

**BCI ტექნოლოგიის დანერგვის პერსპექტივები და გამოწვევები ქართულ საზოგადოებაში:
საზოგადოებრივი აღქმა და მიმღებლობა.**

თინათინ-მარიამ კომახიძე

საინფორმაციო ტექნოლოგიების ფაკულტეტი, ბიზნესისა და ტექნოლოგიების
უნივერსიტეტი

ნაშრომი შესრულებულია, საუნივერსიტეტო კვლევითი კონკურსის ფარგლებში

2025 წლის 16 სექტემბერი

BCI ტექნოლოგიის დანერგვის პერსპექტივები და გამოწვევები ქართულ საზოგადოებაში: საზოგადოებრივი აღქმა და მიმდებლობა.

BCI (ტვინი-კომპიუტერის ინტერფეისი) არის კომპიუტერზე დაფუძნებული სისტემა, რომელიც მიღებულ ტვინის სიგნალებს აანალიზებს, გარდაქმნის ბრძანებებად და გადასცემს გამომავალ მოწყობილობას, სასურველი მოქმედების შესასრულებლად (Shih, Krusienski, & Wolpaw 2012). დღესდღეობით, აღნიშნულ ტექნოლოგიას აქვს როგორც სამედიცინო, ისე არასამედიცინო გამოყენებები, თუმცა მათი მასშტაბური დანერგვისთვის, ერთ-ერთი განმაპირობებელი ფაქტორია, მსგავსი ტექნოლოგიების მიმართ საზოგადოებრივი აღქმა და მიმდებლობა.

კვლევის კითხვას წარმოადგენს შემდეგ ცვლადებს შორის პირდაპირი ეფექტების განსაზღვრა: აღქმული გამოყენებადობის სიმარტივე (PEOU), ნდობა (TR), მონაცემთა კონფიდენციალურობა (DP), ინფორმირებულობა (AW), აღქმული რისკი (PR), აღქმული სარგებლიანობა (PU) და BCI ტექნოლოგიის გამოყენების მიმართ დამოკიდებულება (ATU).

კვლევის მიზანია, ქართულ საზოგადოებაში BCI ტექნოლოგიების მიმართ არსებული დამოკიდებულების შესწავლა, ტექნოლოგიების მიღების მოდელის (TAM) ჩარჩოს გამოყენებით. კვლევაში გამოყოფილია რამდენიმე სექცია, პირველი ეთმობა ლიტერატურულ მიმოხილვასა და გამოყენებული თეორიული ჩარჩოს განხილვას, მომდევნო ნაწილში წარმოდგენილია კვლევის ჰიპოთეზები, მესამე ნაწილში განხილულია კვლევის მეთოდოლოგია, მეოთხეში კი შედეგები და ბოლოს, წარმოდგენილია, შედეგებზე დაყრდნობით მიღებული დასკვნა და რეკომენდაციები სამომავლო კვლევებისთვის.

ლიტერატურული მიმოხილვა

BCI ტვინი-კომპიუტერის ინტერფეისები, თანამედროვე სამყაროში, უფრო და უფრო პოპულარული ხდება. ტექნოლოგია, რომელიც უწინ სამეცნიერო ფანტასტიკის ნაწილი იყო, დღეს გამოიყენება რეალურ ცხოვრებაში, კერძოდ სამედიცინო, კომერციულ და გასართობ ინდუსტრიებში.

BCI ტექნოლოგია, წარმოადგენს კომპიუტერზე დაფუძნებულ სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს ტვინის სიგნალების მიღებას, გაანალიზებას და ისეთ ბრძანებებად გარდაქმნას, რომლებიც შემდგომში უნდა გადაეცეს გარე მოწყობილობას, სასურველი

მოქმედებების შესასრულებლად (Shih et al. 2012). 1875 წელს რიჩარდ კატონმა (Caton, 1875), გალვანომეტრის გამოყენებით, ცხოველების ტვინის რუხ ნივთიერებაზე დაკვირვებისას დააფიქსირა ტვინში ელექტრული ნაკადის არსებობა, რაც ამ ტიპის, ერთ-ერთ ყველაზე ადრეულ დაკვირვებად ითვლება. ამრიგად, ეს პერიოდი შეგვიძლია მივიჩნიოთ EEG-ის ისტორიის დასაწყისად (Caiado & Ukolov, 2025).

BCI სისტემის კომპონენტები

BCI-ის მიზანია, ტვინის სიგნალების ისეთი მახასიათებლების გამოვლენა და რაოდენობრივი შეფასება, რომლებიც ასახავს მომხმარებლის განზრახვებს. მიღებული მონაცემები რეალურ დროში გარდაიქმნება ბრძანებებად, რომლებიც კონკრეტულ მოწყობილობაზე მოქმედებენ და მომხმარებლის განზრახვას ასრულებენ (Shih et al. 2012). ეს პროცესი კი ოთხ ძირითად ეტაპს მოიცავს: სიგნალების მიღება, შესაბამისი მახასიათებლების გამოყოფა, აღნიშნული მახასიათებლების ბრძანებებად გადათარგმნა და მოწყობილობაზე შედეგის გამოტანა. BCI სისტემას აკონტროლებს ოპერაციული პროტოკოლი, რომელიც განსაზღვრავს მუშაობის დაწყებისა და შეჩერების მომენტს, სიგნალის დამუშავების მეთოდებს, ბრძანებების ტიპს და უზრუნველყოფს სისტემის ზედამხედველობას (Shih et al., 2012; Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002).

სიგნალის მიღება. აღნიშნულ ეტაპზე, კონკრეტული სენსორული მოდალობის გამოყენებით ხორციელდება ტვინის სიგნალების გაზომვა (Shih et al. 2012). კერძოდ, ტვინის ელექტროფიზიოლოგიური იმპულსების აღქმა და დაფიქსირება, რომლებიც ასახავს განსაზღვრულ გონებრივ ან სენსორულ აქტივობებს, მათ შორის მოძრაობას, მეტყველებას, სმენასა და მხედველობას (Maiseli, Abdalla, Massawe, & Mbise, 2023).

BCI-ის კლასიფიკაციისას, გამოყოფენ ორ ძირითად კატეგორიას, ინვაზიურსა და არაინვაზიურს.

ინვაზიური მიდგომა. საჭიროებს ელექტროდების, ქირურგიული ჩარევის, გზით მოთავსებას ტვინის კორტექსში.

არაინვაზიური მიდგომა. არ საჭიროებს ოპერაციას, არამედ უზრუნველყოფს სიგნალების ჩაწერას ელექტროდების სკალპზე დამაგრების საშუალებით (Schomer and da Silva, 2012, როგორც მოყვანილია Salahuddin & Gao, 2021-ში). მსგავსი მიდგომის ნაკლოვანებად

მიიჩნევა, შედარებით, დაბალი სივრცითი გარჩევადობა. ასევე, მნიშვნელოვან გამოწვევას წარმოადგენს სიგნალების შესუსტება, რადგან თავის ქალა ცუდად ატარებს ელექტრულ იმპულსებს (Salahuddin & Gao, 2021).

მახასიათებლების გამოყოფა. აღნიშნულ ეტაპზე, ხორციელდება ციფრული სიგნალების ანალიზი და იმგვარად დამუშავება, რომ გამოიკვეთოს მომხმარებლის განზრახვასთან დაკავშირებული მახასიათებლები, გამოიყოს არასაჭირო მონაცემებისგან, ამის შემდეგ კი ხდება სიგნალების შეკუმშული ფორმით წარმოდგენა, რომელიც შესაფერისი იქნება გამომავალ ბრძანებებად გადასათარგმნად (Shih et al. 2012).

მახასიათებლების თარგმნა. ხორციელდება კლასიფიცირებული მახასიათებლების გადათარგმნა და რეალურ ბრძანებებად გარდაქმნა, გარე მოწყობილობის სამართავად (კურსორის გადაადგილება კომპიუტერის ეკრანზე, ტექსტის დაბეჭდვა ან ხმის კონტროლი, აუდიომოწყობილობაზე) (Maiseli et al., 2023). მნიშვნელოვანია, რომ თარგმნის ალგორითმი იყოს დინამიკური და გაითვალისწინოს სიგნალის მახასიათებლების სპონტანური ან შექმნილი ცვლილებები (Shih et al. 2012).

მოწყობილობაზე შედეგების გამოტანა. თარგმნის ალგორითმიდან მიღებული ბრძანებები უზრუნველყოფს გარე მოწყობილობების კონტროლს, მაგალითად ხელოვნური კიდურის მართვას, კურსორის კონტროლს და ა.შ (Shih et al. 2012).

საფრთხეები და გამოწვევები

BCI სისტემების სწრაფი განვითარება, არა მხოლოდ მრავალ შესაძლებლობას ქმნის, არამედ ბადებს მთელ რიგ სირთულეებს. კერძოდ, წარმოშობს ისეთ გამოწვევებს, რომლებიც დაკავშირებულია კონფიდენციალურობასთან, მომხმარებლის უსაფრთხოებასთან და, ასევე ეთიკურ საკითხებთან.

კონფიდენციალურობასთან დაკავშირებული საფრთხეები. EEG სიგნალები ეფექტურად გამოიყენება როგორც იდენტიფიკაციისთვის, ისე ავთენტიფიკაციისთვის. ავთენტიფიკაციის შემთხვევაში, ერთ-ერთი საინტერესო მიდგომაა pass-thoughts კონცეფცია, როდესაც მომხმარებელს კონკრეტული პაროლის შეყვანის ნაცვლად მოეთხოვება კონკრეტულ სიტყვებსა თუ სიმბოლოებზე ფიქრი. ეს მიდგომა, მომხმარებელს იცავს ე.წ. shoulder-surfing თავდასხმებისგან, თუმცა დაბალი სიჩქარე და უკუკავშირის დაგვიანება, მისი

მთავარი ნაკლოვანებაა. ნაშრომი დანაშაულის ცოდნის ტესტის შესახებ (Guilty-Knowledge Test (GKT)) ეხება P300 სიგნალის გამოყენებას, იმის დასადგენად ინახება თუ არა კონკრეტული ინფორმაცია სუბიექტის მეხსიერებაში (Thorpe, Van Oorschot & Somayaji, 2005, როგორც ციტირებულია Martinovic, Davies, Frank, Perito, Ros და Song, 2012-ში). P300 სიგნალის ანალიზით შესაძლებელია, სუბიექტის მეხსიერებაში ისეთი სენსიტიური ინფორმაციის იდენტიფიცირება, როგორცაა პირადი საბანკო მონაცემები და სხვა (Martinovic, Davies, Frank, Perito, Ros და Song, 2012, როგორც ციტირებულია Xia, Duch, Sun, Xu, Fang, Luo, Zhang, Sang, Xu, Wang და Wu, 2024-ში). შესაბამისად, EEG მონაცემების დაცვა და კონფიდენციალურობა წარმოადგენს BCI სისტემების ერთ-ერთ ნაკლოვანებას.

უსაფრთხოება. უსაფრთხოებასთან დაკავშირებული საფრთხეები, შესაძლოა გამოვლინდეს ინვაზიური იმპლანტების გამოყენებისას. მსგავსმა BCI-იმ შესაძლოა, დააზიანოს ნერვული უჯრედები და სისხლძარღვები, ასევე გაზარდოს ინფექციის რისკი. დამატებით, არსებობს იმის საშიშროებაც, რომ ორგანიზმი უარყოფს უცხო სხეულს, რაც საჭიროებს ადამიანის ორგანიზმის უცხო სხეულთან ინტერაქციის სიღრმისეულად შესწავლას (UK Parliament POST, 2020, როგორც ციტირებულია Maiseli, Abdalla, Massawe, Mbise, Mkocho, Nassor, Ismail, Michael და Kimambo, 2023-ში).

ტექნიკური გამოწვევები. პირველ რიგში, BCI სისტემებისთვის პრობლემას წარმოადგენს ტვინის სიგნალების რთული და არაწრფივი ბუნება, შესაბამისად, EEG სიგნალების უკეთ დახასიათება, შესაძლებელია არაწრფივი დინამიკური მეთოდებით, ვიდრე წრფივი მეთოდებით. დამატებით პრობლემას ქმნის, ტვინის სიგნალების არასტაციონარულობა და ხმაური. ასევე, მენტალურმა და ემოციურმა მდგომარეობამ შესაძლოა, გამოიწვიოს სიგნალების ჩაწერისას მისი მუდმივი ცვლილება, რიგ შემთხვევებში, დადლილობაც ხელისშემშლელ ფაქტორს წარმოადგენს, ისევე როგორც ელექტროდების შეცვლილი პოზიცია. (Abdulkader, Atia & Mostafa, 2015; Sosa, Quijano, Doniz & Chong-Quero, 2011).

საერთაშორისო კვლევები და საზოგადოებრივი მიმდებლობის ფაქტორები

სხვადასხვა ქვეყანაში ჩატარებული კვლევები მიუთითებს, რომ BCI-ის მიმართ დამოკიდებულებას განსაზღვრავს როგორც ინდივიდუალური ფაქტორები (ასაკი,

ჯანმრთელობის მდგომარეობა, სოციო-ეკონომიკური სტატუსი), ასევე სოციალური და კულტურული კონტექსტი. ამავე დროს, გამოიკვეთა ისეთი გამოწვევებიც, რომლებიც უკავშირდება პასუხისმგებლობის საკითხებს და მომხმარებელთა მხრიდან ტექნოლოგიის გამოყენებასთან დაკავშირებულ პრობლემებს.

BCI ტექნოლოგიის საზოგადოებრივი მიმღებლობის საკითხზე ჩინეთში ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ ასაკი, ჯანმრთელობის მდგომარეობა, სოციო-ეკონომიკური სტატუსი, სოციალური მხარდაჭერა და დასწავლის უნარები BCI-ის მიმართ მიმღებლობის, მთავარ განსაზღვრელ ფაქტორებს წარმოადგენენ. ასაკი და სოციო-ეკონომიკური სტატუსი კი ყველაზე ძლიერ ზეგავლენას ახდენს, აღნიშნული ტექნოლოგიის მიმღებლობის თვალსაზრისით (Xia & Yang, 2024). გერმანიაში ჩატარებულმა სოციალურმა კვლევამ ხაზი გაუსვა, ისეთ გამოწვევებს, როგორცაა პასუხისმგებლობის განსაზღვრა BCI-ის გამოყენების პროცესში განხორციელებული ქმედებებისთვის, ამას გარდა, პრობლემას წარმოადგენს ის ფაქტიც, რომ მომხმარებელთა, დაახლოებით, 10 პროცენტს არ შეუძლია BCI-ის წარმატებით გამოყენება (Schmid, Friedrich, Kessner, & Jox, 2021).

მიუხედავად რაოდენობრივი სიმწირისა, საერთაშორისო დონეზე მოიპოვება BCI-სთან დაკავშირებული სოციალური კვლევები, თუმცა საქართველოში BCI ტექნოლოგიების აღქმასთან და მიმღებლობასთან დაკავშირებით სოციალური კვლევები ჯერჯერობით, არ ჩატარებულა. ჩამოთვლილი გარემოებები ხაზს უსვამს, აღნიშნული თემის კვლევის საჭიროებას საქართველოში.

თეორიული ჩარჩო

კვლევის ფარგლებში, თეორიულ ჩარჩოდ შეირჩა ტექნოლოგიების მიღების მოდელი (TAM), რომელიც ერთ-ერთი ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ჩარჩოა ტექნოლოგიების მიმღებლობის შესასწავლად. TAM ეფუძნება ორ ფუნდამენტურ კონსტრუქტს: აღქმულ სარგებლიანობას (Perceived Usefulness, PU) და აღქმულ გამოყენებადობის სიმარტივეს (Perceived Ease of Use, PEOU) (Davis 1989). აღნიშნული, კონსტრუქტები მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ ტექნოლოგიების გამოყენებისადმი დამოკიდებულებას, რაც თავის მხრივ, გავლენას ახდენს ქცევით განზრახვაზე, ხოლო ეს უკანასკნელი, სისტემის რეალურ გამოყენებაზე. (Venkatesh & Davis 2000) ავტორები ადასტურებენ რომ, აღნიშნული ორი

კონსტრუქტი ერთმანეთთან არიან მჭიდრო კავშირში და ორივე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მომხმარებლის განზრახვაზე ტექნოლოგიის გამოყენების მიმართ, განსაკუთრებით კი აღქმული სიმარტივე. თავდაპირველად, ფრედ დეივისმა TAM წარადგინა თავის სადოქტორო დისერტაციაში 1986 წელს, ხოლო 1989 წელს, სრულფასოვნად, ჩამოაყალიბა TAM მოდელი, რათა აეხსნა რა საფუძველი უდევს მომხმარებელთა მხრიდან ტექნოლოგიების მიმართ დამოკიდებულებას. TAM მოდელი გამოიყენება ისეთ კვლევებში როგორცაა, e-learning-ის მიმდებლობა (Al-Adwan, Al-Adwan & Smedley, 2013), ბიომეტრიული ავთენტიფიკაციის ტექნოლოგიების მიმდებლობა (Nakisa, Ansarizadeh, Oommen, & Shrestha, 2022), გარდა ამისა, ხელოვნური ინტელექტის მიმდებლობასთან დაკავშირებულ კვლევებშიც (Dahri, Haider, & Soomro, 2024) და სხვა მრავალ სფეროში, რაც ადასტურებს მისი გამოყენების უნივერსალურობას. შესაბამისად, მოცემულ კვლევაში, TAM გამოიყენება, როგორც თეორიული ჩარჩო BCI ტექნოლოგიის მიმდებლობის შესაფასებლად, ქართულ საზოგადოებაში.

კვლევის ჰიპოთეზები

კვლევის ფარგლებში, ჩამოყალიბდა ახალი საკვლევი მოდელი, საზოგადოების მხრიდან, BCI ტექნოლოგიების მიმართ მიმდებლობის შესაფასებლად. მოდელი მოიცავს იმ ძირითად ფაქტორებს რომლებიც, შესაძლოა, გავლენას ახდენდნენ, აღნიშნული, ტექნოლოგიის გამოყენების მიმართ დამოკიდებულებაზე და ეფუძნება TAM ჩარჩოს, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ისეთ კვლევებში, რომლებიც ეხება ტექნოლოგიების მიმართ მიმდებლობის შეფასებას, მათ შორის, ტარებადი და BCI მოწყობილობების კონტექსტში. მოდელის საფუძველზე კი ჩამოყალიბდა ჰიპოთეზები, რომლებიც დეტალურადაა განხილული.

ტექნოლოგიების მიმართ მიმდებლობის თვალსაზრისით, ნდობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საქმე ეხება ისეთ სენსიტიურ სისტემებს, როგორცაა BCI ტექნოლოგია. ბიომეტრიული სისტემების ავთენტიფიკაციის შესახებ კვლევაში (Nakisa et al., 2022) ავტორებმა აღნიშნეს, რომ აღქმული რისკები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ მომხმარებელთა ნდობაზე. მათ მიერ შემუშავებულ მოდელზე დაყრდნობით, დამტკიცდა, კვლევის ფარგლებში ჩამოყალიბებული, ჰიპოთეზა და

შედეგებმა გამოავლინა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი, უარყოფითი კავშირის არსებობა ნდობასა და აღქმულ რისკებს შორის.

H1: BCI ტექნოლოგიების მიმართ აღქმულ რისკებს პირდაპირი გავლენა აქვს BCI-ის მიმართ ნდობაზე.

ტექნოლოგიების მიმართ ნდობა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მომხმარებლის მიერ სისტემის სარგებლიანობის აღქმაში. ნდობა ქმნის ფსიქოლოგიურ მექანიზმს, რის გამოც მომხმარებელი, შედარებით, პოზიტიურად აფასებს კონკრეტული ტექნოლოგიის სარგებლიანობას. როგორც (Zhang 2024) აღნიშნავს კვლევაში „აღქმული კონფიდენციალურობისა და უსაფრთხოების გავლენა TAM მოდელში: აღქმული ნდობა, როგორც შუამავლობით გამოწვეული ფაქტორები“, ნდობა მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მომხმარებლის მხრიდან სარგებლიანობის აღქმაში და ამ გზით, აძლიერებს ტექნოლოგიის გამოყენების სურვილს. ამრიგად, ლოგიკურია ვივარაუდოთ, რომ BCI ტექნოლოგიების მიმართ ნდობა დადებითად აისახება ამ ტექნოლოგიების სარგებლიანობის აღქმაზე.

H2: BCI-ის მიმართ ნდობასა და BCI-ის მიმართ აღქმული სარგებლიანობის შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი.

(Huang, Yu, & Lee, 2022) ავტორთა ნაშრომმა, რომელიც ეხებოდა ჯანმრთელობისთვის განკუთვნილი ტარებადი მოწყობილობების მიმღებლობის კვლევას ცხადყო, რომ მონაცემთა კონფიდენციალურობა და აღქმული სარგებლიანობა სტატისტიკურად მნიშვნელოვან და დადებით კორელაციაში იყვნენ. ამრიგად, ჩამოყალიბდა შემდეგი ჰიპოთეზა

H3: BCI-ის მონაცემთა კონფიდენციალურობასა და BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი.

(Mutahar & Norzaidi 2018) იკვლევდნენ მობილური ბანკინგის ტექნოლოგიის მიმღებლობას TAM მოდელის ფარგლებში. კვლევამ ცხადყო, რომ ინფორმირებულობა მნიშვნელოვნად ზრდის, მომხმარებლების მხრიდან, აღქმულ სარგებლიანობას. ამრიგად, გამართლებულია შემდეგი ჰიპოთეზა

H4: BCI-ის შესახებ ინფორმირებულობასა და BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი.

ტექნოლოგიების მიღების მოდელი (TAM) ეფუძნება ორ ძირითად კონსტრუქტს ალქმული სარგებლიანობა(PU) და ალქმული გამოყენებადობის სიმარტივე(PEOU). TAM ამტკიცებს, რომ აღნიშნული კონსტრუქტები დადებითად ზემოქმედებენ მომხმარებლების დამოკიდებულებაზე, ტექნოლოგიების მიმღებლობის მიმართ, რასაც, შესაძლოა, გავლენა ჰქონდეს მომხმარებლის ქცევით განზრახვაზე ტექნოლოგიის გამოყენების მიმართ. მოგვიანებით კი, (Venkatesh & Davis, 2000) დაადასტურეს, რომ სისტემის გამოყენებადობის სიმარტივე და ალქმული სარგებლიანობა, არა მხოლოდ, ერთმანეთთან არიან კავშირში, არამედ გავლენას ახდენენ მომხმარებლის განზრახვაზე, ტექნოლოგიის გამოყენების მიმართ. ამასთან, (Felea, Bucur, Negruțiu, Nițu, & Stoica, 2021) კვლევამ, რომელიც ეხებოდა ტარებადი მოწყობილობების მიმღებლობას, აჩვენა, რომ არსებობს სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი ალქმულ სარგებლიანობასა და გამოყენების მიმართ დამოკიდებულებას შორის, ხოლო (Amer Al- Adwan et al. 2013) შედეგებმა დაადასტურა, რომ არსებობს სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი ალქმულ გამოყენებადობის სიმარტივესა და გამოყენების მიმართ დამოკიდებულებას შორის, შესაბამისად, ჩამოყალიბდა შემდეგი ჰიპოთეზები:

H5: BCI-ის გამოყენების მიმართ ალქმულ სიმარტივესა და BCI-ის მიმართ ალქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი.

H6: BCI-ის მიმართ ალქმულ სარგებლიანობასა და BCI-ის გამოყენებისადმი დამოკიდებულებას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი

H7: BCI-ის გამოყენების მიმართ ალქმულ სიმარტივესა და BCI-ის გამოყენებისადმი დამოკიდებულებას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი

კვლევის მეთოდოლოგია

კონსტრუქტებს შორის კავშირების გასაანალიზებლად, შეირჩა რაოდენობრივი მიდგომა. სტატისტიკური ანალიზი განხორციელდა პროგრამა SPSS-ის გამოყენებით, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სოციალურ მეცნიერებებში მონაცემთა დამუშავებისთვის. კვლევის ფარგლებში, ჩატარდა აღწერითი სტატისტიკა, ინსტრუმენტის სანდოობის შესაფასებლად შემოწმდა კრონბახის ალფა კოეფიციენტი, მულტიკოლინეარობის თავიდან ასარიდებლად კი კორელაციური ანალიზი და ბოლოს, რეგრესიული ანალიზი ჰიპოთეზების შესამოწმებლად. კვლევაში სულ შვიდი კონსტრუქტი იყო წარმოდგენილი, მათგან ოთხი

გარე ცვლადი, ხოლო სამი TAM მოდელიდან. კონსტრუქტები დეტალურად განმარტებულია (ცხრილში 1).

ცხრილი 1

კონსტრუქტების განმარტება

კონსტრუქტები	განმარტება	წყაროები
ინფორმირებულობა (AW)	რესპონდენტის ინფორმირებულობის დონე BCI ტექნოლოგიების ფუნქციონირებასა და გამოყენებასთან დაკავშირებით.	
აღქმული რისკი (PR)	რისკები, რომლებიც დაკავშირებულია კონკრეტული ტექნოლოგიის გამოყენებასთან.	(Nakisa et al., 2022)
ნდობა (TR)	მომხმარებლის ნდობა, სისტემის კომპონენტებისა და მწარმოებელი ორგანიზაციის მიმართ.	(Nakisa et al., 2022)
მონაცემთა კონფიდენციალურობა (DP)	მომხმარებლის შეშფოთება პირადი ინფორმაციის შეგროვებისა და გამოყენებისადმი.	(Huarng et al., 2022)
აღქმული სარგებლიანობა (PU)	ხარისხი, თუ რამდენად სასარგებლოდ აღიქვამს მომხმარებელი კონკრეტული ტექნოლოგიის გამოყენებას.	(Davis, 1989)
აღქმული გამოყენებადობის სიმარტივე (PEOU)	რამდენად მიიჩნევს მომხმარებელი, რომ ტექნოლოგიის გამოყენება იქნება მარტივი.	(Davis, 1989)
დამოკიდებულება გამოყენების მიმართ (ATU)	შეფასებითი დამოკიდებულების ხარისხი, რომელსაც ინდივიდი უკავშირებს კონკრეტული სისტემის გამოყენებას.	(Davis, 1993)

საკვლევი საკითხის სენსიტიურობიდან გამომდინარე, პოპულაცია იყო მკაცრად განსაზღვრული, ვინაიდან მსგავსი ტიპის სისტემები ფართო მასებში, ჯერჯერობით არ არის პოპულარული. კვლევის სამიზნე პოპულაციას წარმოადგენდნენ 18-დან 55 წლამდე პირები, რომლებიც მოღვაწეობენ მეცნიერებასა და ტექნოლოგიებთან დაკავშირებულ სფეროებში, კერძოდ ისინი, ვინც განათლებას იღებენ, უკვე დაასრულეს სწავლა ან პროფესიულად საქმიანობენ STEM მიმართულებით.

მონაცემები შეგროვდა ონლაინ-კითხვარის, Google Forms-ის გამოყენებით, რომელიც გავრცელდა ელექტრონული ფოსტისა და სოციალური მედიის საშუალებით. მონაწილეობა იყო ნებაყოფლობითი, რესპონდენტები ინფორმირებულნი იყვნენ კვლევაში მონაწილეობის პირობების, მათ შორის, ანონიმურობისა და კონფიდენციალურობის შესახებ. კითხვარის შესავალ ნაწილში, მონაწილეებს მიეწოდათ ინფორმაცია კვლევის მიზნებისა და მნიშვნელობის შესახებ, დამატებით, მოკლე მიმოხილვა BCI ტექნოლოგიების არსისა და მათი გამოყენების ძირითადი სფეროების შესახებ. ინფორმაციული ტექსტი სრულდებოდა მოკლე ვიდეომასალით, რომელშიც კიდევ უფრო, სიღრმისეულად და გასაგებად იყო განხილული ტექნოლოგიის პრინციპებისა და ფუნქციონირების ნაწილი. მსგავსი ტიპის კვლევებში, მნიშვნელოვანია, მონაწილეთა ინფორმირებულობის ამაღლება, სანდო შედეგების მისაღებად. ორივე ტიპის მასალა (ვიდეო და ტექსტური) მონაწილეებს მიეწოდათ იმგვარად, რომ მათი პასუხები არ ყოფილიყო მიკერძოებული, შესაბამისად, წარმოჩენილი იყო BCI სისტემების როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი მხარეები.

კითხვარის შემდეგი ნაწილი ეთმობოდა დემოგრაფიულ კითხვებს, როგორცაა ასაკი, სქესი და განათლების დონე. კითხვარი ბოლო ნაწილი კი მოიცავდა BCI ტექნოლოგიებთან დაკავშირებულ საკითხებს. აღნიშნული ბლოკი, შემუშავებული იყო ლიკერტის 5 ბალიანი სკალის გამოყენებით, რაც შესაძლებელს ხდიდა მიღებული შედეგების რაოდენობრივ შეფასებას. კითხვარის ვალიდობის უზრუნველსაყოფად, ინსტრუმენტი შემოწმდა აკადემიური ექსპერტების მიერ, რომლებიც მოღვაწეობენ ტექნოლოგიებისა და სოციალურ მეცნიერებათა სფეროებში.

მთავარი კვლევის დაწყებამდე, ჩატარდა საპილოტე კვლევა 16 რესპონდენტზე, მიზანს წარმოადგენდა, იმის შემოწმება, თუ რამდენად გასაგები და თანმიმდევრული იყო წარმოდგენილი შეკითხვები და თანდართული ინფორმაცია. საპილოტე ტესტირების

შედეგად, გამოვლინდა მცირე ხარვეზი რამდენიმე შეკითხვის ფორმულირებასა და ინფორმაციის წარმოდგენის თვალსაზრისით, რომლებიც კითხვარის საბოლოო ვერსიაში შესწორდა.

BCI ტექნოლოგიებთან დაკავშირებული ბლოკი შედგებოდა რამდენიმე წყაროზე დაფუძნებული კითხვებისგან. კერძოდ, კითხვების ნაწილი ადაპტირებული იყო არსებული ემპირიული კვლევებიდან, რომლებიც ეხებოდა ტექნოლოგიების მიმდებლობისა და გამოყენების გამოკვლევას, ნაწილი - პირდაპირ გადმოღებული ან ადაპტირებული იყო TAM-ის სტანდარტიზებული კითხვებიდან, რამდენიმე შეკითხვა კი შემუშავდა ავტორის მიერ. აღნიშნული კომბინაცია უზრუნველყოფდა ინსტრუმენტის სანდოობასა და ვალიდობას.

ყველა კონსტრუქტი შეფასდა შესაბამისი წყაროებიდან ადაპტირებული ან სპეციალურად შექმნილი კითხვებით, ხოლო აღქმული რისკის (PR) შემთხვევაში წარმოდგენილი იყო, წარმადობის რისკთან (Performance Risk) დაკავშირებული შეკითხვები, რადგან (Bland, Changchit, Changchit, Cutshall, & Pham, 2024) კვლევაში პერფორმანსთან დაკავშირებული რისკები განიხილება აღქმული რისკის (PR) ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტად.

შედეგები

აღნიშნული სექცია ეთმობა შედეგების განხილვას. პირველ ნაწილში, წარმოდგენილი იქნება აღწერითი სტატისტიკის მონაცემები, მონაწილეების მახასიათებლების წარმოსაჩენად. მეორე ნაწილში წარმოდგენილი იქნება, სანდოობისა და ვალიდობის შესახებ მიღებული შედეგები ბოლოს კი, კორელაციური ანალიზის შედეგები და რეგრესიული ანალიზის გამოყენებით, ჰიპოთეზების შემოწმების შედეგად მიღებული მიგნებები.

აღწერითი სტატისტიკა

გამოკითხვაში მონაწილეობა მიიღო ას ორმა ადამიანმა. მონაცემთა დამუშავების პროცესში, წაიშალა სამი რესპონდენტის პასუხი, ვინაიდან ყველა კითხვაზე ერთი და იმავე პასუხი ჰქონდათ მითითებული. რესპონდენტების დემოგრაფიული მახასიათებლები დაწვრილებით წარმოდგენილია (ცხრილში 2).

ცხრილი 2

რესპონდენტების დემოგრაფიული მახასიათებლები

მახასიათებლები	რესპონდენტთა რაოდენობა (n=99)	პროცენტულობა
<i>სქესი</i>		
მდედრობითი	45	45.5%
მამრობითი	54	54.5%
<i>ასაკი</i>		
18 – 25	78	78.8%
26 – 35	11	11.1%
36 - 55	10	10.1%
<i>განათლების დონე</i>		
საშუალო განათლება	8	8.1%
პროფესიული განათლება	3	3.0%
არასრული უმაღლესი	56	56.6%
ბაკალავრის ხარისხი	15	15.2%
მაგისტრის ხარისხი	14	14.1%
დოქტორის ხარისხი	3	3.0%

მამრობითი სქესის მონაწილეთა რაოდენობა, შედარებით ჭარბობს (54.5%), გამოკითხულთა უმრავლესობა კი 18–25 წლის ასაკობრივ კატეგორიას მიეკუთვნება (78.8%). ცხრილში 3 წარმოდგენილია კონსტრუქტების აღწერითი სტატისტიკის შედეგები.

ცხრილი 3

კვლევის კონსტრუქტების აღწერითი სტატისტიკა

კონსტრუქტი	საშუალო	სტანდარტული გადახრა
AW	2.56	1.08
PR	3.30	0.73
TR	3.24	0.70
DP	3.14	0.82
PU	3.40	0.93
PEOU	3.31	0.93
ATU	3.77	0.78

საშუალო მნიშვნელობები მერყეობს 2.56-დან 3.77-მდე, რაც, მიუთითებს რომ მონაწილეებში შედარებით, დაბალია ინფორმირებულობის დონე (AW) BCI ტექნოლოგიების შესახებ, მაშინ როდესაც გამოყენებისადმი დამოკიდებულება (ATU) საშუალოზე მაღალია. ასევე, აღქმული სარგებლიანობისა (PU) და აღქმული გამოყენების სიმარტივის (PEOU) საშუალო მაჩვენებლები მიანიშნებს, რომ რესპონდენტები ტექნოლოგიას ზომიერად პოზიტიურად აფასებენ. სანდოობის (TR) და მონაცემთა კონფიდენციალურობის (DP) მაჩვენებლები საშუალო დონეზეა, ხოლო აღქმული რისკები (PR), არც ძალიან მაღალია და, არც ძალიან დაბალი.

სანდოობა და ვალიდობა

კვლევის ინსტრუმენტის სანდოობა შეფასდა კრონბახის ალფას კოეფიციენტით (Cronbach's Alpha), რომელიც ფართოდ გამოიყენება კითხვარის შიდა თანმიმდევრულობის შესამოწმებლად. კრონბახის ალფა გვიჩვენებს, რამდენად თანმიმდევრულად ზომავს კონსტრუქტის შემადგენელი კითხვები ერთსა და იმავე ფენომენს. როგორც წესი, $\alpha \geq 0.70$ მიიჩნევა მისაღებ მნიშვნელობად, ხოლო $\alpha \geq 0.80$ - მაღალ სანდოობად, $\alpha \geq 0.90$ - ძალიან მაღალ სანდოობად.

მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ყველა მაჩვენებელი აღემატება 0.70-ს (მინიმალურ ზღვარს), რაც მიუთითებს კითხვარით გაზომილი კონსტრუქტების დამაკმაყოფილებელ შიდა თანმიმდევრულობაზე. აღქმული სარგებლიანობა ($PU = 0.891$), აღქმული გამოყენების სიმარტივე ($PEOU = 0.904$) და დამოკიდებულება გამოყენების მიმართ ($ATU = 0.849$) გამოირჩევა, განსაკუთრებით, მაღალი სანდოობით. დეტალურად შეგიძლიათ იხილოთ (ცხრილში 4).

ცხრილი 4

კონსტრუქტების სანდოობის ანალიზი (Cronbach's Alpha)

კონსტრუქტი	კითხვების რაოდენობა	კრონბახის α
AW	3	0.826
PR	3	0.750
TR	3	0.758
DP	3	0.783
PU	3	0.891
PEOU	3	0.904
ATU	4	0.849

ვალიდობის შესამოწმებლად, როგორც წესი, გამოიყენება CFI (Comparative Fit Index) ანალიზი, თუმცა ასეთ შემთხვევაში, საჭიროა, სულ მცირე, 150-200 მონაწილისგან მიღებული მონაცემები, რის გამოც კითხვარის სანდოობა შემოწმდა, მხოლოდ და მხოლოდ, სოციოლოგიისა და ტექნოლოგიების სფეროში მოღვაწე მკვლევრების შეფასების საფუძველზე.

კორელაციური ანალიზი

Pearson-ის კორელაციის ანალიზის შედეგად მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ მოდელში არსებულ ცვლადებს შორის კავშირები, ზოგიერთ შემთხვევაში, სტატისტიკურად მნიშვნელოვნად არის გამოვლენილი. უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა გამოვლენილი კორელაცია დაბალი ან საშუალო სიმტკიცისაა, რაც მიუთითებს, რომ ცვლადებს შორის კავშირები არ არის მაღალი.

AW და PU შორის კავშირი სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი არ აღმოჩნდა, ასევე გამოირჩევა საკმაოდ დაბალი კორელაციით ($r = 0.018$).

PR და TR შორის დაფიქსირდა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი, უარყოფითი კავშირი ($r = -0.326$), რაც გულისხმობს, რომ რისკის აღქმა ამცირებს ნდობის დონეს.

TR და PU შორის გამოვლინდა დადებითი კავშირი ($r = 0.332$), რომელიც სტატისტიკურად მნიშვნელოვანია. შესაბამისად, რაც უფრო მაღალია მომხმარებლებში ნდობა, მით უფრო იზრდება სარგებლიანობის აღქმა BCI ტექნოლოგიების მიმართ.

DP და PU შორის არსებული დადებითი კავშირი ($r = 0.203$) მიუთითებს, რომ მონაცემთა კონფიდენციალურობის მაღალი აღქმა, გარკვეულწილად, ზრდის აღქმულ სარგებლიანობას.

PU და ATU შორის დადებითი ($r = 0.490$), სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი მიანიშნებს, რომ ტექნოლოგიის სარგებლიანობის მაღალი აღქმა ასოცირდება მისდამი დადებით დამოკიდებულებასთან.

PEOU და ATU შორის დადებითი ($r = 0.434$) და სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი მიუთითებს, რომ აღქმული გამოყენებადობის სიმარტივე ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია ტექნოლოგიის მიმართ დადებითი დამოკიდებულების ჩამოყალიბებაში.

საბოლოო ჯამში, არცერთი კორელაცია აღემატება $|r| = 0.7$ -ს, რაც ნიშნავს, რომ მოდელში მულტიკოლინეარობის რისკი არ არსებობს და შესაბამისად, რეგრესიული ანალიზის ჩატარება შესაძლებელია. შედეგები იხილეთ (ცხრილში 5).

ცხრილი 5

კორელაციური ანალიზის შედეგები

	AW	PR	TR	DP	PU	PEOU	ATU
AW	1						
PR	-.001	1					
TR	.232*	-.326**	1				
DP	-.007	-.164	.557**	1			
PU	.018	.140	.332**	.203*	1		
PEOU	.139	.096	.308**	.150	.394**	1	
ATU	.078	-.037	.612**	.508**	.490**	.434**	1

შენიშვნა: * კორელაცია მნიშვნელოვანია 0.05 დონეზე (2-tailed), ** კორელაცია მნიშვნელოვანია 0.01 დონეზე (2-tailed)

რეგრესიული ანალიზი:

ჰიპოთეზების შესამოწმებლად ჩატარდა რეგრესიული ანალიზი, რის საფუძველზეც შეფასდა დამოკიდებულ და დამოუკიდებელ ცვლადებს შორის კავშირები. კავშირი მიიჩნევა სტატისტიკურად მნიშვნელოვნად ($p < 0.05$) დონეზე. კვლევის პროცესში, მონაცემთა ანალიზისას, გარკვეულ ცვლადებს შორის ჩატარდა წრფივი (მარტივი) რეგრესიული ანალიზი, ხოლო სხვა შემთხვევებში - მრავლობითი რეგრესიული ანალიზი, რაც

განისაზღვრა მოდელის სპეციფიკიდან გამომდინარე. რეგრესიული ანალიზის შედეგები, წარმოდგენილია (ცხრილში 6).

ცხრილი 6

რეგრესიული ანალიზის შედეგები

ჰიპოთეზა	β კოეფიციენტი	R ²	t	p	შედეგი
H1: PR -> TR	-0.310	0.106	-3.394	< 0.001	დადასტურდა (უარყოფითი კავშირი)
H2: TR ->PU	0.315	0.211	2.003	0.048	დადასტურდა
H3: DP ->PU	0.024	0.211	0.191	0.849	არ დადასტურდა
H4: AW ->PU	-0.071	0.211	-0.862	0.391	არ დადასტურდა
H5: PEOU ->PU	0.330	0.211	3.411	< 0.001	დადასტურდა
H6: PU -> ATU	0.320	0.309	4.094	< 0.001	დადასტურდა
H7: PEOU->ATU	0.241	0.309	3.088	0.003	დადასტურდა

H1: BCI ტექნოლოგიების მიმართ აღქმულ რისკებს პირდაპირი გავლენა აქვს BCI-ის მიმართ ნდობაზე. ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ჩატარდა რეგრესიული ანალიზი, სადაც დამოკიდებული ცვლადი იყო TR, ხოლო დამოუკიდებელი PR. შედეგებმა აჩვენა, რომ PR მნიშვნელოვნად პროგნოზირებს TR-ს ($\beta = -0.310$, $t = -3.394$, $p < 0.001$). ასევე, მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.106$, $p < 0.001$), სადაც $R^2 = 0.106$ ასახავს, რომ PR ხსნის TR-ს ვარიაციის 10.6%-ს. შესაბამისად, აღნიშნული ჰიპოთეზა

დადასტურდა, თუმცა კავშირს აქვს უარყოფითი მიმართულება, რაც გულისხმობს, რომ რაც უფრო მაღალია აღქმული რისკის დონე, მით უფრო ნაკლებია ნდობა.

H2: BCI-ის მიმართ ნდობასა და BCI-ის მიმართ აღქმული სარგებლიანობის შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო PU, ხოლო დამოუკიდებელი - TR. შედეგებმა აჩვენა, რომ TR მნიშვნელოვნად პროგნოზირებს PU-ს ($\beta = 0.315$, $t = 2.003$, $p = 0.048$). ასევე, მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.211$, $p < 0.001$), სადაც $R^2 = 0.211$ ასახავს, რომ მოდელი ხსნის PU-ს ვარიაციის 21.1%-ს, შესაბამისად, ჰიპოთეზა დადასტურდა.

H3: BCI-ის მონაცემთა კონფიდენციალურობასა და BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო PU, ხოლო დამოუკიდებელი - DP. შედეგებმა აჩვენა, რომ DP-სა და PU-ს შორის არ არსებობს სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი ($\beta = 0.024$, $t = 0.191$, $p = 0.849$). შესაბამისად, ჰიპოთეზა არ დადასტურდა, თუმცა მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.211$, $p < 0.001$).

H4: BCI-ის შესახებ ინფორმირებულობასა და BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო PU, ხოლო დამოუკიდებელი - AW. შედეგებმა აჩვენა, რომ AW-სა და PU-ს შორის არ არსებობს სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი კავშირი ($\beta = -0.071$, $t = -0.862$, $p = 0.391$). აღნიშნული ჰიპოთეზა არ დადასტურდა, თუმცა მთლიანმა მოდელმა აჩვენა მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.211$, $p < 0.001$).

H5: BCI-ის გამოყენების მიმართ აღქმულ სიმარტივესა და BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობას შორის არსებობს პოზიტიური ურთიერთკავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო PU, ხოლო დამოუკიდებელი - PEOU. შედეგებმა აჩვენა, რომ PEOU მნიშვნელოვნად პროგნოზირებს PU-ს ($\beta = 0.330$, $t = 3.411$, $p < 0.001$). ასევე, მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.211$, $p < 0.001$), $R^2 = 0.211$ აჩვენებს, რომ მოდელი ხსნის PU-ს ვარიაციის 21.1%-ს. შესაბამისად, ჰიპოთეზა დადასტურდა.

H6: BCI-ის მიმართ აღქმულ სარგებლიანობასა და BCI-ის გამოყენებისადმი დამოკიდებულებას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო

ATU, ხოლო დამოუკიდებელი - PU. შედეგებმა აჩვენა, რომ PU მნიშვნელოვნად პროგნოზირებს ATU-ს ($\beta = 0.320$, $t = 4.094$, $p < 0.001$). ასევე, მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.309$, $p < 0.001$), სადაც $R^2 = 0.309$ ასახავს, რომ მოდელი ხსნის ATU-ს ვარიაციის 30.9%-ს. ჰიპოთეზა დადასტურდა.

H7: BCI-ის გამოყენების მიმართ აღქმულ სიმარტივესა და BCI-ის გამოყენებისადმი დამოკიდებულებას შორის არსებობს პოზიტიური კავშირი. დამოკიდებული ცვლადი იყო ATU, ხოლო დამოუკიდებელი - PEOU. შედეგებმა აჩვენა, რომ PEOU მნიშვნელოვნად პროგნოზირებს ATU-ს ($\beta = 0.241$, $t = 3.088$, $p = 0.003$). ასევე, მთლიანმა მოდელმა აჩვენა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შედეგი ($R^2 = 0.309$, $p < 0.001$), შესაბამისად, აღნიშნული ჰიპოთეზა დადასტურდა.

დასკვნა

კვლევის მიზანი იყო ქართულ საზოგადოებაში BCI ტექნოლოგიების მიმართ მიმდებლობის შესწავლა, ტექნოლოგიების მიღების მოდელის (TAM) საფუძველზე. თეორიულ მოდელს დაემატა რამდენიმე გარე ცვლადი აღქმული რისკი (PR), ნდობა (TR), მონაცემთა კონფიდენციალურობა (DP) და ინფორმირებულობა (AW).

მიღებული შედეგები მიუთითებს, რომ მოდელის ფარგლებში ჩამოყალიბებული ჰიპოთეზების ნაწილი დადასტურდა. კერძოდ, აღმოჩნდა, რომ აღქმული რისკი (PR) უარყოფითი გავლენა აქვს ნდობაზე (TR). ხოლო ნდობა (TR) და აღქმული გამოყენებადობის სიმარტივე (PEOU) მნიშვნელოვნად განაპირობებენ მომხმარებლის მიერ სარგებლიანობის (PU) აღქმას. აგრეთვე, როგორც სარგებლიანობის (PU), ისე გამოყენებადობის სიმარტივის აღქმა (PEOU) მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გამოყენებისადმი დამოკიდებულების (ATU) ფორმირებაში. ეს მიუთითებს, რომ მომხმარებელთა დამოკიდებულების ჩამოყალიბებაში გადაწყვეტი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს როგორც BCI ტექნოლოგიის სარგებლიანობის აღქმას, ისე ტექნოლოგიის მიმართ აღქმულ გამოყენების სიმარტივეს. კვლევის ფარგლებში, არ დადასტურდა მონაცემთა კონფიდენციალურობის (DP) და ინფორმირებულობის (AW) პირდაპირი გავლენა სარგებლიანობის აღქმაზე, რაც შეიძლება მიუთითებდეს იმაზე, რომ ამ ეტაპზე, რესპონდენტები უფრო მეტად ორიენტირებულნი არიან ტექნოლოგიის პრაქტიკულ ღირებულებაზე, ვიდრე ეთიკურ ან ცნობიერების ასპექტებზე.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ნიმუშის მოცულობის სიმცირის (N = 99) გამო განხორციელდა რეგრესიული ანალიზი და ვერ იქნა გამოყენებული Structural Equation Modeling (SEM) მოდელირება, რომელიც ფართოდ გამოიყენება TAM-ზე დაფუძნებულ კვლევებში. გარდა ამისა, კვლევის პროცესში ჩამოყალიბებული ჰიპოთეზები ეხება ცვლადებს შორის პირდაპირი კავშირების განსაზღვრას, არ იქნა გათვალისწინებული მედიაციური ან მოდერაციული ეფექტები, აღნიშნული, წარმოადგენს მოდელისა და შემდგომი კვლევის დახვეწის შესაძლებლობას.

რეკომენდაციები სამომავლო კვლევებისთვის

მონაცემთა მოცულობის გაფართოება

უფრო დიდი რაოდენობის მონაცემების გამოყენება შესაძლებელს გახდის, ვალიდობის გაზომვისა და ჰიპოთეზების შემოწმებისთვის, შედარებით სიღრმისეული ანალიზის ჩატარებას. ვალიდობის შემთხვევაში CFI ანალიზის გამოყენების, ხოლო ჰიპოთეზების ტესტირებისთვის - SEM ანალიზის, რაც უზრუნველყოფს მოდელის სტრუქტურისა და მისი შესაბამისობის უფრო ზუსტ შეფასებას.

მედიაციური და მოდერაციული ეფექტების შესწავლა

მომავალში მიზანშეწონილი იქნება ისეთი ურთიერთკავშირების ტესტირება, რომლებიც მოიცავს არა მხოლოდ პირდაპირ ეფექტებს, არამედ მოდერაციულ და მედიაციურ კავშირებსაც.

ბიბლიოგრაფია

- Abdulkader, S. N., Atia, A. E., & Mostafa, M.-S. (2015). Brain–computer interfacing: Applications and challenges. *Egyptian Informatics Journal*, 16(2), 213–230. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2015.06.002>
- Al-Adwan, A., Al-Adwan, A., & Smedley, J. (2013). Exploring students' acceptance of e-learning using the Technology Acceptance Model in Jordanian universities. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 9(2), 4–18.
- Bland, E., Changchit, C., Changchit, R., Cutshall, R., & Pham, L. (2024). Investigating the components of perceived risk factors affecting mobile payment adoption. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(6), 216. <https://doi.org/10.3390/jrfm17060216>
- Caiado, F., & Ukolov, A. (2025). The history, current state and future possibilities of the non-invasive brain-computer interfaces. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 25, 100353. <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2025.100353>
- Caton, R. (1875). Electrical currents of the brain. *The Chicago Journal of Nervous and Mental Disease*, 2(4), 610.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International journal of man–machine studies*, 38(3):475–487. <https://doi.org/10.1006/imms.1993.1022>
- Felea, M., Bucur, M., Negruțiu, C., Nițu, M., & Stoica, D. A. (2021). Wearable technology adoption among Romanian students: A structural model based on TAM. *Amfiteatru Economic*, 23(57), 376–391. <https://doi.org/10.24818/EA/2021/57/376>
- Huang, K.-H., Yu, T. H.-K., & Lee, C. (2022). Adoption model of healthcare wearable devices. *Technological Forecasting and Social Change*, 174(3), 121286. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121286>

Khan, A. N., Mehmood, K., & Soomro, M. A. (2024). Knowledge management-based artificial intelligence (AI) adoption in construction SMEs: The moderating role of knowledge integration. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 10874 - 10884.

<https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3403981>

Maiseli, B., Abdalla, A. T., Massawe, L. V., Mbise, M., Mkocha, K., Nassor, N. A., Ismail, M., Michael, J., & Kimambo, S. (2023). Brain-computer interface: Trend, challenges, and threats. *Brain Informatics*, 10(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40708-023-00199-3>

Martinovic, I., Davies, D., Frank, M., Perito, D., Ros, T., & Song, D. (2012). On the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces. In *Proceedings of the 21st USENIX Security Symposium* (pp. 143–158).

Mutahar, A. M., Norzaidi, M. D., Ramayah, T., & Isaac, O. (2018). The effect of awareness and perceived risk on the technology acceptance model (TAM): Mobile banking in Yemen. *International Journal of Services and Standards*, 12(2), 180–204. <https://doi.org/10.1504/IJSS.2018.091840>

Nakisa, B., Ansarizadeh, F., Oommen, P., & Shrestha, S. (2022). Technology acceptance model: A case study of palm vein authentication technology. *IEEE Access*, 10, 120436 – 120449.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3221413>

Salahuddin, U., & Gao, P.-X. (2021). Signal generation, acquisition, and processing in brain-machine interfaces: A unified review. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 728178.

<https://doi.org/10.3389/fnins.2021.728178>

Schmid, J. R., Friedrich, O., Kessner, S., & Jox, R. J. (2021). Thoughts unlocked by technology—a survey in Germany about brain-computer interfaces. *NanoEthics*, 15(3), 281–295.

<https://doi.org/10.1007/s11569-021-00392-w>

Shih, J. J., Krusienski, D. J., & Wolpaw, J. R. (2012). Brain-computer interfaces in medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, 87(3), 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2011.12.008>

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186–204.

<http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>

Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767–791.

[https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3)

Xia, R., & Yang, S. (2024). Factors influencing the social acceptance of brain-computer interface technology among Chinese general public: An exploratory study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 18, 1423382. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1423382>

Xia, K., Duch, W., Sun, Y., Xu, K., Fang, W., Luo, H., Zhang, Y., Sang, D., Xu, X., Wang, F.-Y., & Wu, D. (2024, December 16). Privacy-preserving brain-computer interfaces: A systematic review [Preprint]. arXiv.

Zhang, Y. (2024). Impact of perceived privacy and security in the TAM model: The perceived trust as the mediated factors. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100270.

<https://doi.org/10.1016/j.jjime.2024.100270>

