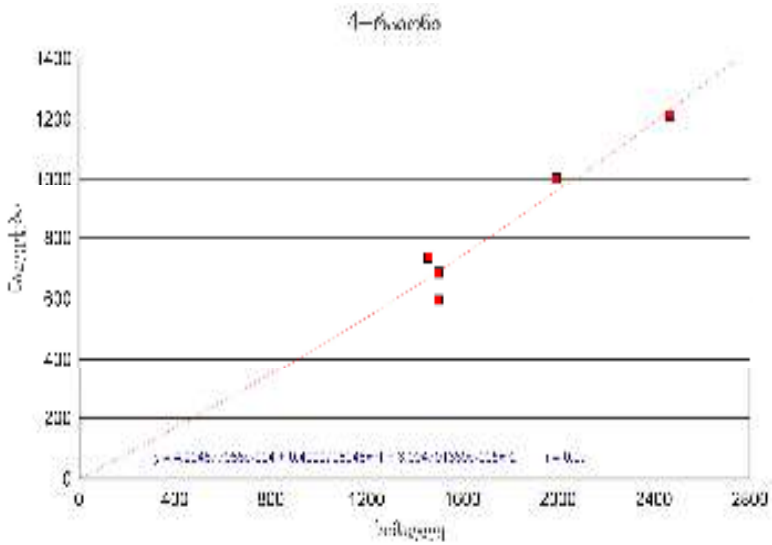
ნახ. 39. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. მესხეთ-ჯავახეთი, 1- რაიონი



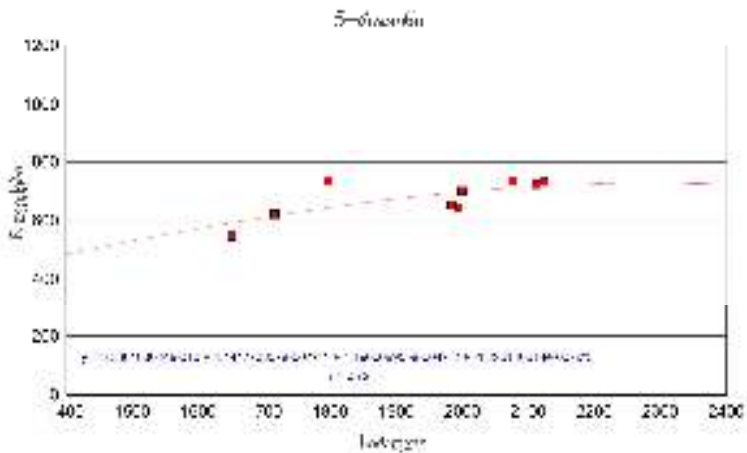
ნახ. 40. ნაღეკების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. მესხეთ-ჯავახეთი, 2- რაიონი



ნახ. 41. ნაღეკების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. მესხეთ-ჯავახეთი, 3- რაიონი



ნახ. 42. ნაღებების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. მესხეთ-ჯავახეთი, 4- რაიონი



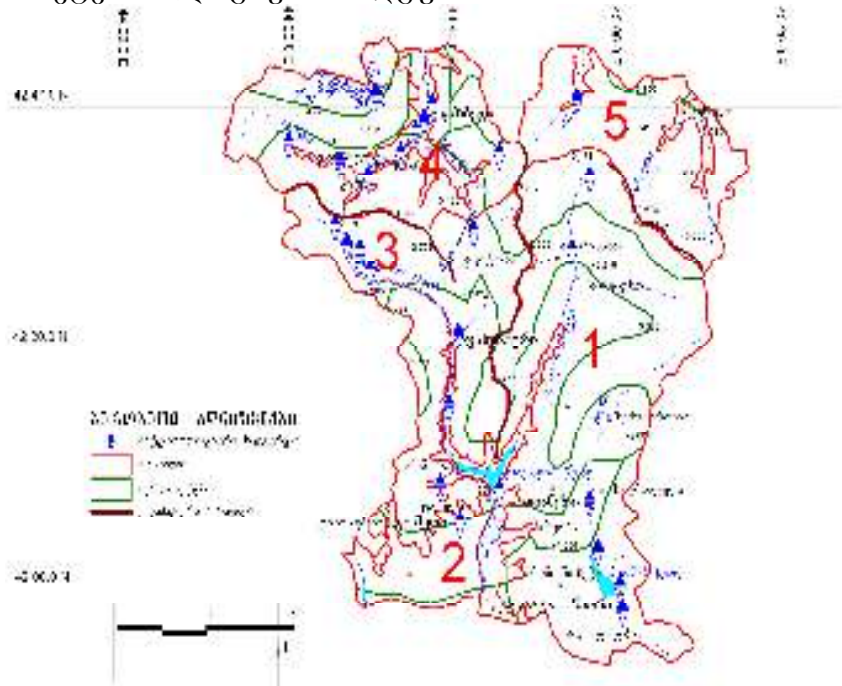
ნახ. 43. ნაღებების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. მესხეთ-ჯავახეთი, 5- რაიონი

მოცემული მეორე და მესამე რიგის პოლინომებით გამოთვლილია მეტეოროლოგიურ სადგურებში ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა, რომელიც კარგ თანხმობაშია ფაქტიურ მონაცემებთან. ცხრილ 27-ში მოცემულია სამხრეთ საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული მეტეოროლოგიური სადგურების ფენის ყველა ატრიბუტული ინფორმაცია. ანალოგიურად ნალექები-ფორმ ველში მოთავსებულია ატმოსფერული ნალექების გამოთვლითი მნიშვნელობები.

ცხრილი 27. სამხრეთ საქართველოს, მესხეთ-ჯავახეთის ტერიტორიის მეტეოროლოგიური სადგურების ატრიბუტული ინფორმაცია

name	Z	Longitude	Latitude	nalegebi	alegebi for	ID	Region	Data
აღიგენი	1185	42.7025	41.6778	594	617	260	1	25
აბასთუმანი	1265	42.8333	41.75	688	651	236	1	26
არალი	1010	42.8333	41.65	502	539	273	1	14
ახალციხე	982	43	41.6333	554	526	276	1	17
აწყური	970	43.1667	41.7333	576	520	240	1	32
ჯურიანი რკპ	1654	43.5076	41.7486	829	893	237	3	15
ოშორა	1250	43.2501	41.6206	582	644	280	1	15
ასპინძა	1098	43.2563	41.5749	520	578	286	1	25
ხერთვისი	1124	43.3296	41.4138	498	590	296	1	23
სულდა	2124	43.328	41.2722	731	718	321	5	18
ბორჯომი	789	43.3916	41.8351	653	434	218	1	73
ლიბანი	1368	43.4578	41.7559	826	814	232	3	10
ციხისჯვარი	1643	43.4535	41.7291	893	891	241	3	12
ცეცი	1117	43.4651	41.799	740	719	226	3	50
წალკერი	1028	43.4833	41.8	653	679	227	3	13
ახალქალაქი	1716	43.4867	41.3955	621	616	307	5	17
კონდურა	2000	43.5249	41.2864	701	698	318	5	20
არაკვა	1650	43.4976	41.484	546	592	297	5	20
კურიანი ავრ	1665	43.51	41.7398	949	896	243	3	53
ბოგდანოვკა	2077	43.6555	41.2398	733	712	324	5	37
ტაბაწყური	1995	43.6272	41.6652	643	696	267	5	24
აბული	1984	43.6167	41.4	653	694	308	5	9
ორთგოლარი	1847	43.6329	41.292	607	636	319	2	17
სათხე	1839	43.65	41.2833	636	634	322	2	13
არავიკა	1900	43.7597	41.3128	660	646	316	2	25
ეფრემოვკა	2112	43.75	41.2	722	717	327	5	39
საღამო	1995	43.7616	41.2996	690	659	320	2	6
ფოკა	2080	43.8	41.4	659	665	309	2	27
კუმი	1500	43.8941	41.6116	595	690	281	4	22
მალაროსხევი	2100	43.8333	41.4	651	666	310	2	8
როდიონოვკა	2100	43.8514	41.4677	667	666	300	2	18
წალკა	1457	44.0906	41.5985	736	668	283	4	35
ტუჯისი	1500	44.137	41.6544	685	690	250	4	25
თელი-საფლა	1991	43.6299	41.7399	1002	955	244	4	4
მლაშე	1166	42.6923	41.6765	569	608	259	1	11
მინაძე	970	43.056	41.6335	507	520	278	1	11
ცხრაწყარი	2466	43.5021	41.6674	1212	1230	261	4	8
მერენია	1797	43.5667	41.55	735	643	291	5	15
ზეკარისულ	2180	42.8641	41.8229	1004	974	217	1	5

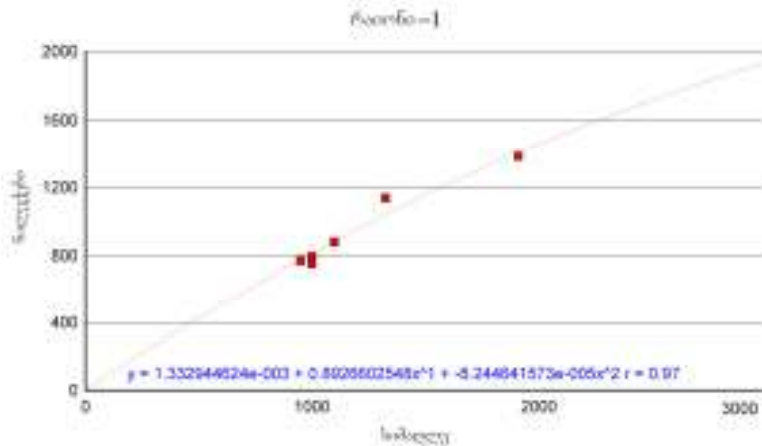
აღმოსავლეთ კავკასიონის ტერიტორია დაყოფილია 5 რაიონად (ნახ. 44). პირველი რაიონი აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია კახეთის ქედით, დასავლეთიდან გუდამაყრის ქედით და მდინარე არაგვის ხეობით. ჩრდილოეთით საზღვარი გადის კავკასიონის მთავარ ქედზე, ხოლო სამხრეთით თიანეთისა და ღუშეთის რაიონის ადმინისტრაციულ საზღვარზე. ამ რაიონში მოთავსებულია 6 მეტეოროლოგიური სადგური. მეორე რაიონი მოიცავს მდინარე არაგვის ხეობას ზღვის დონიდან 1000 მ. სიმაღლემდე. აქ მდებარეობს 4 მეტეოროლოგიური სადგური.



ნახ. 44. აღმოსავლეთ კავკასიონის დარაიონება

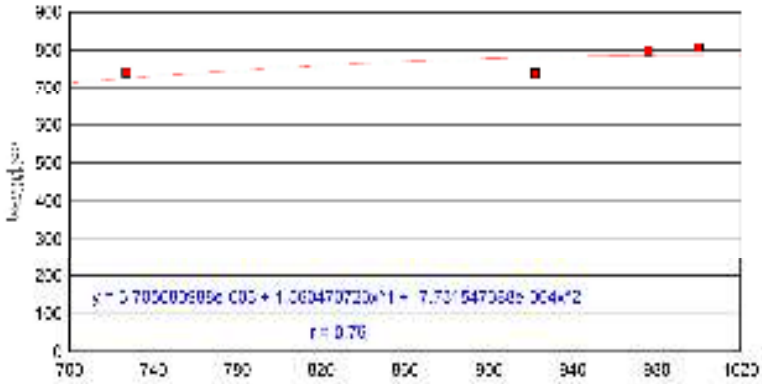
მესამე რაიონი აღმოსავლეთით, დასავლეთით და ჩრდილოეთით შემოსაზღვრულია გუდამაყრის,

ლომისის და მთიულეთის ქედებით, სამხრეთით კი მოიცავს მდინარე არაგვის ხეობას ზღვის დონიდან 1000 მ. სიმაღლის ზემოთ. ამ რაიონში 7 მეტეოროლოგიური სადგურია. მეოთხე რაიონი მოიცავს მდინარე თერგის და სნოსწყალის ხეობებს ზღვის დონიდან 2200 მ. სიმაღლემდე და მდინარე ასსას და არღუნის ხეობებს ზღვის დონიდან 1900 მ. სიმაღლემდე. ამ რაიონში 7 მეტეოროლოგიური სადგურია მოთავსებული. მეხუთე რაიონი ვრცელდება კავკასიონის მთავარი ქედის ჩრდილოეთით საქართველოს სახელმწიფო საზღვრამდე მდინარე თერგის, სნოსწყალის, ასსას და არღუნის ხეობების აღნიშნული ტერიტორიების გამოკლებით. ამ რაიონში 3 მეტეოროლოგიური სადგურია. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით, შესაბამისი პოლინომი და კორელაციის კოეფიციენტი ნაჩვენებია ნახ. 45, 46, 47, 48, 49 -ზე.



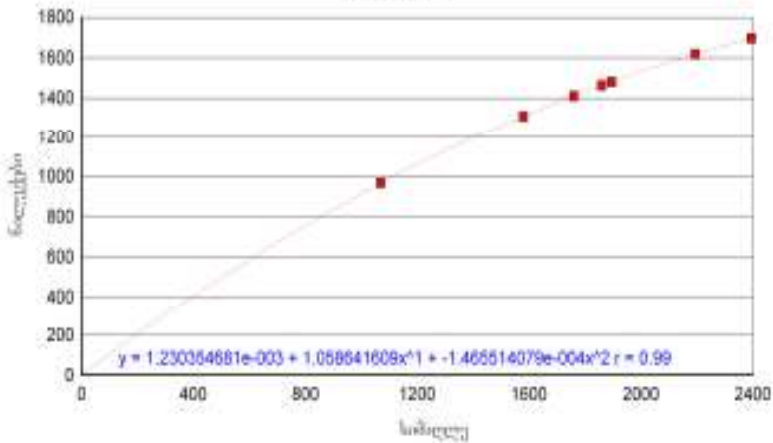
ნახ. 45. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აღმოსავლეთ კავკასიონი, 1- რაიონი

რასონ-2

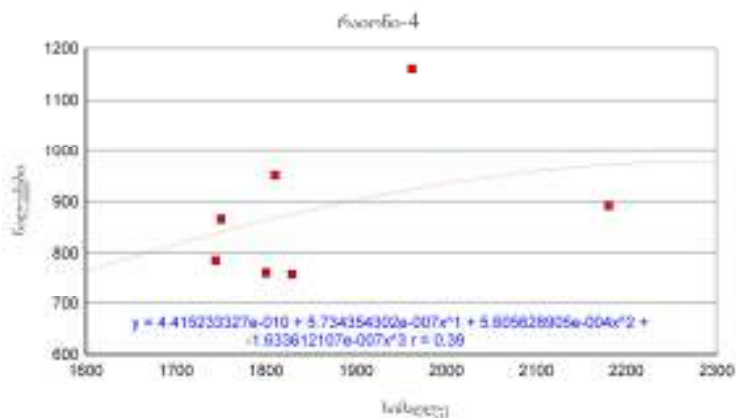


ნახ. 46. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აღმოსავლეთ კავკასიონი, 2- რაიონი

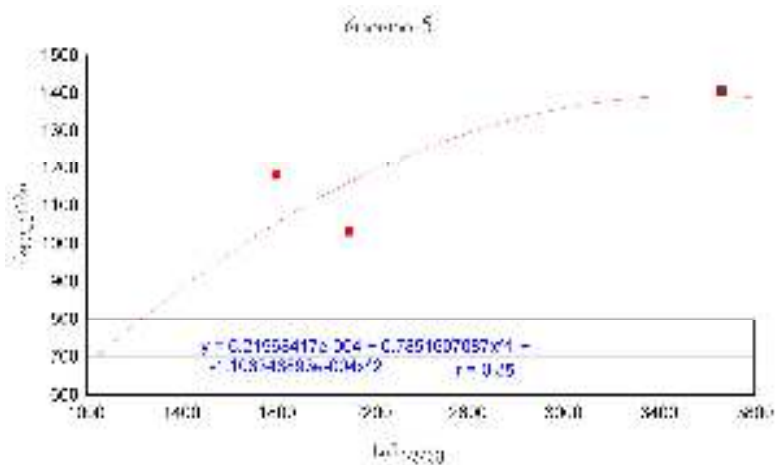
რასონ-3



ნახ. 47. ნალექების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აღმოსავლეთ კავკასიონი, 3- რაიონი



ნახ. 48. ნაღებების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აღმოსავლეთ კავკასიონი, 4- რაიონი



ნახ. 49. ნაღებების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. აღმოსავლეთ კავკასიონი, 5- რაიონი

მოცემული მეორე და მესამე რიგის პოლინომებით გამოთვლილია მეტეოროლოგიურ სადგურებში ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა, რომელიც კარგ თანხმობაშია ფაქტიურ მონაცემებთან. ჩხრილ 28-ში მოცემულია არაგვის ხეობაში არსებული მეტეოროლოგიური სადგურების ფენის ყველა ატრიბუტული ინფორმაცია. ანალოგიურად Naleqebi-form ველში მოთავსებულია ატმოსფერული ნალექების გამოთვლითი მნიშვნელობები.

ცხრილი 28. აღმოსავლეთ კავკასიონის ტერიტორიის მეტეოროლოგიური სადგურების ატრიბუტული ინფორმაცია

Name	Z	Longitude	Latitude	naleqebi	naleqebi form	ID	Region
ტეტი	2100	44.3548	42.614	1031	1161	31	5
ჯვრის უღ.	2395	44.45	42.5	1733	1695	57	3
კუმისციხე	1860	44.5	42.45	1354	1462	71	3
გულაური	2194	44.5	42.467	1585	1617	63	3
წვერი	1895	44.4742	42.4758	1557	1480	59	3
კობი	1962	44.517	42.567	1160	924	50	4
სიონი	1829	44.583	42.6	759	876	40	4
არმა	1800	44.617	42.633	762	864	35	4
თანდლანთ კარი	976	44.6636	42.1395	797	787	130	2
ყაზბეგი ქვემო	1744	44.6471	42.6671	786	838	28	4
ანანური	1000	44.6817	42.2504	806	787	111	2
ლუშეთი	922	44.7034	42.0882	739	782	141	2
ფასანაური	1070	44.7	42.35	999	965	95	3
ყინვლი	727	44.783	42.133	740	726	131	2
სიონმშენი	1000	45.0289	42.0005	794	810	168	1
თიანეთი	1099	44.967	42.117	878	881	133	1
წინსაღუ	1910	44.967	42.567	1380	1404	47	1
ორსევი	950	45.033	41.967	768	774	183	1
ოქროვანა	2180	44.4602	42.5882	892	972	43	4
მლოფა	1580	44.5206	42.4372	1315	1307	78	3
ნწი	1750	44.631	42.6471	866	841	41	4
ბარისახო	1325	44.9311	42.467	1136	1038	64	1
ბურსაჩილი	1760	44.7318	42.492	1400	1409	60	3
ასეგლი	1810	44.9411	42.6762	951	868	29	4
კულბართი(ლოლოვან)	1000	44.9833	42.05	752	810	154	1
ყაზბეგი ზემო	3656	44.5333	42.6833	1404	1392	27	5
როკა ზედა	1795	44.7833	42.6	1180	1053	328	5

18. ატმოსფერული ნალექების გეოინფორმაციული კარტოგრაფირება

ჩვენ მოვასხდინეთ ატმოსფერული ნალექების გაანგარიშება კონკრეტული მეტეოროლოგიური სადგურებისათვის. კარტოგრაფირებისა და თემატური რუკების შესადგენად საჭიროა მათი სივრცითი განზოგადება, ანუ მათი გაანგარიშება გაცილებით მეტი წერტილისათვის, რომლებიც მოგვცემს სურათს კონკრეტული ტერიტორიისათვის. რადგანაც კვლევა დაფუძნებულია ატმოსფერული ნალექების უპირველეს ყოვლისა რელიეფთან დამოკიდებულებაზე, ამიტომ საჭიროა გვექონდეს რელიეფის ციფრული მოდელი. მართალია ჩვენ გვაქვს იზოხაზების ფენა რომელსაც გააჩნია აგრეთვე ინფორმაცია ზღვის დონიდან სიმაღლის შესახებ, მაგრამ ინტერპოლირებისათვის აუცილებელია რელიეფის წერტილოვანი ფენის არსებობა რადგანაც იზოჰიეტების გატარება მოხდეს წერტილზე არსებული ინფორმაციის საშუალებით. ძირითადად ცნობილია ასეთი მოდელის ორი სახე: DTM – იგი წარმოადგენს რელიეფის რეგულარულ მოდელს, სადაც წერტილებს შორის მანძილი მკაცრადაა განსაზღვრული და ყველა მიმართულებით ერთნაერია. ასეთი მოდელის აგება შესაძლებელია კოსმოსური ან აერო ფოტოსურათების ფოტოგრამმეტრიული დამუშავების გზით; TIN – რელიეფის არარეგულარული მოდელია, სადაც წერტილებს შორის მანძილი წინასწარ არ არის განსაზღვრული და იცვლება რელიეფის ფორმის მიხედვით. ასეთი მოდელის აგება შესაძლებელია როგორც კოსმოსური ან აერო ფოტოსურათების ფოტოგრამმეტრიული დამუშავების გზით, ასევე უკვე არსებული ტოპოგრაფიული

რუკების დიგიტალიზაციის საშუალებით. ჩვენს შემთხვევაში ამოცანის გადასაჭრელად დავეყრდნობით რელიეფის არარეგულერულ მოდელს (TIN).

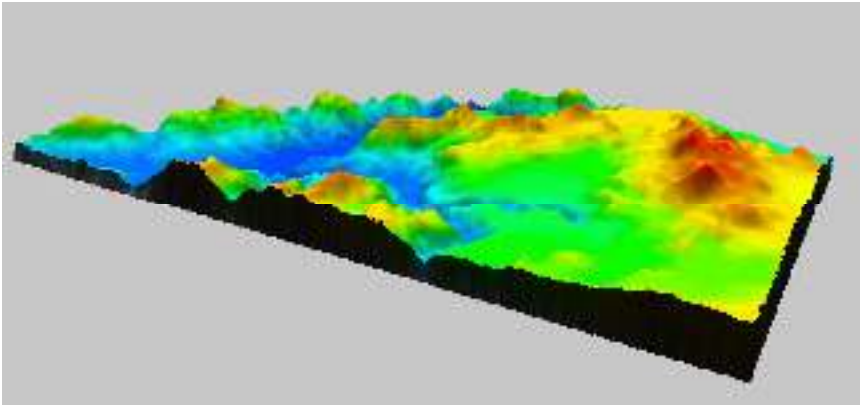
რელიეფის ციფრული მოდელის ასაგებად, შექმენით ფენა iso_line სადაც მოთვსებულია ყველა ის ფენა რომლებსაც გააჩნიათ სიმაღლის ატრიბუტული ინფორმაცია (iso, lakes, sea, tops) . ფენა lakes როგორც აღვნიშნეთ პოლიგონალურია, ამიტომ პირველ რიგში მოხდა მისი ობიექტების კონვერტირება ხაზოვან ობიექტებად. შემდგომში MapInfo v.7.5 –ის არასტანდარტული მოდულ OBJ_CONV – ის გამოყენებით, რომლის ფუნქციაა ხაზოვანი ობიექტების კონვერტირება წერტილოვან ელემენტებად, ისე რომ შენარჩუნებული იყოს ობიექტზე არსებული ატრიბუტული ინფორმაცია, შეიქმნა რელიეფის წერტილოვანი ფენა iso_point. სადაც იზოჰიფსების, ტბების და ზღვის სანაპირო ზოლის ყოველ საკვანძო წერტილში მიღებულია წერტილოვანი ობიექტი, მასზე არსებული გეოგრაფიული კოორდინატებითა და სიმაღლის ატრიბუტული ინფორმაციით. ასეთი წერტილების რაოდენობა და მათ შორის მანძილი საკვლევი ტერიტორიების მიხედვით მოყვანილია ცხრილ 29 – ში. წერტილებს შორის მანძილი როგორც აღვნიშნეთ იცვლება რელიეფის ფორმისა და ფერდობის ექსპოზიციის მიხედვით. ამდენად, მიღებულია რელიეფის არარეგულარული მოდელი (TIN).

iso_point ფენაში არსებულ წერტილოვან ობიექტებს აქვთ ატრიბუტული ინფორმაცია შემდეგ ველებში: Elev- სიმაღლე ზღვის დონიდან მეტრებში; region- იმ რაიონის ნომერი რომელშიაც მოთავსებულია კონკრეტული წერტილი;

Longitude\Latitude გეოგრაფიული კოორდინატები, გრძედი და განედი. რელიეფის ციფრული მოდელის ფრაგმენტი ნაჩვენებია ნახ. 50 –ზე.

ცხრილი 29. წერტილების რაოდენობა და მათ შორის მანძილი საკვლევი (iso_point ფენაში) ტერიტორიების მიხედვით

საკვლევი ტერიტორია	წერტილების რაოდენობა	მანძილი წერტილებს შორის (კმ)
აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა	43442	0.2 – 11
სამხრეთ საქართველო, მესხეთ-ჯავახეთი	51988	0.2 - 14
აღმოსავლეთ კავკასიონი	42823	0.2 - 5



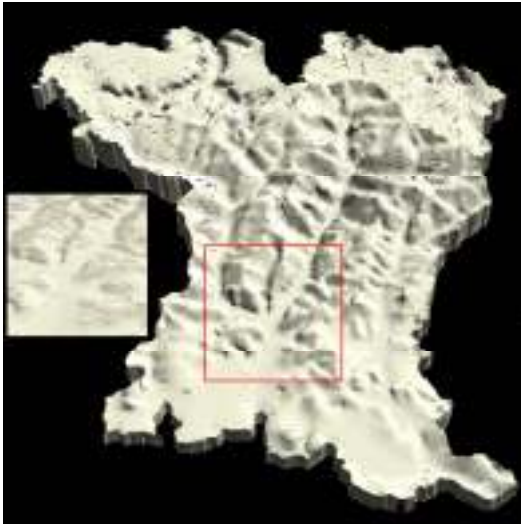
ნახ. 50. რელიეფის ციფრული მოდელი, მდინარე მტკვრის ხეობა სამხრეთ საქართველოში

ატმოსფერული ნალექების გამოთვლითი მნიშვნელობები, რომლებიც მივიღეთ კონკრეტული მეტეოროლოგიური სადგურებისთვის, უნდა განვაგრძოთ მთელი ტერიტორიებისათვის რელიეფის ციფრულ მოდელზე დაყრდნობით. ამისათვის iso_point ფენას ატრიბუტულ ცხრილში დავამატეთ ველი naleqebi . ამ ველში იმისდა მიხედვით თუ რომელ რაიონში მდებარეობს მოცემული წერტილი, შესაბამისი განტოლების საშუალებით დავიანგარიშეთ ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა. ფენა გადაყვანილია UTM_84 კოორდინატთა სისტემაში, რადგან პროგრამული უზრუნველყოფები რომლებიც აკეთებენ ინტერპოლირებას წერტილებს შორის მუშაობენ მხოლოდ მეტრული კოორდინატთა სისტემებისათვის, Longitude\Latitude ველებში გეოგრაფიული კოორდინატები გრძელი და განედი რომლებიც მოცემულია გრადუსებში მოდულ Coordinate Extractor-ის გამოყენებით შეცვლილია მეტრული კოორდინატებით და ფენა ექსპორტირებულია MapInfo Interchange (*.mif) ფორმატში.

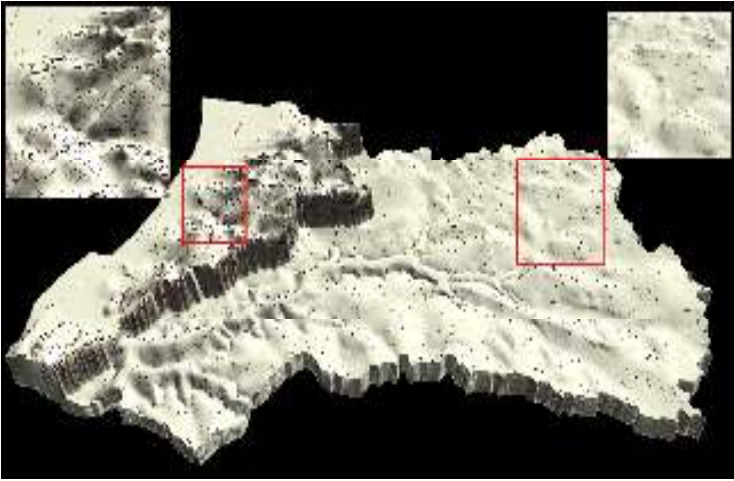
თანამედროვე ციფრულ კარტოგრაფიაში იზოხაზების ავტომატურ გატარებას დიდი მნიშვნელობა აქვს, რათა გამოირიცხოს მკვლევარის სუბიექტური აზრი. ასეთი პროგრამები , რომლებიც აკეთებენ ინტერპოლირებას წერტილებს შორის, დღეისათვის მრავლად არსებობენ. ჩვენი კვლევის ამ ნაწილის შესრულება კი გადავწყვიტეთ კომპანია Leica-ს პროდუქტ ERDAS IMAGINE 8.7-ის გამოყენებით. ERDAS IMAGINE წერტილოვანი ფენის საფუძველზე, ატრიბუტული ინფორმაციის ნებისმიერი ველის მითითებით ქმნის როგორც იზოხაზების ხაზოვან ფენას, ასევე საკვლევი

ტერიტორიის სამგანზომილებიან სივრცით მოდელს. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ პროგრამას შეუძლია თითქმის ყველა გაფართოების გრაფიკული ფაილის იმპორტ-ექსპორტი.

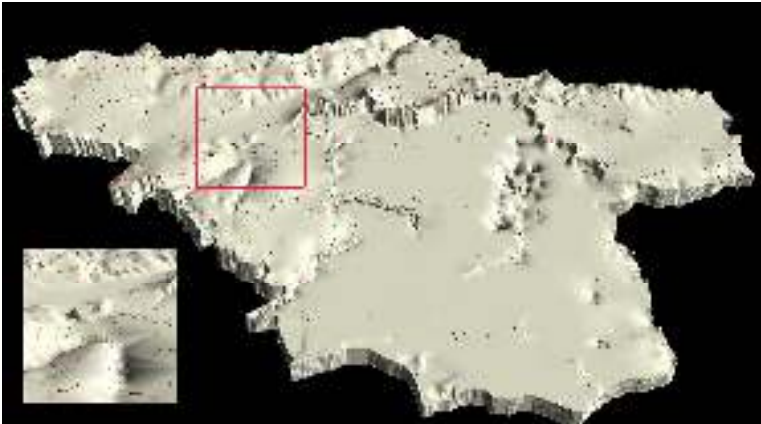
საკვლევი ტერიტორიებისათვის არსებული mif-ფორმატის ფაილები იმპორტირებულია ERDAS IMAGINE-ში Arc Coverage გაფართოებით, რის საფუძველზეც აგებულია იზოჰიეტების (Shapefile) და ატმოსფერული ნალექების სამგანზომილებიანი რუკები (IMAGINE image). შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 51, 52, 53-ზე.



ნახ. 51. ატმოსფერული ნალექების სამგანზომილებიანი და იზოჰიეტების რუკა ERDAS IMAGINE 8.7 ში. აღმოსავლეთ კავკასიონი

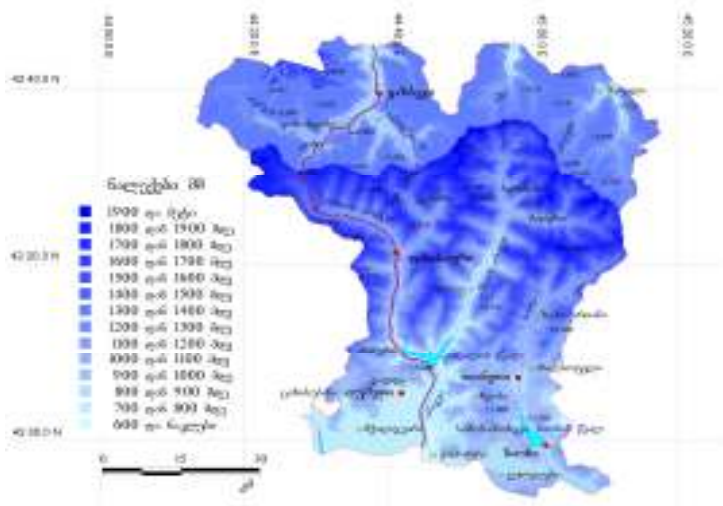


ნახ. 52. ატმოსფერული ნალექების
სამგანზომილებიანი და იზოჰიეტების რუკა ERDAS
IMAGINE 8.7 ში. აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა

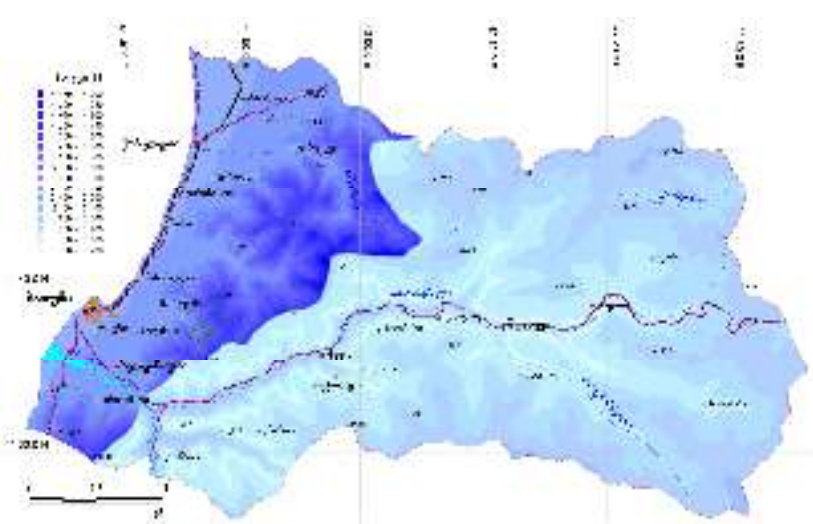


ნახ. 53 ატმოსფერული ნალექების
სამგანზომილებიანი და იზოჰიეტების რუკა ERDAS
IMAGINE 8.7 ში. სამხრეთ საქართველო, მესხეთ
ჯავახეთი

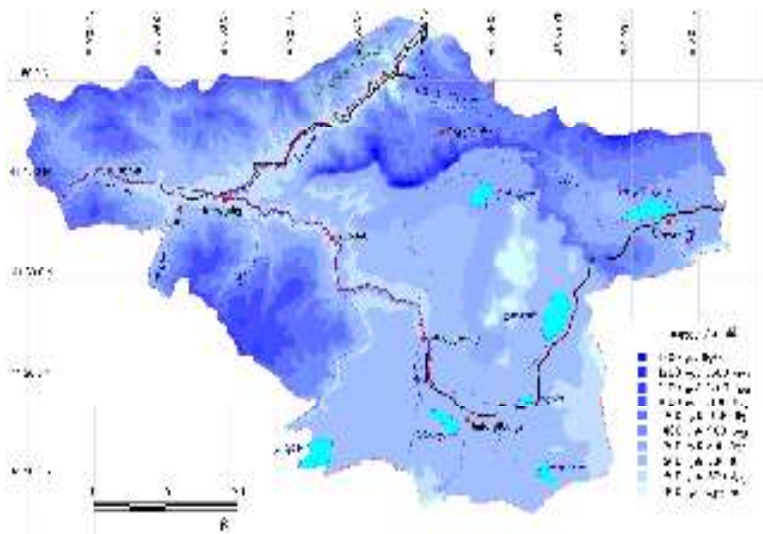
მიღებული იზოპიეტების რუკები, წარმოადგენს ხაზოვან ფენას ცნობილი Shapefile-ის სახით. იგი არ არის სრულყოფილი გრაფიკული მასალა, რადგანაც მასში არსებული ობიექტები მოითხოვენ რედაქტირებას. ამიტომ პროგრამა Autocad 2000-ის გამოყენებით მოვახდინეთ ხაზოვანი ფენის ელემენტების დახვეწა, ტოპოლოგიური შეცდომების გასწორება რის შემდეგაც ფენა კვლავ იქნა ექსპორტირებული Map Info –ში. აქ უკვე ხაზოვანი ფენიდან შეიქმნა პოლიგონალური ფენა და ავაგეთ ატმოსფერული ნალექების თემატური რუკები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 54, 55, 56-ზე.



ნახ. 54. ატმოსფერული ნალექების თემატური რუკა, აღმოსავლეთ კავკასიონი



ნახ. 55. ატმოსფერული ნალექების თემატური რუკა, აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა



ნახ. 56. ატმოსფერული ნალექების თემატური რუკა, სამხრეთ საქართველო, მესხეთ ჯავახეთი

ლიტერატურა

1. ე.ელიზბარაშვილი. გეოგრაფიულ დაკვირვებათა მოდელირება. თბილისი, 2009.
2. მ.ზაქარაიშვილი, ე.ელიზბარაშვილი. გეოგრაფიულ მონაცემთა დამუშავების ტექნოლოგიური მეთოდოლოგია. თბილისი, 2014.
3. ზ.ხვედელიძე, ე.ელიზბარაშვილი. მეტეოროლოგიური ელემენტები და მათი მათემატიკური დამუშავების მეთოდები. თსუ, თბილისი, 1982.
4. დალი ნიკოლაიშვილი. გეოინფორმაციული და ექსპერტული სისტემები, თბილისი, 2004.
5. შალვა ელიზბარაშვილი. ატმოსფერული ნალექების მოდელირება და გეოინფორმაციული კარტოგრაფირება მთიან პირობებში. თბილისი, 2009.
6. Н.В.Кобышева. Косвенные расчеты климатических характеристик. Л. Гидрометеиздат, 1971.
7. Н.В.Кобышева, Г.Я.Наровлянский. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л. Гидрометеиздат, 1978.
8. К.Брукс, Н.Карузерс. Применение статистических методов в метеорологии. Л. Гидрометеиздат, 1963 2.
9. Г.А.Пановский, Г.В.Брайер. Статистические методы в метеорологии. Л. Гидрометеиздат, 1972.
10. З.Румшиский. Математическая обработка результатов эксперимента. М.Наука, 1971.