

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი  
კომპიუტერულ მეცნიერებათა დეპარტამენტი

**მარიამ გოგოლაძე**

**ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი ფაზი-TOPSIS მიდგომა და  
პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი  
გადაწყვეტიულების მიღების მოდელისთვის**

სამაგისტრო პროგრამა: ინფორმაციული სისტემები

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ინფორმაციულ სისტემებში  
მეცნიერების მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელები:

**გია სირბილაძე,**

ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორი,  
სრული პროფესორი;

**ირინა ხუციშვილი,**

ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი.

თბილისი

2018

## ანოტაცია

სამაგისტრო ნაშრომში წარმოდგენილია მრავალკრიტერიულ გარემოში გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემის რეალიზაცია ფაზი - TOPSIS მეთოდოლოგიის გამოყენებით. სისტემაში შემავალი მონაცემები საექსპერტო ბუნებისაა და ინფორმაციის წყაროს წარმოადგენს ექსპერტი და მისი ცოდნა. მრავალკრიტერიული გადაწყვეტილების მიღების (MCDM) ამოცანების რაოდენობა დროთა განმავლობაში სულ უფრო და უფრო იზრდება, რაც განაპირობებულია ასეთი სისტემებიზე პრაქტიკაში დიდი მთხოვნით.

განხილულია ფაზი-TOPSIS მიდგომა მრავალკრიტერიული ფაზი-ტრაპეციული გადაწყვეტილების მიღების მოდელისათვის.

ნაშრომის ძირითადი ამოცანები შეგვიძლია შემდეგნაირად დავყოთ:

- 1) ფაზი-TOPSIS მეთოდოლოგიის შესწავლა და გადაწყვეტილების მიღების ამოცანის პრინციპების გააზრება ფაზი-ტრაპეციული რიცხვებისთვის.
- 2) გადაწყვეტილების მიღების მოდელის რეალიზაცია (როგორც ალგორითმული, ასევე პროგრამული). აგებული მოდულების ურთერთმიმართება გაერთიანებულ ინტელექტუალურ სისტემაში.
- 3) კონკრეტულ მაგალითზე ალგორითმის მუშაობის შედეგების დემონსტრირება და მათი შედარება სისტემის მოდულურ დონეზე.

## **Annotation**

In this master's work there is represented decision-making supporting system realization with the use of fuzzy-TOPSIS methodology in multi-criterion environment. The data in the system is the expert nature and the source of the information is the expert and its knowledge. The number of tasks of multi-criterion decision making (MCDM) are increasingly increasing over time, which in turn determines the need for such systems.

Fuzzy-TOPSIS approach is discussed for multi-criterion fuzzy – trapezoidal decision-making model.

The work can be considered as follows:

1. Learning the Fuzzy-TOPSIS methodology and understanding of the principles of solving the decision making problem for trapezoidal fuzzy numbers.
2. Realization of decision making model (as algorithmic as well as software). Built modules and their coordination in a single intelligent system.
3. Demonstrate the results of the work of the algorithm based on private examples and compare them to the modular level of the system.

# სარჩევი

1	შესავალი .....	5
1.1	გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემები.....	5
1.2	კვლევის ძირითადი ამოცანების შესახებ.....	7
1.3	ფაზი–სიმრავლეების სათავეებთან .....	7
1.4	TOPSIS მეთოდის ძირითადი იდეა, Fuzzy Topsis გადაწყვეტილების მიღების სისტემებში. ....	10
1.5	FTB-DSS სისტემა (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System).....	13
2	ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი ფაზი-TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის (Hesitant Trapezoidal Valued Fuzzy TOPSIS Approach and Software Development for Multicriteria Decision Making Model). ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1	Fuzzy TOPSIS ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისათვის. ....	16
2.1.1	ალგორითმი:.....	177
2.1.2	ძირითადი ცნებები და განმარტებები.....	19
2.1.3	ოპერაციები ტრაპეციულ ფაზი–რიცხვებზე.....	20
2.1.4	მეთოდი.....	21
2.1.5	მაგალითი.....	24
3.	სისტემის პროგრამული ნაწილი: .....	25
3.1	ტრაპეციულ რიცხვებზე ალგორითმის რეალიზაცია. ....	25
4.	დანართი .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1	FTB-DSS პროგრამული ნაწილი .....	28
4.2.1	ამოცანის რეალიზაციის ვიზუალური წარმოდგენა ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისაგან შემდგარ ჰესიტანტურ სიმრავლეზე .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	დასკვნა.....	31
6.	გამოყენებული ლიტერატურა.....	32

# 1 შესავალი

## 1.1 გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემები.

დღესდღეობით რეალურ გარემოში გადაწყვეტილების მიღების პროცესი, განსაკუთრებით კი მრავალკრიტერიალურ შემთხვევებში, ერთ-ერთ ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს.

აღსანიშნავია რომ, გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც წარმოიშვება საპასუხისმგებლო ამოცანების ამოხსნისას, ძირითადად ატარებს ანალიზურ სახეს და მოითხოვს გარკვეული სიტუაციების გათვალისწინებით გარკვეული ოპტიმალური შეფასების მიღებას.

ხშირად გადაწყვეტილების მიღება კავშირშია საბოლოო შედეგის განსაზღვრის მაღალ დონესთან. ამავე დროს ის შეიძლება გართულდეს სიტუაციათა ვითარების შეცვლის ან გადაწყვეტილების გამომუშავებისათვის დროის უკმარისობით. ასეთ შემთხვევაში გადაწყვეტილების მიღება უნდა განხორციელდეს შესაბამისი ანალიტიკურ-ექსპერტულ კომპიუტერული სისტემების დახმარებით.

გადაწყვეტილების მიღების პრობლემის სირთულე თანდათან იზრდება გარემოს კომპლექსურობის მიხედვით, რადგან მასზე მოქმედებს შეფასების თითოეული კრიტერიუმების ცვლილება. საშუალებები, რომელიც ეხმარება ადამიანებს გადაწყვეტილების არჩევის რთული ამოცანების გადაჭრაში, წარმოადგენენ **გადაწყვეტილებათა მიღების კომპიუტერულ მხარდამჭერ სისტემებს** (გმმს).

გადაწყვეტილებათა მიღების მხარდამჭერი სისტემები (DSS - Decision Support Systems), ზოგადად აგებულია მონაცემთა ბაზების, ხელოვნური ინტელექტის, იმიტაციური მოდელებისა და მენეჯმენტის საინფორმაციო სისტემების საფუძველზე. გმმს-ების საშუალებით შესაძლებელია არასტრუქტურირებადი და სუსტად სტრუქტურირებადი მრავალკრიტერიუმანი ამოცანების გადაწყვეტა.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ გამოიწვია ახალი ტიპის კომპიუტერული სისტემების გავრცელება, როგორცაა ინტელექტუალური გადაწყვეტილებათა მიღების მხარდამჭერი სისტემები (Intelligent Decision Support Systems) – IDSS.

ნებისმიერ გადაწყვეტილების პროცესში ჩვენ განვიხილავთ შედეგზე ორიენტირებულ ინფორმაციას და ვირჩევთ ორ ან მეტ ალტერნატივას შემდგომი მოქმედებებისთვის. თუ გადაწყვეტილება იყო სწორად მიღებული - ჩვენ გვექნება კარგი გამოშვება (output) . არსებობს ბევრი სხვადასხვა გზა, რომელთა საშუალებით შეიძლება გაკეთდეს ფაზი - გადაწყვეტილება Fuzzy Decision (FD).

თუ გადაწყვეტილების მიღების პროცესი ითვალისწინებს კვლევის არის სპეციალისტის (ექსპერტის) მონაწილეობას, საქმე გვაქვს საექსპერტო სისტემებთან.

ხშირად ამოცანის გადაწყვეტაში ევრისტიკული ცოდნის გამოყენება გამოწვეულია შემდეგი აუცილებლობით:

- 1) ისეთი მონაცემების კომპიუტერული დამუშავება, რომლებიც თავისი ბუნებით ბუნდოვანია ანუ ფაზია;
- 2) ისეთი რთული ობიექტების გამოკვლევა, რომელთა აღწერა-ფორმირება შეუძლებელია ფაზი-წარმოდგენების შემოღების გარეშე.

რთულ ექსპერტულ სისტემებზე მუშაობისას, მათი მოდელირების კლასიკურ მიმართულებათა პარალელურად, ყველაზე მნიშვნელოვანი არამკაფიოობის (Fuzziness) დაშვებაა. ყოველივე ეს უკავშირდება ბუნებასა და საზოგადოებაში მიმდინარე ჩამოუყალიბებელი თუ ანომალური მოვლენების შესწავლის სირთულეს, რაც გამოწვეულია ობიექტური ინფორმაციის სიმცირით ან არ არსებობით, როდესაც საექსპერტო ცოდნის ნაკადები გადამწყვეტია სანდო დასკვნების კონსტრუირებაში.

ამან ყველაფერმა განაპირობა ფაზი-ლოგიკაზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებათა მიღების მეთოდებისა და კომპიუტერული სისტემების ფართო გავრცელება ბოლო პერიოდში. მიზანშეწონილი გახდა მონაცემთა დამუშავება ფაზი-სტატისტიკური მეთოდებით, რადგანაც კლასიკური სტატისტიკის მეთოდები ამ შემთხვევაში არ იძლევა სანდო შედეგებს. ფაზი-ინფორმაციის წარმოდგენისა და დამუშავების ეფექტური ალგორითმების შემუშავება – ძალზედ აქტუალურია თანამედროვე მსოფლიოში. ყოველდღიურად იზრდება და

უმჯობესდება კვლევის შედეგები ამ მიმართულებით. შედეგად საქმიანობის უამრავ სფეროში ვიღებთ დაზოგილ დროს, ენერგიას და მაღალი სიზუსტის შედეგებს.

## 1.2 კვლევის ძირითადი ამოცანების შესახებ

ამოცანა ეხება განუზღვრელ გარემოში მრავალ-ალტერნატიული შერჩევებისას მრავალ-კრიტერიულ გარემოში მრავალ-ექსპერტული გადაწყვეტილების მიღების პრობლემებს. ხშირად ეს ინფორმაციები ექსპერტების ცოდნის გამოყენებით წარმოდგენილი იქნება შემდეგი საექსპერტო შეფასებებით: ჰესიტანტური ფაზი-სიმრავლეები, ფაზი-სამკუთხა და ფაზი-ტრაპეციული რიცხვები, ქულობრივი შეფასებები, სარგებლიანობები, ფასები და სხვა. ალტერნატივებს შორის ოპტიმალურის არჩევანი მრავალ-კრიტერიულ გარემოში ზოგადად შეიძლება არ არსებობდეს. არსებობს ისეთი მიდგომები, როდესაც კრიტერიუმების მიხედვით ალტერნატივებზე საექსპერტო შეფასებები აგრეგირებული იქნება სკალარულ სიდიდეებში. სკალარული სიდიდეები კი რანჟირებას გაუკეთებენ ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესი გადაწყვეტილებისკენ. ამით შეიქმნება ალტერნატივებს შორის ოპტიმალურის მოძიების შესაძლებლობა. სადიპლომო პროექტში ხდება ექსპერტული შეფასება ალტერნატივების კრიტერიუმებთან მიმართებაში და განხორციელებულია კრიტერიუმების წონების მიღების ორი განსხვავებული მიდგომა. საერთო ჯამში მომხმარებელს უჩნდება შესაძლებლობა სხვადასხვა წონებისთვის და სხვადასხვა ფაზი-რიცხვებისთვის რანჟირება გაუკეთოს ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესისკენ. აღნიშნული ამოცანა რეალიზებულია გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის სახით, რომელიც ექსპერტების ცოდნაზე დაყრდნობით მომხმარებლისთვის ქმნის გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერ გარემოს მრავალ-ალტერნატიულ შემთხვევაში და მრავალ-კრიტერიულ (მრავალ-ფაქტორულ) გარემოში, როდესაც ცოდნის წარმოდგენა მრავალექსპერტულია. საბოლოოდ, ინტელექტუალური სისტემა მომხმარებელს შეუქმნის გადაწყვეტილების მიღების ისეთ გარემოს, როდესაც შესაძლო ალტერნატივები დალაგებულია რანჟირებულად.



### 1.3 ფაზი–სიმრავლების სათავეებთან

არასრული ინფორმაციის არსებობისას, უზუსტობისა და განუზღვრელობის პირობებში, გადაწყვეტილების მიღების პრობლემატიკაში დღეს აქტუალური ხდება არამკაფიო მოდელირება. წარმოდგენილია არამკაფიო სიმრავლების თეორიის ძირითადი, ელემენტარული ასპექტები, რომლის შექმნა განაპირობა ადამიანის სწრაფვამ შემეცნებისა და აზროვნების პროცესების უკეთ შესწავლისათვის, ხოლო საწყისი არამკაფიო ინფორმაციის ასახვათა მათემატიკური ინსტრუმენტები რეალობის ადეკვატური მოდელების აგების საშუალებას იძლევა.

ადამიანის ინტელექტის საოცარი თვისებაა არასრული და არამკაფიო ინფორმაციის პირობებშიც კი მიიღოს საკმაოდ ზუსტი გადაწყვეტილება. ადამიანის აზროვნების მსგავსი ინტელექტუალური მოდელების აგება, მათი მომავალი თაობათა კომპიუტერულ სისტემებში გამოყენება – დღევანდელი მეცნიერების ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა.

ამ მიმართულებით დაახლოებით 45 წლის წინათ მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადადგა წინ კალიფორნიის (აშშ) უნივერსიტეტის (ბერკლი) პროფესორმა ა.ზადემ (Lotfi A. Zadeh). მისმა ნაშრომმა, რომელიც 1965 წელს დაიბეჭდა, ადამიანის ინტელექტუალური საქმიანობის მოდელირებას ჩაუყარა საფუძველი, რამაც არსებული ზოგიერთი მათემატიკური თეორიის ახალ ინტერპრეტაციას მისცა ბიძგი. მოკლედ, რაც ა.ზადემ თავის ნაშრომში ახალი შემოგვთავაზა:

- 1) მან განაზოგადა სიმრავლის კლასიკური, კანტორისეული ცნება, დაუშვა რა, რომ სიმრავლის მახასიათებელმა ფუნქციამ, ელემენტების სიმრავლეში შეთანხმებულობის (membership) ფუნქციამ შეიძლება მიიღოს არა მარტო 0 ან 1 მნიშვნელობა, არამედ ნებისმიერი მნიშვნელობა  $[0,1]$  შუალედიდან. ასეთ სიმრავლეებს მან არამკაფიო (Fuzzy) უწოდა.
- 2) მან შემოიღო მთელი რიგი ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე.
- 3) შემოიღო რა ე.წ. „ლინგვისტური ცვლადის“ ცნება და დაუშვა, რომ მისი მნიშვნელობები (თერმები) არამკაფიო სიმრავლეებია, მან ააგო ინტელექტუალური საქმიანობის აქტივობის აღმწერი აპარატი, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული განუზღვრელობის პირობებში აქტივობის შედეგის რაოდენობრივ მხარეს.

უკვე 1990 წლისთვის ამ დარგში გამოქვეყნებულ ნაშრომთა სიამ 10 000-ს მიაღწია, ხოლო ბოლო წლებში არამკაფიო სისტემების კვლევის მიმართულებით უფრო პრაქტიკული გამოყენებისკენ სწრაფვამ გამოიწვია ისეთი პრობლემატიკის შექმნა, როგორცაა არამკაფიო გამოთვლების კომპიუტერთა არქიტექტურა, კონტროლერებისა და არამკაფიო კომპიუტერების ელემენტური ბაზა, პროგრამული არამკაფიო უზრუნველყოფა, გადაწყვეტილების მიღების არამკაფიო ექსპერტული აპარატი და ა.შ.

არამკაფიო სიმრავლეების მათემატიკური თეორია, რომელიც ა.ზადემ შემოგვთავაზა, არამკაფიო ცნებებისა და ცოდნის აღწერის, ასევე ამ ბაზაზე ოპერირებისა და გადაწყვეტილების მიღების საშუალებას იძლევა. ცხადია, ამ თეორიაზე დაფუძნებული ახალი კომპიუტერული სისტემები აფართოებენ მომავალი თაობების კომპიუტერების გამოყენების არეალს, რაც ბოლო პერიოდში არამკაფიო ლოგიკის სწრაფმა განვითარებამ განაპირობა.

არამკაფიო სიმრავლეების თეორია – ეს არის კლასიკურ მათემატიკასა და რეალურ სამყაროს ყველგან შეღწევადი უზუსტობათა შორის დაახლოების გზაზე წინგადადგმული ნაბიჯი, რომლის შექმნა განაპირობა ადამიანის სწრაფვამ შემეცნებისა და აზროვნების პროცესების უკეთ შესწავლისთვის. დღევანდელ დღეს ჩვენ არ შეგვიძლია ავაგოთ ისეთი მანქანები, რომელნიც შეძლებდნენ ადამიანის დონეზე მისთვის მეტოქეობა გაეწიათ ისეთი ამოცანების შესრულებაში, როგორცაა ენიდან თარგმნა, საუბრის ამოცნობა, ინფორმაციის აგრეგირება და რა თქმა უნდა გადაწყვეტილების მიღება შესაძლებლობითი ბუნების მქონე განუზღვრელობაზე. ასეთი მანქანების შექმნის შეუძლებლობა პირველ რიგში აიხსნება ერთი მხრივ ადამიანის აზროვნებასა და მეორეს მხრივ მანქანის „აზროვნებას“ შორის ფუნდამენტური განსხვავებით. განსხვავება ადამიანის ტვინის შესაძლებლობებშია, რომლებიც დღევანდელ ციფრულ კომპიუტერულ სისტემებს არ გააჩნიათ (ანუ ძირითადად იფიქროს და მიიღოს გადაწყვეტილება არაზუსტი, არარაოდენობრივი, არამკაფიო ინფორმაციის ბაზაზე). ამიტომაც, რომ თანამედროვე რთული კომპიუტერული გამოთვლითი სისტემები გამოუყენებადია მათი ადამიანთან ბუნებრივი ურთიერთობის, კონტაქტის დასამყარებლად (ანალოგიურად იმისა რაც ხდება ადამიანსა და ადამიანს შორის).

სიმრავლე – მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნებაა. შევნიშნოთ, რომ ბევრს, შესაძლოა ადამიანის გარშემო არსებული სამყაროს შესახებ ადამიანის ცოდნის უმრავლესობას, ვერ ვუწოდებთ კლასიკური აზრით სიმრავლეებს. მათ უფრო „არამკაფიო სიმრავლეები“ უნდა

ვუწოდოთ, ანუ კლასები „არაზუსტი“ საზღვრებით, როდესაც გადასვლა ელემენტის ერთ კლასში შეთანხმებულობიდან მეორე კლასში შეთანხმებულობაზე მიმდინარეობს თანდათანობით და არა მყისიერად.

#### 1.4 TOPSIS მეთოდის ძირითადი იდეა, Fuzzy TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების სისტემებში.

მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც გულისხმობს ოპტიმალური ვარიანტის არჩევას ალტერნატივების სიმრავლეებიდან, არის ყოველდღიური ამოცანა ადამიანის საქმიანობიდან.

გადაწყვეტილების მიღების პროცესის შესწავლა დამოუკიდებელი მეცნიერული მიმართულებაა და ძირითადად არსებული ალტერნატივებიდან საუკეთესოს ამორჩევაზეა ორიენტირებული. ალტერნატივების გადარჩევის ბევრი მეთოდი არსებობს, რომელთაგან მნიშვნელოვანია ალტერნატივების შეფასების ექსპერტული მეთოდი. ექსპერტული მეთოდის ერთ-ერთი ნაირსახეობაა ალტერნატივების (იდეების, პროექტების და ა.შ) შეფასების და რანჟირების მრავალკრიტერიუმული ექსპერტული მეთოდი. მნიშვნელოვანია შეფასების კრიტერიუმების განსაზღვრა, რომლებიც უნდა აკმაყოფილებდნენ წინასწარ დადგენილ სტანდარტებს. არჩეულმა კრიტერიუმებმა შეიძლება შეცვალოს ალტერნატივის ფასეულობა სივრცესა და დროში. ამიტომ არსებული პრობლემის ეფექტური გადაწყვეტისთვის განმსაზღვრელია შესაფერისი მრავალკრიტერიუმული გადაწყვეტილების მიღების (MCDM - Multiple Criteria Decision Making) მეთოდის შერჩევა.

მრავალკრიტერიუმული გადაწყვეტილების მიღების სისტემების დამუშავება დაიწყო 1971 წელს. MCDM-ის ძირითად მიზანს წარმოადგენს გადაწყვეტილების მიმღებთა აღჭურვა ინსტრუმენტით, რათა მათ ჰქონდეთ მრავალკრიტერიუმული გადაწყვეტილების მიღებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტის საშუალება. მსგავსი ამოცანების გადაწყვეტის დროს მრავალი ურთიერთსაწინააღმდეგო კრიტერიუმის გათვალისწინება უწევს შემფასებელს.

მრავალი MCDM მეთოდი იყენებს კრიტერიუმების წონებს აგრეგირების პროცესში. კრიტერიუმების წონები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ალტერნატივების ზოგად, საერთო და განსხვავებულ პრეფერენციების შეფასებაში. აგრეგირების სხვადასხვა წესების არსებობის გამო MCDM მეთოდები კრიტერიუმების წონებს სხვადასხვანაირად იყენებენ. ამიტომ სხვადასხვა MCDM მეთოდების შემთხვევაში გამოსაყენებლად შემუშავდა შეწონვის სხვადასხვა მეთოდები.

MCDM-ში **TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution)** - ის მეთოდი წარმოადგენს მიდგომას იმ ალტერნატივის იდენტიფიცირებისთვის, რომელიც ყველაზე ახლოსაა პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტასთან და ყველაზე შორსაა ნეგატიური იდეალური გადაწყვეტისაგან. TOPSIS არის მრავალკრიტერიული ექსპერტული მეთოდი, რომელიც წარმოადგენს ალტერნატივების შეფასების, რანჟირების და ამორჩევის მექანიზმს.

TOPSIS მეთოდს მონაცემთა დამუშავების მრავალგანზომილებიან სივრცეში მრავალი უპირატესობა გააჩნია. იგი წარმოადგენს მარტივ პროცესს, ადვილია მისი გამოყენება და დაპროგრამება. საფეხურების რაოდენობა იგივე რჩება ატრიბუტების რაოდენობის გაზრდის მიუხედავად. TOPSIS მეთოდი გამოყენებულია მიწოდების სისტემის მართვაში და ლოგისტიკაში, პროექტირებაში, მშენებლობისა და წარმოების სისტემებში, ბიზნესისა და მარკეტინგის მენეჯმენტში, გარემოს მართვაში, ადამიანური რესურსების მართვასა და წყლის რესურსების მართვაში.

TOPSIS მეთოდის ძირითადი იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ ყველაზე სასურველი ალტერნატივა არა მხოლოდ ახლოს უნდა იდგას იდეალურ გადაწყვეტასთან, არამედ სხვა ალტერნატივებთან შედარებით მიუღებელ გადაწყვეტილებებთან დაშორებული უნდა იყოს ყველაზე მეტად .

როგორც TOPSIS მეთოდის არსიდან გამომდინარეობს, ამ უკანასკნელის გამოყენებით საკმაოდ ეფექტურად არის შესაძლებელი არამკაფიო მრავალკრიტერიუმიანი ამოცანების გადაჭრა. არაცხად გარემოს პირობებში ერთ-ერთ საუკეთესო გზას წარმოადგენს TOPSIS მეთოდის გამოყენება Fuzzy (არაცხადი) რიცხვებისათვის (Fuzzy TOPSIS).

ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტა Fuzzy TOPSIS გამოყენებით გულისხმობს, იმ ხარისხობრივი ლინგვისტური ცვლადების მნიშვნელობათა გადაყვანას არამკაფიო რიცხვებში, რომლებიც მიუთითებენ, რომ ესა თუ ის ალტერნატივა რა მიკუთვნებით შეესაბამება შეფასების კრიტერიუმებს.

TOPSIS მეთოდი წარმოადგენს ერთ-ერთ ეფექტურ ინსტრუმენტს, რომელიც ხელს შეუწყობს გადაწყვეტილების მიმღებ პირებს და ექსპერტებს მათი მიზნების და სუბიექტური მოსაზრებების ფორმულირებაში, მაჩვენებელთა სისტემის სტრუქტურირებაში, ალტერნატივების შეფასებაში გადაწყვეტილებათა მიღების პროცესში არამკაფიო მათემატიკის, ლინგვისტური ცვლადების, არამკაფიო სიმრავლეთა და არამკაფიო რიცხვთა ენაზე.

## 1.5 FTB-DSS სისტემა (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System)

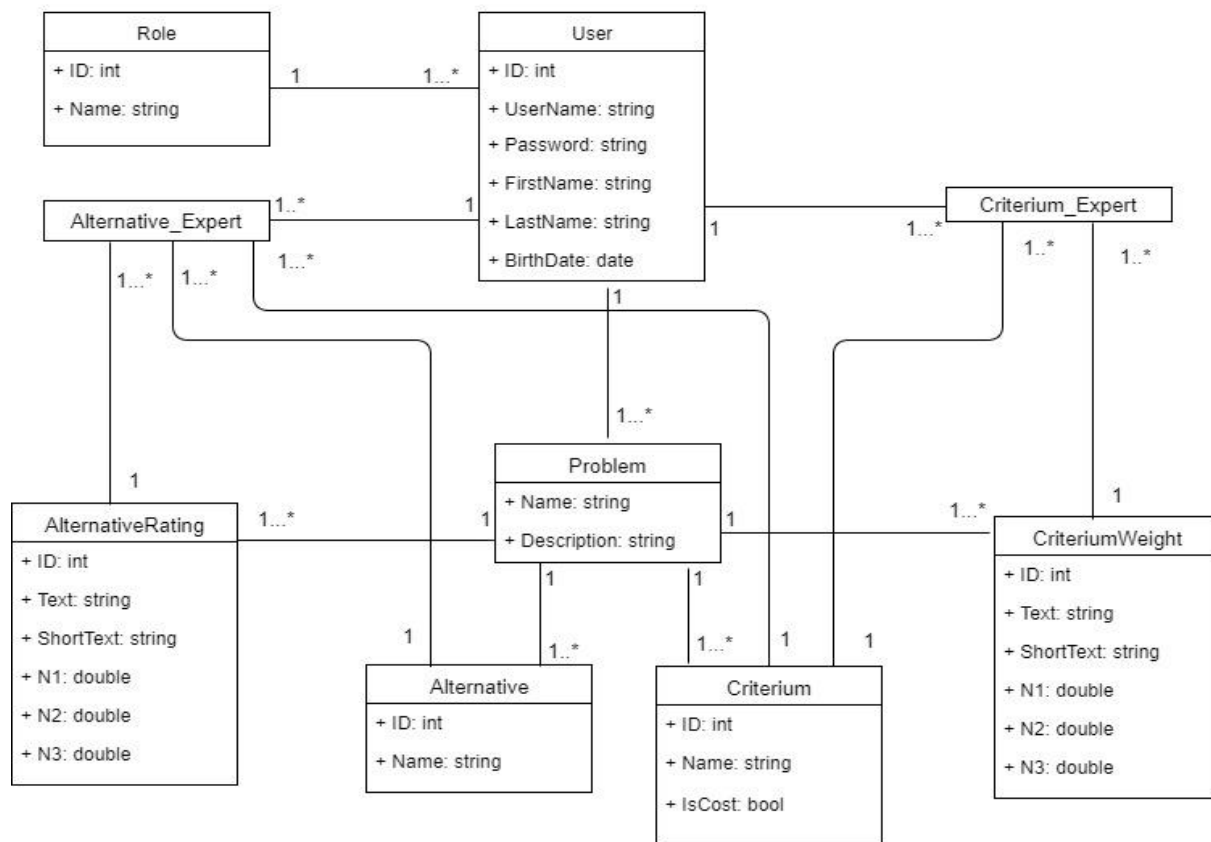
სადიპლომო ნაშრომის ფარგლებში შეიქმნა Fuzzy TOPSIS მიდგომაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა FTB-DSS (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System) . სისტემა შექმნა ორმა მაგისტრანტმა, სამუშაო გადანაწილებული იქნა შემდეგი სქემით:

- ელენე გელიტაშვილი - პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება, ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი ფაზი - TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის
- მარიამ გოგოლაძე- პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება ჰესიტატური ტრაპეციული ფაზი - TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების მოდელისათვის

პროდუქტი შეიქმნა Windows -ის .net პლატფორმაზე, asp.net web form ვებ-ტექნოლოგიის საშუალებით, ხოლო რაც შეეხება მონაცემთა ბაზას, იგი წარმოადგენს მონაცემების საერთო საცავს, ამისათვის, გამოვიყენეთ Microsoft SQL SERVER რელაციური მონაცემთა ბაზა. დეველოპმენტ გარემო (IDE) ავარჩიეთ Visual Studio 2013. მონაცემთა ბაზასთან წვდომისთვის გამოყენებულია ado.net

სისტემის სტრუქტურა კლას-დიაგრამის საშუალებით გამოიყურება შემდეგნაირად:

Fuzzy Topsis გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემის კლას-დიაგრამა



სისტემა Web-ზე ორიენტირებულია, რაც იმას ნიშნავს რომ, ნებისმიერ ავტორიზირებულ მომხმარებელს შეუძლია ამოცანის შექმნა სისტემაში, შესამაბისი ალტერნატივების და კრიტერიუმების ფორმირება და ასევე ექსპერტებსაც აქვთ საშუალება მსოფლიოს ნებისმიერი წერტილიდან შევიდნენ ინტერნეტში განთავსებულ ვებ გვერდზე თავიანთი მომხმარებლის სახელითა და პაროლით და დააფიქსირონ საკუთარი ექსპერტული ცოდნა. ექსპერტების შეფასებების შემდგომ, სისტემას შეუძლია გადაწყვეტილების მიღება, რაც გულისხმობს მომხმარებლისთვის საუკეთესო ვარიანტის ამორჩევის შესაძლებლობას.

სისტემაში მუშაობისას მომხმარებელს შეუძლია შექმნას ამოცანა, ამოხსნას Fuzzy TOPSIS მეთოდის რამოდენიმე განსხვავებული ალგორითმით და შეადაროს მიღებული შედეგები ერთმანეთს.

სისტემაში ჩადებულია მომხმარებლებისა და მათი როლების ცნება. სულ გვაქვს 4 ტიპის როლი: ადმინისტრატორი, მოდერატორი, ექსპერტი და სტანდარტული მომხმარებელი.

ადმინისტრატორი ამატებს მოდერატორს, მოდერატორი არის ამოცანების სტრუქტურასა და ექსპერტებში გათვინობიერებული სუბიექტი, ამიტომაც ის უგზავნის ამოცანებს ექსპერტებს.

ექსპერტი უბრალოდ აფასებს ამოცანის მონაცემებს, ხოლო სტანდარტული მომხმარებელი ახდენს ამოცანის შექმნასა და მის ფორმირებას.

- ადმინისტრატორი ფლობს უფლებების სრულ პაკეტს, აქვს საშუალება დაამატოს მოდერატორი, დაადასტუროს სხვა მომხმარებლის როლი, შექმნას და დაარედაქტიროს ამოცანა, მოშალოს ამოცანა და შეასრულოს ალგორითმის რეალიზაცია.
- მოდერატორს შეუძლია ამოცანის შექმნა, მოდიფიცირება, ამოხსნა, წაშლა, ამოცანის გაგზავნა ექსპერტთან.
- სტანდარტულ მომხმარებელს შეუძლია მხოლოდ ამოცანის შექმნა, მოდიფიცირება და წაშლა.
- ექსპერტს გააჩნია შედარებით შეზღუდული უფლებები, მის ჭრილში ჩანს მხოლოდ ამოცანის შეფასება და ამოხსნა.



## 2 ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი ფაზი-TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი გადაწყვეტიულების მიღების მოდელისთვის

### 2.1 Fuzzy TOPSIS ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისათვის.

Fuzzy TOPSIS -ზე დაფუძნებული მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემა წარმოადგენს სისტემას, რომელიც მომხმარებლისთვის ქმნის გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერ გარემოს მრავალ ალტერნატიულ და მრავალ კრიტერიალურ ამოცანის ამოხსნის შემთხვევაში.

**ალტერნატივები** - შესაძლო ვარიანტები, რომლებიც უნდა შეფასდეს საუკეთესოს ამორჩევის მიზნით.

**კრიტერიუმები** - ახასიათებენ ალტერნატივებს და მათი საშუალებით უნდა მოხდეს ალტერნატივების შეფასება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მეთოდის ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ალტერნატივების სიმრავლიდან საუკეთესო არჩევანს აქვს ყველაზე ნაკლები მანძილი პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტასთან (FPIS - Fuzzy Positive Ideal Solution) და ამავედროულად ყველაზე დიდი მანძილი ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტასთან (FNIS - Fuzzy Negative Ideal Solution) [11].

თეორიის თანახმად, FPIS არის ერთადერთი მნიშვნელობა, რომელიც აკეთებს სარგებლიანობის აღმნიშვნელი (Benefit) კრიტერიუმის მაქსიმიზაციას და ამავე დროს ხარჯის აღმნიშვნელი (Cost) კრიტერიუმის მინიმიზაციას, როდესაც FNIS გვაძლევს შებრუნებულ შედეგს.

**Fuzzy TOPSIS** წარმოადგენს ექსპერტულ მეთოდს, რომლის სიზუსტე დამოკიდებულია ექსპერტთა რაოდენობასა და მათ კომპეტენციაზე. რაც უფრო მეტი კომპეტენტური ექსპერტი ახდენს ამოცანის მონაცემების შეფასებას, მით უფრო ზუსტია გამომავალი რანჟირება (რიცხვითი კოეფიციენტები, თითოეული ალტერნატივისათვის, რომელიც წარმოადგენს პასუხს გადაწყვეტილების მიღების ამოცანაში).

2000 წელს პირველად იქნა შემუშავებული Fuzzy TOPSIS ალგორითმი, რომელიც ახდენს მრავალკრიტერიულ გარემოში მრავალალტერნატიული შემავალი მონაცემებისათვის გადაწყვეტილების მიღების ამოცანის გადაწყვეტას. ამ ალგორითმს ქონდა შემდეგი სახე:

### 2.1.1 ალგორითმი:

**ბიჯი 1:** ვსაზღვრავთ ალტერნატივებისა და მათი შესაფასებელი კრიტერიუმების სიას ამოცანისათვის. თითოეული კრიტერიუმისათვის უნდა იქნას განსაზღვრული ტიპი: სარგებლიანობის (Benefit) ან ხარჯის (Cost).

**ბიჯი 2:** ვსაზღვრავთ კრიტერიუმების წონებისა და ალტერნატივის რეიტინგის შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადებს შესაბამისი თერმებით. ჩვენს შემთხვევაში გვექნება ხუთი ლინგვისტური თერმი ალტერნატივების შეფასებისთვის და ოთხი ლინგვისტური თერმი წონების შეფასებისთვის.

**ბიჯი 3:** ექსპერტთა ჯგუფის მიერ ხდება კრიტერიუმების შეფასება წონებით და ალტერნატივების შეფასება რეიტინგებით - თითოეული კრიტერიუმის მიხედვით.

**ბიჯი 4:** გასაშუალოების მეთოდების გამოყენებით, ექსპერტების შეფასებების მიხედვით, ვპოულობთ წონების გასაშუალოებულ ვექტორს და ვაგებთ გადაწყვეტილების მიღების ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-მატრიცას.

**ბიჯი 5:** ვახდენთ გადაწყვეტილების ფაზი-მატრიცის ნორმალიზებას.

**ბიჯი 6:** ვაგებთ გადაწყვეტილების მიღების შეწონილ, ნორმალიზებულ ფაზი-მატრიცას, რომლის მიღებაც მოხდება წონების ვექტორის გამრავლებით ნორმალიზებულ მატრიცაზე.

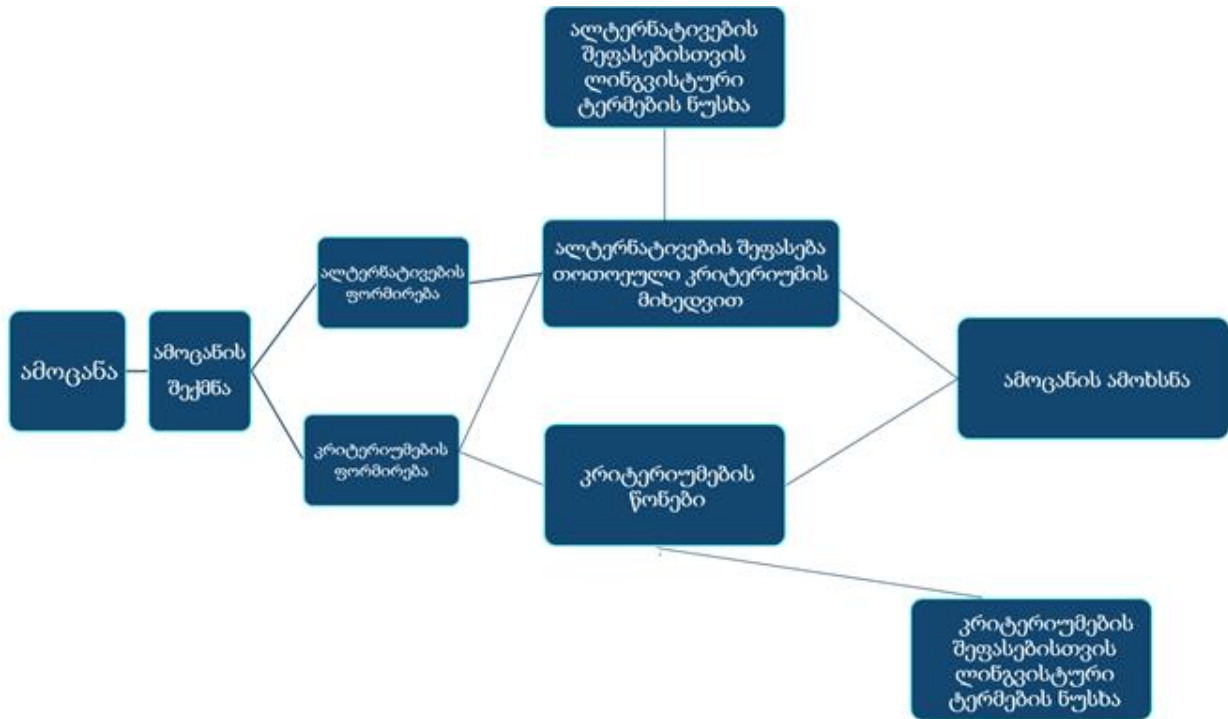
**ბიჯი 7:** ვსაზღვრავთ ფაზი-პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტილებას (FPIS) და ფაზი - ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტილებას (FNIS).

**ბიჯი 8:** თითოეული ალტერნატივისათვის ვითვლით მანძილებს FPIS- დან და FNIS- დან.

**ბიჯი 9:** ვითვლით სიახლოვის კოეფიციენტს თითოეული ალტერნატივისათვის.

**ბიჯი 10:** სიახლოვის კოეფიციენტების მიხედვით ვახდენთ ალტერნატივების რანჟირებას.

*ალგორითმი მოკლედ, სქემის სახით გამოსახულია ქვემოთ:*



### 2.1.2 ძირითადი ცნებები და განმარტებები

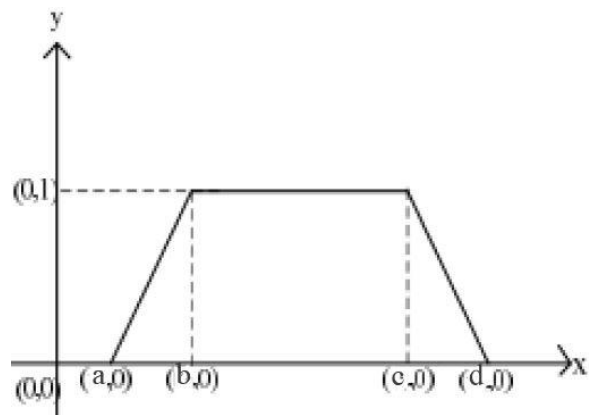
**ლინგვისტური ცვლადი:** ფაზი-ცვლადის განზოგადება არის ეგრეთწოდებული **ლინგვისტური ცვლადი**, რომლის მნიშვნელობებსაც წარმოადგენს ლინგვისტური თერმები [10]. თითოეული თერმი წარმოადგენს ცალკეული  $\alpha$  ფაზი-ცვლადის დასახელებას. ლინგვისტური ცვლადების გამოყენება საკმაოდ აქტუალურია იმ რიგ შემთხვევებში, როდესაც გარემო არის კომპლექსური, ხოლო ესა თუ ის მნიშვნელობები რთულად გამოსახვადი ჩვეულებრივ რაოდენობრივ ტერმინებში [9].

მაგალითად, ცნება წონა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც ლინგვისტური ცვლადი, რომლის მნიშვნელობასაც შეესაბამება შემდეგი თერმები: ძალიან დაბალი, დაბალი, საშუალო, მაღალი, ძალიან მაღალი. ლინგვისტური ცვლადის მნიშვნელობების წარმოდგენა შესაძლებელია ტრაპეციული ფაზი-რიცხვების საშუალებით.

**ფაზი-რიცხვი.** ზოგადად ფაზი-რიცხვს უწოდებენ ისეთ ფაზი-სიდიდეს, რომლის მიკუთვნების ფუნქცია არის ამოზნექილი და უნიმოდალური.

**ტრაპეციული ფაზი-რიცხვი:** ტრაპეციული ფაზი-რიცხვი  $\tilde{A}$  განმარტება როგორც ოთხი ელემენტისგან შემდგარი სიმრავლე  $\tilde{A} = (a, b, c, d)$  და მისი წევრები განისაზღვრებიან შემდეგი მიკუთვნების ფუნქციის მეშვეობით:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{თუ } x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{თუ } a \leq x \leq b, \\ 1, & \text{თუ } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{თუ } c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{თუ } x > d, \end{cases}$$



სადაც  $a \leq b \leq c \leq d$ .

**ჰესიტანტური ფაზი-სიმრავლე.** ჰესიტანტური ფაზი-სიმრავლე, როგორც განზოგადება ფაზი-სიმრავლისა, ელემენტის მიკუთვნების ხარისხს წარმოადგენს, როგორც რამდენიმე შესაძლებელ მნიშვნელობას 0-სა და 1-ს შორის. იგი უკეთესად აღწერს სიტუაციას, როდესაც ადამიანებს გადაწყვეტილების მიღებისას არ შეუძლიათ მკაფიოდ ჩამოყალიბონ მათი ოპტიმალური გადაწყვეტილება.

ჰესიტანტური A ფაზი-სიმრავლე (HFS) რაიმე უნივერსალურ X სიმრავლეზე განისაზღვრება როგორც ფუნქცია  $h_A(x)$ , რომელიც ასახავს უნივერსალურ სიმრავლეს  $[0,1]$ -ზე:

$$A = \{ \langle x, h_A(x) \rangle \mid x \in X \},$$

სადაც  $h_A(x)$  არის განსხვავებული მნიშვნელობების ქვესიმრავლე ინტერვალიდან  $[0,1]$ , რომელიც განსაზღვრავს მიკუთვნების განსხვავებულ დონეებს  $x \in X$  ელემენტისთვის A-ში. სიმარტივისათვის,  $h_A(x)$ -ს დაარქვეს ჰესიტანტური ფაზი- ელემენტი (HFE).

**ტრაპეციული ჰესიტანტური სიმრავლე:** ჰესიტანტური ტრაპეციული ფაზი-სიმრავლე T უნივერსალურ X სიმრავლეზე განისაზღვრება ფუნქციით  $f_T(x)$  შემდეგნაირად:

$$T = \{ \langle x, f_T(x) \rangle \mid x \in X \},$$

სადაც  $f_T(x)$  წარმოადგენს რამდენიმე ტრაპეციული ფაზი-რიცხვის სიმრავლეს, რომელსაც უწოდებენ ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-ელემენტს (HTFE).

### 2.1.3 ოპერაციები ტრაპეციულ ფაზი—რიცხვებზე:

ვთქვათ,  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  და  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$  – ორი ტრაპეციული ფაზი-რიცხვია. მაშინ:

1.  $\tilde{a}(+)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(+)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)$ ;
2.  $\tilde{a}(-)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(-)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4)$ ;
3.  $\tilde{a}(\times)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(\times)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4)$ ,  $a_i > 0, b_i > 0$ ;
4.  $\tilde{a}(/)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3, a_4)(/)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3, a_4 / b_4)$ ,  $a_i > 0, b_i > 0$ ;
5.  $\lambda \tilde{a} = (\lambda a_1, \lambda a_2, \lambda a_3, \lambda a_4)$ ,  $\lambda > 0$ ;
6.  $(\tilde{a})^{-1} = (1/a_1, 1/a_2, 1/a_3, 1/a_4)$ ,  $a_i > 0$ .

მანძილი ორ ტრაპეციულ ფაზი-რიცხვს შორის: თუ მოცემულია ორი ტრაპეციული ფაზი-რიცხვი  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  და  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ , მაშინ მათ შორის მანძილი განიმარტება ფორმულით:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\left(\frac{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 + (a_4 - b_4)^2}{4}\right)}$$

#### 2.1.4 მეთოდი:

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს  $A_1, A_2 \dots A_m$  ალტერნატივა,  $x_1, x_2 \dots x_n$  კრიტერიუმი და გადაწყვეტილების მიღების ექსპერტთა ჯგუფი, რომელიც შედგება  $K$  წევრისაგან. ექსპერტები იძლევიან ალტერნატივების შეფასებებს კრიტერიუმების მიმართ ლინგვისტური თერმების სახით. ჩვენ შემთხვევაში გამოიყენება 5 ლინგვისტური ცვლადი ალტერნატივების შეფასებისთვის, რომელთაც შევუსაბამებთ ტრაპეციულ ფაზი-რიცხვით მნიშვნელობებს:

ლინგვისტური თერმა	ლინგვისტური თერმა (EN)	ტრაპეციული რიცხვი
ძალიან დაბალი	Very Low	(0.0, 0.1, 0.2, 0.3)
დაბალი	Low	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)
საშუალო	Medium	(0.3, 0.4, 0.5, 0.6)
მაღალი	High	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
ძალიან მაღალი	Very High	(0.7, 0.8, 0.9, 1.0)

აგრეთვე გვაქვს 4 ლინგვისტური ცვლადი წონების შეფასებისთვის:

ლინგვისტური თერმა	ლინგვისტური თერმა (EN)	ტრაპეციული რიცხვი
დაბალი მნიშვნელობის	Low Important	(0.0, 0.0, 0.0, 0.1)
საშუალო მნიშვნელობის	Medium Important	(0.1, 0.2, 0.25, 0.3)
მნიშვნელოვანი	Important	(0.5, 0.6, 0.65, 0.7)
ძალიან მნიშვნელოვანი	High Important	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)

ვაგებთ გადაწყვეტილებების მიღების ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-მატრიცას  $T=(t_{ij})_{m \times n}$ , რომლის თითოეული სტრიქონი -  $A_i$  ალტერნატივა - განიხილება როგორც ტრაპეციული

ჰესიტანტური (მერყევი) ფაზი-სიმრავლე (HTFS), ხოლო ყოველი  $t_{ij}$  ელემენტი წარმოადგენს ჰესიტანტურ (მერყევი) ფაზი-ელემენტს (HTFE), და შედგება რამდენიმე ტრაპეციული ფაზი-რიცხვისაგან.

k-ური ექსპერტის შეფასება ალტერნატივის რეიტინგებისა და კრიტერიუმის წონების i-ური ალტერნატივისათვის და j -ური კრიტერიუმისათვის შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგნაირად:  $t_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k, d_{ij}^k)$  და  $w_j^k = (w_{j1}^k, w_{j2}^k, w_{j3}^k, w_{j4}^k)$ , სადაც  $i = 1, 2, \dots, m$  და  $j = 1, 2, \dots, n$ , ხოლო გამოითვლება ფორმულებით:

$$1. \quad a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ij}^k, \quad c_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k c_{ij}^k, \quad d_{ij} = \max_k \{d_{ij}^k\}$$

$$2. \quad w_{j1} = \min_k \{w_{j1}^k\}, \quad w_{j2} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{j2}^k, \quad w_{j3} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{j3}^k, \quad w_{j4} = \max_k \{w_{j4}^k\}$$

ვახდენთ გადაწყვეტილებების  $T$  მატრიცის **ნორმალიზებას** და ვრეზულობთ ნორმალიზებულ მატრიცას  $R = (r_{ij})_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ , სადაც

$$r_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{r_j^*}, \frac{b_{ij}}{r_j^*}, \frac{c_{ij}}{r_j^*}, \frac{d_{ij}}{r_j^*} \right) \text{ და } r_j^* = \max_i d_{ij} \text{ სარგებლიანობის (benefit) კრიტერიუმის შემთხვევაში;}$$

$$r_{ij} = \left( \frac{r_j^-}{d_{ij}}, \frac{r_j^-}{c_{ij}}, \frac{r_j^-}{b_{ij}}, \frac{r_j^-}{a_{ij}} \right) \text{ და } r_j^- = \min_i a_{ij} \text{ ხარჯის (cost) კრიტერიუმის შემთხვევაში.}$$

გადაწყვეტილების მიღების **შეწონილი**, ნორმალიზებული მატრიცა  $V$  მიიღება გასაშუალოებული წონების გამრავლებით ნორმალიზებულ მატრიცზე :

$$V = [v_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \text{ სადაც } v_{ij} = r_{ij} (*) w_j$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mj} & & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_j r_{1j} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_j r_{2j} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{i1} & w_2 r_{i2} & \dots & w_j r_{ij} & \dots & w_n r_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_j r_{mj} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

რის შემდეგაც განვსაზღვრავთ იდეალურ და ნეგატიურ მდგომარეობებს:

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$$

მიღებული შედეგებით გამოვთვლით დაშორებას ფაზი-პოზიტიური იდეალური გადაწყვეტილებიდან და ფაზი-ნეგატიური იდეალური გადაწყვეტილებიდან:

- მანძილი FPIS- მდე:  $d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^+), i = 1, 2, \dots, m;$
- მანძილი FNIS - მდე:  $d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^-), i = 1, 2, \dots, m,$

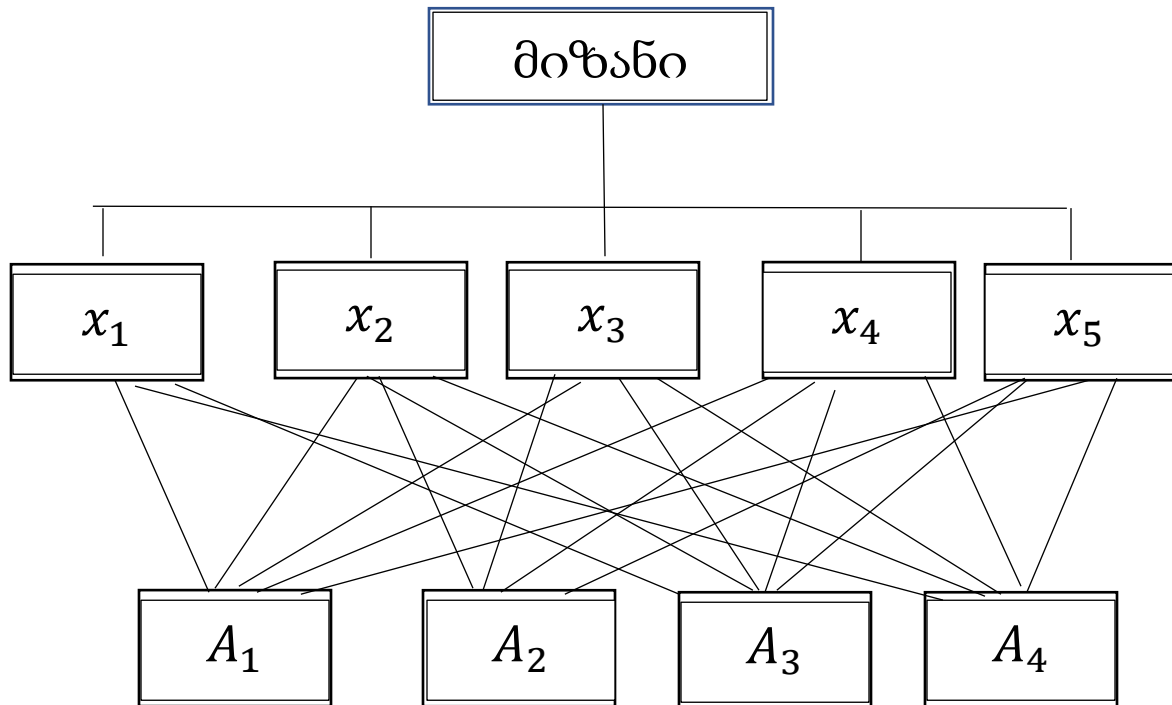
სადაც  $d_v(a, b)$  არის ორ ფაზი-ტრაპეციულ რიცხვს შორის მანძილის გამოსათვლელი ფორმულა.

ბოლოს კი თითოეული ალტერნატივისათვის გამოვითვლით სიახლოვის კოეფიციენტს:

$$C_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-), \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

ალტერნატივა ყველაზე მაღალი სიახლოვის კოეფიციენტით წარმოადგენს საუკეთესო არჩევანს და იგი ყველაზე ახლოს არის პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტილებასთან და ამავე დროს ყველაზე შორს ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტილებასთან.

თითოეული ალტერნატივის შეფასება კრიტერიუმის მიხედვით სქემატურად შეგვიძლია გმოვსახოთ შემდეგნაირად:





პირველ ზოლში განთავსებულია ამოცანის მიზანი, მეორე ზოლში კრიტერიუმები, ხოლო მესამე ზოლში ალტერნატივები. (ამ კონკრეტულ შემთხვევაში განხილულია მაგალითი როდესაც გვაქვს კრიტერიუმები:  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  და ალტერნატივები:  $A_1, A_2, A_3, A_4$ ).

### 2.1.5 მაგალითი:

#### *დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა*

დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საქმიანობას სტრატეგიულ დაგეგმარებაში კერძო და საჯარო კომპანიების ფართო სპექტრში. იგი არის მრავალკრიტერიუმისანი გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა, რომელიც შეიცავს, როგორც რაოდენობრივ, ასევე ხარისხობრივ კრიტერიუმებს. ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობისანი ფაზი ტრაპეციულ-რიცხვებზე მორგებული Fuzzy TOPSIS საშუალებით ჩვენ მოვახდენთ ადგილმდებარეობის არსებული ვარიანტების ანალიზს და ალტერნატივების რანჟირებას.

მოცემული ამოცანის ფარგლებში გვაქვს 5 ძირითადი ატრიბუტი:

- $x_1$  ხელმისაწვდომობა
- $x_2$  დაკავშირება მულტიმოდალური ტრანსპორტით
- $x_3$  ღირებულება
- $x_4$  მომწოდებლებთან სიახლოვე
- $x_5$  მომხმარებლებთან სიახლოვე

რომელთაგანც მხოლოდ  $x_3$  ატრიბუტი არის ხარჯის ტიპის, ხოლო ყველა სხვა დანარჩენი სარგებლის ტიპისაა.

გვაქვს პოტენციური ადგილების 4 ალტერნატივა და 4 წევრისგან შემდგარი ექსპერტთა ჯგუფი. ისინი ატრიბუტის მიხედვით ლინგვისტური თერმების გამოყენებით აფასებენ თითოეულ ალტერნატივას.

### 3 სისტემის პროგრამული ნაწილი:

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემა, რომელიც იყენებს Fuzzy TOPSIS მეთოდს, წარმოდგენილია 2 მეთოდის სახით. თითოეულ მეთოდში Fuzzy TOPSIS მეთოდი იმპლემენტირებულია სხვადასხვა ტიპის რიცხვებზე: ფაზი-ტრაპეციულ და ფაზი-ჰესიტანტურ ტრაპეციულ რიცხვებზე.

#### 3.1 ტრაპეციულ რიცხვებზე ალგორითმის რეალიზაცია.

ტრაპეციული რიცხვის ობიექტი

```
public class TrapezoidalFuzzyNumber
{
    public double t1;
    public double t2;
    public double t3;
    public double t4;

    0 references
    public TrapezoidalFuzzyNumber()
    { }

    2 references
    public TrapezoidalFuzzyNumber(double t1, double t2, double t3, double t4)
    {
        this.t1 = t1;
        this.t2 = t2;
        this.t3 = t3;
        this.t4 = t4;
    }

    0 references
    public double getDefuzzyficationNumber()
    {
        return 0.17 * (this.t1 + 2 * this.t2 + 2 * this.t3 + this.t4);
    }
}
```

```

ALTER PROCEDURE [dbo].[getOneTrapezoidalNumber]
    @ProblemID int

AS
BEGIN

select
p.Name ProblemName,

a.Name AlternativeName,
c.Name CriteriumName,
min(r.N1) trap1,
avg(r.N2) trap2,
AVG(r.N3) trap3,
max(r.N4) trap4
from dbo.Experts e,
dbo.T_Problem p,
T_Alternative a,
T_Criterium c,
Rates r,
ProblemCriteriumAlternativeRates cr
where p.ID=cr.ProblrmID
and a.ID=cr.AlternativeID
and c.ID=cr.CriteriumID
and r.ID=cr.RateID
and e.ID=cr.ExpertID
and p.ID=@ProblemID
group by p.Name, c.Name, a.Name
END

```

ნორმალიზაცია:

```

public static List<List<double>> normalization(List<List<double>> normalizeList, int problemID, int alternativeCount,
int criteriumCount, string connectionString)
{
    normalizeList = Operations.CalculateResult1(problemID, alternativeCount, criteriumCount, connectionString);
    double sum = 0;
    for (int i = 0; i < normalizeList.Count; i++)
    {
        sum += sumMethod(normalizeList[i]);
        for (int j = 0; j < normalizeList[i].Count; j++)
        {
            normalizeList[i][j] /= sum;
        }
    }

    return normalizeList;
}

```

მანძილი ორ ტრაპეციულ რიცხვს შორის:

```
public static double getDistanceBetweenTwoTrapezoidalNumber(TrapezoidalFuzzyNumber T1, TrapezoidalFuzzyNumber T2)
{
    return Math.Sqrt((Math.Pow((T1.t1 - T2.t1), 2) + Math.Pow((T1.t2 - T2.t2), 2) + Math.Pow((T1.t3 - T2.t3), 2) + Math.Pow((T1.t4 - T2.t4), 2)) / 4);
}
```

მანძილი იდეალურ გადაწყვეტილებამდე:

```
public List<double> getDistancesFromIdealSolution(TrapezoidalFuzzyNumber tIdeal,
    int problemID, int alternativeCount, int criteriumCount, string connectionString)
{
    List<TrapezoidalFuzzyNumber> normalizeList;
    List<double> result = new List<double>();
    for (int i= 0; i <alternativeCount ; i++)

    {
        double distance = 0;
        for (int j = 0; j < criteriumCount; j++)
        {
            distance += Operations.getDistanceBetweenTwoTrapezoidalNumber(normalization[i][j], tIdeal);
        }
        result.Add(distance);
    }
}
```

## 4. დანართი

### 4.1 FTB-DSS პროგრამული ნაწილი

შესაძლებელია ამოცანის შეფასება, ამოცანის დამატება, და გამოთვლის წარმოება:

The screenshot shows a math problem interface. At the top, there are three red buttons: "შეფასე ამოცანა" (Evaluate problem), "დაამატე ამოცანა" (Add problem), and "გამოთვლა" (Calculate). Below the buttons, there is a large yellow plus sign and a purple less-than-or-equal-to sign. The main problem is displayed in red text:  $\frac{2}{3}(12) = 50\% \text{ of } 16$ . The interface is clean and modern with a light blue background.

თოთოეულ ექსპერტს აქვს საშუალება შეაფასოს კონკრეტული ამოცანის თითოეული ალტერნატივა კრიტერიუმის მიხედვით:

The screenshot shows a more detailed view of the interface. It includes a dropdown menu for "Expert\_1" with the value "დოქტორანტურაში კანდიდატების შერჩევა" (Selection of candidates for doctorate) and "A1". Another dropdown menu shows "C1". Below these, there is a "შეფასეთ:" (Evaluate:) label, a "Medium" dropdown menu, and a red "შეფასება" (Evaluate) button. A message below the button reads "ამოცანა შეფასდა წარმატებით!" (Problem evaluated successfully!). On the right side, there are mathematical expressions:  $\sqrt[4]{64} =$  and  $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ . At the bottom, there is a blue plus sign, a purple not-equal sign, and the same red problem statement:  $\frac{2}{3}(12) = 50\% \text{ of } 16$ . Below that, there is a blue equation:  $5 + 9 \div 3 < 6 + 7^2 - 19$ . The interface is clean and modern with a light blue background.

გამოთვლისას შესაძლებელია არჩევა რომელი მეთოდით უნდა მოხდეს კონკრეტული ამოცანისთვის ამონახსნის გამოთვლა:

2



Demo ▾

ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი ▾ გამოთვლა

აირჩიეთ მეთოდი

ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი

ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი

**12) = 50% of 16**

## 4.2 ამოცანის რეალიზაციის ვიზუალური წარმოდგენა ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისაგან შემდგარ ჰესიტანტურ სიმრავლეზე

ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი - მეთოდის შედეგი:

2

ამოცანა: Demo  
ალტერნატივა: A1 A2 A3 A4  
კრიტერიუმი: C1 C2 C3 C4  
შეფასებების მატრიცა:  
{0 0.1 0.2 0.3} {0 0.1 0.2 0.3} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0 0.1 0.2 0.3} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.7 0.8 0.9 1} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.7 0.8 0.9 1} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.7 0.8 0.9 1} {0 0.1 0.2 0.3} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0 0.1 0.2 0.3} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0 0.1 0.2 0.3} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0 0.1 0.2 0.3} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0 0.1 0.2 0.3} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3} {0.1 0.2 0.3} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.7 0.8 0.9 1} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.7 0.8 0.9 1} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0 0.1 0.2 0.3} {0.1 0.2 0.3 0.4}

ერთ ტრაპეციულ რიცხვზე დაცვანილი ელემენტები:  
{0 0.1 0.2 0.3} {0 0.1 0.2 0.3} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0 0.1 0.2 0.3} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.7 0.8 0.9 1} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.1 0.2 0.3 0.4} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.7 0.8 0.9 1} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.3 0.4 0.5 0.6} {0.5 0.6 0.7 0.8} {0.5 0.6 0.7 0.8}

დეფაზიფიკაციით მიღებული რიცხვები:  
0.316666666666667 0.683333333333333 0.416666666666667 0.577777777777778 0.483333333333333 0.4 0.35 0.366666666666667 0.383333333333333 0.416666666666667 0.45 0.45 0.65 0.55 0.783333333333333 0.416666666666667

ნორმალიზაციის შედეგად მიღებული ელემენტები:  
0.158774373239053 0.342618384401114 0.20891364902507 0.289693593314763 0.134466769706337 0.1112828438949 0.0973724884080371 0.102009273570325 0.0724029380902413 0.0786988457502623 0.0849947534102833 0.0849947534102833 0.0844765342960289 0.0714801444043321 0.101805054151625 0.0541516245487365

რანჟირება:  
A3: 0.0.664217 > A4: 0.64529 > A1: 0.515901 > A2: 0.1262

12) = 50% of 16

+ 9 ÷ 3 < 6

## 5. დასკვნა

სამაგისტრო ნაშრომში განხილულია Fuzzy TOPSIS მეთოდზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის შექმნის, სისტემის მოდულების მათემატიკური უზრუნველყოფისა და ალგორითმიზაციის ამოცანები. სისტემა უზრუნველყოფს მრავალ-ექსპერტულ და მრავალ-კრიტერიალურ გარემოში განუზღვრელი ალტერნატივების საუკეთესოდან უარესისკენ რანჟირებას. სისტემა ისე არის აგებული, რომ ექსპერტები ვებ-გარემოში აფიქსირებენ საკუთარ ექსპერტულ ცოდნას, რომელიც კონდენსირდება ე.წ. ეტალონურ ცოდნაში. წონების გენერაცია მრავალმხრივი მიდგომებით უზრუნველყოფს მომხმარებლის გადაწყვეტილების რისკების მიმართ განწყობის გათვალისწინებას.

ნაშრომში წარმოდგენილია გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის Fuzzy TOPSIS ალგორითმის რეალიზაციები. რეალურ მაგალითებზე დაყრდნობით შესწავლილია მეთოდის სტრუქტურა და რეალიზებულია აღნიშნული მეთოდის გამოთვლის სქემები პროგრამულად. მეთოდი წარმოდგენილია ორი მოდულის სახით სხვადასხვა ტიპის რიცხვებისათვის და თითოეული მოდელი დაყოფილია ქვე-მოდულებად განსხვავებული ალგორითმების რეალიზაციის მიზნით.



## 6. გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] C.L. Hwang, K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making—Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, New York, 1981.
- [2] King, J.L. : *Operational Risks : Measurement and Modelling*, John Wiley and Sons Ltd., New York, 2001
- [3] Hwang, C.L, Yoon, K. : *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg (1981)
- [4] Wang, Y.M, Elhag, T.M.S. : Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment. *Expert Systems with Applications*, 31, 309 – 319 (2006)
- [5] Olcer, A.I, Odabasi, A.Y. : A New Fuzzy Multiple Attributive Group Decision Making Methodology and its Application to Population/Maneuvering System Selection Problem. *European Journal of Operational Research*, 166, 93 – 114 (2005)
- [6] Chen, C-T. : Extension of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1 – 9 (2000)
- [7] Zadeh, L.A. : *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8, 338 – 353 (1965)
- [8] Kauffman, A., Gupta, M.M. : *Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Applications*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1985
- [9] Buckley, J.J. : Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17 233 – 247 (1985)
- [10] Zadeh, L.A. : The Concept of A Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. *Information Science*, 8, 199 –249 (I), 301 – 357(II) (1975)
- [11] Opricovick, S., Tzeng, G.H. : Compromise Solution by MCDM Methods : A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 445 – 455 (2004)
- [12] C.E. Shannon, The mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal* 27 (1948) 379-423; 623-656.
- [13] C.-H. Yeh, A problem-based selection of multi-attribute decision -making methods, *International Transactions in Operational Research* 9 (2002) 169-181.
- [14] M. Zeleny, *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [15] Z. Xu, On multi-period multi-attribute decision making, *Knowledge- Based Systems* 21 (2008) 164-171.
- [16] *International Journal of Systems Science*, 36(14), 859–868.
- [17] Barbarosoglu, G., & Yazgac, T. (1997). An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production and Inventory Management Journal*, 38(1), 14–21.
- [18] Bayrak, M. Y., Celebi, N., & Tas\_kin, H. (2007). A fuzzy approach method for supplier selection. *Production Planning and Control: The Management of Operations*, 18(1), 54–63.
- [19] Buffa, F. P., & Jackson, W. M. (1983). A goal programming model for purchase planning. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 19(3), 27–34.
- [20] Cakravastia, A., & Takahashi, K. (2004). Integrated model for supplier selection and negotiation in a make-to-order environment. *International Journal of Production Research*, 42(21), 4457–4474.
- [21] Chan, F. T. S., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C. W., & Choy, K. L. (2008). Global supplier selection: A fuzzy-AHP approach. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3825–3857.

- [23] Chaudhry, S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, 70, 52–66.
- [24] Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102, 289–301.
- [25] Chen, S. M., & Tan, J. M. (1994). Handling multi criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 67, 163–172.
- [26] Chou, S. Y., & Chang, Y. H. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert System with Applications*, 34, 2241–2253.
- [27] de Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 75–89.
- [28] de Boer, L., Van der Wegen, L., & Telgen, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 4(2–3), 109–118.
- [29] Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection system and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 28–41.
- [30] Feng, C. X., Wang, J., & Wang, J. S. (2001). An optimization model for concurrent selection of tolerances and suppliers. *Computers and Industrial Engineering*, 40, 15–33.
- [31] Ghoudsypour, S. H., & O'Brien, C. O. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56–57(1–3), 199–212.
- [32] Giunipero, L. C., & Brand, R. R. (1996). Purchasing's role in supply chain management. *International Journal of Logistics management*, 7(1), 29–38.
- [33] Gregory, R. E. (1986). Source selection: A matrix approach. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 22(2), 24–29.
- [34] Ha, S. H., & Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1303–1311.
- [35] Haq, A. N., & Kannan, G. (2006). Fuzzy analytical hierarchy process for evaluating and selecting a vendor in a supply chain model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, 826–835.
- [36] Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principles of operations management*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [37] Holt, G. D. (1998). Which contractor selection methodology? *International Journal of Project Management*, 16(3), 153–164.
- [38] Hong, D. H., & Choi, C. H. (2000). Multi criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 103–113.
- [39] Monczka, R., Trent, R., & Handfield, R. (2001). *Purchasing and supply chain management* (2nd ed.). Cincinnati, OH: South-Western College Publishing.
- [40] Narasimhan, R. (1983). An analytic approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 1, 27–32.
- [41] Nydick, R. L., & Hill, R. P. (1992). Using the Analytic Hierarchy Process to structure the supplier selection procedure. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28(2), 31–36.
- [42] Onut, S., Kara, S. S., & Is\_ik, E. (2009). Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3887–3895.

- [43] Pan, A. C. (1989). Allocation of order quantities among suppliers. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 25(2), 36–39.
- [44] Porter, M. E., & Millar, V. E. (1985). How information gives you competitive advantage. *Harvard Business Review*, 63(4), 149–160.
- [45] Rosenthal, E. C., Zydiak, J. L., & Chaudhry, S. S. (1995). Vendor selection with bundling. *Decision Sciences*, 26(1), 35–48.
- [46] Sadrian, A. A., & Yoon, Y. S. (1994). A procurement decision support system in business volume discount environments. *Operations Research*, 42(1), 14–23.
- [47] Sarkis, J., & Talluri, S. (2000). A model for strategic supplier selection. In M. Leenders (Ed.), *Proceedings of the 9th international IPSERA conference* (pp. 652–661).