

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლევან ვეფხვაძე

თანამედროვე პორტფოლიო თეორია და  
ელექტროგენერაცია საქართველოში

სადოქტორო პროგრამა: ინოვაციებისა და ოპერაციათა მენეჯმენტი

შიფრი 0413

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2021წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი საწარმოო ინოვაციებისა  
და ოპერაციათა მენეჯმენტის დეპარტამენტი

სამეცნიერო თანახელმძღვანელები:

პროფესორი, კონსტანტინე ხმალაძე

პროფესორი, გია არაბიძე

რეცენზენტები: პროფესორი, დემურ ჩომახიძე

პროფესორი, გურამ ამყოლაძე

დაცვა შედგება 2021 წლის ” 30 ” ივლისს, 11 საათზე საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო მენეჯმენტის საუნივერსიტეტო  
სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: პროფესორი, მანანა  
მადრაძე

საზოგადოდ, ელექტროენერჯის გენერაციის დაგეგმვის ამოცანა გულისხმობს მომხმარებლების მოთხოვნის მინიმალური დანახარჯითა და მისაღები ხარისხით/ სანდოობით დაკმაყოფილებას. თუმცა, იმის გათვალისწინებით, რომ მსგავსი ამოცანა ისეთი გადაწყვეტილების მიღებას ნიშნავს, რომელიც მომავალს ეხება, სადაც ბევრი ფაქტორი, მათ შორის, ელექტროენერჯის მოხმარება, საწვავის ფასი, საოპერაციო დანახარჯები და რეგულაციები ბუნდოვანია, არ არის მარტივი დაგეგმვის პროცესის სწორად წარმართვა. აღნიშნული დაგეგმვის პროცესისთვის დამატებით სირთულეს ელექტროენერჯის ისეთი წყაროებიდან გენერაცია წარმოადგენს, რომელიც დისპეტჩირებას არ ექვემდებარება. როგორც წესი, ასეთ ტექნოლოგიებს ენერჯის განახლებად წყაროებზე მომუშავე ტექნოლოგიები მიეკუთვნება, მაგალითად ქარის, მზისა და ჰიდრო ტექნოლოგიები. ამასთან, აღნიშნული ტექნოლოგიებით ელექტროენერჯის წარმოების ცვალებადობა შეიძლება იყოს როგორც სეზონური, ასევე, ციკლური (მეორდებოდეს რამდენიმე წელიწადში ერთხელ). შესაბამისად, მიღებული ცვალებადობა ქმნის იმ დამატებით სტოქასტურ გარემოს, სადაც ზუსტი პროგნოზის გაკეთება ძალიან რთულია.

თუმცა, არანაკლებ სტოქასტურ გარემოში შეიძლება ოპერირებდეს წიაღისეულ საწვავზე (ბუნებრივი აირი, ნახშირი) მომუშავე თბოელექტროსადგურები: მიუხედავად იმისა, რომ თბოელექტროსადგურების გენერაცია ყველაზე სტაბილურ და დისპეტჩირებად ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიად მიიჩნევა, ამ შემთხვევაში ცვალებადობის მთავარი მიზეზი საწვავზე ფასი, იმპორტის შემთხვევაში კი, დამატებით, ეროვნული ვალუტის გაცვლითი კურსი წარმოადგენს.

შესაბამისად, ყველა ტექნოლოგიას შეიძლება ჰქონდეს დადებითი და უარყოფითი მხარეები და თუკი, ელექტროენერჯის მოხმარება ხასიათდება მზარდი ტენდენციით, მაშინ აღნიშნული უარყოფითი და დადებითი მხარეების გათვალისწინებით აუცილებელი ხდება ელექტროენერჯის

გენერაციის დადგმული სიმძლავრეების ისეთი ზრდა, რომელიც, თავის მხრივ, უნდა შეესაბამებოდეს ელექტროენერგეტიკული დაგეგმვის გრძელვადიან ამოცანებს.

ენერგეტიკული პოლიტიკის დაგეგმვა კი წარმოდგენილია ელექტროენერჯის წარმოების საშუალო და გრძელვადიანი პორტფელის განსაზღვრის გარეშე. თუმცა მთავარი კითხვა, რომელიც ელექტროენერჯის გენერაციის დაგეგმვასა და გაფართოებას უკავშირდება შემდეგი სახით შეიძლება ჩამოყალიბდეს: რამდენად უნდა ეფუძნებოდეს გენერაციის კონკრეტული ტექნოლოგიის ჯამური დადგმული სიმძლავრის გაზრდის, ან თუნდაც ერთი კონკრეტული ელექტროსადგურის მშენებლობის შესახებ გადაწყვეტილება მხოლოდ საწყის საინვესტიციო დანახარჯებს, ან, ოპერირების შემთხვევაში, წარმოების ფიქსირებულ და ცვლად ხარჯებს? ამასთან, გარდა წმინდა ფინანსური დანახარჯისა, რამდენად უნდა მიექცეს ყურადღება სხვა ფაქტორებსაც, მაგალითად ქვეყნის იმპორტირებულ რესურსებზე დამოკიდებულების დონეს, ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხებს, მოცემული მიწის ნაკვეთის ეფექტურად/ოპტიმალურად ათვისება-გამოყენებას, ისევე როგორც, გენერაციის მოცემული ტექნოლოგიის ოპერირების შედეგად დამდგარ სოციალური და გარემოზე ზემოქმედების ფაქტორებს.

წარმოდგენილი კითხვები დღეს ენერგეტიკულ სექტორში არსებული გამოწვევების მხოლოდ ნაწილია და სრულად ვერ ასახავს იმ უმწვავეს თემატიკას, რომელთა შესწავლა მდგრადი და სტაბილური განვითარებისთვისაა აუცილებელი, თუმცა დისერტაციის უმთავრესი ამოცანაც სწორედ ეს არის: დაიწყოს აქტიური დისკუსია და რაოდენობრივ ანალიზზე დაფუძნებით მოხდეს სექტორის განვითარებისთვის აუცილებელი დოკუმენტების მიღება.

**თემის აქტუალობა:** წარმოდგენილი დისერტაცია შეეხება ენერგეტიკული პოლიტიკის დაგეგმვის იმ თანამედროვე მეთოდების ჩვენს რეალობაში

შესაძლო გამოყენებას, რომელმაც უნდა მოგვცეს ენერგეტიკის პოლიტიკის მიზნების შესაბამისად არსებული ელექტროგენერაციის პორტფელის შეფასება და გრძელვადიანი დაგეგმვისთვის აუცილებელი წინაპირობის შექმნა. შესაბამისად, დისერტაცია ცხადად ეხმიანება იმ დისკუსიასაც, რომელიც ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-იანი წლების მეორე ნახევრიდან დაიწყო ჩვენს ქვეყანაში და 40 წელზე მეტია მიმდინარეობს აქტიური დისკუსია ელექტროგენერაციის ობიექტების მშენებლობებთან დაკავშირებით. დისერტაციის მომზადების პერიოდში, აღნიშნული დისკუსია ახალი ძალით განახლდა, რაც ნამოხვანჭვის მშენებლობის დაწყებამ გამოიწვია. სწორედ ამ პერიოდში, პროექტის კრიტიკოსების მხრიდან არაერთგზის დაისვა კითხვა იმის შესახებ, არსებობს თუ არა ენერგეტიკული განვითარების სტრატეგია, რომელიც განსაზღვრავდა ინდუსტრიის გრძელვადიანი განვითარების პრიორიტეტებს და დაადგენდა გენერაციის იმ პორტფელს, რომელიც ენერგეტიკული უსაფრთხოებისთვის აუცილებელი და მყარი საფუძველი გახდებოდა.<sup>1</sup> ამ კონტექსტში აღსანიშნავია ის გამოხმაურებაც, რომელიც გაჟღერებულია ენერგეტიკის საერთაშორისო სააგენტოს მიერ 2020 წელს მომზადებულ დოკუმენტში „საქართველო 2020, ენერგეტიკის პოლიტიკის მიმოხილვა“, სადაც ენერგეტიკული სექტორის ყველაზე ავტორიტეტული საერთაშორისო გაერთიანების ექსპერტები აღნიშნავენ, რომ „ენერგეტიკული სექტორის ყოვლისმომცველი სტრატეგიის არქონა გავლენას ახდენს მთელ სექტორზე და აფერხებს მის განვითარებას. ერთჯერადი გადაწყვეტილებები არ არის დაფუძნებული სანდო ინფორმაციასა და ანალიზზე, რაც, თავის მხრივ, აუარესებს საინვესტიციო კლიმატს.“<sup>2</sup> ამავე დოკუმენტში, ავტორები

---

<sup>1</sup> <http://greenalt.org/wp-content/uploads/2020/11/%E1%83%AE%E1%83%9B%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%97%E1%83%90-%E1%83%9B%E1%83%9C%E1%83%90%E1%83%97%E1%83%98-%E1%83%AF%E1%83%94%E1%83%A1%E1%83%98-%E1%83%98%E1%83%90%E1%83%9C%E1%83%92%E1%83%98-2020.pdf>

<sup>2</sup> [https://webstore.iea.org/download/direct/4021?fileName=Georgia\\_2020\\_Energy\\_Policy\\_Review.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/4021?fileName=Georgia_2020_Energy_Policy_Review.pdf), გვ. 12

იმლევინ რეკომენდაციას, რომ პოლიტიკის მიზნებისთვის აუცილებელია განახლებადი ელექტროგენერაციის სხვადასხვა ტექნოლოგიების გამომუშავების სამიზნე მაჩვენებლების მიღება, რაც უნდა ეფუძნებოდეს ისეთ გამჭვირვალე მეთოდოლოგიას, რომელშიც ასახულია განვითარების სტრატეგიული ხედვა.<sup>3</sup>

ამასთან, თუკი ვახსენებთ მეთოდოლოგიას, რომელსაც უნდა ეყრდნობოდეს განვითარების სტრატეგიული ხედვა, უნდა აღინიშნოს არსებული პრაქტიკაც, რომელიც შედარებით მარტივ მიდგომას, ე.წ. უმცირესი დანახარჯების (Least Cost) მეთოდს მოიცავს. უმცირესი დანახარჯების მეთოდისთვის კი ელექტროენერგეტიკული სექტორის დაგეგმვის უმთავრესი მხოლოდ ერთი ამოცანა, გენერაციის საინვესტიციო და საოპერაციო დანახარჯების მინიმიზებაა.

საზოგადოდ, ენერგეტიკის სექტორის დაგეგმვის სფეროში, როგორც წესი, მინიმალური დანახარჯის მიდგომა სიმარტივის გამო ყველაზე ხშირად გამოიყენება, ამიტომაც ენერგეტიკულ ინდუსტრიაში ელექტროენერჯის წარმოების აქტივების შერჩევა, ისტორიულად, ერთი კრიტერიუმის გათვალისწინებით ხდებოდა. კერძოდ, აღნიშნული მიდგომის თანახმად, თითოეული ალტერნატიული ტექნოლოგია ფასდება ელექტროენერჯის დანახარჯის მიმდინარე ღირებულების (Levelized Cost of Electricity) საფუძველზე. ფართო გამოყენების მიუხედავად, ხსენებული მეთოდოლოგიის გარშემო არაერთი კრიტიკული შეფასება გამოითქვა, რომელიც ძირითადად იმ ფაქტს ეფუძნება, რომ წარმოდგენილი მიდგომა ვერ ასახავს სხვა გარე ფაქტორებს (Externalities), მათ შორის, სოციალურ, ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ დანახარჯებს, რაც ყველა მსხვილ ინფრასტრუქტურულ პროექტს თან სდევს, რადგანაც ტექნოლოგიის შერჩევა მხოლოდ ერთ, უმცირესი დანახარჯის კრიტერიუმზეა კონცენტრირებული. შესაბამისად, კონკრეტულ შემთხვევაში შეიძლება მოდელმა ვერ

---

<sup>3</sup> იქვე, გვ. 143

გაითვალისწინოს სხვა ნეგატიური ფაქტორები, გარდა ღირებულებისა და, მაგალითად, გარემოს დამაზინებელი გენერაციის ტექნოლოგიებზე მომუშავე სადგურის პროექტს მიენიჭოს უპირატესობა. საქართველოს რეალობაში კი პრობლემა კიდევ უფრო გართულებულია, რადგან დაგეგმვისას წარმოდგენილი მინიმალური დანახარჯის მეთოდი არა ტექნოლოგიების შეფასებისთვის, არამედ ცალკეული პროექტზე გადაწყვეტილების მიღებისთვის გამოიყენება თანაც ისე, რომ სხვადასხვა პროექტს შორის ურთიერთმიმართება (პორტფელურად პროექტების განხილვა) უგულებელყოფილია. კერძოდ, ელექტროგენერაციის სექტორში ელექტროსადგურის კონკრეტულ ადგილას მშენებლობის მოთხოვნაზე გარანტირებული შესყიდვის შეთანხმებები გაიცემოდა „პირველად შემოსული – პირველადვე მომსახურდება“ (First come, first served) პრინციპით, ამიტომაც ყოველთვის არსებობდა კითხვები კონტრაქტების გამჭვირვალობაზე, მშენებლობების ქაოსურობაზე და სახელმწიფოს მხრიდან აღებული ვალდებულებების შესრულების უნარზე.

ამასთან, პორტფელურის ნაცვლად ინდივიდუალურად პროექტების შესწავლა და ნებართვის გაცემა მხოლოდ დანახარჯზე (ელექტროენერჯის დაყვანილ ღირებულებაზე) დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღება ამჟამად ქმნის და მომავალშიც შექმნის შემდეგი სახის პრობლემებს:

- ჰიდროელექტროსადგურების სიმძლავრეების ზრდის დაგეგმვისას (განსაკუთრებით კი მოდინებაზე მომუშავე ჰიდროელექტროსადგურების) არ ექცევა ყურადღება იმ ფაქტს, რომ მდინარეების დიდი ნაწილის ელექტროგენერაციის გამომუშავების თითქმის 50% წყალუხვობის პერიოდს (მაის-ივნისს) ემთხვევა და, შესაბამისად, ელექტროენერჯის ვაჭრობის ახალ მოდელზე გადასვლისას, ერთის მხრივ, მოსალოდნელია აღნიშნულ პერიოდში ელექტროენერგეტიკულ ბირჟაზე ნულთან მიახლოებული ფასების დაფიქსირება ხოლო მეორეს, მხრივ, სიჭარბე გამოიწვევს წყლის

დაღვრასა და ინვესტორებისა და დეველოპერების შემოსავლების მიუღებლობას;

- თავის მხრივ, ამჟამად პრობლემას წარმოადგენს ქარისა და მზის ელექტროგენერაციის განვითარება, რომელთა ელექტროენერგიის დაყვანილი ღირებულება ამ ეტაპზე აღემატება წამახალისებელი სქემებით არსებულ ტარიფებს. შედეგად, 2017 წლის შემდეგ გაცემულია 20-ზე მეტი მემორანდუმი ქარსა და მზის ელექტროსადგურზე, თუმცა არცერთი არ აშენებულა (აქ არ იგულისხმება გორის ელექტროსადგური, რომელიც თავდაპირველად სახელმწიფო კომპანიამ ააშენა და აუქციონზე გაიყიდა არსებული წამახალისებელი სქემით გათვალისწინებულზე მაღალი ტარიფის შენარჩუნებით). ამასთან, თუკი ჰიდროელექტროგენერაცია ხასიათდება სეზონური ცვალებადობით, ქარისა და მზის ელექტროგენერაციის შემთხვევაში სახეზე გვაქვს ყოველწუთიერი ცვალებადობა, რომლის მართვაც დაგეგმვის ეტაპიდანვე შეიძლება გეოგრაფიულ ლოკაციებში სიმძლავრეების შესაბამისი გადანაწილების შემთხვევაში.

**მეცნიერული სიახლე:** დისერტაციის უმთავრესი სიახლეა, შესაბამისი ანალიზისა და რიცხვითი ექსპერიმენტების გამოყენებითა და თანამედროვე რაოდენობრივ და ხარისხობრივი მიდგომებზე დაყრდნობით ელექტროგენერაციის სექტორში სწორი სტრატეგიული განვითარების გეგმის შემუშავებისთვის აუცილებელი ჩარჩო-მოდელის შემუშავება და გადაწყვეტილების მქონე პირთათვის შეთავაზება. შესაბამისად, დისერტაციაში შესწავლილი და წარმოდგენილია ელექტროგენერაციის დაგეგმვითვის აუცილებელი ისეთი მიმართულებები, როგორცაა:

- ენერგეტიკული ამოცანების განსაზღვრა საქართველოს მაგალითზე; ასევე, ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზი და არსებული



ელექტროგენერაციის პორტფელის გაფართოვების აუცილებლობის დასაბუთება;

- გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდის გამოყენება ქარის ელექტროგენერაციის დადგმული სიმძლავრეების გაზრდისთვის;
- ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმანი ანალიზის გამოყენებით.

**კვლევის მიზნები:** წინამდებარე დისერტაციის მიზანია თანამედროვე რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მეთოდებით ელექტროენერგეტიკული ბაზრის დაგეგმვისთვის გამყენება, კერძოდ:

- თანამედროვე პორტფელური მიდგომების - მარკოვიცის პორტფელური თეორიისა და გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმანი ანალიზის მეთოდოლოგიის საქართველოში ენერგეტიკული სექტორის დაგეგმვისთვის გამოყენება, მათ შორის, როგორც ელექტროენერგის გენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება, ასევე, მარკოვიცის ანალიზის გამოყენებით არსებული ელექტროგენერაციის პორტფელის შეფასება და გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის გამოყენებით ცვლადი განახლებადი ელექტროგენერაციის სიმძლავრეების ოპტიმალური გაზრდა;
- ენერგეტიკული პოლიტიკის დაგეგმვისას გადაწყვეტილების მიმღებთა მეტი ინფორმირება გადაწყვეტილების მიღების თანამედროვე მეთოდებისა და მიდგომების შესახებ, კონკრეტული ილუსტრაციით, თუ რამდენად შეიძლება გაუარესდეს საინვესტიციო კლიმატი დაგეგმვის არარსებობის პირობებში და მსგავსი ტენდენცია რა საფრთხეებს შეიცავს ენერგეტიკული სექტორის გრძელვადიანი განვითარებისთვის;
- შეფასებების მომზადებისას რისკების კონცეფციის ღრმა ანალიზი, როგორც პორტფელური თეორიის მიდგომისა და ენერგეტიკული სექტორის დაგეგმვის წამყვანი კომპონენტი; შესაბამისად, განიხილება პორტფელის დივერსიფიკაციის კონცეფცია და ხაზი გაესმება განახლებადი ტექნოლოგიების ინტეგრაციის მნიშვნელოვან

პრობლემებს, რომელთა მართვის გარეშე განახლებადი ტექნოლოგიების (არაჰიდრო) განვითარება პრობლემური იქნება.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები:** კვლევის უმთავრესი ობიექტია საქართველოში ელექტროენერჯის გენერაციის სექტორი და მისი განვითარებისთვის აუცილებელი წინაპირობები და მიმართულებები, ხოლო გამოყენებული მეთოდებიდან აღსანიშნავია შემდეგი:

- მარკოვიცის პორტფელური თეორია, რომელიც წარმოადგენს ფინანსების თეორიაში აპრობირებულ მიდგომას, რომლის გამოყენებით შეფასებულია არსებული ელექტროგენერაციის პორტფელი, ხოლო ქარის ელექტროგენერაციის სიმძლავრეებისთვის შესწავლილია გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდი;
- გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმანი ანალიზი ოთხი კონკრეტული ქვესახეობით, რომლითაც მოხდა ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება;
- გენეტიკური პროგრამირება სიმბოლური რეგრესიის სახით, რომელიც გამოყენებულია ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზირებისთვის.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა:** ნაშრომი შედგება 166 გვერდისგან, რომელიც გადანაწილებულია ოთხ თავში: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა, კვლევის შედეგები და მათი განხილვა, შეჯამება და რეკომენდაციები. ილუსტრაციის მიზნებისთვის ნაშრომში წარმოდგენილია 30 ნახაზი და 24 ცხრილი. ამასთან, დისერტაციაში გამოყენებულია 126 ინგლისურ და ქართულენოვანი სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ლიტერატურის მიმოხილვაში შესწავლილი და გაანალიზებულია 94 ნაშრომი. აღსანიშნავია, რომ ნაშრომში რაოდენობრივი გამოთვლებისთვის გამოყენებულია R პროგრამირების ენა.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით და ზოგადი დასკვნები

დისერტაცია შედგება შესავლის, სამი თავისა და შეჯამებისგან, საიდანაც შესავალში შეფასებულია თემის აქტუალობა და აღწერილია პრობლემა საქართველოს მაგალითზე, ასევე, გამოყენებული მეთოდებისა და კვლევის მიზნების აღწერის შემდეგ წარმოდგენილია ლიტერატურის მიმოხილვა, სადაც მოყვანილია როგორც გამოყენებული მეთოდოლოგიის მოკლე აღწერა, ასევე წარმოდგენილია ენერგეტიკულ სექტორში მოცემული ორი მეთოდოლოგიის გამოყენების მაგალითები.

**ლიტერატურის მიმოხილვა:** ლიტერატურის ანალიზმა აჩვენა, რომ განხილული მეთოდოლოგიიდან პირველი, გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზი საკმაოდ აქტიურად გამოიყენება ენერგეტიკული ამოცანების დაგეგმვისას, რადგან ენერგეტიკულ სისტემებში გადაწყვეტილების მიღება ვერ დაეფუძნება ერთ კონკრეტულ კრიტერიუმს: ენერგეტიკული პოლიტიკის, სისტემების, თუ კონკრეტული ტექნოლოგიებისა და პროექტების შეფასება წარმოადგენს ამოცანების, კრიტერიუმების, შეზღუდვებისა და ინდიკატორების მრავალ განზომილებიან სივრცეს.

ამასთან, თუკი ყურადღებას მიექცევა იმ ფაქტსაც, რომ კრიტერიუმისა თუ ინდიკატორების გარკვეული ნაწილის გამოხატვა ვერ ხდება რაოდენობრივ მახასიათებლებში და, ამასთან, გადაწყვეტილების მიღებისას სხვადასხვა კრიტერიუმისა და ინდიკატორის მინიმიზება-მაქსიმიზება ურთიერთკონფლიქტური ამოცანაა, მაშინ წარმოდგენილი ლიტერატურის შესაბამისად, ცხადია, რომ გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ამოცანები ენერგეტიკული სისტემის დაგეგმვის საკმაოდ ძლიერი მეთოდოლოგიაა. თუმცა, მიუხედავად იმისა, რომ ამ მეთოდების ერთობლიობა საკმაოდ ფართოა, შეუძლებელია ისეთი ერთი კონკრეტული მეთოდის შერჩევა, რომელიც თანაბრად წარმატებით

გამოიყენება ზემოთ მოყვანილი ამოცანების გადასაჭრელად. უფრო მეტიც, სხვადასხვა მეთოდმა შეიძლება მოგვცეს განსხვავებული შედეგი, მიუხედავად იმისა, რომ გამოყენებულია ერთი და იგივე მონაცემების ერთობლიობა. შესაბამისად, განხილული ლიტერატურის მიხედვით, არ არსებობს ცუდი და კარგი მეთოდი, არამედ კონკრეტული ამოცანისთვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ისეთი მეთოდი (ან მეთოდების ერთობლიობა), რომელიც ყველაზე მეტად შეესაბამება ჩვენს კონკრეტულ ამოცანას. ამიტომაც, გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზის გამოყენებისას მთავარი კითხვა უკავშირდება იმას, თუ როგორ უნდა მოხდეს შესაფერისი მეთოდის შერჩევა.

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად, დისერტაციის წარმოდგენილ თავში შეჯამებულია ის პირობები, რომელთა დაკმაყოფილების შემთხვევაში სასურველია ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენება, კერძოდ:

1. გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზის მოცემული მეთოდი უნდა აკმაყოფილებდეს დაინტერესებული მხარეების მაქსიმალურად ჩართულობის პირობას, ანუ უპირატესობა მიენიჭება იმ მეთოდს, რომელიც უზრუნველყოფს მაქსიმალურ ინკლუზიურობას და მხარეთა ინტერესების წარმოდგენას;
2. მრავალკრიტერიუმიანი და მრავალმიზნობრივი მიდგომა, რომელშიც ყველა არაკორელირებადი კრიტერიუმი არის წარმოდგენილი იმპლემენტაციისას უფრო მდგრად და ობიექტურ შედეგს გვაძლევს, ვიდრე შეზღუდული რაოდენობის კრიტერიუმის შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ;
3. მეთოდი უნდა ითვალისწინებს კრიტერიუმებისა და ალტერნატივების ყველა შესაძლო ურთიერთმიმართებას, კერძოდ, ავტორის მიერ შესაბამისი მათემატიკური აპარატით დამტკიცებულია, რომ ყველაზე ნაკლები სანდოობა აქვს იმ მეთოდს, რომელიც იყენებს 2X2 მატრიცას, ანუ ალტერნატივებისა და კრიტერიუმების რაოდენობა მინიმალურია;

4. ის მეთოდი უფრო მისაღებია, სადაც მიდგომებისა და შეფასების სუბიექტივიზმი მინიმუმამდეა დაყვანილი. ავტორთა აზრით, სამი მდგენელია, სადაც სუბიექტივიზმი უნდა შემცირდეს, კერძოდ: (ა) კრიტერიუმებისა და ალტერნატივების შერჩევა; (ბ) იმ განსხვავებული განზომილების გარეშე მონაცემების გამოყენება, რომელიც ამცირებს ნორმალიზების საჭიროებას; (გ) კრიტერიუმების წონების განსაზღვრა. ცხადია, სამივე შემთხვევაში, გარკვეული ხარისხით სუბიექტივიზმი შემოდის, რაც ამცირებს მიღებული შედეგის სანდოობას, თუმცა პირველი პრინციპი, რომელიც პროცესის ინკლუზიურობას გულისხმობს და ის მეთოდები, რომელსაც დაინტერესებული მხარეების შეფასებები უნდა დაეყრდნოს, ამცირებს მიღებული შედეგის მიკერძოებულობას;
5. მეთოდის ვალიდურობისთვის აუცილებელია უახლესი მონაცემები, რაც ზრდის შედეგის სანდოობას, ამიტომაც, გადაწყვეტილების მიმღები მუდმივად უნდა ცდილობდეს მონაცემების განახლებას;
6. ასევე, მნიშვნელოვანია ორი განსხვავებული მეთოდის დატესტვაც, თუმცა ანალიზის შედეგის მიმართ ნდობა იზრდება განსხვავებული მეთოდების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, კერძოდ, სამი მეთოდით მიღებული შედეგი უფრო სანდოა, ვიდრე - ორით და ა.შ. ცხადია, აქ ავტორი არ მიუთითებს მეთოდების იმ ოპტიმალურ რაოდენობაზე, რომლითაც უნდა გადამოწმდეს მიღებული შედეგი, თუმცა ცხადია, რომ მეთოდების რაოდენობა უნდა აკმაყოფილებდეს დანახარჯ-სარგებლიანობის გონივრულობის კრიტერიუმს.

რაც შეეხება მარკოვიცის პორტფელურ თეორიას, ლიტერატურის მიმოხილვის თავის დასასრულს წარმოდგენილია შემდეგი დასკვნა:

1. მარკოვიცის პორტფელური თეორია მარტივად გამოსაყენებელი მეთოდოლოგიაა და ცვლადებს შორის გარკვეულ „კომპრომისს“ ეფუძნება, რომელთაგანაც ერთ-ერთს, ე.წ. არასასურველ ცვლადს, რისკი წარმოადგენს. შესაბამისად, გადაწყვეტილების მიმღები, წინასწარ განსაზღვრული რისკის არიდების ხარისხით, პორტფელის

ოპტიმიზაციის პროცესის გზით მის შემცირებას ან მინიმიზებას ცდილობს. როგორც რისკის კონტროლის მეთოდოლოგია, თანამედროვე პორტფელური თეორია ცდილობს, მიაღწიოს შემდლებისდაგვარად საუკეთესო დივერსიფიკაციას, და შესაბამისად, იპოვოს გარკვეული აზრით სასურველი პორტფელი.

2. ლიტერატურის შესწავლა გვიჩვენებს, რომ არ არსებობს ეფექტიანობის საზღვართან დაკავშირებული ერთიანი მიდგომა: კვლევების ნაწილი ეკონომიკურ, ხოლო მეორე ელექტროენერჯის გენერაციის კრიტერიუმებს იყენებს.
3. კვლევები, რომლებიც ეკონომიკურ კრიტერიუმებს ეფუძნება, იყენებს როგორც უკუგება-რისკის (უკუგება გამოითვლება, როგორც დანახარჯის შებრუნებული სიდიდე, ასევე, ფინანსების კლასიკური მიდგომებიდან ნასესხებია ისეთი მეტრიკები, როგორცაა წმინდა მიმდინარე ღირებულება, უკუგების შიდა განაკვეთი), ისე დანახარჯ-რისკის ეფექტიანობის საზღვარს. რისკი გამოიხატება ტექნოლოგიის ერთობლიობის მოგება/დანახარჯის ცვალებადობის (დისპერსია, სტანდარტული გადახრა) სახით. მეორეს მხრივ, ის მოდელები, რომლებიც ელექტროგენერაციის გამომუშავების კრიტერიუმებს ეფუძნება, უკუგება-რისკის როლში ელექტროგენერაციის მათემატიკურ ლოდინსა და ელექტროგენერაციის ცვალებადობას განიხილავენ.
4. მიუხედავად იმისა, რომ მარკოვიცის პორტფელური თეორია ენერგეტიკული სექტორის დაგეგმვის მიმართულებით ფართოდ გავრცელებული მეთოდოლოგიაა, ავტორები, ასევე, აღიარებენ აღნიშნული მიდგომის გამოყენების შეზღუდვებს, რომელიც აქტივების განსხვავებული ბუნებიდან გამომდინარეობს (ფინანსური vs. ფიზიკური). კვლევების შედეგად, ავტორები ცდილობენ გააუმჯობესონ მეთოდოლოგიის გამოყენების ადაპტირება ენერგეტიკის სფეროში მოთხოვნის მხარის მოდელებისა და მონაცემების სიმულაციის მეთოდების მეშვეობით. ანალოგიურად, გარე (სოციალური)

დანახარჯებისა და პორტფელის ნახშირორჟანგის ემისიასთან დაკავშირებული ფაქტორების გათვალისწინება ტექნოლოგიების სწორად დახასიათებისთვის აუმაჯობესებს მოდელის ადეკვატურობას.

5. შესწავლილი კვლევების თანახმად, თუკი უკუგება-რისკის წყვილში უკუგებად მოგება (დანახარჯის შებრუნებული სიდიდე) ან თავად დანახარჯი განიხილება, მაშინ ელექტროგენერაციის საერთო პორტფელში განახლებადი ტექნოლოგიების წილის ზრდა ხელს უწყობს პორტფელის რისკის შემცირებას, ცხადია, იმ მასშტაბით, რასაც მათი გეოგრაფიული ლოკაცია და მათ მიერ წარმოებული ელექტროენერჯის ინტეგრირებისთვის გადამცემი სისტემის შესაძლებლობები იძლევა. საბოლოო ჯამში, მათი პორტფელში გათვალისწინებით მცირდება როგორც ეკონომიკური რისკი, ისე მიწოდების შეფერხების რისკი, როგორც უკეთესი დივერსიფიკაციის შედეგი, და ასევე, გარემოსთან დაკავშირებული რისკი, დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაფრქვევების შემცირების გზით.
6. ლიტერატურაში გვხვდება ორი მიდგომა, თუ როგორ უნდა განვიხილოთ განახლებად ენერგეტიკულ ტექნოლოგიებთან დაკავშირებული რისკები: პირველის შესაბამისად, ისინი შეიძლება მივიჩნიოთ ურისკოდ, რადგანაც აღნიშნული ტექნოლოგიები საერთოდ არ იყენებს საწვავს და ზღვრული დანახარჯი ნულთან ახლოსაა. მეორე მიდგომის შესაბამისად, აღნიშნული ტექნოლოგიები განიხილება ისეთ ეკონომიკური რისკის მქონე ტექნოლოგიებად, რომელიც კლიმატური პირობების ცვალებადობასთან დაკავშირებული ფაქტორების გამო იძლევიან ცვალებად ელექტროგენერაციას, შესაბამისად, თუკი უკუგების სახით ელექტროენერჯის წარმოებაზე გაწეული დანახარჯი განიხილება, მაშინ განახლებადი ტექნოლოგიების წილის ზრდა საერთო ელექტროგენერაციის პორტფელში ამცირებს აღნიშნული პორტფელის რისკს. თუმცა, თუკი მოდელი ელექტროენერჯის გენერაციას და ამ გენერაციის ცვალებადობას განიხილავს, მაშინ პორტფელური თეორიის

პრიორიტეტია განახლებადი გენერაციის ტექნოლოგიების ერთობლიობის ცალკე შესწავლა და ისეთი პორტფელის მიღება, რომელიც გეოგრაფიული დივერსიფიცირებით სტაბილურ, ანუ ნაკლებად რისკიან გამომუშავებას იძლევა.

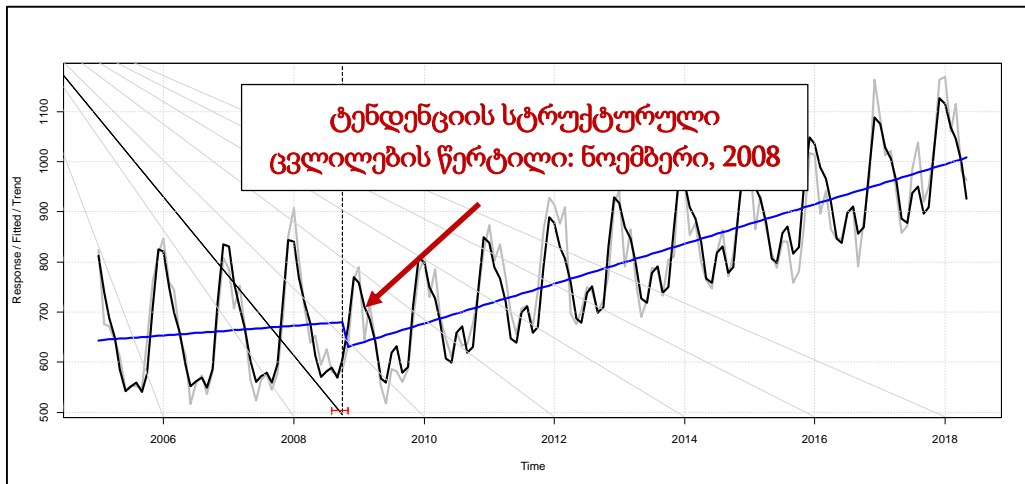
**თემის განხილვა:** შემდეგ თავში იწყება თემის განხილვა, სადაც, უპირველეს ყოვლისა, შესწავლილია, რამდენად საჭიროა ელექტროენერგეტიკული სიმპლავრების ზრდა და ჩამოყალიბებულია ელექტროენერგეტიკული სექტორის ამოცანები, რომელსაც უნდა დაეფუძნოს აღნიშნული ზრდა.

გრძელვადიანი ენერგეტიკული ამოცანების განსაზღვრა: რაც შეეხება ელექტროენერგეტიკულ ამოცანებს, ეს უკანასკნელი ენერგეტიკული ტრილემის მცირე მოდიფიცირებაა. გარდა კლასიკური ენერგეტიკული ტრილემისა, მოდიფიცირება გულისხმობს მეოთხე, ეკონომიკური ზრდის ამოცანის დამატებას, რომელიც, თავის მხრივ, უმნიშვნელოვანესია საქართველოს მსგავსი განვითარებადი ეკონომიკის მქონე ქვეყნისთვის. ამრიგად, ნაშრომის ამ ეტაპზე ენერგეტიკული პოლიტიკის ამოცანებად გამოიყენება შემდეგი ოთხი განზომილება: მიწოდების უსაფრთხოება, ელექტროენერჯის ხელმისაწვდომობა, ე.წ. „სუფთა“ ენერჯია და ეკონომიკის განვითარება. ენერგეტიკული ამოცანების განსაზღვრა არის ის საფუძველი, რომელსაც უნდა ეფუძნებოდეს ელექტროენერჯის ტექნოლოგიების სამომავლო პორტფელი, თუმცა აქ ნაშრომი მოითხოვს, რომ თავად ამოცანებს მიენიჭოს შესაბამისი წონები, რადგანაც განსხვავებული პრიორიტეტი ტექნოლოგიების განსხვავებულ პორტფელს იძლევა.

ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზი: რაც შეეხება ელექტროენერგეტიკული სიმპლავრების ზრდის აუცილებლობას, ნაშრომი შეისწავლის ელექტროენერჯის მოხმარების გრძელვადიანი პროგნოზს. აღნიშნული ამოცანისთვის, დისერტაცია იყენებს ევოლუციური ალგორითმის ერთ კონკრეტულ მეთოდს გენეტიკური პროგრამირების სახით და აჩვენებს ელექტროენერჯის მოთხოვნის მოსალოდნელი ზრდის საკმაოდ მაღალ ტემპს. ამასთან, ნაშრომის სიახლე იმაში მდგომარეობს, რომ



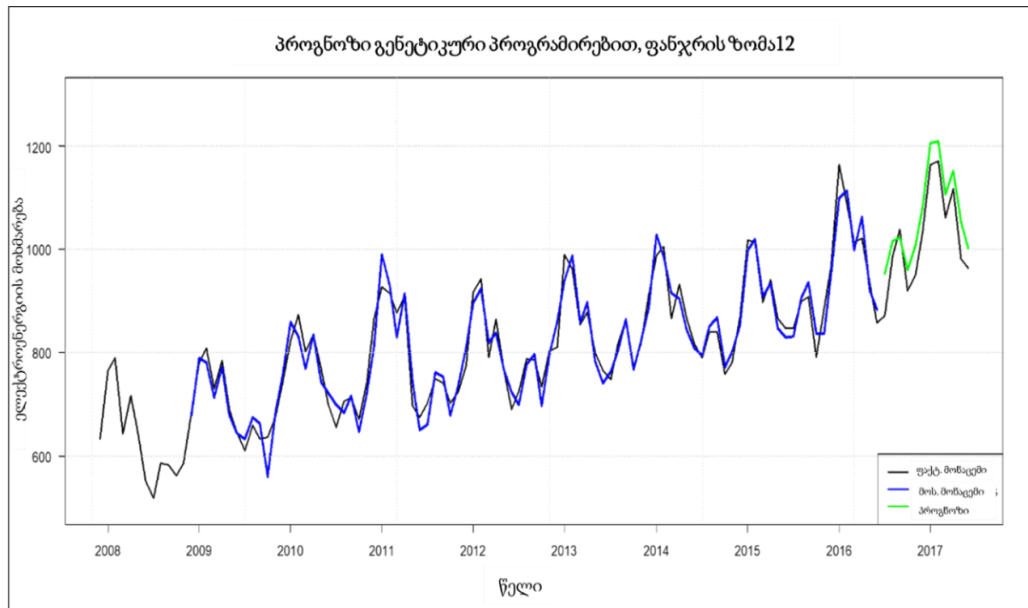
გამოყენებულია გენეტიკური პროგრამირებისა და ე.წ. BFAST- ალგორითმის ჰიბრიდული მოდელი, რომლის მიხედვითაც, ჯერ ელექტროენერჯის მოხმარების 2005-2017 წლების მონაცემებში გამოვლენილია სტრუქტურული ცვლილების წერტილი, ხოლო შემდეგ გენეტიკური პროგრამირების ფუნქციის მიღება მოხდა სწორედ ამ გარდატეხის წერტილის შემდეგ აღებული მონაცემების შესწავლით.



შესაბამისად, რიცხვითი ექსპერიმენტის პროცესი შემდეგი თანმიმდევრობით წარიმართა:

1. მონაცემებში გამოვლინდა სტრუქტურული ცვლილების წერტილი: ნოემბერი, 2008;
2. მოსამზადებელ მონაცემებად განხილულ იქნა მონაცემები სტრუქტურული ცვლილების წერტილის შემდეგ: ნოემბერი, 2008 - დეკემბერი, 2016;
3. ახალი მონაცემებიდან გამოირიცხა სეზონური კომპონენტი;
4. გენეტიკური პროგრამირების მეშვეობით გამოიკვეთა პროგნოზირების ფუნქცია;
5. შეფასდა მიღებული ფუნქციის პროგნოზირების შესაძლებლობა სატესტო მონაცემებზე;
6. მიღებული პროგნოზირების ფუნქციით განხორციელდა ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზი 2030 წლამდე.

საბოლოო ჯამში, წარმოდგენილი ფორმით განხორციელებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტმა თითქმის 40% ით შეამცირა სატესტო მონაცემის ცდომილება 75 მილიონი კვ.სთ დან 48 მილიონი კვ.სთ. მდე, ასევე, პროგნოზირებული მონაცემებით აგებული წირი (მწვანე წირი) თითქმის უცდომლად იმეორებს რეალური მონაცემების წირის ფორმას.

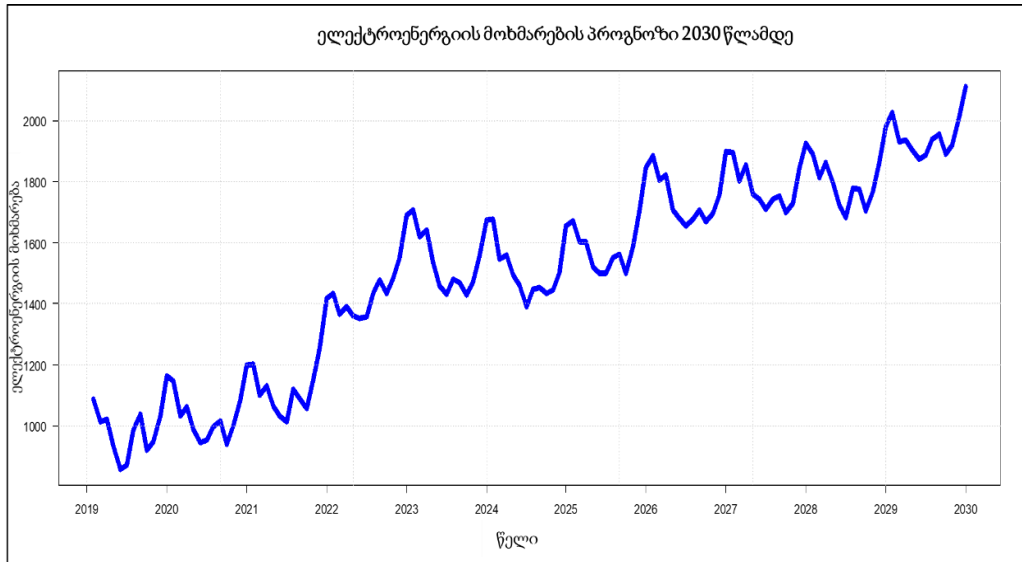


დასასრულს, რიცხვითი ექსპერიმენტის ბოლო ეტაპია მიღებული ფუნქციით გრძელვადიანი პროგნოზირება, კერძოდ მონაცემების გენერირება ხდება შემდეგი ალგორითმით:

1. ფუნქცია წინა 12 თვის მონაცემზე დაყრდნობით იძლევა ყოველი მომდევნო თვის მონაცემს;
2. შესაბამისად, პროგნოზირების ფუნქცია თან აგენერირებს პროგნოზს და თან მიღებული პროგნოზით ახდენს მომდევნო თვის მონაცემის პროგნოზირებას.

მსგავსი რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგად ვიღებთ 2030 წლამდე პროგნოზირებულ გამომუშავებას თვეების მიხედვით, ხოლო ბოლო 12 თვის მონაცემის დაჯამება გვაძლევს 2030 წლის საპროგნოზო მოხმარებას, რომელიც, წარმოდგენილ გამოთვლებზე დაყრდნობით, 22 მილიონ კვ სთ შეადგენს. აღნიშნული მაჩვენებელი ელექტროენერჯიის მოხმარების თითქმის 75% იან ზრდას პროგნოზირებს და

იმლევად იმის საფუძველს, რომ აქტიურად განიხილებოდეს ელექტროენერგეტიკული დადგმული სიმძლავრეების გაზრდის ამოცანა.

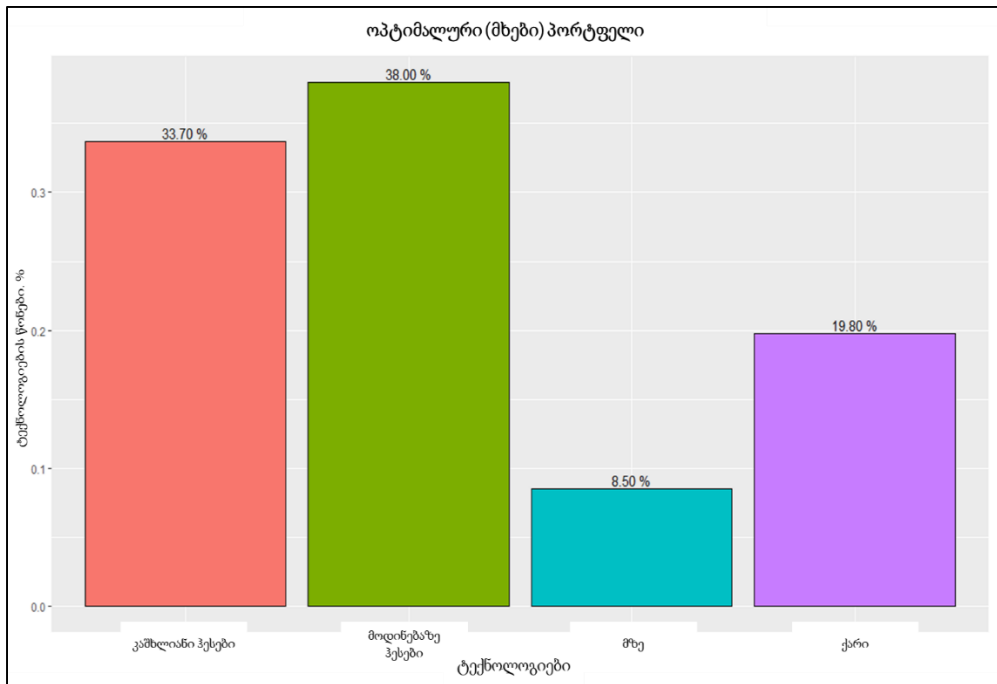


ამრიგად, თემის განხილვის მოცემულ ეტაპზე ვიღებთ იმ გარდაუვალ აუცილებლობას, რომელიც უკავშირდება ელექტროენერჯის გენერაციის დადგმული სიმძლავრეების ზრდას, ამიტომაც განხილვის შემდეგი ეტაპი ეთმობა ისეთ აქტუალურ კითხვებზე პასუხის მოძებნას, როგორცაა: (ა) რამდენად ოპტიმალურია დღევანდელი ელექტროენერჯის გენერაციის პორტფელი; (ბ) ქარისა და მზის ტექნოლოგიებით გაფართოების შემთხვევაში, რამდენად ეფექტურია გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მოდელი რისკების მინიმიზებისთვის; (გ) საზოგადოდ, შესაძლებელია თუ არა ელექტროენერგეტიკული ამოცანების შესაბამისად, ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება.

ელექტროგენერაციის არსებული პორტფელის შეფასება და სეზონურობის თვალსაზრისით ოპტიმალური პორტფელის მიღება: ნაშრომის ეს ნაწილი ეთმობა არსებული პორტფელის შეფასებას, ოღონდ ამ შემთხვევაში განხილულია განახლებად წყაროზე მომუშავე ელექტროგენერაციის ოთხი ტექნოლოგია: კაშხლიანი ჰიდრო, მოდინებაზე ჰიდრო, ქარი და მზე. თუმცა, განხილულ შემთხვევაში მიზანს წარმოადგენს არსებული გენერაციის

პორტუგელის ოპტიმალურობის დადგენა სეზონურ ცვალებადობასთან მიმართებით. საქმე ის არის, რომ ნაშრომში დეტალურად არის განხილული მას-ივნისში ელექტროენერჯის გამომუშავების სიჭარბესთან დაკავშირებული როგორც ტექნიკური, ანუ სისტემის მდგრადობასთან დაკავშირებული, ასევე, ელექტროენერჯის სარეალიზაციო დაბალი ფასიდან გამომდინარე გენერაციის ობიექტების ინვესტიციის უკუგებასთან დაკავშირებული პრობლემები. რადგანაც ინტუიციურად ადვილი მისახვედრია, რომ სეზონური ცვალებადობა წარმოადგენს ელექტროგენერაციის წლიური პორტუგელის პრობლემას, მაშინ შეფასების მიზნებისთვის გამოიყენება მარკოვიცის პორტუგელური ანალიზი, რომელიც სწორედაც კარგად აღწერს ელექტროგენერაციის მაქსიმიუმებისა და ელექტროგენერაციის ცვალებადობის მინიმიუმების ამოცანებს. საბოლოოდ, დადგენილია არსებული გენერაციის პორტუგელის არაოპტიმალურობა და ნაპოვნია ეფექტიანობის ის წირი (საზღვარი), რომელზეც განთავსებულია სეზონურობის თვალსაზრისით ოპტიმალური პორტუგელები. თავის მხრივ, თუ ვსაუბრობთ ერთ ოპტიმალურ პორტუგელზე, ანუ ისეთ პორტუგელზე, რომელშიც მიღწეულია სწორი ბალანსი ელექტროენერჯის გენერაციის დატვირთვის ფაქტორსა და სეზონურ ცვალებადობას შორის, მაშინ კვლევამ აჩვენა, რომ მსგავსი პორტუგელის მისაღებად მზისა და ქარის გენერაციის ტექნოლოგიების წილის შესაბამისად 8.5%-სა და 19.8%-მდე ზრდით არის შესაძლებელი. ამასთან, გასათვალისწინებელია ერთი მნიშვნელოვანი გარემოება: მიუხედავად იმისა, რომ ეფექტიანობის წირზე განლაგებული პორტუგელები იძლევიან დადგმული სიმძლავრეების ოპტიმალური განაწილების შესახებ გარკვეულ წარმოდგენას, თავად ოპტიმალობა, როგორც უკვე აღინიშნა, სეზონური აზრითაა წარმოდგენილი. ამიტომაც, ამ ამოცანის შესწავლისას შედგენილი პორტუგელი, შესაძლოა, არ შეესაბამებოდეს სხვა ამოცანებში მიღებულ ელექტროენერჯის გენერაციის პორტუგელს. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია, ამ მიმართულებით კვლევები გაგრძელდეს და არსებული პორტუგელი შეფასდეს, როგორც

დანახარჯებისა და სარგებლის, ასევე სხვა მნიშვნელოვანი მეტრიკებისთვისაც.



ამის შემდეგ დისერტაცია სწავლობს იმ მეთოდებს, რომელსაც უნდა დაეფუძნოს ელექტროგენერაციის დადგმული სიმძლავრეების ზრდა, სადაც გამოყენებულია ორი მიდგომა, კერძოდ, მარკოვიცის პორტფელური თეორია და მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზი. ორივე მიდგომა საინტერესო შედეგს იძლევა და მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სიმძლავრეების გაზრდის ამოცანის ეფექტურად გადაწყვეტის შესაძლებლობას.

გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდის გამოყენება ცვალებადი ელექტროგენერაციის დადგმული სიმძლავრეების გაფართოებისთვის:

აღნიშნული მიდგომა ემყარება მარკოვიცის პორტფელურ თეორიას, რომელიც კლასიკური ამოცანის მსგავსად უკუგებისა და ცვალებადობის სახით განიხილავს ქარის ელექტროგენერაციის დატვირთვის ფაქტორსა და ამავე სადგურებიდან გამომუშავებული ელექტროენერგიის ცვალებადობას დისპერსიის სახით. მარკოვიცის პორტფელური თეორიის განხილულ ამოცანაზე გავრცელების მიზნით შემოთავაზებულია შემდეგი ალგორითმი:

1. ცალკეული ლოკაციებიდან მიღებული გენერაციის საშუალო მნიშვნელობები განხილულია ზოგადად ელექტროგენერაციის მათემატიკური ლოდინის მნიშვნელობებად;
2. დაანგარიშებულია სამი ლოკაციიდან გენერირებული ელექტროენერგიის კოვარიაციის მატრიცა;
3. მიღებული მათემატიკური ლოდინისა და კოვარიაციის მატრიცას გამოყენებით შედგენილია პორტფელის შეწონილი ელექტროგამომუშავების მათემატიკური ლოდინი და სტანდარტული გადახრის სამიზნე ფუნქციები, სადაც წონები უცნობ სიდიდეებს წარმოადგენს, ხოლო მათი ჯამი ერთის ტოლია;
4. პორტფელის შეწონილი მათემატიკური ლოდინისა და შეწონილი სტანდარტული გადახრის ფუნქციებით წონების სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის (ე.წ. ბიჯების გამოყენებით) მიღებულია პორტფელის ეფექტიანობის საზღვარი, რომელიც თავისი არსით წარმოადგენს ჯამური გამომუშავების მაქსიმალურ მნიშვნელობებს მოცემული სტანდარტული გადახრის მნიშვნელობებისთვის.

წარმოდგენილი ანალიზი იძლევა შემდეგი დასკვნებისა და რეკომენდაციების გაკეთების შესაძლებლობას:

1. თანამედროვე პორტფელური თეორიის გამოყენება ქარის გენერაციის ცვალებადობის შემცირებისთვის, რომელიც დატესტილია სინთეტურ მონაცემებზე, საკმაოდ საინტერესო შედეგებს იძლევა, ამიტომაც მნიშვნელოვანია ამ მეთოდის რეალურ მონაცემებზე გამოყენება და შედეგების შეფასება;
2. თუმცა, ამ კუთხით მთავარ პრობლემას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ სახელმწიფომ კონკრეტული ლოკაციები ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების შესწავლის მიზნით გადასცა კერძო ინვესტორებს, რაც ქმნის როგორც მონაცემების ხელმისაწვდომის პრობლემას, ასევე, გამორიცხავს ერთიანი მიდგომის არსებობას; ამიტომაც დღეს ძალიან

რთულია ქარის გენერაციის განვითარების ერთიანი დაგეგმვის ორგანიზება.

3. ამ კუთხით მთავარი რეკომენდაცია იქნებოდა ის, რომ შესაბამის სახელმწიფო უწყებას ეზრუნა ამ მონაცემების ერთიან შეფასებაზე, რაც აგვარიდებდა ქარის გენერაციის სიმძლავრეების არაოპტიმალურ გადანაწილებას, რაც ნიშნავს მოცემული ცვალებადობისთვის შესაძლებელზე ნაკლები ელექტროენერჯის გამომუშავებას, ან მოცემული გამომუშავებისთვის უფრო ცვალებადი ჯამური წარმოების მიღებას;
4. გარდა პოლიტიკის დაგეგმვის მიზნებისა, განხილული მოდელი საინტერესო ჩანს იმ კერძო ინვესტორებისთვის, რომლებიც აპირებენ ქარის გენერაციის სიმძლავრეების განაწილებას ორი, ან მეტი ლოკაციის მიხედვით, კერძოდ, კერძო ინვესტორი დაინტერესებულია არა მხოლოდ ცვალებადობის შემცირებით, არამედ ხარჯების ოპტიმალური გადანაწილებით, ეს ამოცანა ნაშრომში შესწავლილია მრავალმიზნობრივი ევოლუციური ალგორითმის გამოყენებით, რაც, თავისთავად, წარმოდგენილი ნაშრომის სიახლეა.

ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზის გამოყენებით: ამ შემთხვევაში მიღებული ჩარჩო მოდელი, რომელიც გულისხმობს გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმიანი ანალიზის კონკრეტული მეთოდებით ჯერ ენერგეტიკული ამოცანების პრიორიტეტების ვექტორის მიღებას, ანუ ამ ამოცანებისთვის წონების/პრიორიტეტების განსაზღვრას, შემდეგ ტექნოლოგიების შესაფასებლად შესაბამისი კრიტერიუმების შემოყვანას და უკვე მიღებული ენერგეტიკული ამოცანების შესაბამისად მათ შეფასებას, ხოლო დასასრულს კი ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირებას. სქემატურად, აღნიშნულ ქვეთავში განხილული ალგორითმი შემდეგი სახით წარმოდგება:

**პირველი ეტაპი:**

- განისაზღვრება ენერგეტიკული პოლიტიკის ამოცანები და ამოცანების შესაბამისი კრიტერიუმები;
- ანალიტიკური იერარქიის პროცესის (ANP) გამოყენებით გამოითვლება ენერგეტიკული ამოცანების პრიორიტეტების ვექტორი და დგინდება ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების შეფასების კრიტერიუმების წონები (პრიორიტეტების ვექტორზე დაყრდნობით).

**მეორე ეტაპი:**

- მიიღება გადაწყვეტილების მიღების მატრიცა;
- ოთხი განსხვავებული მეთოდით, კერძოდ, იდეალურ ამონახსნთან მსგავსებით რანგირების ტექნიკით (TOPSIS), მრავალმიზნობრივი ოპტიმიზაცია კოეფიციენტთა ანალიზით (MMOORA) და მისი მულტიპლიკაციური ფორმით, შეწონილი ჯამისა და ნამრავლის შეფასებით ოპტიმიზაციით (WASP), ხდება ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება.

საბოლოოდ მიიღება ტექნოლოგიების რანჟირება: **კაშხლიანი ჰიდრო > ქარი > ნახშირი > მოდინებაზე ჰიდრო > კომბინირებული ციკლი > მზე > პიკური აირი**, რომელიც შემდეგი დასკვნისა და რეკომენდაციის გაკეთების შესაძლებლობას იძლევა:

1. მიუხედავად იმისა, რომ კაშხლიანი ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა თითქმის ორჯერ ძვირია სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით, მისი უპირატესობა სხვა კრიტერიუმებით იმდენად დიდია, რომ ყველა მოდელმა ამ ტექნოლოგიას მიანიჭა უპირატესობა, კერძოდ, კაშხლიანი ჰიდროელექტროსადგურები უზრუნველყოფენ სისტემაში ელექტროენერგიის სტაბილურ და პროგნოზირებად მიწოდებას, ისევე, როგორც, ამ ელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგია ერთნაირად მნიშვნელოვანია როგორც პიკური დატვირთვების მოსახსნელად, ასევე, შესაძლოა გამოყენებულ იქნას მაღალი დატვირთვის ფაქტორით; გარდა ამისა, კაშხლიანი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა ქმნის ეკონომიკის სხვა



სექტორებიდან საკმაოდ მნიშვნელოვან მოთხოვნას, რაც ეკონომიკაში დამატებითი ღირებულების (სამუშაო ადგილები, გადასახადები) შექმნაში გარდაისახება.

2. აღსანიშნავია, რომ არაგანახლებადი ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიებიდან ლიდერობს ნახშირი, რაც, პირველ რიგში, განპირობებულია იმით, რომ სრულად იმპორტირებული ბუნებრივი აირისგან განსხვავებით, ნახშირი ადგილობრივი საწვავი წიაღისეულია, რაც მნიშვნელოვანია ენერგეტიკული უსაფრთხოებისთვის, ასევე, გენერაცია ქმნის დამატებით სამუშაო ადგილებს ნახშირის მოპოვების ინდუსტრიაში, რაც სასიცოცხლოა კონკრეტული რეგიონის ეკონომიკური განვითარებისთვის. თუმცა, ასევე უნდა ითქვას ისიც, რომ საქართველოში არ გვქონია ჯერ მსხვილი ნახშირის თბოელექტროსადგურის ოპერირების გამოცდილება და, ამიტომაც, მეთოდმა ვერ ასახა სრულად ადგილობრივი მოსახლეობის ის სავარაუდო გამოხმაურება, რომელიც ოპერირების შედეგად მიყენებულ ნეგატიურ გავლენას შეიძლება მოჰყვეს. ამასთან გასათვალისწინებელია ნახშირის თბოსადგურის ლოკაციის შერჩევაც: თუკი საბოლოოდ გადაწყდება თბოსადგურის გარდაბანში განთავსება (როგორც ეს უკვე განსაზღვრულია კომპანიასა და სახელმწიფოს შორის დადებული მემორანდუმით), მაშინ რუსთავის მოსახლეობის უკვე არსებული წუხილი მავნე ნივთიერებების გაფრქვევებთან დაკავშირებით შექმნის მნიშვნელოვან ბარიერს სადგურის ოპერირებისთვის. ამის საპირისპიროდ, ტყიბულის მიდამოებში სადგურის განთავსების შემთხვევაში, ადგილობრივი მოსახლეობის მხრიდან ემისიებთან დაკავშირებული გამოხმაურება, სავარაუდოდ, დაკომპენსირდება იმ რეალობით, რომ თბოსადგური იქნება ტყიბულში ნახშირის გრძელვადიანად მოპოვების მნიშვნელოვანი გარანტი.
3. აღსანიშნავია ქარის ელექტროგენერაციის უპირატესობა (კაშხლიანი ჰიდროს შემდეგ) სხვა ტექნოლოგიებთან მიმართებით, რაც, პირველ

რიგში, გარემოზე ნაკლები უარყოფითი გავლენით, დაბალი საოპერაციო დანახარჯებითა და იმპორტზე დამოკიდებულების შემცირების შესაძლებლობით შეიძლება აიხსნას, ასევე, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის, რომ ადგილობრივი მოსახლეობის მხრიდან ქარის ტექნოლოგიის მიმართ არ არის ნეგატიური განწყობა, მოდინებაზე მომუშავე და კაშხლიანი ჰიდროელექტროსადგურებისგან განსხვავებით.

4. ასევე, საინტერესოა, რომ მზის ტექნოლოგიას აქვს ისეთი სისუსტეები, რომელმაც განსაზღვრა ამ ტექნოლოგიის საკმაოდ დაბალი ადგილი საერთო რანჟირების შედეგში, კერძოდ, მზის ელექტროგენერაციას აქვს ძალიან დაბალი დატვირთვის ფაქტორი, ცვალებადობა და პიკური მოთხოვნისას მისი დისპეტჩირებისა და მართვის შეუძლებლობა, ასევე, მზის ტექნოლოგიაზე დაფუძნებული ელექტროსადგური დადგმულ ერთეულ სიმძლავრეზე მოითხოვს ყველაზე დიდ მიწის ნაკვეთს, რომელიც სხვა მიზნებისთვის გამოუსადეგარი ხდება მაშინ, როცა ამ ტექნოლოგიის განვითარების პერსპექტივა საქართველოში მზის მაღალი ირადიაციის ზონებს, ანუ სოფლის მეურნეობაში გამოყენებად სასოფლო სამეურნეო მიწებს უკავშირდება. მაგრამ ეს ცხადია არ ნიშნავს, რომ სრულად უარი უნდა ვთქვათ ელექტროგენერაციის ამ ტექნოლოგიაზე, რადგანაც მზის ენერჯისთან დაკავშირებული კვლევები და ელექტროენერჯის შენახვასთან დაკავშირებული ტექნოლოგიების განვითარების პერსპექტივა იძლევა იმედს, რომ მომავალში მნიშვნელოვანი გარღვევა გველის მზის ელექტროენერჯის ათვისებისას, რაც ცალსახად მიუთითებს ამ ტექნოლოგიის მიმართ მზაობის საჭიროებაზე.

**ნაშრომის აპრობაცია:** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მუშაობის სხვადასხვა ეტაპებზე წარმოდგენილი და განხილულია შემდეგ საერთაშორისო და ადგილობრივ კონფერენციებზე:

1. „მრავალკრიტერიუმიანი გადაწყვეტილების მიღების ანალიზი ელექტროენერგეტიკული ბაზრის დაგეგმვისთვის საქართველოში:

ელექტროგენერაციის ტექნოლოგიების რანჟირება“, კონფერენცია „გლობალური ენერგეტიკული ტრენდები, ახალ ენერგეტიკულ პაკეტზე გადასვლა, გამოწვევები და შესაძლებლობები საქართველოსთვის“, ექსპო ჯორჯია, 4 დეკემბერი, 2019 წელი, [https://fb.watch/5EXXCv10\\_i/](https://fb.watch/5EXXCv10_i/);

2. “Investment Opportunities and Energy Policies in Georgia”, at the 4th Annual International Congress and Exhibition: Hydropower Central Asia and Caspian 2019”, February, 2019 (<https://hydropowercongress.com/en/speakers/>);
3. “განახლებადი ენერჯის წყაროების ოპტიმალური პორტფელი ელექტროენერჯის გენერაციის სეზონური ცვალებადობის შესამცირებლად საქართველოში, კონფერენცია: ჰიდრო ნაგებობების (კაშხლების) უსაფრთხოება და განახლებადი ენერგეტიკის განვითარება 2018“, 15 დეკემბერი, 2018, ექსპო ჯორჯია, თბილისი;
4. “How to Deal with Intermittency: Mean-Variance Approach”, at Georgia Wind Energy Development GWED 2017, Hualing Hotel, Tbilisi Sea New City, July 2017;
5. “განახლებად (ქარი, მზე) ენერჯიაზე მომუშავე ელექტროგენერაციის პერსპექტივები საქართველოში”, კონფერენცია „ახალგაზრდა ლიდერები ენერგეტიკის სექტორში“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრო, აშშ განვითარების სააგენტო, ივნისი, 2017.

**პუბლიკაციები:** სადისერტაციო კვლევის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 5 ბეჭდვით ნაშრომში, კერძოდ:

1. ვეფხვაძე, ლ., „საქართველოში ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზირების ჰიბრიდული მოდელი“, ჟურნალი „ენერჯია“, 2(98), 2021, გვ. 20-34.
2. ვეფხვაძე, ლ., გამყრელიძე, დ., „თანამედროვე პორტფელური თეორია ელექტროგენერაციის დაგეგმვისთვის საქართველოში: სეზონური

ცვალებადობა და განახლებადი ენერჯის წყაროები“, სერია: „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, ენერჯია, 3(91)/2019, ნაწილი II, გვ. 185-189

3. არაბიძე, გ., ვეფხვაძე, ლ., „გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდი ქარის ელექტროგენერაციის დაგეგმვისთვის საქართველოში“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული, N4 (510), 2018, გვ.74-87
4. ვეფხვაძე, ლ., არაბიძე, გ., „მრავალკრიტერიუმანი გადაწყვეტილების ანალიზის მეთოდების გამოყენება ელექტროენერჯის გენერაციის დაგეგმვისთვის საქართველოში“, ჟურნალი „ენერჯია“,N2 (86), 2018, გვ. 14-25
5. ვეფხვაძე, ლ., არაბიძე, გ., „ელექტროენერჯის მოხმარების ტენდენციის ანალიზი და პროგნოზირება საქართველოში“, ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები, V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის მოხსენებების კრებული, ქუთაისი, 2018, გვ. 155-164.

## Abstract

The paper examines the need for an extension in electricity capacity in Georgia and sets out the goals of the electricity sector on which to base the abovementioned expansion. In this regard, the dissertation studies the methods that should be employed during the planning, in particular, two approaches are discussed, namely, Markowitz's portfolio theory and multi-criteria decision making analysis (MCDA).

As for energy goals, the latter is a minor modification of the energy trilemma. In addition to the classic energy trilemma, the modification implies the addition of a fourth, economic growth goal, which in turn is crucial for a country with a developing economy similar to Georgia. Thus, the following four dimensions are used as energy policy objectives in the paper: security of supply, access to electricity, clean energy and economic development.

The second finding of the paper is related to the long-term forecast of electricity consumption. For this task, the dissertation uses one particular method of the evolutionary algorithm in the form of genetic programming and shows a fairly high rate of the expected increase in electricity demand. However, the novelty of the paper is that it uses a hybrid method combining genetic programming with the BFAST-algorithm.

The following part of the dissertation evaluates the generation portfolio of four renewable electricity generation technologies: a run-of-river hydro, hydro with a dam, solar, and wind. In the present case, the aim is to determine the optimality of the existing generation portfolio with seasonal variability. As a result of the study, the non-optimality of the existing generation portfolio is identified and the efficiency frontier on which the optimal portfolios in terms of seasonality are located is found.

When evaluating the possibility of increasing power generation capacity, the paper also studies the extension of the latter by wind generation PPs. In this regard, the dissertation concludes that the application of modern portfolio theory to reduce wind generation intermittency, which has been tested on synthetic data, yields quite promising results, so it seems important to use this method on real data and properly evaluate the final outcome. For this purpose, the main recommendation for the relevant government agency is to take care of a single assessment of this data, which eliminates the non-optimal distribution of wind generation capacity, in addition to policy planning purposes. In particular, the private

investor is interested not only in reducing intermittency but also in the optimal distribution of costs, this task is explored in the paper using a multi-objective evolutionary algorithm, which, in itself, is a novelty of the study in question.

In its last part, the dissertation presents the ranking of power generation technologies using multi-criteria decision making analysis (MCDA). The framework model adopted in this case involves using four specific methods of MCDA first to prioritize energy task objectives, then to set weights/priorities for these tasks and evaluate them, and at the end to rank the electricity generation technologies.

Finally, a ranking of technologies is obtained: hydro with dam > wind > coal > run-of-river hydro > combined-cycle natural gas > solar > peak gas.