სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL,”BUILDING“ №2(66), 2023
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ«СТРОИТЕЛЬСТВО»

ნავმისადგომის ნაგებობის ვარგისიანობის დადგენა არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის და დიაგნოსტიკის პროგრამული სისტემების საფუძველზე

თეიმურაზ ბულია, მერაბ ახობაძე, ე. კურცხალია, მალხაზ წიქარიშვილი
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77)

რეზიუმე. არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის გამოყენებით შეიქმნა ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების ახალი მეთოდი და ალგორითმი, ფოთის ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის მახასიათებელ მონაცემთა საფუძველზე. მიღებული შედეგები დაედო საფუძვლად გამოყენებითი ინტერაქტიური პროგრამული პაკეტების შექმნას: „ხომალდის ჯდომის სრული კორექტირების გაანგარიშება“ და „ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა“.

საკვანძო სიტყვები: *ნავმისადგომი. დიაგნოსტიკა. არამკაფიო სიმრავლეები. პროგრამული პაკეტი.*

1. შესავალი

შენობა ნაგებობის, ნავსადგურების ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანაა, სამშენებლო კონსტრუქციების დაზიანებათა, დეფექტების აღმოჩენა, დაზიანებათა მიზეზების დადგენა, დაზიანების დინამიკის პროგნოზირება გადაწყვეტილების მიღება იმის თაობაზე შესაძლებელია თუ არა ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაცია და ა.შ. სხვა.

არსებობს მრავალი მეთოდური მითითებანი, ამა თუ იმ კლასის და დანიშნულების ნავმისადგომის დიაგნოსტირებისათვის, რომელთა უმრავლესობა სადიაგნოსტიკო ობიექტთა პარამეტრების გაზომვის მეთოდიკას და სიზუსტეს ეხება. შესაბამისად გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმები რაოდენობრივი მეთოდების გამოყენებაზეა დაფუძნებული. უმეტეს შემთხვევაში, გაზომვები ხორციელდება არაზუსტად, მონაცემები არამკაფიოა და აღნიშნულ პროცედურებს წარმართავენ დაბალი კვალიფიკაციის სპეციალისტები. გარდა ამისა, ობიექტზე მოქმედებენ ძნელად დაკვირვებადი გარე ზემოქმედებები, შეშფოთებები, რიგი პარამეტრების ოპერატიული კონტროლი კი შეუძლებელია. ამასთანავე, ნავსადგომების, სამშენებლო კონსტრუქციების პარამეტრები წარმოადგენენ არასტაციონალურ სიდიდიდეებს. ხშირ შემთხვევაში კი, მეტად რთულად ფორმალიზებადია კავშირები ნავმისადგომის საკონსტრუქციო ელემენტებს და ნავსადგომების მახასიათებლებს შორის [3]. ცხადია, ასეთი მოცემულობის, რეალობის დროს საჭიროა შეიქმნას მათემატიკური მოდელები, მართვის, გადაწყვეტილების მიღების ისეთი ალგორითმები, რომლებიც ნაკლებად მგრძნობიარე იქნებოდნენ შეშფოთებების, გაზომვათა ცდომილებების და სადიაგნოზო პარამეტრების ცვალებადობების მიმართ.

არსებობს მეთოდები, როგორებიცაა ბაიესის და არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია [1,2], რომლებსაც ძირითადად იყენებენ არამკაფიო მონაცემების დამუშავებისათვის. აქვე, აუცილებელია, შევნიშნოთ, რომ შეფასების, პროგნოზირების სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება (ბაიესის მეთოდი), ხშირად არაკორექტულია. საქმე ისაა, რომ სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება მოსახერხებელია (ან მიზანშეწონილია) მაშინ, როდესაც შესასწავლი მოვლენა აღიწერება შემთხვევითი პროცესის მოდელით. მხოლოდ ამ შემთხვევაში, შეიძლება დავეყრდნოთ სტატისტიკურ მეთოდებს, სხვა შემთხვევების დროს, მათ გამოყენებას მივყავართ მცდარ შედეგებამდე.

დღეისათვის განუზღვრელობების, არამკაფიო მონაცემიბის დროს, გადაწყვეტილების მიღების უალტერნატივო თეორიაა არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია. არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია ესაა, არამკაფიო მონაცმეთა მკაფიო ლოგიკური ინტერპრეტაცია. ისაა ზუსტი მეცნიერება არამკაფიო მოვლენების და მონაცემების დამუშავებისათვის. რაც განპირობებულია იმით, რომ არამკაფიო მოდელირების, მართვის, Fuzzy ტექნოლოგიების ბაზაზე მიღებული გადაწყვეტილებები, შესაძლებელია შედარებულნი იქნან ექსპერტთა შეხედულებებთან და გაკეთდეს დასკვნები სისტემის ერთიან თვისებრიობაზე დაყრდნობით. აქედან გამომდინარე, გადაწყვეტილების მიღების არამკაფიო სისტემები და ტექნოლოგიები, დღესდღეობით ყველაზე აქტიურად და ფართოდ გამოიყენება ყველა დარგში.

გარდა არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის ზემოთ მოყვანილი უპირატესობებისა სტატისტიკურ მეთოდებთან შედარებით, ის საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნას პარამეტრების ციფრული-გაზომვით მიღებული ინფორმაცია. საქმე ისაა, რომ არამკაფიო ალგორითმები და მოდელები აიგება ე.წ. მიკუთვნების ფუნქციის საშუალებით, რომლებიც შეიძლება განხილული იქნას, როგორც ციფრული, ასევე სიმბოლური ინტერფეისის სახით. არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის გამოყენებისას არსებობს ორი მიდგომა: ა) როდესაც ცნობილია შესასვლელი ობიექტის ექსპერტიზის მონაცემები. ამ შემთხვევაში, მოდელის აღწერა ემყარება აპრიორულ ცოდნას სისტემის თაობაზე და არ იგეგმება მათი დაზუსტების შესაძლებლობა. რადგანაც ეს მეთოდი არის სუბიექტური, მისმა განზოგადებამ შესაძლებელია არასწორ შეფასებამდე მიგვიყვანოს ბ) მეორე მიდგომა ეფუძნება იდენტიფიკაციის მეთოდს, რომელიც მდგომარეობს სისტემის მოდელის აგებაში, მასზე მომქმედი შესასვლელი და გამოსასვლელი სიდიდეების საშუალებით. ამ შემთხვევაში, გადაწყვეტილება მიიღება ექსპერტთა ცოდნის და სადიაგნოზო ობიექტზე განხორციელებული მიმდინარე გაზომვათა ერთობლიობით. ჩვენი კვლევა და მიღებული შედეგები ეფუძვნება მეორე მიდგომას ანუ, ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება ხორციელდება, როგორც არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის (ლინგვისტური ცვლადების) ნავმისადგომის პარამეტრების გაზომვათა მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე.

2. ძირითადი ნაწილი

არამკაფიო სიმრავლეების მახასიათებლები რომელიც გამოიყენება ნაშრომში: სიმრავლე ესაა, გარკვეული ნიშნით გაერთიანებულ ელემენტთა ერთობლიობა. იმ ფაქტის დასადასტურებლად, რომ ელემენტი x ეკუთვნის (ან არ ეკუთვნის) X სიმრავლეს, შემოაქვთ X სიმრავლის მახასიათებელი ფუნქცია:

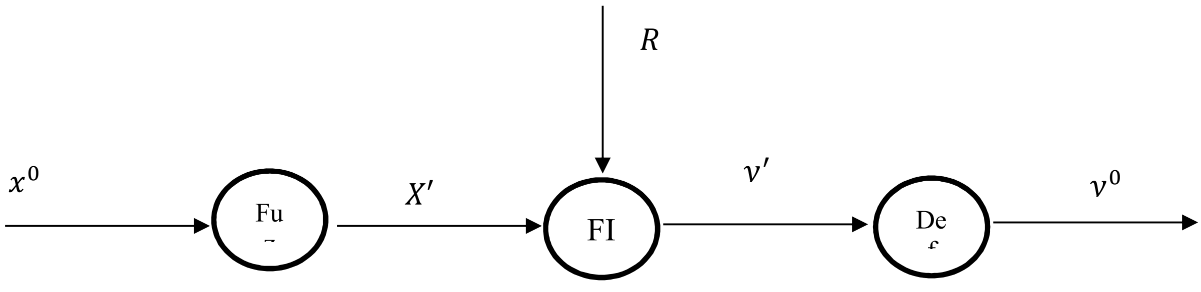
$$\mu_X(x) = \begin{cases} 1, \text{თუ } x \in X \\ 0, \text{თუ } x \in \text{X} \end{cases}$$

ასეთი მიდგომით, X სიმრავლეს აქვს ცალსახა და მკაფიო საზღვარი. ხშირად, x ელემენტის სიდიდის შეფასებისათვის, იყენებენ უნივერსალურ სიმრავლეს U. ესაა ის დიაპაზონი, სადაც შეიძლება მდებარეობდეს x-ის სიდიდე. არამკაფიო სიმრავლეს არ გააჩნია მკაფიო საზღვარი, რადგანაც ადგილი აქვს უწყვეტ გადასვლას X სიმრავლისადმი ელემენტის კუთვნილებას და არ კუთვნილებას შორის. არამკაფიო სიმრავლე (X) უნივერსალურ სიმრავლეზე (U), ეწოდება $\{\mu_X, X\}$ წყვილთა ერთობლიობას, სადაც $\mu_X: U \to [0,1]$ - მიკუთვნების ფუნქციაა. მიკუთვნების ფუნქციის $\mu_X(x)$ მნიშვნელობას ეწოდება x ელემენტის X სიმრავლისადმი მიკუთვნების ხარისხი. $\mu_X(x)$ წარმოადგენს სუბიექტურ ზომას იმისას, თუ $x \in U$ ელემენტი

რა „წონით“ ეკუთვნის არამკაფიო X სიმრავლეს. არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიაში შემოტანილია ლინგვისტური ცვლადის ცნება. ლინგვისტურ ცვლადს უწოდებენ ცვლადს, რომლის მნიშვნელობებია არა რიცხვები, არამედ ბუნებრივი ან ფორმალური ენის სიტყვები ან წინადადებები. მაგალითად, თუ ლინგვისტური ცვლადია „დაგვერდების კუთხე“, მან შესაძლებელია მიიღოს შემდეგი მნიშვნელობები: „ნორმალური“, „დიდი“.

ტერმ სიმრავლეს (term set) უწოდებენ ლინგვისტური ცვლადის ყველა შესაძლებელ მნიშვნელობათა სიმრავლეს, ხოლო ტერმი (term) ეწოდება ტერმ სიმრავლის ნებისმიერ ელემენტს. მაგალითად, თუ ლინგვისტური ცვლადია „მზომელის კვალიფიკაცია“, მაშინ მისი ელემენტები შეიძლება იყოს ტერმები: „პროფესიონალი“, „ახალბედა“.

არამკაფიო მოდელები და გადაწყვეტილების მიღების სიტემები შეიცავენ თვითმასწავლ ალგორითმებს და წარმოადგენენ გარკვეული წესების (R_i) ერთობლიობა [6; 8].



ნახ.1

არამკაფიო გადაწყვეტილების მიღების მოდელის ზოგადი სტრუქტურული სქემა (იხ. ნახ.1) აერთიანებს შემდეგ პროცედურებს: შესასვლელი - x^0, გაზომვის შედეგად მიღებული x_i პარამეტრის/პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობა/მნიშვნელობები ${x_i}^0$ $(i = 1,2,..k)$, ფაზიფიკაციის - Fuz (Fuzzyfication) პროცედურის მეშვეობით, გარდაისახება არამკაფიო ლინგვისტურ ცვლადად X'. შემდეგ, FI და R არამკაფიო დასკვნის სისტემის („IF…THEN“ წესები, „OR“ და „AND“ კონექტორებთან ერთად) საშუალებით მიიღება გადაწყვეტილება Y' - ლინგვისტური ცვლადის სახით, რომელიც შემდგომ დეფაზიფიკაციის Def (Defuzzyficaton) პროცედურის საშუალებით გარდაიქმნება ჩვეულებრივ რიცხვით მნიშვნელობაში, რომელიც შემდგომ მიეწოდება აღსრულების მექანიზმს.

გადაწყვეტილების მიღების არამკაფიო მოდელებიდან, ახლა, ყველაზე ხშირად გამოიყენება მამდანის მოდელი [4]. ეს განპირობებულია იმით, რომ მამდანის მეთოდი მარტივია და მოითხოვს მცირე რაოდენობის გათვლებს.

მამდანის მოდელში, შესასვლელ ინფორმაციათა გარდაქმნის წესს - R-ს აქვს შემდეგი სახე:

R^Q: „თუ x_1 არის ${X_1}^Q$ და x_2 არი ${X_2}^Q, \dots, x_m$ არის ${X_m}^Q$, მაშინ y_i არის ${Y_i}^Q$“

სადაც Q-არის წესის ნომერი. ვექტორები $x = (x_1, \dots, x_m)$ და $y = (y_1, \dots, y_m)$, წარმოადგენენ შესაბამისად შესასვლელი ცვლადების და გამოსასვლელის მახასიათებლებს, რომლებიც ხასიათდებიან შესაბამისი არამკაფიო სიმრავლეებით.

$$X_j^\theta, X_i^\theta, j = \overline{1,n}, i = \overline{1,n}$$

θ-წესში. $\theta = \overline{1,q}$

თავის მხრივ არამკაფიო სიმრავლეები X_j^θ, X_i^θ აღიწერებიან მიკუთვნების ფუნქციებით $\mu(x_j, d_j^\theta), \mu(y_i, d_i^\theta)$, რომლებიც დამოკიდებული არიან x_j შესასვლელ და y_i გამოსასვლელ

ცვლადზე. აგრეთვე $d_j^\theta,\ d_i^\theta, \overline{1,n},\ i=\overline{1,n}, \theta=\overline{1,q},\ (d_j^\theta \neq d_i^\theta,$ თუ $i=j)$ ვექტორულ პარამეტრებზე.

არამკაფიო დასკვნის გაკეთების სქემას, ერთი წესის - R და ერთი შესასვლელის - x შემთხვევისათვის აქვს შემდეგი სახე:

R: თუ x არის X, მაშინ y არის Y

შესასვლელი: x არის X^I

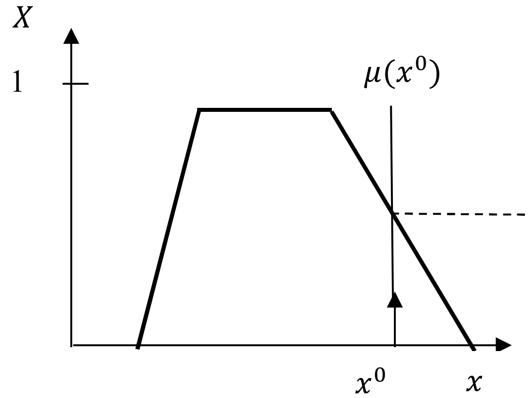
გამოსასვლელი: y არის Y^I

სადაც, X, Y, X^I, Y^I- არამკაფიო სიმრავლეებია შესაბამისად X, Y და X × Y უნივერსალურ სიმრავლეებზე. „ × “ დეკარტული ნამრავლის სიმბოლოა.

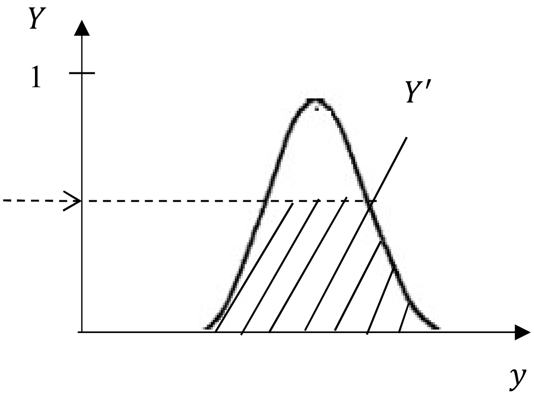
დაუშვათ, რომ არამკაფიო იმპლიკაცია (არამკაფიო წესი) $X \to Y$, წარმოდგენილია როგორც არამკაფიო მიმართება $R, (X \times Y)$-ზე. მაშინ, არამკაფიო სიმრავლე Y^I, გამომდინარე გამოსახულებიდან „x არის X^I“- და არამკაფიო წესიდან - „თუ x არის X, მაშინ y არის Y“, განისაზღვრება როგორც

$$Y^I(y) = maxmin[X^I(x), R(x,y)]$$

გეომეტრიული ინტერპრეტაცია მამდანის მეთოდისა - გადაწყვეტილების მიღებისა ერთი წესის, ერთი შესასვლელის და გამოსასვლელი საფუძველზე ნაჩვენებია (ნახ. 2.1; ნახ. 2.2).



ნახ. 2.1



ნახ. 2.2

აქ, (ნახ. 2.1; ნახ. 2.2) შესაბამისად შესასვლელი და გამოსასვლელი პარამეტრების მიკუთვნების ფუნქციებია - ტრაპეციის და გაუსის ტიპის. x^o - შესასვლელი პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობა (გაზომვის შედეგად მიღებული). y^o - გამოსასვლელი სიდიდე (გადაწყვეტილება, ჩვენ შემთხვევაში, ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება „გამართულია“/ “გაუმართავია“).

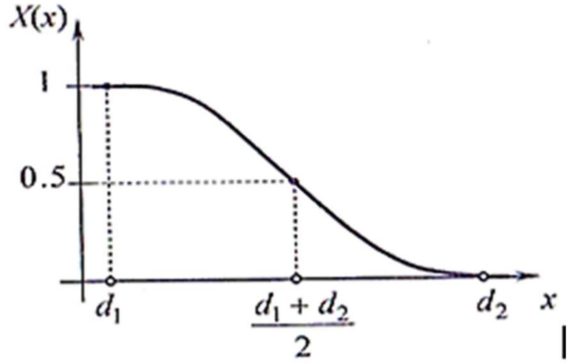
არამკაფიო მიდგომა ნაგებობათა ტექნიკური დიაგნოსტირებისათვის. ნავმისადგომის ტექნიკურ მდგომარეობაზე მსჯელობენ იმ კონკრეტული პარამეტრების საფუძველზე, რომლებიც ახასიათებენ მის ფუნქციურ შესაძლებლობებს და ტექნიკურ მდგომარეობას. დავუშვათ $X(x_1, x_2, \ldots, x_n)$; $(i = 1, 2,\ldots, n)$ - არის ვექტორი, რომლის მდგენელებია, x_i - ნავმისადგომის კონტროლირებადი (გაზომვადი) პარამეტრები. ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობა კი დავახასიათოთ ე.წ. გამოსასვლელი სიდიდით Y, რომელიც იძენს ორ მნიშვნელობას (0 ან 1). 0 როდესაც ნავმისადგომის ტექნიკური ექსპლუატაცია შეუძლებელია და 1 როდესაც ნავმისადგომი გამართულია.

შესასვლელი პარამეტრები, ცვლადები, ხასიათდებიან არამკაფიო ტერმებით „დასაშვებია“ და „დაუშვებელია“. იმ შემთხვევაში თუ შესასველელი რეგისტრირებული პარამეტრების

მნიშვნელობები ექსპერტის მიერ დადგენილ დასაშვებ შუალედებშია, მაშინ, მისი შესაბამისი ლინგვისტური ცვლადის არამკაფიო ტერმის მნიშვნელობაა „დასაშვებია“, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი „დაუშვებელი“. მიკუთვნების ფუნქციის შერჩევა და გამოყენება დამოკიდებულია კონკრეტული ნავმისადგომის, გემის ტიპზე, კლასზე, სახეობაზე. ქვემოთ მოყვანილია ხშირად გამოყენებადი მიკუთვნების ფუნქციები [6; 8].
z - მაგვარი მიკუთვნების ფუნქცია ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$X(x) = \begin{cases} 1, & \text{თუ} \quad x \in (-\infty, \mathrm{d}_1] \\ 1 - 2 \cdot \frac{(\mathrm{x}-\mathrm{d}_1)^2}{(\mathrm{d}_1-\mathrm{d}_2)^2} & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in (\mathrm{d}_1, \frac{\mathrm{d}_1+\mathrm{d}_2}{2}) \\ 2 \cdot \frac{(\mathrm{d}_2-\mathrm{x})^2}{(\mathrm{d}_1-\mathrm{d}_2)^2} & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in (\frac{\mathrm{d}_1+\mathrm{d}_2}{2}, \mathrm{d}_2) \\ 0, & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in [\mathrm{d}_2, +\infty) \end{cases} \qquad (1)$$

ნახ. 3.1. ნაჩვენებია მისი გეომეტრიული სახე. d_1 და d_2 -ფუნქციის გადასვლის წერტილებია 1 და 0 წერტილებში.

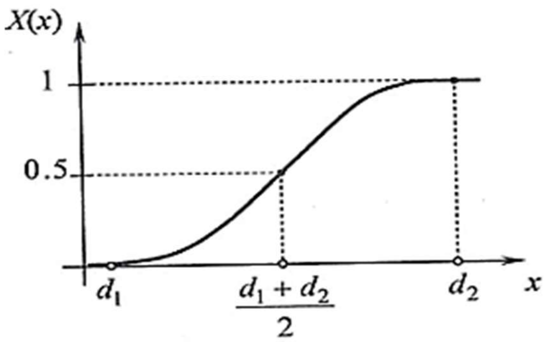


ნახ. 3.1

s - მაგვარი მიკუთვნების ფუნქცია ჩაიწეოება ძეძდეგი სახით:

$$X(x) = \begin{cases} 0, & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in (-\infty, \mathrm{d}_1] \\ 2 \cdot \frac{(\mathrm{x}-\mathrm{d}_1)^2}{(\mathrm{d}_2-\mathrm{d}_1)^2} & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in (\mathrm{d}_1, \frac{\mathrm{d}_1+\mathrm{d}_2}{2}) \\ 1 - 2 \cdot \frac{(\mathrm{d}_2-\mathrm{x})^2}{(\mathrm{d}_2-\mathrm{d}_1)^2} & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in (\frac{\mathrm{d}_1+\mathrm{d}_2}{2}, \mathrm{d}_2) \\ 1, & \text{თუ} \quad \mathrm{x} \in [\mathrm{d}_2, +\infty) \end{cases} \qquad (2)$$

ნახ. 3.2. ნაჩვენებია მისი გეომეტრიული სახე. d_1 და d_2 - ფუნქციის გადასვლის წერტილებია 1 და 0 წერტილებში.

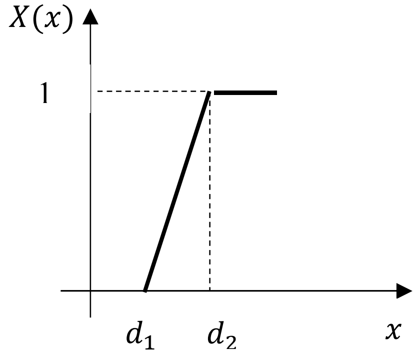


ნახ. 3.2

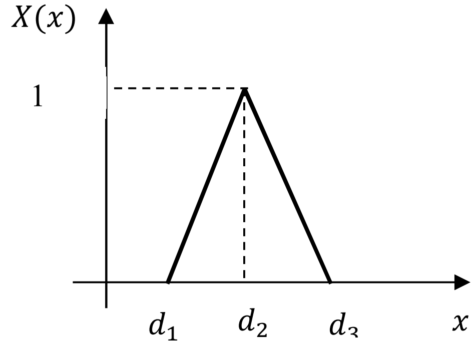
გადაწყვეტილების მიღებისათვის შესასვლელ პარამეტრად ასევე აღებულია „მყვინთავის გამოცდილება“, რომელიც ფასდება ლინგვისტური ტერმებით „გამოუცდელი“ და „გამოცდილი“ რომელთა მიკუთვნების ფუნქციები წარმოადგენენ უბან-უბან წრფივ ფუნქციებს:

$$X_{(x)} = \begin{cases} 0, & \text{თუ} \quad x \in (-\infty, d_1] \\ \frac{x-d_1}{d_2-d_1}, & \text{თუ} \quad x \in (d_1, d_2] \\ 1, & \text{თუ} \quad x \in (d_2, +\infty) \end{cases} \qquad (3)$$

გეომეტრიული სახე მოცემულია ნახ. 4.1 და ნახ. 4.2.



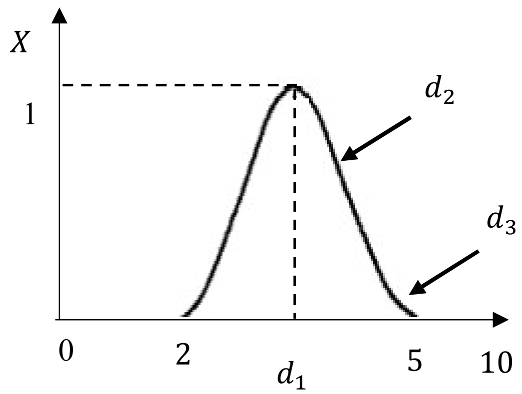
ნახ. 4.1



ნახ. 4.2

აქ, d_1 და d_2 - მიკუთვნების ფუნქციის შესაბამისად მარცხენა და მარჯვენა სასაზღვრო წერტილებია.
გაუსის ფორმის მიკუთვნების ფუნქცია აღიწერება შემდეგი გამოსახულებით:

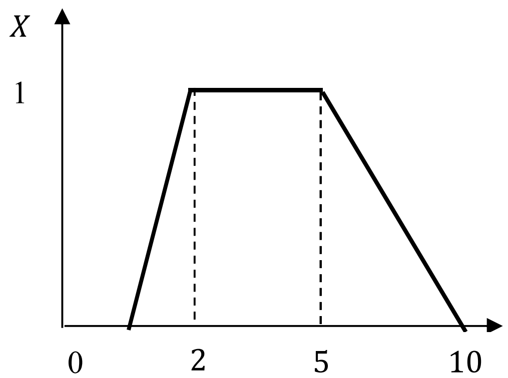
$$X(x) = e^{-\left(\frac{x-d_1}{d_2}\right)^{2d_3}} \qquad (4)$$



ნახ.5.1

d_1 - მრუდის სიმეტრიის ცენტრის წერტილის კოორდინატი;
d_2 - ვარიაციის კოეფიციენტი;
d_3 - დახრილობის კოეფიციენტი.
ტრაპეციის ფორმის მიკუთვნების ფუნქცია აღიწერება შემდეგი გამოსახულებით:

$$X(x)=\begin{cases} 0, & \text{თუ} \quad x \in (-\infty, d_1], \\ \frac{x-d_1}{d_2-d_1} & \text{თუ} \quad x \in (d_1, d_2], \\ 1 & \text{თუ} \quad x \in (d_2 - d_1), \\ \frac{d_4-x}{d_4-d_3} & \text{თუ} \quad x \in [d_4 - d_3), \\ 0, & \text{თუ} \quad x \in [d_4, +\infty), \end{cases} \quad (5)$$



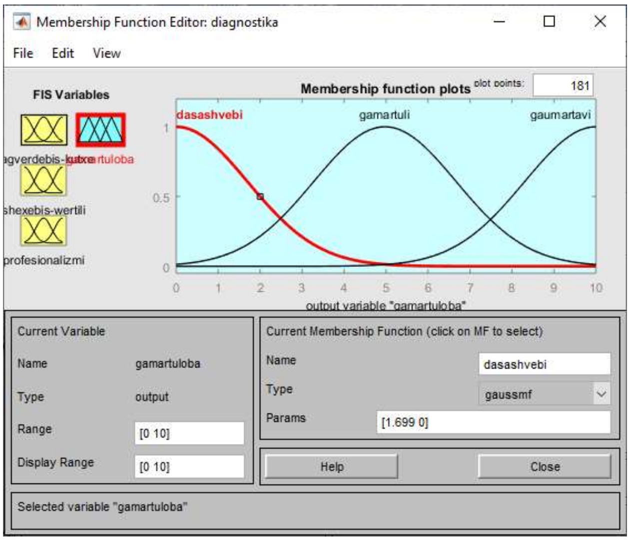
ნახ. 5.2

ფოთის ნავმისადგომის სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე, ვაჩვენოთ „დაგვერდების კუთხის“ მიკუთვნების ფუნქციის აგების მაგალითი, როდესაც „დაგვერდების კუთხე“ განიხილება როგორც არამკაფიო, ლინგვისტური ცვლადი [6; 8]. წარმოვადგინოთ „დაგვერდების კუთხე“ ცვლადის სამი ტერმის საშუალებით: „დასაშვები“, „ნორმატიული“, „შესაძლებელი-სახიფათო“. იმ შემთხვევაში როდესაც „დაგვერდების კუთხე“ არის $[2^0 - 5^0]$ ინტერვალში მაშინ, ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობა არ საჭიროებს კორექტირებას. როდესაც „დაგვერდების კუთხე“ აღემატება 5^0-ს მაშინ, ექსპერტების შეფასებით „შესაძლებელია-სახიფათო“. ხოლო როდესაც მოთავსებულია 1^0-სა და 2^0-ს შორის მაშინ „დასაშვებია“ გარკვეული ტიპის ხომალდებისათვის.

პროგრამული პაკეტი - ნავსადგომის ტექნიკური დიაგნოსტიკა Fuzzy ტექნოლოგიების გამოყენებით (Matlab - ის ბაზაზე) [3]. არამკაფიო სიმრავლეების, ლოგიკის, ალგორითმების რეალიზაციისათვის Fuzzy ტექნოლოგიების ბაზაზე, შექმნილია მრავალი გამოყენებითი პროგრამული პაკეტი, სისტემების მათემატიკური მოდელირების, მართვის, საექსპერტო დასკვნების და გადაწყვეტილებათა მიღებისათვის. ერთ-ერთი ასეთი პოპულარული პროგრამული პაკეტია „Matlab“, რომელიც მოიცავს პროგრამულ მოდულს „Fuzzy logic Toolbox”, არამკაფიო სისტემების სტრუქტურული მოდელირების საშუალებებით.

განვიხილავთ შემთხვევას, როდესაც შესასვლელი ცვლადის სახელებია: „დაგვერდების კუთხე“, „შეხების წერტილი“, „მზომელის პროფესიონალიზმი“.

გამოსასვლელი ცვლადია „ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობა“, რომელიც ხასიათდება არამკაფიო სიმრავლეებით: „დასაშვები“, „გამართული“ და „გაუმართავი“. თითოეული ლინგვისტური ცვლადი აღიწერება გაუსის ტიპის ფუნქციით (იხ. სურ. 1.)



სურ. 1.

ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება განისაზღვრება შემდეგი წესებით:

1. თუ დაგვერდების კუთხე არის „დასაშვები“, შეხების წერტილი არის „დასაშვები“ და „მზომელის პროფესიონალიზმი“ არის „ახალბედა“, მაშინ „ნავმისადგომის მდგომარეობა“ არის „გაუმართავი“.
2. თუ დაგვერდების კუთხე არის „დასაშვები“, შეხების წერტილი არის „ნორმატიული“ და „მზომელის პროფესიონალიზმი“ არის „პროფესიონალი“, მაშინ „ნავმისადგომის მდგომარეობა“ არის „დასაშვები“.
3. თუ დაგვერდების კუთხე არის „ნორმატიული“, შეხების წერტილი არის „ნორმატიული“ და „მზომელის პროფესიონალიზმი“ არის „ახალბედა“, მაშინ „ნავმისადგომის მდგომარეობა“ არის „გამართული“.
4. თუ დაგვერდების კუთხე არის „ნორმატიული“, შეხების წერტილი არის „სახიფათო“ და „მზომელის პროფესიონალიზმი“ არის „პროფესიონალი“, მაშინ „ნავმისადგომის მდგომარეობა“ არის „გამართული“.

ცვლადი, რომლითაც ფასდება ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობა მოიცემა ორი არამკაფიო ლინგვისტური ტერმებით „ტექნიკურად გამართულია“ და „ტექნიკურად გაუმართავი“.

რადგანაც შესასვლელ ცვლადად შემოვიტანეთ „მყვინთავის გამოცდილება“, მამდანის ალგორითმში ის ავსახეთ შესაბამისი წონითი კოეფიციენტით. ამ შემთხვევაში მამდანის წესი მიიღებს შემდეგ სახეს: თუ დაზიანება „მცირეა“ (დასაშვები დიპაზონიდან მცირედ არის გადახრილი) და მყვინთავის გამოცდილება „დაბალია“, მაშინ ტექნიკური მდგომარეობა შეგვიძლია მივიღოთ შესაძლებლად ექსპლუატაციისათვის. ამ დასკვნას ვანიჭებთ 0,5 წონას.

ინტერაქტიური პროგრამული პაკეტი, ნავმისადგომში ხომალდის ჯდომის სრული კორექტირების გაანგარიშებისათვის: ხომალდის ჯდომის სრული კორექტირების გაანგარიშებასათვის ვიყენებთ თანმიმდევრული მიახლოების მეთოდს [3; 5], რომელიც რეალიზებილია Visual Studio 2019 - ის გარემოში C++ ენაზე დაწერილი პროგრამული პაკეტის საშუალებით.

აღნიშნული პაკეტი შედგება ორი პროგრამული მოდულისაგან:

- პირველი პროგრამული მოდულის დანიშნულებაა, საჭიროების შემთხვევაში, შექმნას ხომალდების მონაცემთა ბაზა: ხომალდის დასახელება; ხომალდისთვის დასაშვები

დაგვერდების კუთხე; შეხების წერტილის კოორდინატი; სრული კორექციის საწყისი მნიშვნელობა და მიახლოებითი მეთოდის დასაშვები სიზუსტე;

- მეორე პროგრამული მოდულის დანიშნულებაა - უშუალოდ მიზნობრივი, ანუ ხომალდის ჯდომის სრული კორექტირების გაანგარიშება თანმიმდევრული მიახლოების მეთოდით.

ამ პროგრამას გააჩნია მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისი (GUI), რომლის მეშვეობით მას საშუალება ეძლევა დიალოგურ რეჟიმში აწარმოოს საჭირო გაანგარიშება:

ა) ხომალდების მონაცემთა ბაზიდან აირჩიოს სასურველი ხომალდი და ერთ ღილაკზე (click-ით) დაჭერით გამოითვალოს არჩეული ხომალდისათვის ჯდომის სრული მნიშვნელობა;

ბ) ახალი ხომალდის შემთხვევაში, რომლის მონაცემები არ არის ბაზაში, თავად შეიტანოს შესაბამისი პარამეტრების მნიშვნელობები და გამოითვალოს ჯდომის სრული მნიშვნელობა და დაამატოს ახალი ხომალდი მონაცემთა ბაზაში.

პროგრამა ქმნის 50 ხომალდისაგან შემდგარ ბაზას. ხომალდების პარამეტრების დასაშვებ მნიშვნელობათა ინტერვალი წარმოადგენენ გარკვეულ, განსაზღვრულ დიაპაზონთა სიმრავლეს.

50 ხომალდის ყველა პარამეტრისათვის მნიშვნელობის მინიჭების შემდეგ ისინი ქმნიან ბინარულ ფაილს, რომელიც ფაქტობრივად წარმოადგენს ხომალდების აღნიშნულ ბაზას. ამის შემდგომ პროგრამა კონტროლის მიზნით ეკრანზე გამოიტანს შექმნილი ბაზის ყველა ჩანაწერს.

სხვა ვითარება გვაქვს, როდესაც მომხმარებელი არ ირჩევს ხომალდს ბაზიდან, არამედ სურს გაიანგარიშოს მიზნობრივი მნიშვნელობა ისეთი პარამეტრებისათვის, რომლებიც სცდება ბაზაში მოცემულ პარამეტრების დიაპაზონებს. ასეთ შემთხვევაში მომხმარებელს პარამეტრების სასურველი მნიშვნელობები შეაქვს შესაბამის ველებში და ამის შემდგომ click-ავს ფორმაზე ღილაკს „გაანგარიშება“:თუ მიღებული შედეგი დამაკმაყოფილებელია და მომხმარებელი ჩათვლის საჭიროდ, რომ ასეთი პარამეტრების მქონე ხომალდი უნდა იქნას დამახსოვრებული ბაზაში, იგი click-ავს ღილაკს - „ხომალდის დამატება ბაზაში“. შედეგად, ბაზაში ბოლო ჩანაწერის სახით დაემატება ხომალდის დასახელება და შესაბამისი პარამეტრები.

3. დასკვნა

არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიისა და Fuzzy ტექნოლოგიების გამოყენებით შეიქმნა მათემატიკური მოდელები და ალგორითმები ნავმისადგომის ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის, პროგნოზირებისა და სარეაბილირაციო სამუშაოების ოპტიმალური დაგეგმისათვის. მიღებული შედეგები დაედო საფუძვლად გამოყენებითი ინტერაქტიური პროგრამული პაკეტების შექმნას.

ლიტერატურა

1. Atkin. R.H (1972). From Cohomology in Phizics to q-covectivingiin Social Science. Inf. Manchine studies, 4.
2. მანია, გ. (1996). ალბათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა.
3. წიქარიშვილი, მ. - ხელმძღვანელი. ბულია, თ. - შემსრულებელი. მ. ახობაძე, მ., კურცხალია, ე., ხვიჩია, ვ., ბრეგვაძე, მ - კონსულტანტები. (სტუდენტური სამეცნიერო პროექტის ანგარიში, 2022). ნავმისადგომის ტექნიკური დიაგნოსტიკა არამკაფიო

თეორიის საფუძველზე. გამოყენებითი ინტერაქტიური პროგრამული სისტემები ნავმისადგომის ტექნიკური დიაგნოსტიკისათვის.
4. Mamdani H. H.(1974). Application of fuzzy algoritms for control of simple dynamic plant // Proc.IEEE. Vol.121. P. 1585-1588.
5. ბულია, თ., წიქარიშვილი, მ., ახობაძე, მ. (2020) სამშენებლო კონსტრუქციების დაზიანებათა დინამიკის პროგნოზირება, სარეაბილატიციო სამუშაოების შეფასება და ოპტიმალური დაგეგმა, *q* ანალიზის მეთოდის საფუძველზე (ფოთის ნავმისადგომის მაგალითზე); „მშენებლობა“; სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი. 63(3).
6. Кудинов Ю.И. Келина А.Ю. Кудинов И.Ю. Пащенко А.Ю. (2017). Нечеткие модели и системы управления. М.:ЛЕНАНД, 328 с.
7. Кашеварова Г.Г. Тонков Ю.Л. (2020) Техническая диагностика железнобетонных конструкции с использованием интеллектуальных систем. Журнал гражданского строительства. 93(1). стр. 13-26.
8. ახობაძე, მ. (2017). არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის მათემატიკური საფუძვლები: არამკაფიო ალგორითმები.