

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

ირინა კაზარიანი

**ფაზი-TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის
განვითარება მრავალკრიტერიალური ფაზი-ინტუიციონისტური
გადაწყვეტილების 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

2017

ანოტაცია

სადიპლომო ნაშრომში წარმოდგენილია საექსპერტო ცოდნაზე დაფუძნებული მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემის რეალიზაცია. სისტემაში შემავალი მონაცემები საექსპერტო ბუნებისაა და ინფორმაციის წყაროს წარმოადგენს ექსპერტი და მისი ცოდნა. მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების (MCDM) ამოცანების რაოდენობა დროთა განმავლობაში სულ უფრო და უფრო იზრდება, რაც განპირობებულია ასეთ სისტემებზე პრაქტიკაში დიდი მოთხოვნით.

დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია მრავალკრიტერიალური ექსპერტული მეთოდი - TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), რომელიც საკმაოდ ეფექტურია არამკაფიო (Fuzzy) გადაწყვეტილების მიღების თეორია-პრაქტიკაში. ეს მიდგომა პირველად რეალიზებული იყო 1981 წელს ვანგისა და იუნის მიერ. ნაშრომში განვითარებულია მრავალკრიტერიალური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მიღების მოდელი. კრიტერიუმების წონების მიღებისთვის გამოყენებულია სამი განსხვავებული მეთოდი. მოცემულია მათი გამოთვლის კონკრეტული სქემები.

ნაშრომი შეიძლება იქნეს განხილული შემდეგი ძირითადი მიმართულებით:

1. ფაზი-TOPSIS მეთოდოლოგიის შესწავლა და ამოცანის გადაწყვეტის ეტაპების გააზრება ფაზი-ინტუიციონისტური არგუმენტების შემთხვევაში.
2. გადაწყვეტილების მიღების მოდელის რეალიზაცია წონების მიღების სამი განსხვავებული მეთოდისთვის.
3. კერძო მაგალითებზე დაყრდნობით ფაზი-TOPSIS მეთოდის მუშაობის დემონსტრირება.

Annotation

The diploma work is provided by the intelligent multi-criteria decision making supporting system based on expert knowledge. 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-criteria decision making (MCDM) are increasingly increasing over time, which is due to the great demand on such systems in practice.

For the purpose of solution of the set tasks, multi-criteria method - TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) is used, which is quite effective with the theory-practice of fuzzy decision making. This approach was first realized by Hwang and Yoon in 1981. The multi-criteria fuzzy intuitionistic decision making model is developed in the diploma work. Three different methods have been used to get the weight of criteria. Specific procedures of their calculation are given.

The work can be considered in the following main directions:

1. Studing Fuzzy-TOPSIS methodology and understanding the stages of problem solving for fuzzy-intuitionistic arguments.
2. Realization of decision making model for three different methods of receiving weights.
3. Demonstrate the work of the Fuzzy TOPSIS method based on private examples.

სარჩევი

შესავალი.....	4
1. გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემები.....	4
1. კვლევის ძირითადი ამოცანების შესახებ.....	5
2. ფაზი-სიმრავლეების სათავეებთან.....	6
3. TOPSIS მეთოდის ძირითადი იდეა. Fuzzy TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების სისტემებში.....	9
4. FTB-DSS სისტემა (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System).....	11
1. ფაზი - TOPSIS მოდელის აგება ფაზი-ინტუიციონისტური არგუმენტების შემთხვევაში	14
1.1. ფაზი-TOPSIS მიდგომის გამოყენების არსი და ძირითადი ეტაპები	14
1.2. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის ძირითადი ცნებები და განმარტებები.....	15
1.2.1. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლე.....	15
1.2.2. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია.....	16
1.2.3. ფაზი-ინტუიციონისტურ სიმრავლეზე განსაზღვრული არითმეტიკული ოპერაციები.....	17
1.2.4. ლინგვისტური ცვლადი	17
2. ფაზი-TOPSIS მიდგომის მოდელები მრავალკრიტერიალურ გარემოში გადაწყვეტილების მისაღებად.....	18
2.1. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა ექსპერტულ შეფასებებზე დაყრდნობით.....	18
2.2. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა ენტროპიით დათვლილი კრიტერიუმების წონებისთვის	22
2.3. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა დაფუძნებული კრიტერიუმების უპირატესობათა ურთიერთობის მატრიცაზე	23
2.4. ფაზი-TOPSIS მიდგომის გამოყენების კონკრეტული მაგალითები.....	25
2.4.1. მაგალითი - მომწოდებლის შერჩევა.....	25
2.4.2. მაგალითი - კომპანიის შერჩევა საინვესტიციოდ.....	26
2.4.3. მაგალითი - დაწესებულის ადგილმდებარეობის შერჩევა.....	26
3. ფაზი-TOPSIS მოდელებზე დაფუძნებული FTB-DSS მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემა.....	27
3.1. სისტემის სტრუქტურა.....	27
3.2. მომხმარებლის ინტერფეისი.....	28
დასკვნა.....	42
დანართი	43
გამოყენებული ლიტერატურა.....	52

შესავალი

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 წარმოიშევა 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. ამავ 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 კრიტერიუმის ცვლილება. საშუალებები, რომელიც ეხმარება ადამიანებს არჩევის რთული ამოცანების გადაჭრაში, წარმოადგენენ **გადაწყვეტილებათა მიღების კომპიუტერულ მხარდამჭერ სისტემებს**.

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 მრავალკრიტერიალური 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 საშედეგო ინფორმაციას და ვირჩევთ ორ ან მეტ ალტერნატივას შემდგომი მოქმედებებისთვის. თუ გადაწყვეტილება იყო სწორად მიღებული - ჩვენ გვექნება კარგი გამომავალი (output) . არსებობს ბევრი სხვადასხვა გზა, რომელთა საშუალებით შეიძლება გაკეთდეს FD (ფაზი - გადაწყვეტილება Fuzzy Decision).

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 არამკაფიობის (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.

2. კვლევის ძირითადი ამოცანების შესახებ

ამოცანა ეხება განუზღვრელ გარემოში მრავალალტერნატიული შერჩევებისას მრავალკრიტერიულ გარემოში მრავალექსპერტული გადაწყვეტილების მიღების პრობლემებს. ხშირად ეს ინფორმაციები ექსპერტების ცოდნის გამოყენებით წარმოდგენილი იქნება შემდეგი საექსპერტო შეფასებებით: ფაზი-სიმრავლეები, ფაზი-

ინტუიციონისტური რიცხვები, ქულობრივი შეფასებები, სარგებლიანობები, ფასები და სხვა. ალტერნატივებს შორის ოპტიმალურის არჩევანი მრავალკრიტერიულ 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 სამი 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 მრავალალტერნატიულ შემთხვევაში და მრავალკრიტერიულ (მრავალფაქტორულ) გარემოში, როდესაც ცოდნის წარმოდგენა მრავალექსპერტულია. საბოლოოდ, ინტელექტუალური სისტემა მომხმარებელს შეუქმნის გადაწყვეტილების მიღების ისეთ გარემოს, როდესაც შესაძლო ალტერნატივები დალაგებულია რანჟირებულად.

3. ფაზი-სიმრავლეების სათავეებთან

არასრული ინფორმაციის არსებობისას, უზუსტობისა და განუზღვრელობის პირობებში, გადაწყვეტილების მიღების პრობლემატიკაში დღეს აქტუალური ხდება არამკაფიო მოდელირება. წარმოდგენილია არამკაფიო სიმრავლეების თეორიის ძირითადი, ელემენტარული ასპექტები, რომლის შექმნა განაპირობა ადამიანის სწრაფვამ შემეცნებისა და აზროვნების პროცესების უკეთ შესწავლისათვის, ხოლო საწყისი არამკაფიო ინფორმაციის ასახვათა მათემატიკური ინსტრუმენტები რეალობის ადექვატური 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 (ტერმები) 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.

4. TOPSIS მეთოდის ძირითადი იდეა. Fuzzy TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების სისტემებში

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

გადაწყვეტილების მიღების პროცესის კვლევა 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 მრავალკრიტერიალური 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 მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების (MCDM - Multiple Criteria Decision Making) მეთოდის შერჩევა.

მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების სისტემების დამუშავება დაიწყო 1971 წელს. MCDM-ის ძირითად მიზანს წარმოადგენს გადაწყვეტილების მიმღებთა აღჭურვა ინსტრუმენტით, რათა მათ ქონდეთ მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტის საშუალება, მსგავს 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 (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) არის მრავალკრიტერიალური 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 მართვაში 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 მრავალკრიტერიალური 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 უწყობს 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.

5. FTB-DSS სისტემა (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System)

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

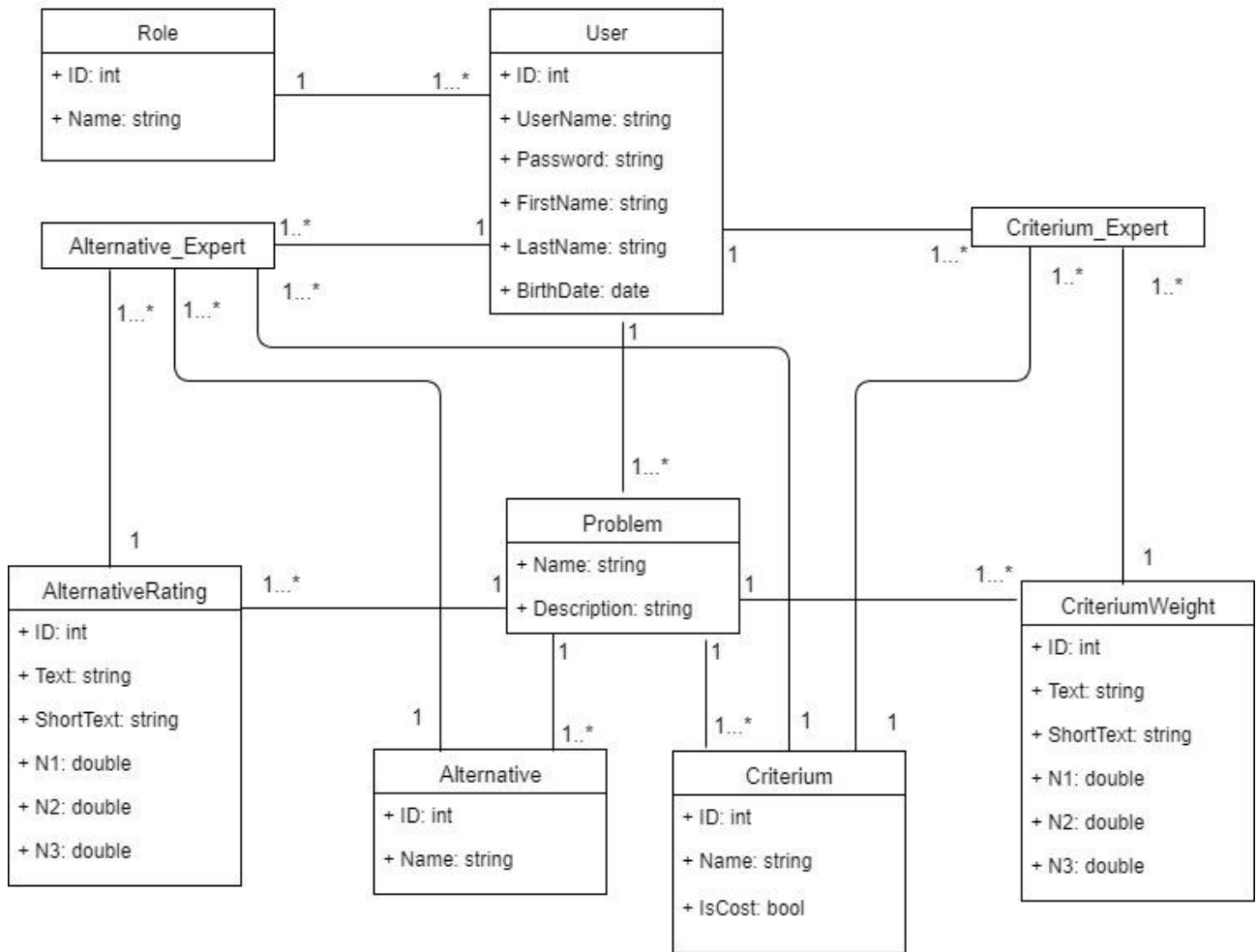
- ირინა კაზარიანი - პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიალური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის.
- სოფიკო ქობულაშვილი - პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიალური ფაზი-სამკუთხა გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის.
- თეონა ქუჯოშვილი - პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიალური ფაზი-ჰესიტანტური გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის.

სამაგისტრო ნაშრომში განვითარებულია მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების სისტემა არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიაზე დაყრდნობით საექსპერტო შეფასებების ბაზაზე. შექმნილია მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემა. რეალურ მაგალითებზე დაყრდნობით შესწავლილია მეთოდის სტრუქტურა და რეალიზებულია აღნიშნული მეთოდის გამოთვლის სქემები პროგრამულად. მეთოდი წარმოდგენილია სამი მოდულის სახით სხვადასხვა ტიპის ფაზი-რიცხვებისათვის და თითოეული მოდელი დაყოფილია ქვე-მოდულებად განსხვავებული ალგორითმების რეალიზაციის მიზნით.

პროდუქტი შეიქმნა Windows -ის .NET პლატფორმაზე, ASP.NET MVC ვებ-ფრეიმვორკის გამოყენებით. მონაცემთა ბაზად გამოყენებულია Microsoft SQL Server 2014, ხოლო დეველოპმენტ გარემო (IDE) - Visual Studio 2017. მონაცემთა ბაზასთან წვდომისთვის გამოყენებულია ORM - Entity Framework.

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 გათვიცნობიერებული ობიექტი, 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, წაშალოს 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.

1. ფაზი - TOPSIS მოდელის აგება ფაზი-ინტუიციონისტური არგუმენტების შემთხვევაში

1.1. ფაზი-TOPSIS მიდგომის გამოყენების არსი და ძირითადი ეტაპები

Fuzzy TOPSIS -ზე დაფუძნებული მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერი სისტემა წარმოადგენს სისტემას, რომელიც მომხმარებლისთვის ქმნის გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერ გარემოს მრავალალტერნატიულ და მრავალკრიტერიალურ ამოცანის ამოხსნის შემთხვევაში.

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

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

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).

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).

განვიხილოთ TOPSIS მეთოდის ძირითადი ეტაპები:

- ბიჯი 1. ამოცანისათვის განისაზღვროს ალტერნატივებისა და მათი შესაფასებელი კრიტერიუმების სია. თითოეულ კრიტერიუმისათვის უნდა იქნას განსაზღვრული ტიპი (სარგებელი (Benefit) ან დანახარჯი (Cost)).
- ბიჯი 2. განისაზღვროს კრიტერიუმის წონებისა და ალტერნატივის რეიტინგის შესაბამისი ლინგვისტური ცვლადები შესაბამისი ტერმებით.
- ბიჯი 3. ამოცანაზე მომუშავე ექსპერტების მიერ მოხდეს კრიტერიუმის შეფასება წონებით და ალტერნატივების შეფასება რეიტინგებით თითოეული კრიტერიუმის მიხედვით.

- ბიჯი 4. ექსპერტების შეფასებების საფუძველზე აიგოს აგრეგირებული გადაწყვეტილების ფაზი-მატრიცა;
- ბიჯი 5. გამოითვალოს გადაწყვეტილების მიღების შეწონილი ფაზი-მატრიცა, რომლის მიღებაც მოხდება წონების ვექტორის გამრავლებით გადაწყვეტილების ფაზი-მატრიცაზე;
- ბიჯი 6. განისაზღვროს ფაზი-პოზიტიური იდეალური გადაწყვეტილება (FPIS) და ფაზი-ნეგატიური იდეალური გადაწყვეტილება (FNIS).
- ბიჯი 7. თითოეული ალტერნატივისათვის გამოითვალოს მანძილები FPIS- დან და FNIS- დან.
- ბიჯი 8. დაითვალოს სიახლოვის კოეფიციენტი თითოეული ალტერნატივისათვის (თითოეული ალტერნატივისათვის სიახლოვის კოეფიციენტი წარმოადგენს დისტანციას როგორც პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტისგან, ამავედროულად ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტისგან).
- ბიჯი 9. სიახლოვის კოეფიციენტებიდან გამომდინარე განისაზღვროს გამომავალი რანჟირება თითოეული ალტერნატივისათვის (ალტერნატივა ყველაზე მაღალი სიახლოვის კოეფიციენტით წარმოადგენს საუკეთესო არჩევანს და იგი ყველაზე ახლოს არის პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტილებასთან და ამავე დროს ყველაზე შორს ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტილებასთან).

1.2. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის ძირითადი ცნებები და განმარტებები

1.2.1. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლე

1986 წელს ათანასოვმა განაზოდა ზადეს მიერ 1965 წელს შემოღებული ფაზი-სიმრავლეთა თეორია და პირველად შემოიღო ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის ცნება, რომელიც უფრო მეტ ინფორმაციას შეიცავდა გაურკვეველ სიტუაციებზე.

ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლე წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლის გაფართოებას, რომელიც უმკლავდება არაგანსაზღვრულობას და უზუსტობას. ის ხასიათდება სამი პარამეტრით: მიკუთვნების ფუქციით, არამიკუთვნების ფუნქციით და მერყეობის კოეფიციენტით, იმ დროს როცა ფაზი-სიმრავლე ხასიათდება მხოლოდ მიკუთვნების ფუნქციით.

ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლე გამოიყენება ბევრ სფეროში, მაგალითად: სამედიცინო დიაგნოზებში, გადაწყვეტილების მიღების პრობლემებში და სახეთა ამოცნობაში.

მოვიყვანოთ ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის ფორმალური განსაზღვრება [1]:

ვთქვათ X უნივერსალური სიმრავლეა:

- A სიმრავლეს განსაზღვრულს, როგორც $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$ ეწოდება X -ის ფაზი-სიმრავლე, სადაც $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ არის მიკუთვნების ფუნქცია ყველა $x \in X$. $\mu_A(x)$ გამოხატავს მიკუთვნების ხარისხს x ელემენტის A -ში.
- A სიმრავლეს განსაზღვრულს, როგორც $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) \mid x \in X\}$ ეწოდება X -ის ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლე (Intuitionistic Fuzzy Set, IFS), სადაც $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ და $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ წარმოადგენენ შესაბამისად მიკუთვნების და არამიკუთვნების ხარისხს x -ის A -ში, შემდეგი პირობით, რომ

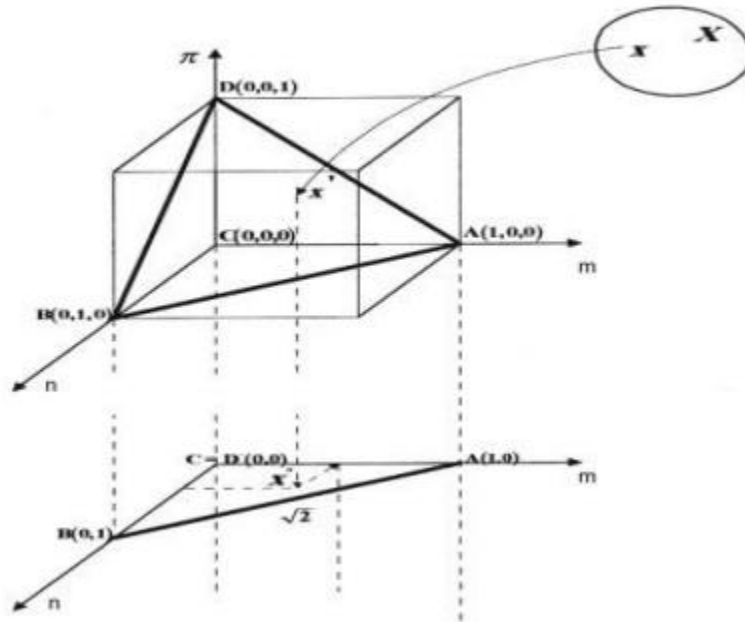
$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, \forall x \in X$$

ყოველი A ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლესთვის X -ში,

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$$

ვუწოდოთ ინტუიციონისტური ინდექსს x -ისა A -ში. ეს არის x -ის გაურკვევლობის ხარისხის მაჩვენებელი A -ში. ცხადია, რომ $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$, ყოველი $x \in X$.

1.2.2. ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია



სურათზე ნაჩვენებია ერთეულოვანი კუბი წიბოებით, რომლებიც წარმოდგენილია შემდეგ პარამეტრებით $(m, n, \pi) \in [0, 1]$. $m + n + \pi = 1$ პირობიდან გამომდინარე, პარამეტრების მნიშვნელობები, რომლებიც განსაზღვრავენ ფაზი-ინტუიციონისტურ სიმრავლეს, შეიძლება

ეკუთვნოდნენ მხოლოდ ABD სამკუთხედს. იმ შემთხვევაში, როცა $\pi = 0$, ჩვენ გვაქვს $m + n = 1$, სურათზე ეს მდგომარეობა შესრულებულია AB სეგმენტში. AB შეიძლება იყოს განხილული, როგორც ფაზი-სიმრავლის აღმწერი ორი პარამეტრით: m, n . ABC სამკუთხედი წარმოადგენს ორთოგონალურ პროექციას ABD სამკუთხედის. ABD სამკუთხედი გვაძლევს ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის წარმოდგენას, ხოლო ABC კი ფაზი-სიმრავლის წარმოდგენას.

1.2.3. ფაზი-ინტუიციონისტურ სიმრავლეზე განსაზღვრული არითმეტიკული ოპერაციები

1. ფაზი-ინტუიციონისტური A სიმრავლის უარყოფა

$$\bar{A} = \{(x, v_A(x), \mu_A(x)) | x \in X\}.$$

2. ფაზი-ინტუიციონისტური A სიმრავლის გამრავლება დადებით ნამდვილ λ რიცხვზე, განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\lambda A = \{(x, 1 - (1 - \mu_A(x))^\lambda, (v_A(x))^\lambda) | x \in X\}.$$

3. ორი A და B ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის შეკრების ოპერაცია განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$A \oplus B = \{(x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), v_A(x) \cdot v_B(x)) | x \in X\}.$$

4. ორი A და B ფაზი-ინტუიციონისტური სიმრავლის გამრავლების ოპერაცია განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$A \otimes B = \{(x, \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), v_A(x) + v_B(x) - v_A(x) \cdot v_B(x)) | x \in X\}.$$

1.2.4. ლინგვისტური ცვლადი

ლინგვისტური ცვლადი - ცვლადია, რომლის მნიშვნელობები ლინგვისტური ტერმებია. ლინგვისტური ტერმი (მაგ: „უმნიშვნელო“, „საშუალო“, „მნიშვნელოვანი“) არის ფაზი-ცვლადი, რომელსაც შეესაბამება ფაზი-რიცხვი, ჩვენს შემთხვევაში ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვი.

2. ფაზი-TOPSIS მიდგომის მოდელები მრავალკრიტერიულ გარემოში გადაწყვეტილების მისაღებად

2.1. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა ექსპერტულ შეფასებებზე დაყრდნობით

ვთქვათ, რომ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ალტერნატივებია და $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ კრიტერიუმებია. მაშინ ფაზი-TOPSIS მეთოდის პროცედურა ფაზი-ინტუიციონისტური არგუმენტების შემთხვევაში მოცემულია შემდეგნაირად:

1. ექსპერტების წონების განსაზღვრა

ვივარაუდოთ, რომ l ექსპერტების რაოდენობაა. ექსპერტების შეფასება ხდება ლინგვისტური ტერმებით, რომლებსაც შეესაბამება ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვები.

დავუშვათ, რომ $D_k = [\mu_k, \nu_k, \pi_k]$ არის ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვი k -ური ექსპერტის შესაფასებლად. მაშინ, k -ური ექსპერტის წონა შეიძლება მივიღოთ შემდეგნაირად:

$$\lambda_k = \frac{(\mu_k + \pi_k (\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}))}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k (\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}))}$$

$$\text{და } \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1.$$

2. ექსპერტების შეფასებების საფუძველზე ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცის აგება

დავუშვათ, რომ $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ არის თითოეული ექსპერტის მიერ შექმნილი ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$ ყოველი ექსპერტის წონაა და $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$, $\lambda_k \in [0, 1]$. ჯგუფურ გადაწყვეტილების მიღების პროცესში ინდივიდუალური გადაწყვეტილების ყველა მოსაზრება უნდა იყოს გაერთიანებული ჯგუფურ მოსაზრებაში, იმისათვის რომ აგებული იყოს აგრეგირებული ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა. ამისათვის, ქსიუს (Xu) მიერ შემოთავაზებული IFWA (Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging) ოპერატორი [40] გამოვიყენოთ. თუ $R = (r_{ij})_{m \times n}$ მატრიცაა, მაშინ

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \lambda_3 r_{ij}^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)}$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right]$$

აქ $r_{ij} = (\mu_{A_i}(x_j), \nu_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j))$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$).

აგრეგირებული ფაზი-ინტუიციონისტური მატრიცა შეიძლება იყოს განსაზღვრული შემდეგნაირად:

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{A_1}(x_1), \nu_{A_1}(x_1), \pi_{A_1}(x_1)) & (\mu_{A_1}(x_2), \nu_{A_1}(x_2), \pi_{A_1}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_1}(x_n), \nu_{A_1}(x_n), \pi_{A_1}(x_n)) \\ (\mu_{A_2}(x_1), \nu_{A_2}(x_1), \pi_{A_2}(x_1)) & (\mu_{A_2}(x_2), \nu_{A_2}(x_2), \pi_{A_2}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_2}(x_n), \nu_{A_2}(x_n), \pi_{A_2}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_m}(x_1), \nu_{A_m}(x_1), \pi_{A_m}(x_1)) & (\mu_{A_m}(x_2), \nu_{A_m}(x_2), \pi_{A_m}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_m}(x_n), \nu_{A_m}(x_n), \pi_{A_m}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & & r_{3m} \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

3. კრიტერიუმების წონების განსაზღვრა

უნდა ვივარაუდოთ რომ კრიტერიუმები არაა თანაბარი წილის მქონე გადაწყვეტილების მიღებაში. ვთქვათ W წარმოადგენს წონების ვექტორს. იმისათვის, რომ მივიღოთ W , უნდა გავითვალისწინოთ ექსპერტების ყველა ინდივიდუალური მოსაზრება თითოეული კრიტერიუმის მნიშვნელობაზე.

ვთქვათ, $w_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$ არის ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვი, რომელიც მინიჭებული იყო X_j კრიტერიას k -ური ექსპერტის მიერ. კრიტერიის წონა გამოითვლება IFWA ოპერატორის გამოყენებით:

$$w_j = IFWA_{\lambda}(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right]$$

, ხოლო $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_j]$ წონების ვექტორია, სადაც $w_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

4. აგრეგირებული შეწონილი ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცის აგება

იმის მერე რაც, კრიტერიუმების წონები (W) და აგრეგირებული ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა არის განსაზღვრული, აგრეგირებული შეწონილი ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა აიგება შემდეგი განმარტების მიხედვით (ათანასოვი, 1986 [1]):

$$R \otimes W = \{(x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x), \nu_{A_i}(x) + \nu_W(x) - \nu_{A_i}(x) \cdot \nu_W(x)) | x \in X\}.$$

და

$$\pi_{A_i, W}(x) = 1 - \nu_{A_i}(x) - \nu_W(x) - \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x) + \nu_{A_i}(x) \cdot \nu_W(x)$$

რის შემდეგაც აგრეგირებული შეწონილი ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა შეიძლება იყოს განსაზღვრული შემდეგნაირად:

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu_{A_1 W}(x_1), \nu_{A_1 W}(x_1), \pi_{A_1}(x_1)) & (\mu_{A_1 W}(x_2), \nu_{A_1 W}(x_2), \pi_{A_1}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_1 W}(x_n), \nu_{A_1 W}(x_n), \pi_{A_1}(x_n)) \\ (\mu_{A_2 W}(x_1), \nu_{A_2 W}(x_1), \pi_{A_2}(x_1)) & (\mu_{A_2 W}(x_2), \nu_{A_2 W}(x_2), \pi_{A_2}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_2 W}(x_n), \nu_{A_2 W}(x_n), \pi_{A_2}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_m W}(x_1), \nu_{A_m W}(x_1), \pi_{A_m}(x_1)) & (\mu_{A_m W}(x_2), \nu_{A_m W}(x_2), \pi_{A_m}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_m W}(x_n), \nu_{A_m W}(x_n), \pi_{A_m}(x_n)) \end{bmatrix}$$

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} & \dots & r'_{2n} \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} & \dots & r'_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & r'_{m3} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix}$$

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij}) = (\mu_{A_i W}(x_j), \nu_{A_i W}(x_j), \pi_{A_i W}(x_j))$ - აგრეგირებული შეწონილი ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცის ელემენტი.

5. *იდეალური პოზიტიური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტის და იდეალური ნეგატიური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტის მიღება*

ვთქვათ, რომ J_1 და J_2 აღნიშნავენ შესაბამისად სარგებლის (benefit) და ხარჯის (cost) კრიტერიუმების სიმრავლეებს. ვთქვათ A^* არის ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტა (IFPIS) და A^- არის ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტა (IFNIS). A^* და A^- შეიძლება მივიღოთ შემდეგნაირად:

$$A^* = (\mu_{A^* W}(x_j), \nu_{A^* W}(x_j)) \text{ და } A^- = (\mu_{A^- W}(x_j), \nu_{A^- W}(x_j)),$$

სადაც

$$\mu_{A^* W}(x_j) = (\max_i \mu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_1), (\min_i \mu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_2)$$

$$\nu_{A^* W}(x_j) = (\min_i \nu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_1), (\max_i \nu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_2)$$

$$\mu_{A^- W}(x_j) = (\min_i \mu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_1), (\max_i \mu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_2)$$

$$\nu_{A^- W}(x_j) = (\max_i \nu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_1), (\min_i \nu_{A_i \cdot W}(x_j) | j \in J_2)$$

6. თითოეული ალტერნატივისათვის გამოითვალოს მანძილები *IFPIS*- დან და *IFNIS*- დან.

იმისათვის, რომ მივიღოთ მანძილი ფაზი-ინტუიციონისტურ სიმრავლეებზე განსაზღვრულ ალტერნატივებს შორის გამოვიყენოთ მანძლის გამოთვლის მეთოდი, რომელიც შემოგვთავაზეს ათანასოვმა(1999) [18], შმიდტმა და კაქპრჯიკმა (2000) [8] და გრზეგორზესკიმ (2004) [13], რომელიც შეიცავს ჰემინგის მანძილის განზოგადებას, ევკლიდეს მანძილს და ასევე მათი ნორმალიზირებული მანძილები შეიძლება იყოს გამოყენებული. თუ S_i^* და S_i^- თითოეული ალტერნატივის ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტისგან და ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტისგან დაშორების მანძილებია, მაშინ ჩვენ გამოვიყენებთ, ნორმალიზებულ ევკლიდეს მანძილს (შმიდტი და კაქპრჯიკი, 2000 [8]):

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[\left(\mu_{A_i W}(x_j) - \mu_{A^* W}(x_j) \right)^2 + \left(\nu_{A_i W}(x_j) - \nu_{A^* W}(x_j) \right)^2 + \left(\pi_{A_i W}(x_j) - \pi_{A^* W}(x_j) \right)^2 \right]}$$

$$S^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[\left(\mu_{A_i W}(x_j) - \mu_{A^- W}(x_j) \right)^2 + \left(\nu_{A_i W}(x_j) - \nu_{A^- W}(x_j) \right)^2 + \left(\pi_{A_i W}(x_j) - \pi_{A^- W}(x_j) \right)^2 \right]}$$

7. თითოეული ალტერნატივისათვის სიახლოვის კოეფიციენტის გამოთვლა

A_i ალტერნატივის სიახლოვის ფარდობითი კოეფიციენტი ფაზი-ინტუიციონისტურ იდეალურ პოზიტიურ გადაწყვეტასთან მიმართებაში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad \text{სადაც } 0 \leq C_i^* \leq 1$$

8. ალტერნატივების რანჟირება

თითოეული ალტერნატივის სიახლოვის კოეფიციენტი განსაზღვრავს მის რანჟირების ინდექსს. ვიტყვი რომ ის ალტერნატივაა საუკეთესო, რომელსაც გააჩნია უდიდესი სიახლოვის კოეფიციენტი. მაშასადამე ხდება ალტერნატივების რანჟირება საუკეთესოდან უარესისკენ C_i^* კოეფიციენტების კლებადობით.

2.2. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა ენტროპიით დათვლილი კრიტერიუმების წონებისთვის

განვიხილოთ კრიტერიუმების წონების განსაზღვრის (1.3.1 პუნქტი 3) კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც იყენებს შენონის ენტროპიას.

ბოლცმანის კლასიკური სტატისტიკური მექანიკიდან ენტროპიის საფუძველზე 1948 წელს შენონმა შემოთავაზა ენტროპიის ფუნქცია [7],

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log(p_i),$$

როგორც გაურკვეველობის საზომი დისკრეტულ განაწილებაში, სადაც $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$ არის ალბათობები შემთხვევითი ცვლადების გამოთვლის ალბათობის მასობრივი P ფუნქციისგან. დე ლუკამ და ტერმინიმ [3] შენონის ფუნქციის საფუძველზე განსაზღვრეს ფაზი-სიმრავლეების არასტაბილური ენტროპიის ფორმულა, რომელიც განსაზღვრული იყოს $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ სასრულ სიმრავლეზე შემდეგნაირად:

$$E_{LT}(A) = -k \sum_{i=1}^n [\mu_A(x_i) \ln \mu_A(x_i) + (1 - \mu_A(x_i)) \ln(1 - \mu_A(x_i))], k > 0.$$

შმიდტმა და კაქპრჟიკმა [9] განაზოგადეს დე ლუკა და ტერმინის აქსიომები ოთხი განმარტების წარდგენით ენტროპიის საზომის მიმართებაში X-ის ინტუიციონისტურ ფაზი-სიმრავლეებზე (IFSs(X)). ცოტა ხნის წინ, ვლაჩესმა [14] წარმოადგინა ახალი ენტროპიის ფორმულა:

$$E_{LT}^{IFS}(A) = - \frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^n [\mu_A(x_i) \ln \mu_A(x_i) + \nu_A(x_i) \ln \nu_A(x_i) - (1 - \pi_A(x_i)) \ln(1 - \pi_A(x_i)) - \pi_A(x_i) \ln 2]$$

როგორც ფაზი-ინტუიციონისტური ენტროპიის საზომი, რომელიც, როგორც იყო დამტკიცებული, აკმაყოფილებდა ოთხ აქსიომატიკურ მოთხოვნებს.

ზემოთ აღწერილი იდეიდან გამომდინარე, ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიციდან მოსალოდნელი ინფორმაციის შინაარსი თითოეული C_j კრიტერიუმისგან შეიძლება იყოს გაზომილი ენტროპიის მნიშვნელობით [6-9, 14-17, 45], აღნიშნული როგორც

$$E_{LT}^{IFS}(C_j) = - \frac{1}{m \ln 2} \sum_{i=1}^m [\mu_{ij}(C_j) \ln \mu_{ij}(C_j) + \nu_{ij}(C_j) \ln \nu_{ij}(C_j) - (1 - \pi_{ij}(C_j)) \ln(1 - \pi_{ij}(C_j)) - \pi_{ij}(C_j) \ln 2]$$

, სადაც $j = 1, 2, \dots, n$ და $1/(m \ln 2)$ არის კონსტანტა, ისეთი რომ $0 \leq E_{LT}^{IFS}(C_j) \leq 1$.

აქედან გამომდინარე, გადაწყვეტილების მიღებისას კრიტერიუმების პროდუქტიულობის შეფასებების, განსაზღვრულობის ინდექსი შეიძლება იყოს განმარტებული როგორც

$$d_j = 1 - E_{LT}^{IFS}(C_j), \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

d_j მნიშვნელობა წარმოადგენს C_j კრიტერიუმის კონტრასტის შიდა ინტენსივობას, მაშინ მისი ენტროპიული წონა განიმარტება როგორც

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j.$$

2.3. ფაზი-TOPSIS მოდელის გამოთვლის პროცედურა დაფუძნებული კრიტერიუმების უპირატესობათა ურთიერთობის მატრიცაზე

ვთქვათ, რომ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ალტერნატივებია და $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ კრიტერიუმებია.

ინტუიციონისტური ფაზი-TOPSIS მეთოდი, ამ შემთხვევაში შემდეგი ეტაპებისგან შედგება:

- 1) უპირატესობათა ურთიერთობის მატრიცის აგება

ვთქვათ $B = (b_{ij})_{n \times n}$ კრიტერიუმების ფაზი-ინტუიციონისტური უპირატესობათა მატრიცაა

$$B = \begin{bmatrix} \tilde{b}_{11} & \tilde{b}_{12} & \tilde{b}_{13} & \dots & \tilde{b}_{1n} \\ \tilde{b}_{21} & \tilde{b}_{22} & \tilde{b}_{23} & \dots & \tilde{b}_{2n} \\ \tilde{b}_{31} & \tilde{b}_{32} & \tilde{b}_{33} & \dots & \tilde{b}_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{b}_{m1} & \tilde{b}_{m2} & \tilde{b}_{m3} & \dots & \tilde{b}_{mn} \end{bmatrix}$$

სადაც $\tilde{b}_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}) (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n)$ და აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს [57, 58]:

$$\begin{aligned} (\mu_{ij})^* &= \max \left\{ \mu_{ij}, \max_p \left\{ \frac{\mu_{ip}\mu_{pj}}{\mu_{ip}\mu_{pj} + (1 - \mu_{ip})(1 - \mu_{pj})} \right\} \right\} \\ (\nu_{ij})^* &= \max \left\{ \nu_{ij}, \max_p \left\{ \frac{\nu_{ip}\nu_{pj}}{\nu_{ip}\nu_{pj} + (1 - \nu_{ip})(1 - \nu_{pj})} \right\} \right\} \end{aligned}$$

სადაც $(\mu_{ij})^*$ და $(\nu_{ij})^*$, $(B)^*$ მატრიცის ელემენტებია და შესაბამისად წარმოადგენენ მიკუთვნების ხარისხსა და არამიკუთვნების ხარისხს x_i ალტერნატივის x_j -ზე და $0 \leq (\mu_{ij})^* + (\nu_{ij})^* \leq 1, \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$, მაშინ ჩვენ ვეძახით B-ს მულტიპლიკაციურ თანმიმდევრულ ფაზი-ინტუიციონისტურ უპირატესობათა ურთიერთობას, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი არათანმიმდევრულ უპირატესობათა ურთიერთობას.

- 2) კრიტერიუმის პრიორიტეტული ვექტორის მიღება

კრიტერიუმის პრიორიტეტული ვექტორი $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ შეიძლება იყოს გამოთვლილი შემდეგი ფორმულით, რომელიც შემოგვთავაზა გენჯმა [57, 58]:

$$w_j = [w_j^L, w_j^U] = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1 - \tilde{\mu}_{ij}^*}{\tilde{\mu}_{ij}^*} \right)}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\tilde{\nu}_{ij}^*}{1 - \tilde{\nu}_{ij}^*} \right)} \right)$$

- 3) ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიცა აიგება იგივე პრინციპით, როგორც წინა მოდელეებში იყო აღწერილი.
- 4) ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტილების მატრიციდან ზემოთ მოხსენებული მეთოდებით გამოითვლება ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტილება $A^* = (\mu^*, \nu^*, \pi^*)$ და ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტილება $A^- = (\mu^-, \nu^-, \pi^-)$.
- 5) წონიანი მანძილის გამოთვლა
- შეწონილი ჰემინგის მანძილი არის გამოყენებული მანძილების მისაღებად [38, 43]. წონითი ზედა და ქვედა მანძილების სიდიდეები $(S_i^*)^L$, $(S_i^*)^U$ და $(S_i^-)^L$, $(S_i^-)^U$ ყოველი ალტერნატივის ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტისგან და ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტისგან.

$$(S_i^*)^L = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j^L [|\mu_{ij} - \mu_j^*| + |\nu_{ij} - \nu_j^*| + |\pi_{ij} - \pi_j^*|]$$

$$(S_i^*)^U = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j^U [|\mu_{ij} - \mu_j^*| + |\nu_{ij} - \nu_j^*| + |\pi_{ij} - \pi_j^*|]$$

$$(S_i^-)^L = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j^L [|\mu_{ij} - \mu_j^-| + |\nu_{ij} - \nu_j^-| + |\pi_{ij} - \pi_j^-|]$$

$$(S_i^-)^U = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j^U [|\mu_{ij} - \mu_j^-| + |\nu_{ij} - \nu_j^-| + |\pi_{ij} - \pi_j^-|]$$

- 6) ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური გადაწყვეტისთვის სიახლოვის კოეფიციენტების გამოთვლა

A_i ალტერნატივის სიახლოვის კოეფიციენტების ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტისა და ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტის მიმართებაში განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$((C_i^*)^L, (C_i^*)^U) = \left\{ \left(\frac{(S_i^-)^L}{(S_i^*)^U + (S_i^-)^U} \right), \left(\frac{(S_i^-)^U}{(S_i^*)^L + (S_i^-)^L} \right) \right\}$$

- 7) ალტერნატივების რანჟირება სიახლოვის ფარდობითი კოეფიციენტის კლებადობით.

იმისათვის რომ მოვახდინოთ ალტერნატივების რანჟირება, ვისარგებლებთ ქსიუ და დას მიერ შემოთავაზებულ შესაძლებლობების ხარისხის ფორმულით [58].

განმარტება. ვთქვათ, $a = [a^L, a^U]$ და $b = [b^L, b^U]$ არის ორი ინტერვალური რიცხვი, სადაც $0 \leq a^L \leq a^U \leq 1$ და $0 \leq b^L \leq b^U \leq 1$, მაშინ $a \geq b$ შესაძლებლობის ხარისხი არის განსაზღვრული შემდეგნაირად

$$p(a \geq b) = \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{b^U - a^L}{b^U - b^L + a^U - a^L}, 0 \right), 0 \right\}$$

ეს არის a -ს უკეთესობის ხარისხი b -ზე, და აღნიშნება $a^{p(a \geq b)} \succ b$.

მსგავსად, $b \geq a$ შესაძლებლობის ხარისხი განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$p(b \geq a) = \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{a^U - b^L}{b^U - b^L + a^U - a^L}, 0 \right), 0 \right\}$$

ეს არის b -ს უკეთესობის ხარისხი a -ზე, და აღნიშნება $b^{p(b \geq a)} \succ a$.

ვთქვათ $p_{ij} = p(a_i \geq a_j)$ კომპლიმენტარული მატრიცაა, სადაც $p_{ij} \geq 0$, $p_{ij} + p_{ji} = 1$, $p_{ij} = 0.5$ და $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

განვიხილოთ P მატრიცის თითოეულ სტრიქონში ყველა ელემენტის ჯამი:

$$p_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

ალტერნატივების რანჟირება ხდება p_i სიდიდეების კლებადობის მიხედვით.

2.4. ფაზი-TOPSIS მიდგომის გამოყენების კონკრეტული მაგალითები

განვილოთ MCDM ამოცანების სამი ტიპი. თითოეული მათგანი შეიძლება ამოიხსნას ზემოთ აგებული ფაზი-TOPSIS მოდელებით.

2.4.1. მაგალითი - მომწოდებლის შერჩევა

მომწოდებლის შერჩევა, არის სწორი მომწოდებლის ძებნის პროცესი, რომელიც შეძლებს უზრუნველყოს მყიდველი სწორი ხარისხის პროდუქციით და/ან მომსახურებით სწორ ფასად, სწორ დროს და სწორი რაოდენობით, რაც არის ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული საქმიანობა ეფექტური მიწოდების ჯაჭვის ჩამოსაყალიბებლად. მეორეს მხრივ, ეს რთული პრობლემაა, ვინაიდან მომწოდებლის შერჩევა, როგორც წესი წარმოადგენს მრავალკრიტერიულ გადაწყვეტილების მიღების პრობლემას, რომელიც მოიცავს რამდენიმე კონფლიქტურ კრიტერიუმს, რომელზეც ექსპერტის ცოდნა, როგორც წესი, ბუნდოვანია და არამკაფიოა. ჩვენ განვიხილავთ, TOPSIS მეთოდისა და ინტუიციონისტური ფაზი-სიმრავლის კომბინაციით მრავალექსპერტულ გარემოში შესაფერისი მომწოდებლის შერჩევის პროცესს. შეწონილი ფაზი-ინტუიციონისტური გასაშუალოების ოპერატორი (IFWA) გამოიყენება ექსპერტების ალტერნატივებისა და კრიტერიუმების შეფასებების, ინდივიდუალური მოსაზრებების აგრეგირებისთვის. საბოლოოდ,

მომწოდებლის შერჩევის რიცხვითი მაგალითია მოცემული ინტუიციონისტურ გარემოში TOPSIS მეთოდის გამოყენების საილუსტრაციოდ.

2.4.2. მაგალითი - კომპანიის შერჩევა საინვესტიციოდ

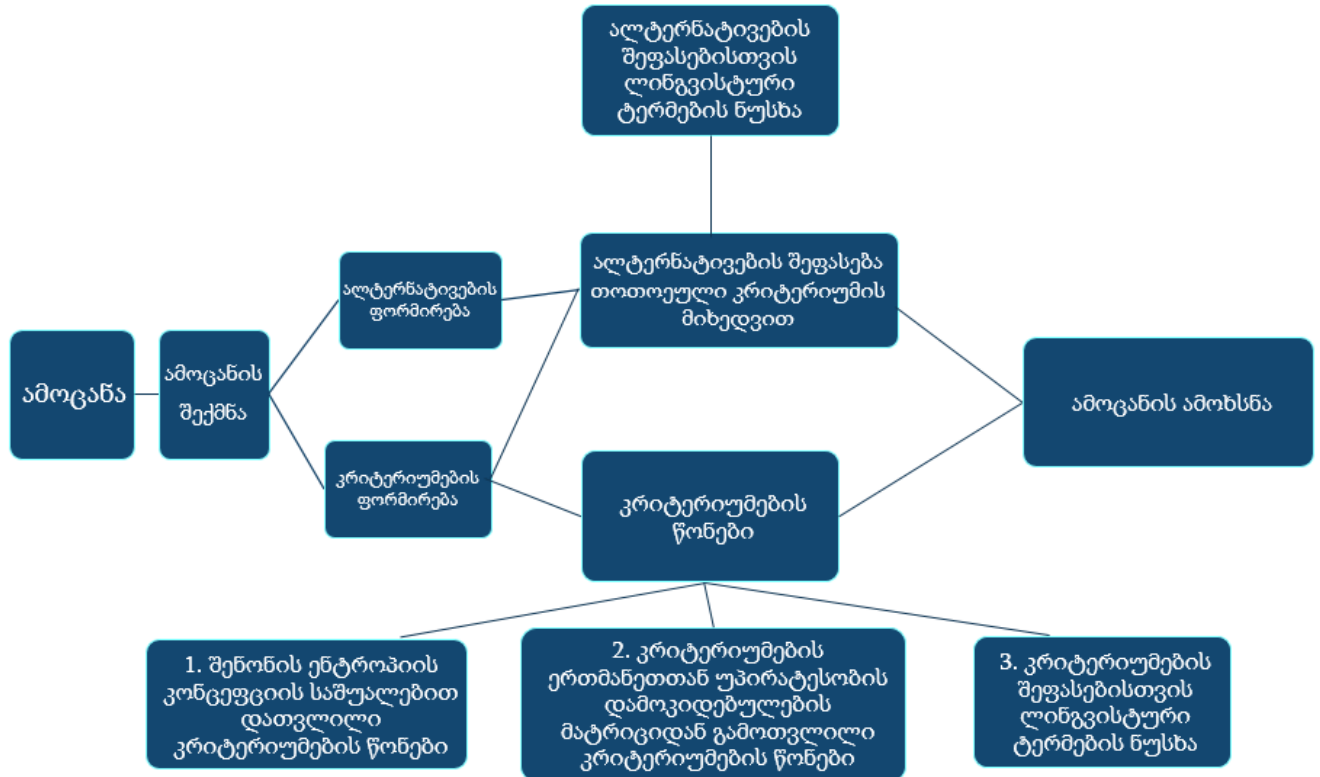
საინვესტიციო კომპანიას სურს ფულის ინვესტიცია საუკეთესო არჩევანში. ამ ამოცანისათვის ჩვენ გამოვიყენებთ Fuzzy TOPSIS მიდგომას, ენტროპიით დათვლილი კრიტერიუმების წონებით. ვნახავთ, კონკრეტული შემავალი მონაცემებისთვის სისტემის შესაბამის გადაწყვეტილებას.

2.4.3. მაგალითი - დაწესებულის ადგილმდებარეობის შერჩევა

დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საქმიანობას სტრატეგიულ დაგეგმარებაში კერძო და საჯარო კომპანიების ფართო სპექტრში, არის მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა, რომელიც შეიცავს, როგორც რაოდენობრივ, ასევე ხარისხობრივ კრიტერიუმებს. ინტუიციონისტური Fuzzy TOPSIS-ისა და კრიტერიუმების უპირატესობათა ურთიერთობის მატრიცის საშუალებით, ჩვენ მოვახდენთ ადგილმდებარეობების არსებული ვარიანტებიდან ოპტიმალურის ამორჩევას.

3. ფაზი-TOPSIS მოდელებზე დაფუძნებული FTB-DSS მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერი ინტელექტუალური სისტემა

3.1. სისტემის სტრუქტურა



3.2. მომხმარებლის ინტერფეისი

1. რეგისტრაცია და ავტორიზაცია

სისტემაში შესვლისას მთავარ გვერდზე გვხვდება ავტორიზაციის გვერდი, თუ თქვენ უკვე გაქვთ შექმნილი მომხმარებელი, შემდეგ სისტემაში ავტორიზაციის გავლას.

გაიარეთ ავტორიზაცია.

ელ-ფოსტა

პაროლი

Remember me?

ავტორიზაცია

[ახალი მომხმარებლის რეგისტრაცია](#)

თუ ვიზიტორს ჯერ არ აქვს საკუთარი მომხმარებელი შექმნილი, მან უნდა გაიაროს რეგისტრაცია:

რეგისტრაცია.

სახელი

გვარი

ელ-ფოსტა

პაროლი

გაიმეორეთ პაროლი

როლი

რეგისტრაცია

რეგისტრირებულ მომხმარებელს არ გაუვრცელდება მოთხოვნილი როლი (გარდა სტანდარტული მომხმარებლის როლისა) თუ მას არ დაადასტურებს ადმინისტრატორი ან მოდერატორი, როლის დადასტურების შემდეგ მომხმარებელს უკვე შეუძლია სისტემაში შესვლა საკუთარი მომხმარებლის სახელითა და პაროლით.

მოდერატორი ან ადმინისტრატორი ადასტურებს რომელიმე მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილ როლს ადმინისტრირების ჩანართიდან, ასევე მომხმარებლის რედაქტირებიდან მათ შეუძლიათ მომხმარებელს განუსაზღვრონ ტიპი და ექსპერტის შემთხვევაში წონაც:

მომხმარებლები

როლზე მოთხოვნა	სახელი	გვარი	ელ-ფოსტა	როლი	წონა	ტიპი	
	Teona	Qujoshvili	teonaqujo@outlook.com	ადმინისტრატორი			/ რედაქტირება
	Irina	Kazariani	iri.irina999@yahoo.com	ადმინისტრატორი			/ რედაქტირება
წინა	გიორგაძე	teona1992kujoshvili@gmail.com	teona1992kujoshvili@gmail.com	ექსპერტი	Very Important	სამედიცინო	/ რედაქტირება
სოფო	ქობულაშვილი	sopokobulashvili@yahoo.com	sopokobulashvili@yahoo.com	მოდერატორი			/ რედაქტირება
სოფო	ქობულაშვილი	sopokobulashvili@gmail.com	sopokobulashvili@gmail.com	ექსპერტი			/ რედაქტირება
სოფო1	ქობულაშვილი	sopokobulashvili1@gmail.com	sopokobulashvili1@gmail.com	ექსპერტი			/ რედაქტირება
სოფო2	ქობულაშვილი	sopokobulashvili2@gmail.com	sopokobulashvili2@gmail.com	ექსპერტი			/ რედაქტირება
test	test	123@yahoo.com	123@yahoo.com				/ რედაქტირება
ექსპერტი	user name	user last name	user@gmail.com				/ რედაქტირება

2. სტანდარტული მომხმარებლის მიერ ამოცანის რეგისტრირება

სტანდარტულ მომხმარებელს შეუძლია ამოცანის შექმნა და ფორმირება. ავტორიზაციის შემდეგ მთავარ გვერდზე მას უჩანს ამოცანების ჩამონათვალი, მისი დეტალების, წაშლის, ამოხსნის და დამატების ღილაკები. ძეგნის პანელში მომხმარებელს შეუძლია ამოცანების ფილტრაცია.

ამოცანები

დამატება

აჩვენე 10 ჩანაწერი

ძებნა:

დასახელება	აღწერა	ტიპი	მეტი	ამოხსნა
Demo	Demo Description		დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
Facility Location Selection	დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა		დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
Money Investment	კომპანიის შერჩევა ფულის ინვესტიციისთვის		დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
Software Selection	From moderator		დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
Supplier Selection	საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა	საწარმო მენეჯმენტი	დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
System Analysis Engineer			დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
დოკტორანტურაში კანდიდატების შერჩევა		განათლება	დეტალურად წაშლა	ამოხსნა
ენერჯო პოლიტიკა	აღწერა	სამშენებლო	დეტალურად წაშლა	ამოხსნა

ნაჩვენებია 1 -დან 8 -მდე 8 ჩანაწერიდან

წინა 1 შემდეგი

დამატების ღილაკზე დაჭერით გადავდივართ ამოცანის რეგისტრაციის გვერდზე, აქ ხდება ამოცანის ძირითადი ინფორმაციის (დასახელება, აღწერა, ტიპი), ალტერნატივების, კრიტერიუმების, წონებისა და რეიტინგების ფორმირება:

ძირითადი მონაცემები

ამოცანა

დასახელება

აღწერა

კატეგორია

- შესაძლო გადაწყვეტილებების, ალტერნატივების ფორმირება

ალტერნატივები

დასახელება

Supplier1	
Supplier2	
Supplier3	
Supplier4	
Supplier5	
<input type="text"/>	

- შესაძლო ფაქტორების (კრიტერიუმების) ფორმირება

კრიტერიუმები

დასახელება	ტიპი
Product quality	სარგებელი(Benefit)
Relationship closeness	სარგებელი(Benefit)
Delivery performance	სარგებელი(Benefit)
Price	უსარგებლო(Cost)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

- ფაქტორების (კრიტერიუმების) წონებისთვის ლინგვისტური ტერმების ფორმირება

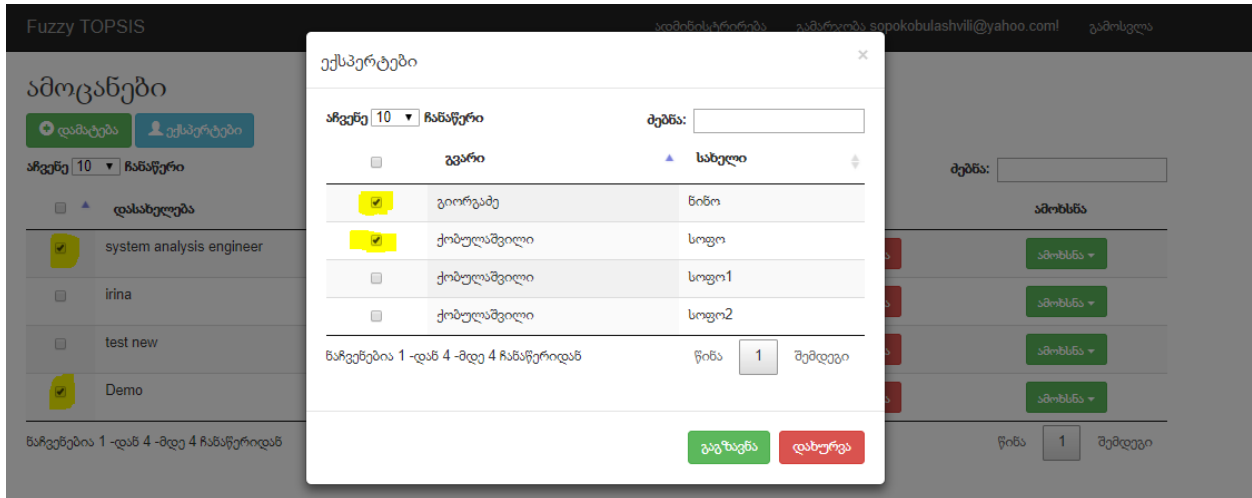
კრიტერიუმის წონები								
დასახელება	დასახელება შემოკლებით	N1	N2	N3	I1	I2	I3	
Very Important	VI				0.9	0.1	0	✖
Important	I				0.75	0.2	0.05	✖
Medium	M				0.5	0.45	0.05	✖
Unimportant	U				0.35	0.6	0.05	✖
Very Unimportant	VU				0.1	0.9	0	✖
								+

- გადაწყვეტილებების, ალტერნატივების რეიტინგებისთვის ლენგვისტური ტერმების ფორმირება

ალტერნატივის რეიტინგები									
დასახელება	დასახელება შემოკლებით	N1	N2	N3	I1	I2	I3	H	
Extremely Good/Extremely High	EG/EH				1	0	0		✖
Very Very Good/Very Very High	VVG/VVH				0.9	0.1	0		✖
Very Good/Very High	VG/VH				0.8	0.1	0.1		✖
Good/High	G/H				0.7	0.2	0.1		✖
Medium Good/Medium High	MG/MH				0.6	0.3	0.1		✖
Fair/Medium	F/M				0.5	0.4	0.1		✖
Medium Bad/Medium Low	MB/ML				0.4	0.5	0.1		✖
Bad/Low	B/L				0.25	0.6	0.15		✖
Very Bad/Very Low	VB/VL				0.1	0.75	0.15		✖
Very Very Bad/Very Very Low	VVB/VVL				0.1	0.9	0		✖
									+

3. მოდერატორის მიერ ექსპერტებთან ამოცანის გაგზავნა

ავტორიზაციის გავლის შემდეგ მოდერატორს ამოცანების ჩამონათვალში უჩანს მონიშვნის ღილაკი და ჩამონათვალის ზემოთ ექსპერტების ღილაკი. ექსპერტების ღილაკზე დაჭერისას გამოდის იმ მომხმარებელთა სია რომლებსაც აქვთ ექსპერტის როლი სისტემაში. მოდერატორს შეუძლია მონიშნოს რამოდენიმე ამოცანა, დააჭიროს ექსპერტების ღილაკს სადაც გამოვა ექსპერტების სია, მონიშნოს სასურველი ექსპერტები და ამოცანები გაგზავნოს მათთან.



4. შეფასების მოდული

როგორც უკვე აღვნიშნეთ ექსპერტს ავტორიზაციის შემდეგ შეუძლია მხოლოდ არსებული ამოცანის შეფასება და ამოხსნა, სხვა დანარჩენი უფლებები მას შეზღუდული აქვს სისტემის დონეზე:

მთავარ გვერდზე ექსპერტს უჩანს მხოლოდ ის ამოცანები, რომლებიც გამოუგზავნა მოდერატორმა. შეფასებების მოდული - ექსპერტების სამუშაო ძირითადი მოდული. როცა ექსპერტი ჩართულია პროექტში, აუცილებელია მან საკუთარი ექსპერტული შეფასება დააფიქსიროს. ამ შეფასებების დასაფიქსირებლად არის განკუთვნილი შეფასებების მოდული.

შეფასებების სია - ქვემოდული, საიდანაც ექსპერტს შეუძლია ნახოს ყველა ამოცანის სია სადაც მონაწილეობს, ასევე ნახოს რომელი პროექტი აქვს შეფასებული და რომელი არა.

ამოცანები

აჩვენე 10 ჩანაწერი

ძებნა:

დასახელება	აღწერა	ტიპი	მეტი	ამოხსნა
Demo	Demo Description		შეფასება	ამოხსნა ▼
Software Selection	From moderator		შეფასება	ამოხსნა ▼
Supplier Selection	საწარმოო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა		შეფასება	ამოხსნა ▼

ჩაჩვენება 1 -დან 3 -მდე 3 ჩანაწერიდან

წინა 1 შემდეგი

შეფასების ღილაკზე დაჭერით, ხდება ექსპერტის ნავიგაცია შეფასების გვერდზე:

შეფასების გვერდზე გამოდის ამოცანის ძირითადი ინფორმაცია (დასახელება, აღწერა) და ხდება ამოცანის კრიტერიუმების შეფასება წონებით და ალტერნატივების შეფასება რეიტინგებით შესაბამისი კრიტერიუმის მიხედვით.

მომწოდებლის შერჩევის ამოცანისათვის პირველი ექსპერტის შეფასება:

ამოცანის დასახელება: Supplier Selection

ამოცანის აღწერა: საწარმოო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა

Product quality	benefit	Very Important ▼
Relationship closeness	benefit	Important ▼
Delivery performance	benefit	Important ▼
Price	cost	Medium ▼

	Product quality	Relationship closeness	Delivery performance	Price
Supplier1	Good/High ▼	Medium Good/Medium High ▼	Very Good/Very High ▼	Good/High ▼
Supplier2	Medium Good/Medium High ▼	Fair/Medium ▼	Good/High ▼	Medium Good/Medium High ▼
Supplier3	Very Very Good/Very Very ▼	Very Good/Very High ▼	Very Good/Very High ▼	Very Good/Very High ▼
Supplier4	Medium Good/Medium High ▼	Fair/Medium ▼	Very Good/Very High ▼	Good/High ▼
Supplier5	Fair/Medium ▼	Medium Bad/Medium Low ▼	Good/High ▼	Fair/Medium ▼

მომწოდებლის შერჩევის ამოცანისათვის მეორე ექსპერტის შეფასება:

ამოცანის დასახელება: Supplier Selection

ამოცანის აღწერა: საწარმოო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა

Product quality	benefit	Very Important
Relationship closeness	benefit	Important
Delivery performance	benefit	Important
Price	cost	Important

	Product quality	Relationship closeness	Delivery performance	Price
Supplier1	Very Good/Very High	Good/High	Good/High	Good/High
Supplier2	Good/High	Medium Good/Medium High	Medium Good/Medium High	Fair/Medium
Supplier3	Very Good/Very High	Good/High	Very Good/Very High	Very Good/Very High
Supplier4	Good/High	Fair/Medium	Good/High	Medium Good/Medium High
Supplier5	Medium Good/Medium High	Fair/Medium	Good/High	Medium Good/Medium High

მომწოდებლის შერჩევის ამოცანისათვის მესამე ექსპერტის შეფასება:

ამოცანის დასახელება: Supplier Selection

ამოცანის აღწერა: საწარმოო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა

Product quality	benefit	Important
Relationship closeness	benefit	Important
Delivery performance	benefit	Medium
Price	cost	Medium

	Product quality	Relationship closeness	Delivery performance	Price
Supplier1	Good/High	Medium Good/Medium Hi	Very Good/Very High	Good/High
Supplier2	Fair/Medium	Good/High	Medium Good/Medium Hi	Medium Good/Medium Hi
Supplier3	Very Good/Very High	Very Good/Very High	Good/High	Good/High
Supplier4	Good/High	Medium Good/Medium Hi	Good/High	Medium Good/Medium Hi
Supplier5	Medium Good/Medium Hi	Fair/Medium	Medium Good/Medium Hi	Fair/Medium

შენახვა

შენახვის დროს დაჭერისას მოხდება ამოცანის შეფასება კონკრეტული ექსპერტის კრილში. ერთი ამოცანა ფასდება ყველა იმ ექსპერტის მიერ, ვისთანაც გაგზავნილი იქნა ამოცანა. ამოხსნისათვის აუცილებელია ამოცანა იყოს შეფასებული ერთი ექსპერტის მიერ მაინც.

5. ანგარიშების გენერატორი

ამოცანის ამოხსნის ნაწილში ჩანს სისტემის კონკრეტული მოდულები. დასმული ამოცანის გადაწყვეტა ხდება სისტემაში ჩადებული ფაზი-TOPSIS მეთოდის რეალიზაციით სამი სხვადასხვაგვარი ფაზი-რიცხვებისათვის.

ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვებისათვის ამოხსნისას ვაჭერთ ჩამონათვალში ბოლო სამი პუნქტიდან სასურველს, მათ შორის განსხვავება გამოიხატება კრიტერიუმების წონების მიღებაში, რომელიც აღწერილი იყოს ზემოთ.

Supplier Selection	საწარმო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა	დეტალები	წაშლა	ამონა
System Analysis Engineer		დეტალები	წაშლა	
დოკუმენტურაში კანდიდატების შერჩევა		დეტალები	წაშლა	

ნაგვერდი 1 -დან 7 -მდე 7 ჩანაწერიდან

წინა 1

სამკუთხა რიცხვები(სამ კრიტერიუმული)
 სამკუთხა რიცხვები(ბინომუხ-მასობური)
 ჰესიტატური მეთოდი
 ინტუიციონისტური ფაზი-TOPSIS(კრიტერიუმების ექსპერტების მიერ შევსებით)
 ინტუიციონისტური ფაზი-TOPSIS(ტროპით დათვლილი კრიტერიუმების წონებით)
 ინტუიციონისტური ფაზი-TOPSIS(კრიტერიუმების უპირატესობათა მატრიცით დათვლილი წონებით)

ლილაკზე დაჭერის შემდეგ გადავდივართ ამოცანის ამოხსნის გვერდზე სადაც ჩანს შემდეგი ინფორმაცია:

- ამოცანის დასახელება
- ამოცანის აღწერა
- ალტერნატივების სია
- კრიტერიუმების სია
- კრიტერიუმის წონები
- გადაწყვეტილების ფაზი-მატრიცა
- გადაწყვეტილების შეწონილი ფაზი მატრიცა
- იდეალური პოზიტიური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტა
- იდეალური ნეგატიური ფაზი-ინტუიციონისტური გადაწყვეტა
- გამომავალი რანჟირება

ა) მომწოდებლის შერჩევის ამოცანის მიღებული შედეგი:

ამოცანის დასახელება: Supplier Selection

ამოცანის აღწერა: საწარმოო კომპანიისთვის საუკეთესო მომწოდებლის შერჩევა

ალტერნატივები: Supplier1, Supplier2, Supplier3, Supplier4, Supplier5

კრიტერიუმები: Product quality, Relationship closeness, Delivery performance, Price

კრიტერიუმის წონები:

(0.861, 0.128, 0.01); (0.75, 0.2, 0.05); (0.68, 0.267, 0.053); (0.576, 0.371, 0.053);

გადაწყვეტილების მატრიცა:

(0.728, 0.170, 0.103) (0.626, 0.272, 0.101) (0.780, 0.118, 0.102) (0.700, 0.200, 0.100)
(0.596, 0.302, 0.102) (0.605, 0.292, 0.103) (0.644, 0.254, 0.102) (0.578, 0.321, 0.101)
(0.849, 0.100, 0.051) (0.780, 0.118, 0.102) (0.769, 0.128, 0.103) (0.769, 0.128, 0.103)
(0.663, 0.236, 0.101) (0.538, 0.361, 0.102) (0.746, 0.151, 0.103) (0.644, 0.254, 0.102)
(0.562, 0.337, 0.101) (0.462, 0.438, 0.100) (0.668, 0.231, 0.102) (0.526, 0.374, 0.100)

გადაწყვეტილების შეწონილი მატრიცა:

(0.627, 0.276, 0.097) (0.470, 0.418, 0.113) (0.530, 0.353, 0.116) (0.403, 0.497, 0.100)
(0.513, 0.391, 0.096) (0.454, 0.434, 0.113) (0.438, 0.453, 0.109) (0.333, 0.573, 0.094)
(0.731, 0.215, 0.054) (0.585, 0.294, 0.121) (0.523, 0.361, 0.116) (0.443, 0.452, 0.106)
(0.571, 0.334, 0.095) (0.404, 0.489, 0.108) (0.507, 0.378, 0.115) (0.371, 0.531, 0.098)
(0.484, 0.422, 0.094) (0.347, 0.550, 0.103) (0.454, 0.436, 0.109) (0.303, 0.606, 0.091)

იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტა:

$A^+ = \{(0.731, 0.215, 0.054) (0.585, 0.294, 0.121) (0.530, 0.353, 0.117) (0.303, 0.606, 0.091)\}$

იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტა:

$A^- = \{(0.484, 0.422, 0.094) (0.347, 0.550, 0.103) (0.438, 0.453, 0.109) (0.443, 0.452, 0.105)\}$

რანჟირება: Supplier1: 0.545; Supplier2: 0.385; Supplier3: 0.703; Supplier4: 0.374; Supplier5: 0.3;

ბ) საინვესტიციოდ კომპანიის შერჩევის ამოცანის მიღებული შედეგი:

ამოცანის დასახელება: Money Investment

ამოცანის აღწერა: კომპანიის შერჩევა ფულის ინვესტიციისთვის

ალტერნატივები: A car company, A food company, A computer company, An arms company, A TV company

კრიტერიუმები: Economical Benefit, Social Benefit, Environmental Pollution

კრიტერიუმის წონები:

$W = (0.543, 0.385, 0.071)$, $W = (0.543, 0.385, 0.071)$

გადაწყვეტილების მატრიცა:

$(0.700, 0.200, 0.100)$ $(0.850, 0.100, 0.050)$ $(0.300, 0.500, 0.200)$
 $(0.900, 0.050, 0.050)$ $(0.700, 0.250, 0.050)$ $(0.400, 0.500, 0.100)$
 $(0.800, 0.100, 0.100)$ $(0.850, 0.100, 0.050)$ $(0.300, 0.600, 0.100)$
 $(0.900, 0.000, 0.100)$ $(0.800, 0.100, 0.100)$ $(0.200, 0.700, 0.100)$
 $(0.800, 0.150, 0.050)$ $(0.750, 0.200, 0.050)$ $(0.500, 0.400, 0.100)$

გადაწყვეტილების შეწონილი მატრიცა:

$(0.480, 0.417, 0.103)$ $(0.518, 0.412, 0.070)$ $(0.025, 0.952, 0.023)$
 $(0.714, 0.197, 0.090)$ $(0.371, 0.586, 0.043)$ $(0.036, 0.952, 0.012)$
 $(0.583, 0.286, 0.131)$ $(0.518, 0.412, 0.070)$ $(0.025, 0.964, 0.011)$
 $(0.714, 0.000, 0.286)$ $(0.462, 0.412, 0.126)$ $(0.016, 0.975, 0.009)$
 $(0.583, 0.357, 0.060)$ $(0.414, 0.538, 0.048)$ $(0.048, 0.937, 0.015)$

იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტა:

$A^+ = \{(0.714, 0.000, 0.286) (0.518, 0.412, 0.070) (0.016, 0.975, 0.009)\}$

იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტა:

$A^- = \{(0.480, 0.417, 0.103) (0.371, 0.586, 0.043) (0.048, 0.937, 0.015)\}$

რანჟირება: A car company: 0.3108; A food company: 0.471; A computer company: 0.4499; An arms company: 0.8755; A TV company: 0.2306;

გ) დაწესებულის ადგილმდებარეობის შერჩევის ამაცანის მიღებული შედეგი:

ამოცანის დასახელება: Facility Location Selection

ამოცანის აღწერა: დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა

ალტერნატივები: Place1, Place2, Place3, Place4

კრიტერიუმები: Expansion possibility, Availability of acquirement material, Community considerations, Distance to market, Labour Cost

კრიტერიუმების უპირატესობათა მატრიცა:

(0.500, 0.500, 0.000) (0.600, 0.300, 0.100) (0.700, 0.200, 0.100) (0.600, 0.350, 0.050) (0.550, 0.350, 0.100)
(0.300, 0.600, 0.100) (0.500, 0.500, 0.000) (0.500, 0.450, 0.050) (0.300, 0.600, 0.100) (0.300, 0.600, 0.100)
(0.200, 0.700, 0.100) (0.450, 0.500, 0.050) (0.500, 0.500, 0.000) (0.250, 0.650, 0.100) (0.250, 0.700, 0.050)
(0.350, 0.600, 0.050) (0.600, 0.300, 0.100) (0.650, 0.250, 0.100) (0.500, 0.500, 0.000) (0.400, 0.500, 0.100)
(0.350, 0.550, 0.100) (0.600, 0.300, 0.100) (0.700, 0.250, 0.050) (0.500, 0.400, 0.100) (0.500, 0.500, 0.000)

B* მატრიცა:

(0.500, 0.500, 0.000) (0.690, 0.300, 0.010) (0.740, 0.260, 0.000) (0.600, 0.390, 0.010) (0.550, 0.390, 0.060)
(0.300, 0.690, 0.010) (0.500, 0.500, 0.000) (0.500, 0.450, 0.050) (0.390, 0.600, 0.010) (0.340, 0.660, 0.000)
(0.260, 0.740, 0.000) (0.450, 0.500, 0.050) (0.500, 0.500, 0.000) (0.270, 0.650, 0.080) (0.260, 0.700, 0.040)
(0.390, 0.600, 0.010) (0.600, 0.390, 0.010) (0.650, 0.270, 0.080) (0.500, 0.500, 0.000) (0.400, 0.500, 0.100)
(0.390, 0.550, 0.060) (0.660, 0.340, 0.000) (0.700, 0.260, 0.040) (0.500, 0.400, 0.100) (0.500, 0.500, 0.000)

კრიტერიუმის წონები:

$W = ([0.304, 0.327], [0.128, 0.134], [0.094, 0.111], [0.19, 0.222], [0.222, 0.266])$

გადაწყვეტილების მატრიცა:

(0.740, 0.160, 0.100) (0.750, 0.150, 0.100) (0.730, 0.210, 0.060) (0.640, 0.240, 0.120) (0.560, 0.280, 0.160)
(0.820, 0.080, 0.100) (0.710, 0.070, 0.220) (0.780, 0.120, 0.100) (0.600, 0.210, 0.190) (0.620, 0.260, 0.120)
(0.780, 0.130, 0.090) (0.780, 0.120, 0.100) (0.710, 0.180, 0.110) (0.600, 0.250, 0.150) (0.580, 0.240, 0.180)
(0.760, 0.180, 0.060) (0.810, 0.120, 0.070) (0.680, 0.170, 0.150) (0.660, 0.200, 0.140) (0.520, 0.350, 0.130)

იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტა:

$A^* = \{(0.820, 0.080, 0.100) (0.810, 0.070, 0.120) (0.780, 0.120, 0.100) (0.600, 0.250, 0.150) (0.520, 0.350, 0.130)\}$

იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტა:

$A^- = \{(0.740, 0.180, 0.080) (0.710, 0.150, 0.140) (0.680, 0.210, 0.110) (0.660, 0.200, 0.140) (0.620, 0.240, 0.140)\}$

სიანხლოვის კოეფიციენტები:

Place1: (0.319, 0.408) Place2: (0.541, 0.67) Place3: (0.416, 0.53) Place4: (0.398, 0.514)

რანჟირება: Place1: 0.549; Place2: 3.5; Place3: 2.074; Place4: 1.877;

დასკვნა

სამაგისტრო ნაშრომში განხილულია Fuzzy TOPSIS მიდგომაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის შექმნის, სისტემის მოდულების მათემატიკური უზრუნველყოფისა და ალგორითმიზაციის ამოცანები. თვითონ სისტემა ნოვაციურია, რამეთუ ჩართულია მრავალექსპერტულ ცოდნაზე დაფუძნებული ფაზი-ინტუიციონისტური თეორიის ოპერაციები. სისტემა უზრუნველყოფს მრავალექსპერტულ და მრავალკრიტერიულ 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 FTB-DSS -ის (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System) ერთ-ერთი მოდული, რომელიც ეფუძნება ფაზი-ინტუიციონისტურ სიმრავლეთა თეორიას და გამოკვლეულია კრიტერიუმების მიღების სამი განსხვავებული მეთოდი: შენონის ენტროპიის, უპირატესობათა ურთიერთობის მატრიცის და ექსპერტული ცოდნის საშუალებით. რეალიზებულია აღნიშნული მეთოდების გამოთვლის სქემები პროგრამულად. თითოეული მეთოდისთვის ნაშრომში მოყვანილია კონკრეტული მაგალითი.

დანართი

პროგრამული კოდები:

1. ფაზი-ინტუიციონისტური რიცხვის შესაბამისი კლასი:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;

namespace IntuitionisticFuzzyTOPSISClassLibrary
{
    public class IntuitionisticFuzzyNumber
    {
        public double m { get; set; }
        public double v { get; set; }
        public double p { get; set; }

        public IntuitionisticFuzzyNumber(double m, double v)
        {
            this.m = Math.Round(m, 3);
            this.v = Math.Round(v, 3);
            this.p = Math.Round(1 - m - v, 3);
        }

        public string GetIFNStr()
        {
            return String.Format("(" + "{0:0.000}" + ", "
                + "{1:0.000}" + ", "
                + "{2:0.000}" + ") ", m, v, p);
        }

        public IntuitionisticFuzzyNumber MultiplyByANumber(double number)
        {
            return new IntuitionisticFuzzyNumber(1 - Math.Pow(1 - this.m, number),
                Math.Pow(this.v, number));
        }

        public static double GetDistance(IntuitionisticFuzzyNumber n1,
            IntuitionisticFuzzyNumber n2)
        {
            return Math.Pow(n1.m - n2.m, 2) + Math.Pow(n1.v - n2.v, 2)
                + Math.Pow(n1.p - n2.p, 2);
        }

        public static IntuitionisticFuzzyNumber GetMultiplication(
            IntuitionisticFuzzyNumber n1,
            IntuitionisticFuzzyNumber n2)
        {
            return new IntuitionisticFuzzyNumber(n1.m * n2.m, n1.v + n2.v - n2.v * n1.v);
        }

        public static double GetIntervalDistance(
            IntuitionisticFuzzyNumber n1,
            IntuitionisticFuzzyNumber n2)
        {

```

```

        return Math.Abs(n1.m - n2.m) + Math.Abs(n1.v - n2.v)
            + Math.Abs(n1.p - n2.p);
    }

    public static List<double> DetermineWeightsOfDM(
        List<IntuitionisticFuzzyNumber> list)
    {
        List<double> weights = new List<double>();
        foreach (IntuitionisticFuzzyNumber item in list)
        {
            weights.Add(item.m + item.p * (item.m / (item.m + item.v)));
        }
        double sumOfWeights = weights.Sum();
        for (int i = 0; i < weights.Count; i++)
        {
            weights[i] = Math.Round(weights[i] / sumOfWeights, 3);
        }

        return weights;
    }
}

```

2. კრიტერიუმების წონების მიღება ენტროპიით

```

public List<double> GetCriteriaWeightsUsingEntropy()
{
    List<double> weights = new List<double>();
    double sum;

    for (int j = 0; j < N; j++)
    {
        sum = 0;
        for (int i = 0; i < M; i++)
        {
            sum += (iMatrix[i, j].m != 0 ? iMatrix[i, j].m
                * Math.Log(iMatrix[i, j].m) : 0)
                + (iMatrix[i, j].v != 0 ? iMatrix[i, j].v
                * Math.Log(iMatrix[i, j].v) : 0)
                - (iMatrix[i, j].p != 1 ? (1 - iMatrix[i, j].p)
                * Math.Log(1 - iMatrix[i, j].p) : 0)
                - iMatrix[i, j].p * Math.Log(2);
        }
        sum *= -1 / (M * Math.Log(2));
        weights.Add(1 - sum);
    }

    sum = weights.Sum();
    for (int j = 0; j < N; j++)
    {
        weights[j] = Math.Round(weights[j] / sum, 3);
    }

    return weights;
}

```

3. ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური პოზიტიური გადაწყვეტის (IFPIS) და A^- არის ფაზი-ინტუიციონისტური იდეალური ნეგატიური გადაწყვეტის (IFNIS) გამოთვლის ფუნქციები:

```

public List<IntuitionisticFuzzyNumber> GetIFPIS(List<Criteria> criteriaList)
{
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFPISs =
        new List<IntuitionisticFuzzyNumber>();
    IntuitionisticFuzzyNumber intuitionisticFuzzyNumber;
    foreach (Criteria criteria in criteriaList)
    {
        if (criteria.IsCost)
        {
            intuitionisticFuzzyNumber = GetMinIFN(criteriaList.IndexOf(criteria));
        }
        else
        {
            intuitionisticFuzzyNumber = GetMaxIFN(criteriaList.IndexOf(criteria));
        }
        IFPISs.Add(intuitionisticFuzzyNumber);
    }
    return IFPISs;
}

public List<IntuitionisticFuzzyNumber> GetIFNIS(List<Criteria> criteriaList)
{
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFNISs =
        new List<IntuitionisticFuzzyNumber>();
    IntuitionisticFuzzyNumber intuitionisticFuzzyNumber;
    foreach (Criteria criteria in criteriaList)
    {
        if (criteria.IsCost)
        {
            intuitionisticFuzzyNumber =
                GetMaxIFN(criteriaList.IndexOf(criteria));
        }
        else
        {
            intuitionisticFuzzyNumber =
                GetMinIFN(criteriaList.IndexOf(criteria));
        }
        IFNISs.Add(intuitionisticFuzzyNumber);
    }
    return IFNISs;
}

public IntuitionisticFuzzyNumber GetMaxIFN(int j)
{
    IntuitionisticFuzzyNumber iMax =
        new IntuitionisticFuzzyNumber(iMatrix[0, j].m, iMatrix[0, j].v);
    for (int i = 1; i < M; i++)
    {
        if (iMatrix[i, j].m > iMax.m)
        {
            iMax = new IntuitionisticFuzzyNumber(iMatrix[i, j].m, iMax.v);
        }
    }
}

```

```

        if (iMatrix[i, j].v < iMax.v)
        {
            iMax = new IntuitionisticFuzzyNumber(iMax.m, iMatrix[i, j].v);
        }
    }
    return iMax;
}

public IntuitionisticFuzzyNumber GetMinIFN(int j)
{
    IntuitionisticFuzzyNumber iMin =
        new IntuitionisticFuzzyNumber(iMatrix[0, j].m, iMatrix[0, j].v);
    for (int i = 1; i < M; i++)
    {
        if (iMatrix[i, j].m < iMin.m)
        {
            iMin = new IntuitionisticFuzzyNumber(iMatrix[i, j].m, iMin.v);
        }
        if (iMatrix[i, j].v > iMin.v)
        {
            iMin = new IntuitionisticFuzzyNumber(iMin.m, iMatrix[i, j].v);
        }
    }
    return iMin;
}

```

4. ყველა ალტერნატივისთვის IFPIS გადაწყვეტისგან და IFNIS მანძილების გამოთვლის ფუნქცია:

```

public List<List<double>> GetDistancesForAllAlternatives(List<Criteria> criteriaList)
{
    List<List<double>> distances = new List<List<double>>();
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> positiveIdealSolutions = GetIFPIS(criteriaList);
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> negativeIdealSolutions = GetIFNIS(criteriaList);
    double sumPositive;
    double sumNegative;
    for (int i = 0; i < M; i++)
    {
        sumPositive = 0;
        sumNegative = 0;

        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            sumPositive +=
                IntuitionisticFuzzyNumber.GetDistance(iMatrix[i, j],
                    positiveIdealSolutions[j]);
            sumNegative +=
                IntuitionisticFuzzyNumber.GetDistance(iMatrix[i, j],
                    negativeIdealSolutions[j]);
        }

        distances.Add(new List<double>() { Math.Round(Math.Sqrt(sumPositive), 4),
            Math.Round(Math.Sqrt(sumNegative), 4) });
    }

    return distances;
}

```

5. სიახლოვის კოეფიციენტის გამოთვლის ფუნქცია:

```
public List<double> GetClosenessCoefficient(List<Criteria> criteriaList)
{
    List<List<double>> distances = GetDistancesForAllAlternatives(criteriaList);
    List<double> closenessCoefficients = new List<double>();
    foreach (List<double> item in distances)
    {
        closenessCoefficients.Add(Math.Round(item[1] / (item[0] + item[1]), 4));
    }
    return closenessCoefficients;
}
```

6. ფაზი-ინტუიციონისტურ უპირატესობათა ურთიერთობის B* მატრიცის მიღების ფუნქცია:

```
public IntuitionisticFuzzyMatrix GetCriteriaMatrix()
{
    IntuitionisticFuzzyMatrix matrix = new IntuitionisticFuzzyMatrix(M, N);
    for (int i = 0; i < N; i++)
    {
        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            double mMax = iMatrix[i, j].m;
            double vMax = iMatrix[i, j].v;
            double temp;
            for (int p = 0; p < N; p++)
            {
                temp = Math.Round((iMatrix[i, p].m * iMatrix[p, j].m)
                    / (iMatrix[i, p].m * iMatrix[p, j].m
                    + (1 - iMatrix[i, p].m) * (1 - iMatrix[p, j].m)), 2);
                if (temp > mMax)
                {
                    mMax = temp;
                }

                temp = Math.Round((iMatrix[i, p].v * iMatrix[p, j].v)
                    / (iMatrix[i, p].v * iMatrix[p, j].v
                    + (1 - iMatrix[i, p].v) * (1 - iMatrix[p, j].v)), 2);
                if (temp > vMax)
                {
                    vMax = temp;
                }
            }
            matrix.iMatrix[i, j] = new IntuitionisticFuzzyNumber(mMax, vMax);
        }
    }
    return matrix;
}
```


7. ინტერვალური სიდიდის კლასი:

```
using System;

namespace IntuitionisticFuzzyTOPSISClassLibrary
{
    public class IntervalMeasures
    {
        public double L { get; set; }
        public double U { get; set; }

        public IntervalMeasures(double l, double u)
        {
            this.L = Math.Round(l, 3);
            this.U = Math.Round(u, 3);
        }

        public void Print()
        {
            Console.WriteLine("[{0:0.000}, {1:0.000}]", L, U);
        }

        public static double GetPosibility(IntervalMeasures a, IntervalMeasures b)
        {
            return Math.Max(Math.Round(1 - Math.Max((b.U - a.L)
                / (b.U - b.L + a.U - a.L), 0), 3), 0);
        }
    }
}
```

8. ინტერვალური წონების მიღების ფუნქცია:

```
public List<IntervalMeasures> GetIntervalWeights()
{
    List<IntervalMeasures> weights = new List<IntervalMeasures>();
    double mSum;
    double vSum;
    for (int i = 0; i < N; i++)
    {
        mSum = 0;
        vSum = 0;
        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            mSum += (1 - iMatrix[i, j].m) / iMatrix[i, j].m;
            vSum += iMatrix[i, j].v / (1 - iMatrix[i, j].v);
        }
        weights.Add(new IntervalMeasures(Math.Round(1 / mSum, 3),
            Math.Round(1 / vSum, 3)));
    }
    return weights;
}
```

9. ინტერვალური მანძილების გამოთვლის ფუნქცია:

```
public List<List<IntervalMeasures>> CalculateSeparationsMeasures(
    List<Criteria> criteriaList, List<IntervalMeasures> weights)
{
    List<List<IntervalMeasures>> separationsMeasuresForAllAlternatives =
        new List<List<IntervalMeasures>>();
    List<IntervalMeasures> separationsMeasures;

    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFPISs = GetIFPIS(criteriaList);
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFNISs = GetIFNIS(criteriaList);

    double sumPositiveL;
    double sumNegativeL;
    double sumPositiveU;
    double sumNegativeU;
    double distanceFromPositive;
    double distanceFromNegative;

    for (int i = 0; i < M; i++)
    {
        sumPositiveL = 0;
        sumNegativeL = 0;
        sumPositiveU = 0;
        sumNegativeU = 0;
        separationsMeasures = new List<IntervalMeasures>();

        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            distanceFromPositive =
                IntuitionisticFuzzyNumber.GetIntervalDistance(iMatrix[i, j],
                    IFPISs[j]);
            distanceFromNegative =
                IntuitionisticFuzzyNumber.GetIntervalDistance(iMatrix[i, j],
                    IFNISs[j]);

            sumPositiveL += weights[j].L * distanceFromPositive;
            sumPositiveU += weights[j].U * distanceFromPositive;

            sumNegativeL += weights[j].L * distanceFromNegative;
            sumNegativeU += weights[j].U * distanceFromNegative;
        }

        separationsMeasures.Add(new IntervalMeasures(sumPositiveL / 2,
            sumPositiveU / 2));
        separationsMeasures.Add(new IntervalMeasures(sumNegativeL / 2,
            sumNegativeU / 2));

        separationsMeasuresForAllAlternatives.Add(separationsMeasures);
    }

    return separationsMeasuresForAllAlternatives;
}
```

10. ალტერნატივების ინტერვალური სიახლოვის კოეფიციენტების მიღება

```
public List<IntervalMeasures> GetIntervalClosenessCoefficient(  
    List<List<IntervalMeasures>> separationsMeasuresForAllAlternatives)  
    {  
        List<IntervalMeasures> closenessCoefficients = new List<IntervalMeasures>();  
        foreach (List<IntervalMeasures> item in separationsMeasuresForAllAlternatives)  
        {  
            closenessCoefficients.Add(new IntervalMeasures(Math.Round(item[1].L  
                / (item[0].U + item[1].U), 3),  
                Math.Round(item[1].U  
                / (item[0].L + item[1].L), 3));  
        }  
        return closenessCoefficients;  
    }  
}
```

11. სიახლოვის კოეფიციენტებისთვის შესაძლებლობების გამოთვლის ფუნქცია:

```
public static List<double> GetPossibilitiesForClosenessCoefficients(  
    List<IntervalMeasures> closenessCoefficients)  
    {  
        List<double> possibilities = new List<double>();  
        double sum;  
        for (int i = 0; i < closenessCoefficients.Count; i++)  
        {  
            sum = 0;  
            for (int j = 0; j < closenessCoefficients.Count; j++)  
            {  
                if (i == j)  
                {  
                    sum += 0.5;  
                }  
                else  
                {  
                    sum +=  
                        IntervalMeasures.GetPossibility(closenessCoefficients[i],  
                            closenessCoefficients[j]);  
                }  
            }  
            possibilities.Add(sum);  
        }  
        return possibilities;  
    }  
}
```

12. IFWA ოპერატორის საშუალებით და ექსპერტების წონებით გადაწყვეტილების მატრიცის აგება:

```
public void FillMatrix(List<IntuitionisticFuzzyMatrix> intuitionisticFuzzyMatrixList,
List<double> weights)
{
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFNlist;

    for (int i = 0; i < M; i++)
    {
        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            IFNlist = new List<IntuitionisticFuzzyNumber>();
            for (int k = 0; k < intuitionisticFuzzyMatrixList.Count; k++)
            {
                IFNlist.Add(intuitionisticFuzzyMatrixList[k].iMatrix[i,j].MultiplyByANumber2(weights[k]));
            }

            iMatrix[i, j] = new IntuitionisticFuzzyNumber(1 - IFNlist.Select(x =>
x.m).Aggregate((x, y) => x * y), IFNlist.Select(x => x.v).Aggregate((x, y) => x * y));
        }
    }
}
```

13. IFWA ოპერატორის საშუალებით და ექსპერტების წონებით კრეტერიუმების წონების მატრიცის აგება:

```
public List<IntuitionisticFuzzyNumber> DeterminWeights(List<double> weightsDM)
{
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> weights = new List<IntuitionisticFuzzyNumber>();
    List<IntuitionisticFuzzyNumber> IFNlist;
    for (int i = 0; i < M; i++)
    {
        IFNlist = new List<IntuitionisticFuzzyNumber>();

        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            IFNlist.Add(iMatrix[i, j].MultiplyByANumber2(weightsDM[j]));
        }
        weights.Add(new IntuitionisticFuzzyNumber(1
- IFNlist.Select(x => x.m).Aggregate((x, y) => x * y),
IFNlist.Select(x => x.v).Aggregate((x, y) => x * y)));
    }
    return weights;
}
```

გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] K. Atanassov, Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems* 20 (1986) 87-96.
- [2] H. Bustince, P. Burillo, Vague sets are intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems* 79 (1996) 403-405.
- [3] A. De Luca, S. Termini, A definition of a non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory, *Information and Control* 20 (1972) 301-312.
- [4] S.K. De, R. Biswas, A.R. Roy, Some operations on intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems* 114 (2000) 477-484.
- [5] W.L. Gau, D.J. Buehrer, Vague sets, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics* 23 (2) (1993) 610-614.
- [6] C.L. Hwang, K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making— Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, New York, 1981.
- [7] C.E. Shannon, The mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal* 27 (1948) 379-423; 623-656.
- [8] E. Szmidt, J. Kacprzyk, Distances between intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems* 114 (2000) 505-518.
- [9] E. Szmidt, J. Kacprzyk, Entropy of intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems* 118 (2001) 467-477.
- [10] Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2001). Intuitionistic fuzzy sets in some medical applications. *Lecture Notes in Computer Science*, 2206, 148–151.
- [11] Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2002). Using intuitionistic fuzzy sets in group decision making. *Control and Cybernetics*, 31, 1037–1053.
- [12] Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2003). A consensus-reaching process under intuitionistic fuzzy preference relations. *International Journal of Intelligent Systems*, 18, 837–852.
- [13] Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2004). A similarity measure for intuitionistic fuzzy sets and its application in supporting medical diagnostic reasoning. *Lecture Notes in Computer Science*, 3070, 388–393.
- [14] I.K. Vlachos, G.D. Sergiadis, Intuitionistic fuzzy information — Applications to pattern recognition, *Pattern Recognition Letters* 28 (2007) 197-206.
- [15] C.-H. Yeh, A problem-based selection of multi-attribute decision -making methods, *International Transactions in Operational Research* 9 (2002) 169-181.
- [16] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, *Information and Control* 8 (3) (1965) 338- 356.
- [17] M. Zeleny, *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [18] Atanassov, K. T. (1999). Intuitionistic fuzzy sets. Heidelberg: Springer.
- [19] Atanassov, K., Pasi, G., & Yager, R. R. (2005). Intuitionistic fuzzy interpretations of multi-criteria multi-person and multi-measurement tool decision making. *International Journal of Systems Science*, 36(14), 859–868.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.

- [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, S. K., Biswas, R., & Roy, A. R. (2001). An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis. *Fuzzy Sets and Systems*, 117, 209–213.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Grzegorzewski, P. (2004). Distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric. *Fuzzy Sets and Systems*, 148, 319–328.
- [31] 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.
- [32] Hung, W. L., & Yang, M. S. (2004). Similarity measures of intuitionistic fuzzy sets based on Hausdorff distance. *Pattern Recognition Letters*, 25, 1603–1611.
- [33] Liu, H. W., & Wang, G. J. (2007). Multi-criteria decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets. *European Journal of Operational Research*, 179, 220–233.
- [34] Sadriani, A. A., & Yoon, Y. S. (1994). A procurement decision support system in business volume discount environments. *Operations Research*, 42(1), 14–23.
- [35] Wang, W. Q., & Xin, X. L. (2005). Distance measure between intuitionistic fuzzy sets. *Pattern Recognition Letters*, 26, 2063–2069.
- [36] Weber, C. A., & Ellram, L. M. (1992). Supplier selection using multi-objective programming: A decision support system approach. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 23(2), 3–14.
- [37] Xu, Z. S. (2007a). Intuitionistic preference relations and their application in group decision making. *Information Sciences*, 177, 2363–2379.
- [38] Xu, Z. S. (2007b). Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6, 109–121.
- [39] Xu, Z. S. (2007c). Models for multiple attribute decision making with intuitionistic fuzzy information. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15, 285–297.
- [40] Xu, Z. S. (2007d). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transaction of Fuzzy Systems*, 15(6), 1179–1187.
- [41] Xu, Z. S., & Yager, R. R. (2006). Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of General Systems*, 35, 417–433.
- [42] Xu, Z. S., & Yager, R. R. (2008). Dynamic intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 48, 246–262.
- [43] Z.S. Xu and J. Chen, An overview of distance and similarity measures of Intuitionistic Fuzzy Sets, *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 16, 529–555, 2008.
- [44] Z.S. Xu and Q.L. Da, The uncertain OWA operator, *International Journal of Intelligent Systems* 17, 569–575, 2002.

- [45] Z. Xu, On multi-period multi-attribute decision making, *Knowledge- Based Systems* 21 (2008) 164-171.
- [46] Zhang, D., Zhang, J., Lai, K. K., & Lu, Y. (2009). An novel approach to supplier selection based on vague sets group decision. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9557–9563.
- [47] Zhang, C. Y., & Fu, H. Y. (2006). Similarity measures on three kinds of fuzzy sets. *Pattern Recognition Letters*, 27, 1307–1317.
- [48] ჯულიეტა გაგლოზვილი (2016). ინოვაციური პროცესების კვლევა და კომპიუტერული მოდელირება
- [49] C.Y. Shen and K.T. Yu, A generalized fuzzy approach for strategic problems: The empirical study on facility location selection of authors' management consultation client as an example, *Expert Systems with Applications* 36, 4709-4716, 2009.
- [50] S.Y. Chou, Y.H. Chang and C.Y. Shen, A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes, *European Journal of Operation Research* 189,132-145, 2008.
- [51] G.S. Liang and M.J.J. Wang, A fuzzy multi-criteria decision-making method for facility site selection, *International Journal of Production Research* 29, 2313–2330, 1991.
- [52] C.T. Chen, A fuzzy approach to select the location of the distribution center, *Fuzzy Sets and Systems* 118, 65–73, 2001.
- [53] T.C. Chu, Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 10, 687-701, 2002.
- [54] C. Kahraman, D. Ruan and I. Dogan, Fuzzy group decision-making for facility location selection, *Information Sciences* 157, 135–153, 2003.
- [55] C. Araz, P.M. Ozfirat, and I. Ozkarahan, An integrated multi-criteria decisionmaking methodology for outsourcing management, *Computers & Operations Research* 34, 3738 –3756, 2007.
- [56] Abazar Keikha, Hassan Mishmast Nehi, Operations and Ranking Methods for Intuitionistic Fuzzy Numbers, a Review and New Methods, 2016.
- [57] S. Genç, F.E. Boran and D. Akay, Some Approaches on Estimating Criteria Weights from Intuitionistic Fuzzy Preference Relations under Group Decision-Making, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing* inpress, 2010.
- [58] S. Genç, F.E. Boran, D. Akay and Z.S. Xu, Interval multiplicative transitivity for consistency, missing values and priority weights of interval fuzzy preference relations, *Information Sciences* 180, 4877-4891, 2010.