

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

ელენე გელიტაშვილი
ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი ფაზი-
TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის
განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი 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

2018

ანოტაცია

სამაგისტრო ნაშრომში წარმოდგენილია მრავალკრიტერიალურ გარემოში გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემის რეალიზაცია ფაზი - TOPSIS მეთოდოლოგიის გამოყენებით. 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 განაპირობებულობს ასეთი სისტემებიზე პრაქტიკაში დიდი მთხოვნით.

განხილულია ფაზი-TOPSIS მიდგომა მრავალკრიტერიალური 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	8
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 ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი ფაზი - TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის	Error! Bookmark not defined.
2.1	Fuzzy TOPSIS ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისთვის	16
2.1.1	ალგორითმი:.....	17
2.1.2	ძირითადი ცნებები და განმარტებები.....	19
2.1.3	მეთოდი.....	20
2.1.4	მაგალითი.....	24
3.	სისტემის პროგრამული ნაწილი:	25
3.1	ტრაპეციულ რიცხვებზე ალგორითმის რეალიზაცია.....	25
4.	დანართი	Error! Bookmark not defined.
4.1	FTB-DSS პროგრამული ნაწილი	29
4.2.1	ამოცანის რეალიზაციის ვიზუალური წარმოდგენა ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისაგან შემდგარ ჰესიტანტურ სიმრავლეზე	Error! Bookmark not defined.
5.	დასკვნა.....	32
6.	გამოყენებული ლიტერატურა.....	33

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. 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 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 მრავალკრიტერიუმისანი 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 გამომავალი (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 გამოწვიულია 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 გამოუყენებია 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 მრავალკრიტერიული 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)

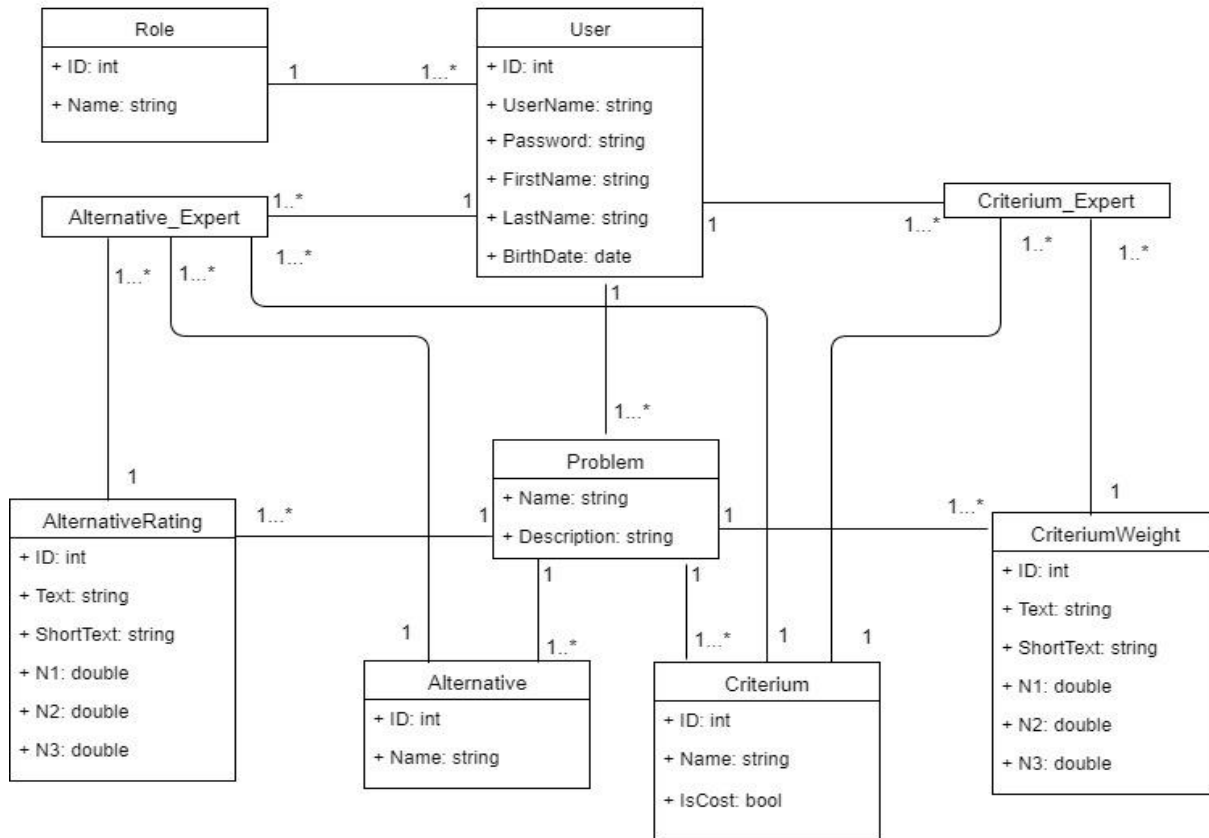
სადიპლომო ნაშრომის ფარგლებში შეიქმნა Fuzzy TOPSIS მიდგომაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა FTB-DSS (Fuzzy TOPSIS Based Decision Support System). სისტემა შექმნა ორმა მაგისტრანტმა, სამუშაო გადანაწილებული იქნა შემდეგი სქემით:

- ელენე გელიტაშვილი - პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება, ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი ფაზი - TOPSIS გადაწყვეტილების მიღების მოდელისთვის
- მარიამ გოგოლაძე- პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება, ჰესიტანტური 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 ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი ფაზი-TOPSIS მიდგომა და პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება მრავალკრიტერიუმიანი გადაწყვეტილების 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 გვამღევს 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: გვჭირდება რომ ლინგვისტურ ცვლადებს შევუსაბამოთ ტრაპეციული რიცხვითი მნიშვნელობები, ჩვენს შემთხვევაში გვექნება 5 ლინგვისტური თერმი ალტერნატივების შეფასებისთვის.

ბიჯი 2: ვაგებთ გადაწყვეტილების მიღების ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-მატრიცას $\tilde{T} = (\tilde{t}_{ij})$, რომლის თითოეული \tilde{t}_{ij} ელემენტი არის ტრაპეციული რიცხვებისაგან შემდგარი სიმრავლე.

ბიჯი 3: \tilde{T} მატრიცა დაგვყავს გადაწყვეტილების მიღების ჰესიტანტურ ფაზი-მატრიცაზე $H = (h_{ij})$.

ბიჯი 4: ვსაზღვრავთ კრიტერიუმების წონებს შენონის ენტროპიის გამოყენებით:

ბიჯი 4.1: H მატრიცის თითოეული ჰესიტანტური ელემენტი h_{ij} გასაშუალოების მეთოდით დაგვყავს ერთ რიცხვზე;

ბიჯი 4.2: ვახდენთ მიღებული მატრიცის ელემენტების ნორმალიზებას;

ბიჯი 4.3: ნორმალიზებული მატრიცის ელემენტების გამოყენებით ვითვლით ენტროპიას და ვსაზღვრავთ წონებს კრიტერიუმებისათვის.

ბიჯი 5: ვახდენთ გადაწყვეტილების მიღების ჰესიტანტური ფაზი H მატრიცის ნორმალიზებას და შეწონვას.

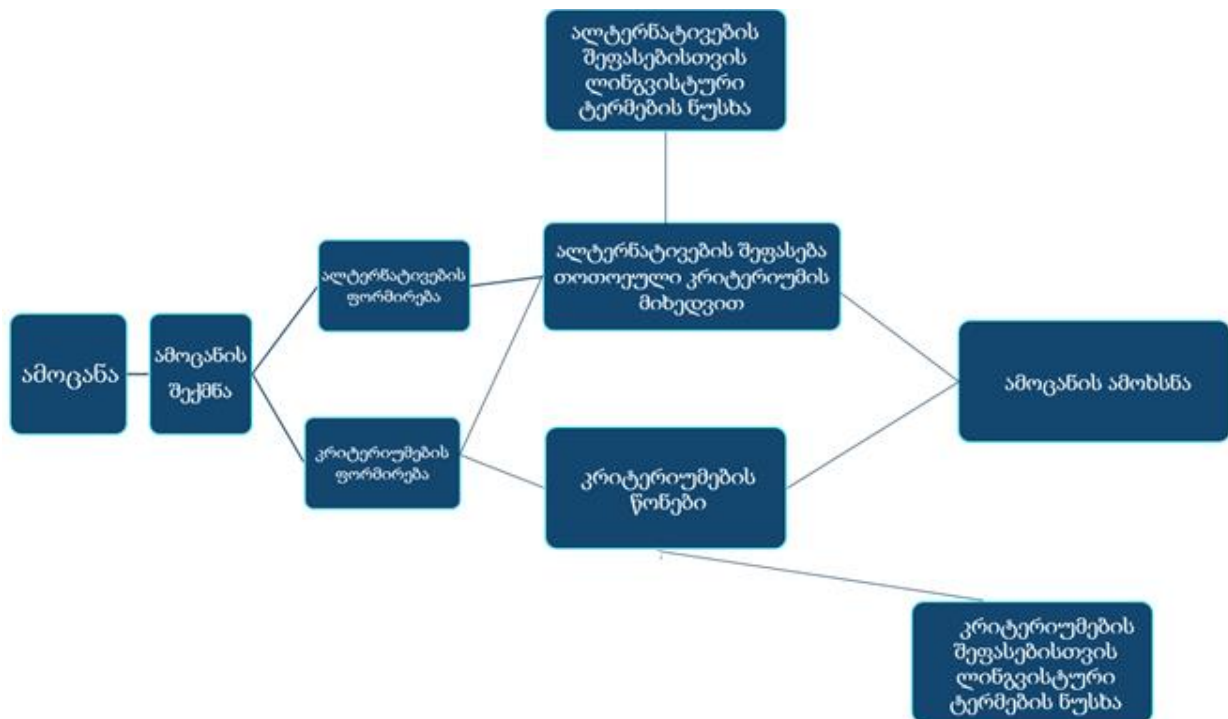
ბიჯი 6: ვსაზღვრავთ ფაზი-პოზიტიურ იდეალურ გადაწყვეტილებას (FPIS) და ფაზი - ნეგატიურ იდეალურ გადაწყვეტილებას (FNIS).

ბიჯი 7: თითოეული ალტერნატივისათვის ვითვლით მანძილებს FPIS- დან და FNIS- დან.

ბიჯი 8: ვითვლით სიახლოვის კოეფიციენტს თითოეული ალტერნატივისათვის.

ბიჯი 9: 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 α 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 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 წარმოადგენს მიკუთვნების განსხვავებულ მნიშვნელობებს $x \in X$ 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 ტრაპეციულ ფაზი რიცხვს, რომელსაც უწოდებენ ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-ელემენტს (HTFE).

2.1.3 მეთოდი:

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

ლინგვისტური თერმები	ლინგვისტური თერმები (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)

ვაგებთ ჰესიტანტურ ტრაპეციულ ფაზი-მატრიცას:

$$\tilde{T} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ A_1 & \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & \tilde{t}_{22} & \cdots & \tilde{t}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{t}_{m1} & \tilde{t}_{m2} & \cdots & \tilde{t}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix},$$

რომლის თითოეული სტრიქონი – A_i ალტერნატივა – განიხილება როგორც ტრაპეციული ჰესიტანტური (მერყევი) ფაზი-სიმრავლე (HTFS), ხოლო ყოველი \tilde{t}_{ij} ელემენტი წარმოადგენს ჰესიტანტურ (მერყევ) ფაზი-ელემენტს (HTFE), და შედგება რამდენიმე ტრაპეციული ფაზი-რიცხვისაგან.

შემდეგ მიღებული შეფასების მატრიცა $\tilde{T} = (\tilde{t}_{ij})_{m \times n}$ დაგვყავს ჰესიტანტურ (მერყევ) გადაწყვეტილების მიღების მატრიცამდე $H = (h_{ij})_{m \times n}$ Graded Mean Integration Representation Method –ის გამოყენებით:

ტრაპეციულ ფაზი-რიცხვს $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ დეფაზიფიკაციის GMIR მეთოდი შეუსაბამებს რიცხვს

$$p(\tilde{A}) = \frac{1}{6}(a + 2b + 2c + d).$$

აუცილებელია მოხდეს წონების განსაზღვრა კრიტერიუმებისთვის. ამისათვის H ჰესიტანტური გადაწყვეტილების მიღების მატრიცის ყოველი ჰესიტანტური ფაზი-ელემენტისათვის ვიყენებთ ფორმულას

$$s(h_A(x)) = \sum_{j=1}^{l(h_A(x))} h_A^{\sigma(j)}(x) / l(h_A(x)),$$

ე.ი. გამოვთვლით ახალ, ე.წ. „განგარიშების“ (score) მატრიცას, და ვახდენთ მის ნორმალიზებას. შედეგად, ვღებულობთ „განგარიშების“ ნორმალიზებულ მატრიცას $S' = (s'_{ij})_{m \times n}$.

კრიტერიუმების წონების იდენტიფიკაცია ეფუძნება შენონის ენტროპიას:

$$E_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m s'_{ij} \ln s'_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}$$

წონების განსაზღვრის შემდეგ ვახდენთ ჰესიტანტური ფაზი გადაწყვეტილების მიღების H მატრიცის ნორმალიზებას და შეწონვას

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

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 იდეალურ და ნეგატიურ მდგომარეობამდე თითოეული V_{ij} -სთვის:

➤ იდეალური მდგომარეობა:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

➤ ნეგატიური მდგომარეობა:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

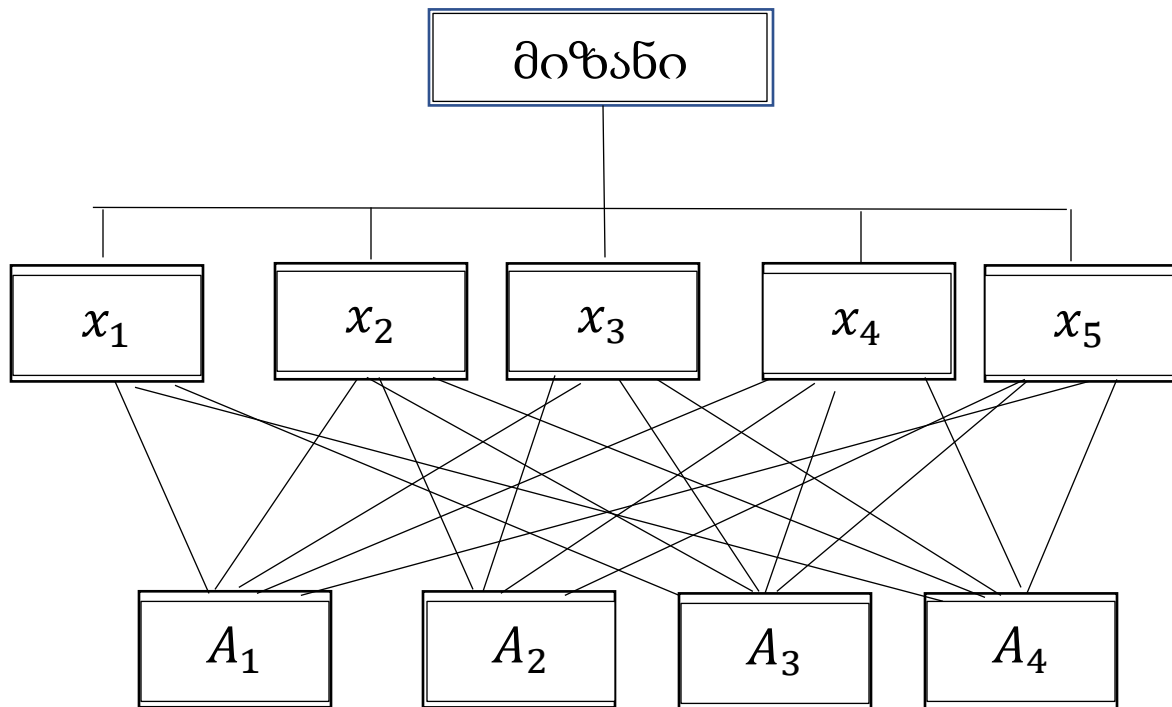
ბოლოს კი გამოვითვლით იდეალურ გადაწყვეტილებას

$$C_i = \frac{S_i}{(S_i^+ + S_i^-)}, \quad 0 < C_i^+ < 1, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$C_i^* = 1 \text{ თუ } A_i = A^+$$

$$C_i^* = 0 \text{ თუ } A_i = A^-$$

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).

2.1.4 მაგალითი:

დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა

დაწესებულების ადგილმდებარეობის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საქმიანობას სტრატეგიულ დაგეგმარებაში კერძო და საჯარო კომპანიების ფართო სპექტრში. იგი არის მრავალკრიტერიუმანი გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა, რომელიც შეიცავს, როგორც რაოდენობრივ, ასევე ხარისხობრივ კრიტერიუმებს. ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი 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 ჰესიტანტურ სიმრავლეზე 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);
    }
}
```

დეფაზიფიკაცია:

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

ტრაპეციული ფაზი ჰესიტანტური სიმრავლის დაყვანა ჰესიტანტურ სიმრავლეზე:

```
-----
ALTER PROCEDURE [dbo].[castHesitantFuzzySet]
    @ProblemID int
AS
BEGIN
select
p.Name ProblemName,
a.Name AlternativeName,
c.Name CriteriumName,
avg((r.N1 +2*r.N2+2*r.N3+r.N4)/6) defuzzHesitanteElement
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 ,
a.Name ,
c.Name
END
```

ნორმალიზაცია შენონის ენთროპიით:

```
public static List<List<double>> normalizationWithShennonEntropy(List<List<double>> normalizeList,
    int problemID, int alternativeCount, int criteriumCount, string connectionString)
{
    normalizeList = Operations.CalculateResult2(problemID, alternativeCount, criteriumCount, connectionString);

    for (int i = 0; i < alternativeCount; i++)
    {
        for (int j = 0; j < criteriumCount; j++)
        {
            normalizeList[i][j] = (sumMethod(normalizeList[i] ) * Math.Log(normalizeList[i][j]))/Math.Log(alternativeCount);
        }
    }
    return normalizeList;
}
```

წონების გამოთვლა:

```
public static List<double> calculateWeight( int problemID, int alternativeCount, int criteriumCount, string connectionString)
{
    List<List<double>> normalizeList = new List<List<double>>();
    normalizeList = Operations.normalizationWithShennonEntropy(normalizeList, problemID, alternativeCount, criteriumCount, connectionString);
    List<double> weightList = new List<double>();
    for (int i = 0; i < alternativeCount; i++)
    {
        for(int j=0; j<criteriumCount; j++)
        {
            normalizeList[i][j]=normalizeList[i][j]-1;

            weightList.Add((normalizeList[i][j]) / sumMethod(normalizeList[i]));
        }
    }
    return weightList;
}
```

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 user interface for a math problem. On the left, there is a math expression πr^2 with a yellow plus sign below it, and a purple less-than-or-equal-to symbol (\leq) to its left. Below these, the text $\frac{2}{3}(12) = 50\% \text{ of } 16$ is displayed in red. At the top right, there are three red buttons: "შეფასე ამოცანა" (Evaluate problem), "დაამატე ამოცანა" (Add problem), and "გამოთვლა" (Calculate).

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

The screenshot shows a user interface for a math problem. On the left, there is a math expression πr^2 with a yellow plus sign below it, and a purple not-equal-to symbol (\neq) to its left. Below these, the text $\frac{2}{3}(12) = 50\% \text{ of } 16$ is displayed in red. At the bottom left, there is a blue expression $5 + 9 \div 3 < 6 + 7^2 - 19$ and a blue percentage symbol ($\%$). At the top right, there are two dropdown menus: "Expert_1" and "დოქტორანტურაში კანდიდატების შერჩევა" (Selection of candidates for doctorate), with "A1" and "C1" selected. Below these, there is a "შეფასეთ:" (Evaluate:) label, a "Medium" dropdown menu, and a red "შეფასება" (Evaluate) button. Below the button, the text "ამოცანა შეფასდა წარმატებით!" (Problem evaluated successfully!) is displayed. On the right side, there are two yellow mathematical expressions: $\sqrt[4]{64} =$ and $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$.

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

The screenshot shows a software interface for solving math problems. On the left, there is a blue r^2 and a yellow plus sign. In the center, there is a dropdown menu with the following options: "Demo", "აირჩიეთ მეთოდი", "აირჩიეთ მეთოდი", "ჰესიტანტური ტრაპეციულ მნიშვნელობიანი", and "ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი". To the right of the dropdown menu is a red button labeled "გამოთვლა". At the bottom left, there is a red mathematical expression: $(12) = 50\% \text{ of } 16$.

4.2 ამოცანის რეალიზაციის ვიზუალური წარმოდგენა ტრაპეციული ფაზი რიცხვებისაგან შემდგარ ჰესიტანტურ სიმრავლეზე

ჰესიტანტური ლინგვისტურ მნიშვნელობიანი - მეთოდის შედეგი:

r^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} {0.3.0.4.0.5.0.6} {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} {0.3.0.4.0.5.0.6} {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} {0.0.1.0.2.0.3} {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} {0.5.0.6.0.7.0.8} {0.3.0.4.0.5.0.6} {0.5.0.6.0.7.0.8} {0.3.0.4.0.5.0.6} {0.5.0.6.0.7.0.8} {0.7.0.8.0.9.1} {0.7.0.8.0.9.1} {0.0.1.0.2.0.3} {0.7.0.8.0.9.1} {0.0.1.0.2.0.3} {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} {0.3.0.4.0.5.0.6} {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}

(12) = 50% of 16

{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} {0.3.0.4.0.5.0.6} {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}

ჰესიტანტური სიმრავლის დაყვანით მიღებული რიცხვები:

0.275 0.7 0.375 0.6166666666666667 0.45 0.4 0.375 0.35 0.4 0.425 0.475 0.45 0.65 0.55 0.8 0.425

შენიშვნის ენთროპიის შედეგად მიღებული ელემენტები:

1.83145486831256 0.0359656292225477 0.568719541372912 0.212754283988978 0.907202436087977
0.143956359366665 0.230763463143968 0.356224075471043 1.15668708302644 0.119319039541538
0.188490389864168 0.367210048097339 0.753554656804852 0.440496504593926 0.00498165032493375
0.477758305623946

$i + 9 \div 3 < 6$
6

რანჟირება:

A3: 0.663216 > A4: 0.65279 > A1: 0.515853 > A2: 0.12164

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).