

ეკონომიკა, ბიზნესი და ტურიზმი Economy, Business and Tourism

სმარტქალაქები და ციფრული ტრანსფორმაცია: IoT-ის
ინტეგრაციის მოდელი საქართველოში

გიორგი ხარშილაძე, ეკონომიკის დოქტორი,
ასოცირებული პროფესორი
თბილისის ჰუმანიტარული უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი

ციფრული ტრანსფორმაცია თანამედროვე ურბანული განვითარების ერთ-ერთ უმთავრეს პროცესად იქცა, რომელიც განსაზღვრავს ქალაქების მმართველობის, ინფრასტრუქტურისა და მოქალაქეთა ცხოვრების ხარისხის მომავალს. Internet of Things (IoT), როგორც ტექნოლოგიური ეკოსისტემა, რომელიც აერთიანებს ფიზიკურ და ციფრულ გარემოს, მნიშვნელოვანი საფუძველია სმარტქალაქების ეფექტიანი ფუნქციონირებისთვის. IoT-ის წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიური ინოვაციის კომპონენტს, არამედ საზოგადოების, ეკონომიკისა და მმართველობის სისტემური გარდაქმნის განმაპირობებელ ფაქტორს. სტატიაში გაანალიზებული არის სმარტქალაქების ციფრული ტრანსფორმაციის არსი და IoT-ის ინტეგრაციის მოდელი საქართველოს კონტექსტში, წარმოდგენილია განხორციელების ძირითადი მიმართულებები, რომლებიც უკავშირდება მონაცემთა მმართველობას, სენსორულ ინფრასტრუქტურას, ენერგოეფექტურობასა და ურბანული სერვისების ინტეგრაციას. კვლევა ეფუძნება თანამედროვე და გლობალურ მიდგომებს და საქართველოს ციფრული

განვითარების სტრატეგიულ ჩარჩოს, აგრეთვე დასახულია ის პრიორიტეტული მიმართულებები, რომლებიც აუცილებელია სმარტქალაქების მდგრადი ციფრული ტრანსფორმაციის უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: სმარტქალაქები, ციფრული ტრანსფორმაცია, IoT, ურბანული ინოვაცია, მონაცემთა მმართველობა, საქართველო.

შესავალი

21-ე საუკუნის ურბანული განვითარების დინამიკა სულ უფრო მეტად დამოკიდებულია იმ ციფრულ ეკოსისტემებზე, რომლებიც ქალაქის ინფრასტრუქტურას, მმართველობასა, რაც ახდენს საზოგადოებრივ ურთიერთობას გარდაქმნას. საერთაშორისო დონეზე, ქალაქები სწრაფად ტრანსფორმირდებიან ინტეგრირებული ტექნოლოგიური არქიტექტურის მიმართულებით, სადაც მონაცემებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებები, ავტომატიზებული პროცესები და ინტელექტუალური ინფრასტრუქტურა ქმნიან ურბანული მართვის თანამედროვე მოდელს. ამ ცვლილების ცენტრალურ ძალას წარმოადგენს ე.წ. „ნივთების ინტერნეტი“ (Internet of Things – IoT) - ტექნოლოგიური სისტემა რომელიც აკავშირებს ფიზიკურ ობიექტებს ინფრასტრუქტურულ ელემენტებსა და სერვისებს ერთიან ციფრულ ქსელში. IoT-ის სწრაფი განვითარება გადრეკნის ურბანული გარემოს ფუნქციონირების პრინციპებს და ქმნის საფუძველს სმარტქალაქების ახალი თაობის ჩამოყალიბებისთვის.

ციფრული ტრანსფორმაცია, როგორც პროცესთა კომპლექსი, მოიცავს არა მხოლოდ ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების დანერგვას, არამედ მმართველობითი, ეკონომიკური და სოციალური სისტემების სტრუქტურულ გარდაქმნას. შესაბამისად, სმარტქალაქები უკვე აღიქმება არა

მხოლოდ ტექნოლოგიური ინოვაციების შედეგად, არამედ როგორც სისტემა, სადაც ინტეგრირდება მონაცემთა მმართველობა, მდგრადი განვითარება, მოქალაქეთა ჩართულობა და ურბანული სერვისების ეფექტიანობა. ასეთ ჩარჩოში IoT წარმოადგენს ცენტრალურ პლატფორმას, რომელიც უზრუნველყოფს რეალურ დროში მონაცემთა შეგროვებას, ინტეგრირებასა და ანალიტიკას, რაც ქალაქებს საშუალება აძლევს, უფრო ეფექტიანად მართონ ტრანსპორტი, ენერგომომხმარება, გარემოს მონიტორინგი, უსაფრთხოება და მუნიციპალური სერვისები.

საქართველოს კონტექსტში სმარტქალაქების განვითარების დღის წესრიგი თანდათანობით იძენს სტრატეგიულ მნიშვნელობას. ქვეყნის ციფრული პოლიტიკის დოკუმენტები და ეროვნული სტრატეგიები უკვე ასახავს ურბანული ეკოსისტემის მოდერნიზაციის აუცილებლობას, რაც მოიცავს მონაცემთა სივრცეების განვითარებას, ინტეგრირებული პლატფორმების დანერგვას და თანამედროვე სენსორული ინფრასტრუქტურის შექმნას. საქართველოს ქალაქები - განსაკუთრებით კი თბილისი, ქუთაისი და ბათუმი - დგანან იმ ეტაპზე სადაც ციფრული ტრანსფორმაციისთვის აუცილებელია არა მხოლოდ ცალკეული ტექნოლოგიური ინიციატივების გაძლიერება, არამედ სისტემური მიდგომის ჩამოყალიბება, რომელიც IoT-სა და ციფრულ პლატფორმებს მოაქცევს ერთიან სტრატეგიულ ჩარჩოში.

მიუხედავად იმისა, რომ IoT-ის პოტენციალი ფართოა, მისი ინტეგრაცია მოითხოვს კომპლექსურ შეფასებას - ტექნოლოგიური ინფრასტრუქტურის, მონაცემთა მმართველობის, უსაფრთხოების სტანდარტების, ეკონომიკური მდგრადობისა და საზოგადოებრივი ჩართულობის ჭრილში. სწორედ ამიტომ, საქართველოსთვის ციფრული ტრანსფორმაციის წარმატება დამოკიდებულია იმაზე თუ

რამდენად მოხერხდება IoT-ის ისეთი მოდელის შექმნა რომელიც ადაპტირებული იქნება ქვეყნის ურბანული გარემოს სპეციფიკასთან, მმართველობით პრაქტიკებთან და სოციალური სტრუქტურების თავისებურებებთან.

ციფრული მმართველობის არქიტექტურა და ინსტიტუციური შესაძლებლობების ევოლუცია

ციფრული ტექნოლოგიების მზარდი გავრცელება სახელმწიფო სტრუქტურებში არსებითად გარდაქმნის თანამედროვე მმართველობის ბუნებას, ლოგიკას და ოპერირების მოდელებს. ტექნოლოგიები აღარ განიხილება ადმინისტრაციული საქმიანობის დამხმარე განზომილებად; ისინი გარდაიქმნენ ინსტიტუციური ფუნქციონირების საფუძველშივე ჩადებულ სისტემურ კომპონენტებად, რომლებიც განსაზღვრავს გადაწყვეტილების მიღების პროცესებს, სამართლებრივ ჩარჩოებს, ადმინისტრაციულ კოორდინაციასა და ანგარიშვალდებულების მექანიზმებს. თანამედროვე აკადემიური ლიტერატურა ხაზს უსვამს, რომ ციფრული მმართველობა აღარ ექვემდებარება მარტივი „სერვისების ციფრულ გადატანის“ ლოგიკას; იგი წარმოადგენს ინსტიტუციური შესაძლებლობების სისტემურ რეკონსტრუქციას, სადაც მონაცემები, ალგორითმები და ურთიერთთავსებადი ინფრასტრუქტურები სახელმწიფო მმართველობის ორგანულ ინსტრუმენტებად წარმოჩნდება, და არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ დანამატებად.

ამ მზარდ პარადიგმაში ინსტიტუციური ტრანსფორმაცია ერთდროულად რამდენიმე განზომილებაში ვითარდება. პირველი განზომილება დაკავშირებულია **პროცედურული რაციონალობის ტრანსფორმაციასთან**, სადაც ტრადიციული, ქაღალდზე დაფუძნებული ბიუროკრატიული პრაქტიკები ჩანაცვლდება ავტომატიზებული, მონაცემებზე დაყრდნობილი ოპერაციული სქემებით. ეს

გარდაქმნა მნიშვნელოვნად ამცირებს ტრანზაქციულ ხარჯებს, აჩქარებს ადმინისტრაციულ მოქმედებათა ჯაჭვებს და ზრდის ინსტიტუციურ რეაგირების შესაძლებლობას. ამასთან, იგი თანმდევად ქმნის ახალ დამოკიდებულებას ალგორითმულ პლატფორმებზე და მათ გადაწყვეტილების მოდელირებაზე.

მეორე განზომილება უკავშირდება **ორგანიზაციული რაციონალურობის გადაფორმებას**, რომლის ფარგლებშიც სახელმწიფო უწყებებს უწევთ შიდა კომპეტენციების სტრუქტურის, სამუშაო ძალის მოდელისა და უწყებათაშორისი კომუნიკაციის სისტემების რეორგანიზაცია. ურთიერთთავსებადი მონაცემთა ინფრასტრუქტურების შექმნა შესაძლებელს ხდის როგორც ჰორიზონტალურ, ისე ვერტიკალურ ინტეგრაციას საჯარო სექტორის სტრუქტურებს შორის — ინტეგრაციას, რომელიც ერთიანი სტანდარტების, საერთო მონაცემთა ბაზების და კოორდინირებული გადაწყვეტილების ნაკადების მეშვეობით ფუნქციონირებს. ეს პროცესი აუქმებს ადმინისტრაციული ფრაგმენტაციას და აღადგენს გადაწყვეტილების მიღების პროცესის სისტემურ თანმიმდევრობას.

მესამე განზომილება უკავშირდება **სამართლებრივ-რეგულაციური არქიტექტურის ევოლუციას**. ციფრული პირადობის სისტემების, ხელოვნური ინტელექტით გამაგრებული ადმინისტრაციული გადაწყვეტილების პლატფორმებისა და ფართომასშტაბიანი მონაცემთა ინფრასტრუქტურების დანერგვა ქმნის მოთხოვნას, სამართლებრივი ჩარჩოები მუდმივად ადაპტირდეს და განახლებულად განსაზღვროს მონაცემთა სუვერენიტეტი, ალგორითმული გამჭვირვალობა, კიბერუსაფრთხოების ვალდებულებები და სახელმწიფო პასუხისმგებლობების ზღვარი ციფრულ ეკოსისტემებში. ზოგიერთი ავტორი

ამტკიცებს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია გარდაქმნის თვითონ სამართლის ონტოლოგიასაც — სტაბილური ნორმატიული სისტემიდან იგი გადადის დინამიკურ, კოდში ჩაშენებულ რეგულაციურ პროცესად, რაც სამართალს აქცევს მუდმივად მოდიფიცირებად, ტექნოლოგიურად განსაზღვრულ ინსტრუმენტად.

ინსტიტუციური ტრანსფორმაციის მეოთხე და განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი განზომილება უკავშირდება **ახალი საზოგადოებრივ-პოლიტიკური დინამიკების წარმოქმნას**. ციფრული მმართველობა ერთდროულად ქმნის შესაძლებლობას დემოკრატიული ჩართულობის გაძლიერებისთვის - ღია მონაცემების ეკოსისტემებით, ინკლუზიური ციფრული მომსახურებებითა და გამჭვირვალე ადმინისტრაციული პროცესებით - და ამავე დროს წარმოშობს რისკებს: ინფორმაციული ძალაუფლების კონცენტრაციას, ახალ უთანასწორობებს ციფრული წვდომის კუთხით, ზედამხედველობის გაფართოებულ შესაძლებლობებს და კიბერმუქარებისგან მომდინარე ინსტიტუციურ დაუცველობებს. ამდენად, ციფრული მმართველობის წარმატება განისაზღვრება არა მხოლოდ ტექნოლოგიური დანერგვის მასშტაბით, არამედ იმ პოლიტიკური, ორგანიზაციული და ნორმატიული გარემოთი, რომელშიც ეს ტექნოლოგიები ინტეგრირდება.

საბოლოო ჯამში, ციფრული მმართველობის არქიტექტურისკენ გარდასვლა წარმოადგენს ინსტიტუციური სისტემების ფუნდამენტურ ტრანსფორმაციას. ეს გარდაქმნა მოითხოვს მრავალდემენზიურ ანალიზს, რომელიც აერთიანებს ტექნოლოგიურ ინოვაციას, სამართლებრივ ადაპტაციას, ორგანიზაციულ ცვლილებებსა და საზოგადოებრივ-პოლიტიკურ რეფლექსიას - წინააღმდეგ შემთხვევაში, ციფრული ტრანსფორმაცია დარჩება მხოლოდ

ფორმალურ პროცესად, ხოლო მისი სისტემური პოტენციალი ვერ იქნება სრულად ათვისებული.

Urban IoT სისტემების კონცეპტუალური მოდელები და ქალაქის ციფრული ტრანსფორმაციის ინტეგრირებული არქიტექტურა

ურბანული სივრცის ციფრული ტრანსფორმაცია მრავალშრიან პროცესს წარმოადგენს, რომელიც აერთიანებს ტექნოლოგიურ ინფრასტრუქტურას, მონაცემთა მენეჯმენტის სისტემებს, მმართველობით ინსტიტუციურ ჩარჩოს და ინოვაციურ ანალიტიკურ პლატფორმებს. ამ კონტექსტში უნდა გამოვყოთ smart city მოდელი რომელიც იქცა ერთიან ეკოსისტემად, სადაც IoT სისტემა, Edge-Cloud არქიტექტურა, ხელოვნური ინტელექტი, Digital Twin-ები და მონაცემთა ინტეგრირებული პლატფორმები ქმნიან ისეთ გარემოს, რომელიც რეალურ დროში იღებს, ამუშავებს და გარდაქმნის მონაცემებს მენეჯმენტის გადაწყვეტილებებად. აღნიშნული მოდელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ხდება ურბანული ინფრასტრუქტურის ოპტიმიზაციისთვის, რესურსების გამართული ბალანსირებისათვის და მოქალაქეთა ჩართულობის გაზრდისათვის.

სმარტ ქალაქების თეორიული საფუძვლები ეფუძნება ხედვას, რომ ქალაქი უნდა იქცეს ინტელექტუალურ ქსელურ ორგანიზმად, რომლის თითოეული ქვეკომპონენტი - ტრანსპორტი, ენერგეტიკა, ეკოლოგიური მონიტორინგი, წყლის რესურსები, ურბანული ლოგისტიკა - იმართება მონაცემთა გაცვლაზე დაფუძნებული ინტეგრირებული არქიტექტურით რაც საშუალებას აძლევს ადმინისტრაციული ორგანოებს მიიღონ გადაწყვეტილებები რეალურ დროში, შემცირდეს რესურსების ხარჯები და გაზარდონ მოსახლეობის კეთილდღეობა. აღნიშნულ ხედვაში IoT სისტემა წარმოადგენს ქალაქის „სენსორულ

ინფრასტრუქტურას“, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა უწყვეტ შეგროვებას. გეოლოკაციური სენსორები, ეკოლოგიური ინდიკატორები, სატრანსპორტო ნაკადების მონიტორინგის სენსორები, ენერგომომხმარების კერძო და საჯარო მოწყობილობები ქმნიან ჰოლისტიკურ მონაცემთა ქსელს. ურბანუკ IoT სისტემებში სენსორები დაკავშირებულია ქსელური არქიტექტურებით როგორიცაა LoRaWaN, Zigbee, NB-IoT და 5G, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა სწრაფ და საიმედო ტრანსმისიას. ქსელების მოქნილობა ქმნის შესაძლებლობას მონაცემების მრავალფეროვნების ოპტიმიზაციას, ტრანსპორტის კონტროლის და გემოს მონიტორინგისთვის.

Urban IoT-სა და Smart City-ს სინთეზში ცენტრალური მნიშვნელობისაა Edge-Cloud ჰიბრიდული მოდელი. Edge-Cloud ჰიბრიდული არქიტექტურა, რომელიც აერთიანებს ადგილობრივ (edge) და ღრუბლოვან (cloud) დამუშავებას, უზრუნველყოფს მონაცემების ეფექტურ მენეჯმენტს, მათ შორის სწრაფი რეაგირების ანალიზის შესაძლებლობას. Edge უზრუნველყოფს მონაცემების რეალურ დროში დამუშავებას, რაც აუცილებელია სწრაფი რეაგირებისთვის, მაგალითად საგანგებო სიტუაციების ან ტრანსპორტის რეგულაციის დროს. Cloud პლატფორმა გამოიყენება მასიური მონაცემების შესანახად, რთული ალგორითმების გაშვებისთვის და პროგნოზირების მოდელებისთვის. Edge-Cloud სისტემა ქმნის დინამიურ სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს ანალიტიკას რეალურ დროში, მასიური მონაცემების მართვას, პროგნოზირებადი მოდელების იმპლემენტაციას და გადაწყვეტილების მიღების პროცესის ავტომატიზაციას. ამ მიდგომის ძირითადი უპირატესობები არის მონაცემთა სიჩქარე, სიმულაციები და ინციდენტების სწრაფი მართვა.

Digital Twin ტექნოლოგია, როგორც ურბანული ციფრული მოდელირების ერთ-ერთი ყველაზე მოწინავე სტრატეგია, საშუალებას აძლევს ქალაქებს შექმნან რეალურ დროში განახლებული ვირტუალური ასლები ფიზიკური სისტემებისა, მათ შორის: სატრანსპორტო ქსელების, ენერგეტიკული ქსელების, შენობების, წყალმომარაგების ინფრასტრუქტურისა და ეკოლოგიური სისტემების. Digital Twin-ის სიმულაციური შესაძლებლობები იძლევა წინასწარი სცენარების მოდელირებას - როგორ შეიცვლება სატრანსპორტო ნაკადი ახალი გზის დამატებისას; რა გავლენას მოახდენს ენერგორესურსების გადატვირთვა კონკრეტულ უბნებზე; რა მოცულობის წყალს მოითხოვს მოსახლეობის ზრდა მომდევნო 10 წელიწადში. სწორედ ამიტომ, Digital Twin-ები Smart City-ის გადაწყვეტილების მიღების ერთ-ერთ მთავარ ინსტრუმენტად იქცნენ.

ინოვაციური მიდგომები, როგორიცაა AIoT (Artificial Intelligence of Things), კიდევ უფრო ზრდის ციფრული მართვის ეფექტურობას, რადგან ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია IoT სისტემებში უზრუნველყოფს პროგნოზირებად ანალიტიკას, სისტემების თვითგანვითარებასა და ადაპტირებადობას. AIoT არქიტექტურა არა მხოლოდ ტექნოლოგიური ფუნქციონირების საფუძველია, არამედ ქმნიან სოციალურ, ეკონომიკურ და ადმინისტრაციულ გადაწყვეტილებების გაერთიანებულ სივრცეს.

ეკოლოგიური მდგრადობა სმარტ ქალაქების სტრატეგიის განუყოფელი ნაწილი ხდება. ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენება (IoT, AIoT, Big Data) საშუალებას აძლევს ქალაქებს ოპტიმიზაცია გაუკეთონ ენერგიის მოხმარებას, წყალმომარაგებას, ტრანსპორტის მოძრაობას და ეკოსისტემების მართვას, რაც არა მხოლოდ ზრდის ეფექტურობას, არამედ ხელს უწყობს გარემოსდაცვით მდგრადობას.

უსაფრთხოება და კონფიდენციალობა წარმოადგენს სმარტ ქალაქების ერთ-ერთ მთავარ გამოწვევას. IoT მოწყობილობების მასიური გამოყენება, მონაცემთა სიმდიდრე და კავშირის მოცულობა ზრდის კიბერშეტევებისა და მონაცემთა არალეგიტიმური წვდომის რისკებს. Edge და Digital Twins ტექნოლოგიები უზრუნველყოფენ ნიმელირებული უსაფრთხოების და პროაქტიული მონიტორინგის მექანიზმებს, რაც განაპირობებს რეალურ დროში რეაგირებას და სისტემების მდგრადობას. Edge-centric არქიტექტურა უზრუნველყოფს მონაცემების კონტროლს და დაბალ ლატენციას, რაც აუცილებელია უსაფრთხო, მოქნილი და დროულად რეაგირებადი ქალაქური სისტემისთვის.

ციფრული ტრანსფორმაცია მოითხოვს ინსტიტუციური ჩარჩოს გამართული მენეჯმენტისა და საჯარო-კერძო პარტნიორობის ინტეგრაციას. პოლიტიკა, რომელიც ხელს უწყობს ტექნოლოგიური ინოვაციების დანერგვას უნდა უზრუნველყოფდეს მდგრადობას, ეთიკურ ჩარჩოს და მოქალაქეთა ჩართულობას. ორგანიზაციული და სამართლებრივი სტაბილურობა აუცილებელია იმისთვის რომ სმარტ ქალაქების ტექნოლოგიები ეფექტურად ემსახურებოდეს ურბანულ მართვას, ინფრასტრუქტურულ ოპტიმიზაციას და მდგრად განვითარებას.

საერთო ჯამში, ციფრული ტრანსფორმაციის თეორიული საფუძვლები Smart City-ში ეფუძნება რამდენიმე საყრდენს:

1. **ინტეგრირებული ტექნოლოგიური არქიტექტურა** — IoT, Edge-Cloud, Digital Twin, AIoT.

2. **დამუშავების და ანალიტიკის მდგრადი მექანიზმები** - მონაცემთა შეგროვება, რეალურ დროში ანალიზი, პროგნოზირება.

3. **უსაფრთხოება, კონფიდენციალურობა და ინსტიტუციური მხარდაჭერა** - სამართლებრივი ჩარჩო, სტაბილური მენეჯმენტი, საჯარო-კერძო პარტნიორობა.

4. **ეკოლოგიური და სოციალური მდგრადობა** - ენერგომოხმარების, წყალმომარაგებისა და ეკოსისტემების ოპტიმიზაცია, მოქალაქეთა ჩართულობა.

ამ საფუძვლებით სმარტ ქალაქები გარდაიქმნება არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ ინოვაციად, არამედ სისტემური, ინტეგრირებული ურბანული მართვის მოდელად, რომელიც აერთიანებს ტექნოლოგიურ, სოციალურ, ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ ასპექტებს.

სმარტქალაქები საქართველოში: Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია ურბანულ კონტექსტში

საქართველოს ურბანული სივრცის ციფრული ტრანსფორმაცია უნდა განიხილებოდეს როგორც სტრუქტურულად რთული და მრავალშრიანი პროცესი, რომელიც ერთდროულად მოიცავს ტექნოლოგიურ, ინსტიტუციურ, სოციალურ და ეკონომიკურ გარდაქმნებს. სახელმწიფო პოლიტიკის დოკუმენტები, მათ შორის „საქართველოს ციფრული მმართველობის სტრატეგია 2025–2030“ და მისი 2025–2026 წლების სამოქმედო გეგმა, ცხადყოფს მონაცემებზე დაფუძნებული მმართველობის, ციფრული ინფრასტრუქტურის გაძლიერებისა და საჯარო სერვისების ინტეგრაციის პრიორიტეტულობას. აღნიშნული ჩარჩო ქმნის იმ სტრატეგიულ საფუძველს, რომლის ფარგლებშიც სმარტქალაქების განვითარება აღარ განიხილება როგორც ცალკეული ტექნოლოგიური ექსპერიმენტი, არამედ როგორც ურბანული განვითარების სისტემური მიმართულება. ამ კონტექსტში Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია წარმოადგენს არა იზოლირებულ ტექნიკურ ინიციატივას, არამედ ურბანული მმართველობისა

და სერვისების ორგანიზების ახალი ლოგიკის ჩამოყალიბებას.

საქართველოს ქალაქები, განსაკუთრებით თბილისი, ბათუმი და ქუთაისი, იმ განვითარების ეტაპზე იმყოფებიან, სადაც ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვა აღარ შემოიფარგლება პილოტური პროექტებით და საჭიროებს გრძელვადიან, სტრუქტურულ ხედვას. პოსტ-საბჭოთა ურბანული რეალობისთვის დამახასიათებელი ჰეტეროგენული სივრცითი სტრუქტურა - ცენტრალიზებული ადმინისტრაციული ზონების, არაფორმალური დასახლებებისა და სწრაფად განვითარებადი ახალი ურბანული კლასტერების თანაარსებობა - Urban IoT სისტემებს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას ანიჭებს. ასეთ პირობებში ისინი ფუნქციონირებენ არა მხოლოდ როგორც ტექნოლოგიური გადაწყვეტები, არამედ როგორც სივრცითი კოორდინაციისა და მართვის ინსტრუმენტები, რომლებიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ურბანული პროცესის სინქრონიზაცია და ოპტიმიზაცია.

Urban IoT-ის არსი ქართულ ურბანულ კონტექსტში მჭიდროდ უკავშირდება ფიზიკური ინფრასტრუქტურის ციფრულ გაფართოებას. სენსორული ქსელების, ჰკვიანი მრიცხველების, ვიდეოანალიტიკისა და გარემოს მონიტორინგის სისტემების ინტეგრაცია ქმნის მონაცემთა უწყვეტ ნაკადებს, რომლებიც ასახავს ქალაქის ფუნქციონირების მრავალ განზომილებას — ტრანსპორტს, ენერგომომხმარებას, ჰაერის ხარისხს, მუნიციპალური სერვისების დატვირთვას. ამ მონაცემების სათანადო მმართველობის პირობებში შესაძლებელი ხდება ინტუიციურ მმართველობაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების ჩანაცვლება ანალიტიკურ, მტკიცებულებებზე დამყარებული პოლიტიკით, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ურბანული სისტემების ეფექტიანობას.

საქართველოს შემთხვევაში Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ინსტიტუციურ შესაძლებლობებზე. მუნიციპალური მმართველობის დონეზე კვლავ შეინიშნება ფრაგმენტაცია მონაცემთა მართვის, პასუხისმგებლობების განაწილებისა და ტექნოლოგიური სტანდარტების თვალსაზრისით. სხვადასხვა უწყების მიერ გენერირებული მონაცემები ხშირად არ არის ურთიერთთავსებადი, რაც ზღუდავს მათ ერთიან ანალიტიკურ გამოყენებას. ამ პირობებში Urban IoT შეიძლება იქცეს ინტეგრაციულ პლატფორმად, რომელიც აერთიანებს ტრანსპორტის, ენერგომომარაგების, წყალმომარაგების, ნარჩენების მართვისა და საზოგადოებრივი უსაფრთხოების მონაცემებს ერთიან ურბანულ არქიტექტურაში.

ტექნოლოგიური თვალსაზრისით, საქართველოს ურბანული IoT ეკოსისტემის განვითარება ეფუძნება ჰიბრიდულ Edge-Cloud არქიტექტურებს. Edge კომპიუტინგი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთი სერვისებისთვის, რომლებიც საჭიროებს დაბალ ლატენციას და სწრაფ რეაგირებას, მათ შორის სატრანსპორტო ნაკადების მართვა, საგზაო უსაფრთხოება და კრიტიკული ინფრასტრუქტურის მონიტორინგი. Cloud ინფრასტრუქტურა კი უზრუნველყოფს მასშტაბურ ანალიტიკას, ისტორიული მონაცემების დამუშავებასა და პროგნოზირებად მოდელირებას. ამ ორი შრის სინთეზი ქმნის მოქნილ ტექნოლოგიურ საფუძველს, რომელიც ადაპტირებულია როგორც ადგილობრივი საჭიროებების, ისე გლობალური ციფრული ტენდენციების მიმართ.

Urban IoT სისტემების განვითარების მნიშვნელოვანი კომპონენტია Digital Twin კონცეფცია, რომელიც საქართველოში ჯერ კიდევ საწყის ეტაპზეა. ქალაქის ან მისი კონკრეტული ინფრასტრუქტურული ელემენტების

ვირტუალური ასლები იძლევა შესაძლებლობას წინასწარ შეფასდეს სატრანსპორტო პოლიტიკის ცვლილებების, ურბანული განვითარების პროექტებისა და ენერგოეფექტური ინიციატივების პოტენციური გავლენა. ეს მიდგომა განსაკუთრებით აქტუალურია თბილისში, სადაც ურბანული სიმჭიდროვე, მობილობის პრობლემები და ეკოლოგიური გამოწვევები საჭიროებს გადაწყვეტილებების სცენარიულ მოდელირებას.

ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია Urban IoT სისტემებში (AIoT) კიდევ უფრო აძლიერებს ურბანული მმართველობის ანალიტიკურ პოტენციალს. დიდი მოცულობის ურბანულ მონაცემებზე დაფუძნებული პროგნოზირებადი მოდელები საშუალებას იძლევა არა მხოლოდ არსებული მდგომარეობის აღწერა, არამედ მომავალი ტენდენციების იდენტიფიკაცია, რაც საქართველოსთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ენერგომომხმარებლის ოპტიმიზაციის, სატრანსპორტო დაგეგმვისა და ეკოლოგიური რისკების მართვის კონტექსტში.

მონაცემთა მმართველობა ერთ-ერთ ყველაზე კრიტიკულ გამოწვევად რჩება. მუნიციპალურ დონეზე მონაცემთა საკუთრების, წვდომისა და გამოყენების წესები ჯერ კიდევ არ არის სრულად ინსტიტუციონალიზებული. ერთიანი ურბანული მონაცემთა სივრცის არარსებობა ზრდის ფრაგმენტაციისა და კიბერუსაფრთხოების რისკებს. ამ პირობებში აუცილებელია მკაფიო სამართლებრივი და ეთიკური ჩარჩოს ჩამოყალიბება, რომელიც დაარეგულირებს მონაცემთა გამოყენებას და ხელს შეუწყობს ღია მონაცემთა პოლიტიკის განვითარებას.

უსაფრთხოების განზომილება განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს Urban IoT ეკოსისტემების გაფართოებასთან ერთად. სენსორების, კამერებისა და

ქსელური მოწყობილობების რაოდენობის ზრდა ზრდის კიბერშეტევების პოტენციალს. Edge-ცენტრირებული უსაფრთხოების მოდელები, რომლებიც მონაცემთა პირველადი დამუშავებას ლოკალურად ახორციელებენ, ამცირებენ ცენტრალიზებული სისტემების მიმართ დამოკიდებულებას და ზრდიან ურბანული ინფრასტრუქტურის მდგრადობას, განსაკუთრებით კრიტიკული ობიექტების დაცვის კუთხით.

სოციალურ ჭრილში Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია ქმნის როგორც შესაძლებლობებს, ისე რისკებს. ციფრული პლატფორმები ზრდის მოქალაქეთა ჩართულობის პოტენციალს ურბანული სერვისების შეფასებისა და უკუკავშირის მიწოდების გზით, თუმცა ამავე დროს არსებობს ციფრული უთანასწორობის გაღრმავების საფრთხე. საქართველოს შემთხვევაში Urban IoT პოლიტიკა უნდა ეფუძნებოდეს ინკლუზიურ პრინციპებს, რათა ტექნოლოგიური პროგრესი არ გადაიქცეს სოციალური სეგრეგაციის წყაროდ.

საბოლოოდ, Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია საქართველოში უნდა განიხილებოდეს როგორც გრძელვადიანი სტრატეგიული პროექტი და არა მოკლევადიანი ტექნოლოგიური ინიციატივა. მისი წარმატება დამოკიდებულია ტექნოლოგიური ინფრასტრუქტურის ხარისხზე, ინსტიტუციურ მზაობაზე, სამართლებრივ ჩარჩოებზე და სოციალურ მიღებაზე. ამ მრავალგანზომილებიანი პროცესის ეფექტიანი მართვის შემთხვევაში Urban IoT შეიძლება იქცეს იმ საფუძვლად, რომელიც საქართველოს ქალაქებს გადააქცევს უფრო მდგრად, ეფექტიან და მოქალაქეზე ორიენტირებულ ურბანულ სისტემებად.

დასკვნა

სმარტქალაქებისა და Urban IoT სისტემების განვითარება თანამედროვე ურბანული მმართველობის გარდაუვალ მიმართულებას წარმოადგენს, რომლის მნიშვნელობა სცდება ტექნოლოგიურ ინოვაციას და მოიცავს ინსტიტუციური, სოციალური და ეკონომიკური ტრანსფორმაციის ფართო სპექტრს. IoT-ზე დაფუძნებული ციფრული ეკოსისტემები ქმნის საფუძველს მონაცემებზე ორიენტირებული გადაწყვეტილების მიღებისთვის, რაც ქალაქებს საშუალებას აძლევს, ეფექტიანად მართონ ტრანსპორტი, ენერგეტიკა, გარემო და ურბანული უსაფრთხოება. ამ პროცესში სმარტქალაქი ყალიბდება არა როგორც ტექნოლოგიური პროექტების ერთობლიობა, არამედ როგორც ინტეგრირებული მმართველობის მოდელი, რომელიც ეფუძნება რეალურ დროში მონაცემებს, პროგნოზირებად ანალიტიკას და მოქალაქეთა ჩართულობას.

საქართველოს შემთხვევაში სმარტქალაქების განვითარების პოტენციალი მნიშვნელოვანად არის დაკავშირებული ქვეყნის ციფრული პოლიტიკის ჩარჩოებთან და მუნიციპალური მმართველობის ტრანსფორმაციის პროცესთან. სახელმწიფო სტრატეგიები, მათ შორის „ციფრული საქართველო“ და ციფრული მმართველობის განვითარების დოკუმენტები, უკვე ქმნის ნორმატიულ და ინსტიტუციურ საფუძველს მონაცემთა ინფრასტრუქტურების განვითარებისა და საჯარო სერვისების ციფრული ინტეგრაციისთვის. თუმცა ხშირ შემთხვევაში არსებული ინიციატივები ხშირ შემთხვევაში ფრაგმენტულია და ნაკლებად არის გაერთიანებული ერთიან ურბანულ არქიტექტურაში, რაც ზღუდავს Urban IoT სისტემების სისტემურ ეფექტს.

ურბანულ ტრანსპორტში IoT ტექნოლოგიების გამოყენება საქართველოში ძირითადად ფოკუსირებულია

ოპერატიულ ამოცანებზე, მაშინ როდესაც მათი სტრატეგიული პოტენციალი - ტრანსპორტის, გარემოსა და სივრცითი დაგეგმვის ერთიან სისტემაში ინტეგრაცია — ჯერ კიდევ სრულად არ არის ათვისებული. ანალოგიურად, გარემოსდაცვითი მონიტორინგისა და ენერგეტიკული მართვის მიმართულებით IoT სისტემები ხშირად ფუნქციონირებს როგორც ცალკეული სენსორული ქსელები, რომლებიც ნაკლებად არის დაკავშირებული მუნიციპალური გადაწყვეტილების მიღების პროცესთან. ურბანული უსაფრთხოების სფეროში კი ტექნოლოგიური შესაძლებლობების ზრდასთან ერთად მკვეთრად იკვეთება მონაცემთა დაცვისა და კიბერუსაფრთხოების ინსტიტუციური გაძლიერების აუცილებლობა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, საქართველოსთვის სმარტქალაქების წარმატებული განვითარება დამოკიდებულია არა მხოლოდ ტექნოლოგიების დანერგვის ტემპზე, არამედ იმაზე, თუ რამდენად მოხერხდება Urban IoT სისტემების ინტეგრაცია ერთიან მმართველობით არქიტექტურაში. ციფრული ტრანსფორმაცია ამ კონტექსტში უნდა აღიქმებოდეს როგორც ინსტიტუციური შესაძლებლობების ევოლუცია, სადაც ტექნოლოგიები ემსახურება საჯარო ღირებულების შექმნას, სოციალური მდგრადობის გაძლიერებასა და მოქალაქეთა ცხოვრების ხარისხის გაუმჯობესებას.

ამ ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს რამდენიმე საკვანძო რეკომენდაცია საქართველოსთვის. **პირველ რიგში**, აუცილებელია Urban IoT სისტემების განვითარების ეროვნული ჩარჩოს ფორმირება, რომელიც დააკავშირებს სახელმწიფო ციფრულ სტრატეგიებსა და მუნიციპალურ გეგმებს ერთიან არქიტექტურაში. ეს ჩარჩო უნდა განსაზღვრავდეს მონაცემთა სტანდარტებს, პლატფორმების

ურთიერთთავსებადობასა და პასუხისმგებლობების მკაფიო გადანაწილებას ცენტრალურ და ადგილობრივ დონეებს შორის.

მეორე, საჭიროა მონაცემებზე დაფუძნებული მმართველობის ინსტიტუციური გაძლიერება მუნიციპალურ დონეზე, რაც მოიცავს ადამიანური კაპიტალის განვითარებას, ანალიტიკური კომპეტენციების გაძლიერებას და გადაწყვეტილების მიღების პროცესში რეალურ დროში მონაცემების სისტემურ გამოყენებას.

მესამე, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს კიბერუსაფრთხოებასა და მონაცემთა დაცვას, რადგან ურბანული IoT სისტემების მასშტაბური დანერგვა ზრდის ტექნოლოგიურ და სოციალურ რისკებს. ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანია სამართლებრივი ჩარჩოების მუდმივი განახლება და უსაფრთხოების პრინციპების ჩაშენება სისტემების დიზაინის საწყის ეტაპზევე.

მეოთხე, სმარტქალაქების განვითარება საქართველოში უნდა ეფუძნებოდეს მოქალაქეთა ჩართულობასა და გამჭვირვალობას, რათა ტექნოლოგიური ტრანსფორმაცია არ იქცეს მხოლოდ ადმინისტრაციულ პროცესად, არამედ რეალურად ასახავდეს საზოგადოებრივ საჭიროებებსა და ღირებულებებს.

საბოლოოდ, სმარტქალაქები და Urban IoT სისტემები საქართველოსთვის წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ შესაძლებლობას, არამედ სტრატეგიულ გზას ურბანული განვითარების ახალი მოდელის ჩამოსაყალიბებლად. მათი ეფექტიანი ინტეგრაცია შეუძლია მნიშვნელოვნად გააძლიეროს მუნიციპალური მმართველობა, ხელი შეუწყოს მდგრად განვითარებას და შექმნას ისეთი ურბანული გარემო, რომელიც ადაპტირებულია 21-ე საუკუნის სოციალურ, ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ გამოწვევებთან.

Smart Cities and Digital Transformation: IoT Integration Model in Georgia

Giorgi Kharshiladze, Doctor of Economics
Associate Professor,
Tbilisi Humanitarian University

Abstract

Digital transformation has become one of the core processes shaping modern urban development, redefining governance systems, infrastructure and citizen's quality of life. The Internet of Things (IoT) as a technological ecosystem, connecting physical and digital environment, is a fundamental basis for the effective functioning of smart cities. The Internet of Things (IoT) represents not only a component of technological innovation, but also a driving factor behind the systemic transformation of society, the economy and governance. The article analyzes the essence of digital transformation and the IoT integration model within the Georgian context, outlines the main directions of implementation related to data governance, sensor infrastructure, energy efficiency and the integration of urban services. The study is based on contemporary global approaches and Georgia's strategic framework for digital development, identifies the key priority areas for ensuring the sustainable digital transformation of smart cities.

Key Words: Smart cities, digital transformation, IoT, Urban Innovation, Data Governance, Georgia

ლიტერატურა:

1. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. *Internet of Things for Smart Cities*. IEEE Internet of Things Journal, 2014. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740844>

2. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. *Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions*. Future Generation Computer Systems, 2013.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X13000241?via%3Dihub>
3. Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. *Edge Computing: Vision and Challenges*. IEEE Internet of Things Journal, 2016.
https://cse.buffalo.edu/faculty/tkosar/cse710_spring20/shi-iot16.pdf
4. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems*. Manufacturing Letters, 2015. pp. 57–62.
https://www.researchgate.net/publication/269709304_A_Cyber-Physical_Systems_architecture_for_Industry_40-based_manufacturing_systems
5. Andrea Zanella, Nicola Bui, Angelo Castellani, Lorenzo Vangelista, Michele Zorzi – “Internet of Things for Smart Cities” IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL. 1, NO. 1, FEBRUARY 2014
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6740844>
6. Pierfrancesco B., Paolo N. and Gianni P. - „IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies” international peer-reviewed journal “Applied Sciences” 2022, <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1607>
7. Guoping Rong, Yangchen Xu, Xinxin Tong, and Haojun Fan –“An edge-cloud collaborative computing platform for building AIoT applications efficiently” Journal of “Cloud Computing: Advances, Systems and Applications”; 2021; <https://doi.org/10.1186/s13677-021-00250-w>
8. Saber Talari, Miadreza Shafie-khah, Pierluigi Siano, Vincenzo Loia, Aurelio Tummasetti, Joao P.S. Catelao – “A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept”; Special Issue “Innovative Methods for Smart Grids Planning and Management”, 2017; <https://doi.org/10.3390/en10040421>

9. Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, Lanyu Xu - *Edge computing: Vision and challenges*. IEEE IoT Journal, 3(5), 2016
10. M. Batty, a, K.W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis, and Y. Portugali; “*Smart cities of the future*”. The European Physical Journal Special Topics, Volume 214, (2012)
11. Al-Fuqaha, A., et al. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. IEEE Comm. Surveys & Tutorials, 17(4);
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7123563>
12. ციფრული მმართველობის სააგენტო - “საქართველოს ციფრული მმართველობის 2025-2030 წლების სტრატეგია”
<https://dga.gov.ge/files/sMX1RK8VfZE8.pdf>
13. ხუციშვილი ლ. „გონიერი ქალაქის ელემენტები თბილისში“
<https://psage.tsu.ge/index.php/Politics/article/view/101/pdf>
14. საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო - „საქართველოს 2023-2030 წლების ტრანსპორტის და ლოგისტიკის ეროვნული სტრატეგია”
https://www.economy.ge/uploads/files/2017/transport/2023/strategy/transportisa_da_logistikis_strategia_2023_2030.pdf
15. საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო - “საქართველოს კლიმატის ცვლილების 2030 წლის სტრატეგია”
<https://mepa.gov.ge/en/PublicInformation/32027>
16. საქართველოს თავდაცვის სამინისტრო, კიბერუსაფრთხოების ბიურო - „საქართველოს 2021-2024 წლების კიბერუსაფრთხოების სტრატეგია”
https://mod.gov.ge/uploads/Cyber_Security/%E2%80%99Esqaqartvelos_tavdacvis_saministros_kiberusafirtxoebis_strategia_2021-2024%E2%80%99C.pdf