



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ტრანსპორტის მოდელირება და სიმულაცია სალექციო კურსი

თ. უგულავა
გ. დობორჯგინიძე
რ. თევდორაძე

„ევროკომისიის მხარდაჭერა ამ პუბლიკაციისთვის არ წარმოადგენს შიგთავსის ხარისხის გარანტს და ასახავს მხოლოდ ავტორების შეხედულებებს და კომისია არ შეიძლება იყოს პასუხისმგებელი მასში შემავალი ინფორმაციაზე“.

2020 წელი



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Georgian Technical University

Faculty of Transport and Mechanical Engineering

Transport modeling and simulation

Lecture course

T. Ugulava

C. Doborjginidze

R. Tevdoradze

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

2020

1.	შესავალი	6
1.1.	მოდელების როლი ტრანსპორტის დაგეგმვაში	6
1.2.	მოდელები ტრანსპორტის ანალიზისათვის	8
1.3.	მოდელების გამოყენება სატრანსპორტო კვლევებში	11
1.4.	მოდელების ფუნქცია დაგეგმვის პროცესში	12
1.5.	მოდელების გამოყენება ტრანსპორტის დაგეგმვაში	15
1.5.1.	მომავალი განვითარებების პროგნოზირება	15
1.5.2.	ახალი ინფრასტრუქტურის მოწყობის ან არსებულის განახლების დაგეგმვა. .	15
1.6.	მოდელირების 5 ბიჯიანი პროცესის მიმოხილვა	17
2.	მგზავრობის არჩევისას ქცევის თეორია	20
2.1.	მგზავრობის არჩევანი	20
2.2.	მგზავრობის არჩევისას ქცევის ინდივიდუალური სარგებლიანობის თეორია	22
2.3.	მგზავრობის არჩევანის ზოგადი მოდელი	28
2.4.	ლოგიკური მოდელის წარმოება	30
3.	სატრანსპორტო სისტემის აღწერა: ქსელები და მონაცემები	32
3.1.	პრობლემის გაცნობა	32
3.2.	საკვლევი არეალი	33
3.3.	ქსელის აღწერა	36
3.3.1.	ქსელის სახეობები	36
3.3.2.	ქსელის დეტალიზების დონე	37
3.4.	მგზავრობის რეზისტენტულობა	43
3.5.	უმოკლესი გზის გაანგარიშება	46
3.6.	დანიშნულების რუქა	50
4.	გენერირებული და მიზიდული მგზავრობების მოდელირება	52
4.1.	შესავალი	52
4.2.	მგზავრობათა კლასიფიკაცია	53
4.2.1.	მგზავრობის მიზანი	53
4.2.2.	დღის პერიოდი	54
4.2.3.	პიროვნების სოციალური ჯგუფი	54
4.3.	ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მგზავრობაზე	55
4.3.1.	ინდივიდუალური გენერირებული მგზავრობები	56
4.3.2.	ინდივიდუალური მიზიდული მგზავრობები	57

4.3.3.	სატვირთო გადაზიდვების გენერირებული და მიზიდული ნაკადები.....	58
4.4.	რეგრესული ანალიზის მოდელები.....	58
4.4.1.	ზონალურ მონაცემებზე დაფუძნებული მრავალჯერადი რეგრესული მოდელი	59
4.4.2.	შინამეურნეობაზე დაფუძნებული რეგრესული მოდელი.....	60
4.4.3.	არა-წრფივობის პრობლემა	63
4.4.4.	ზონალური ჯამების გამოთვლა.....	66
4.5.	ჯვარედინი კლასიფიკაციის ან კატეგორიის ანალიზის მოდელი	66
4.5.1.	შინამეურნეობაზე დაფუძნებული კატეგორიის მოდელი.....	67
4.5.2.	მგზავრობის განაკვეთების შეფასება სხვადასხვა კლასის ანალიზით (MCA) ...	71
4.5.3.	ინდივიდუალური კატეგორიის მიდგომა	73
4.6.	დისკრეტული არჩევანის მეთოდები	76
4.7.	მგზავრობათა დაბალანსება.....	79
4.8.	დასკვნა	81
5.	მგზავრობის განაწილების მოდელები.....	83
5.1.	შესავალი	83
5.2.	გრავიტაციის მოდელის დერივაცია	85
5.3.	პირდაპირი მოთხოვნის მოდელი	87
5.4.	ერთჯერადად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი.....	88
5.4.1.	წარმოების შეზღუდვები	88
5.4.2.	დანიშნულების შეზღუდვები.....	90
5.5.	ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი	91
5.6.	განაწილების ფუნქციები.....	94
5.6.1.	მათემატიკური მოთხოვნები	95
5.6.2.	უწყვეტი განაწილების ფუნქციები.....	97
5.6.3.	დისკრეტული განაწილების ფუნქციები.....	98
5.7.	ზრდის ფაქტორის მოდელები	99
5.7.1.	ზრდის ფაქტორების გამოთვლა	102
5.8.	გამოთვლილი რაოდენობები; ქსელის ფუნქციონირება.....	104
5.9.	გამგზავრების დროის არჩევანი	106
6.	მოდალური არჩევანის მოდელები.....	108
6.1.	თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილების მოდალური დაყოფა.....	108
6.1.1.	ზოგადი მოდალობის არჩევანის მოდელი.....	108
6.1.2.	მოდალობის სპეციფიური მუდმივები	109
6.1.3.	დანიშნულება - სპეციფიური მოდალობის არჩევანის მოდელი	110

6.1.4.	მგზავრობის განაწილება: განზოგადებული მგზავრობის ღირებულება	111
6.2.	თანმიმდევრული განაწილების / მოდალური დაყოფის მოდელი	114
7.	მარშრუტის შერჩევა და ნაკადების ქსელში განთავსება	117
7.1.	შესავალი	117
7.1.1.	ნაკადების განთავსების მიზანი	117
7.1.2.	განთავსების გამოთვლისას შესაყვანი და მისაღები მონაცემები.....	118
7.1.3.	განთავსების მოდელთა კლასიფიკაცია.....	119
7.1.4.	აღნიშვნები	122
7.2.	ქსელზე განთავსების ზოგადი პრობლემა.....	123
7.3.	ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსების მეთოდი	125
7.3.1.	„ყველაფერი-ან-არაფერი“ განთავსების მეთოდი, როგორც ოპტიმიზაციის პრობლემა.....	125
7.3.2.	AON განთავსების პრობლემის გადაჭრა	129
7.4.	სტოქასტური განთავსების მეთოდი	130
7.4.1.	სტოქასტური განთავსების მეთოდის მათემატიკური აღწერა	130
7.4.2.	ლოგიტ განთავსების გადაწყვეტა.....	133
7.4.3.	პრობიტ განთავსების გადაწყვეტა.....	134
7.5.	დეტერმინისტული წონასწორობის განთავსების მეთოდი	138
7.5.1.	მომხმარებლის - წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსება	139
7.5.1.1.	UE განთავსების განმარტება.....	139
7.5.1.2.	მომხმარებლის-წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსების მათემატიკური აღწერა	141
7.5.1.3.	ბმულის წარმადობის ფუნქციები.....	143
7.5.1.4.	მომხმარებლის-წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსების პრობლემის გადაჭრა	147
7.5.2.	დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსება.....	152
7.5.2.1.	დეტერმინისტული SO განთავსების განმარტება	152
7.5.2.2.	დეტერმინისტული სისტემის-წონასწორობის მათემატიკური განმარტება	152
7.5.2.3.	დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსების პრობლემის გადაჭრა	153
7.5.2.4.	საცობის ფასები	155
7.5.2.5.	ბმულის წარმადობის ფუნქციების გადასინჯვა: პოლიტიკის მიზნების ოპტიმიზაცია.....	157
7.6.	მომხმარებლის-წონასწორობის სტოქასტური განთავსება	161
7.6.1.	სტოქტიკური მომხმარებლის-წონასწორობის მათემატიკური აღწერა	162

7.6.2.	მომხმარებლის-წონასწორობის სტოქასტური განთავსების პრობლემის გადაჭრა	163
7.7.	მულტი კლასის-მომხმარებელთა ნაკადის განთავსება.....	163
7.8.	საზოგადოებრივ სატრანზიტო ქსელებზე განთავსების მეთოდი.....	165
7.8.1.	შესავალი.....	165
7.8.2.	საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელის წარმოდგენა	169
7.8.3.	საზოგადოებრივი ტრანსპორტის განთავსების მეთოდები	175
7.9.	მგზავრობის მოთხოვნის ელასტიურობა	181
7.10.	ნაკადების განთავსების ზოგიერთი პარადოქსული მაგალითები	184
8.	(OD) წარმოება - დანიშნულების ადგილების მგზავრობათა ცხრილების და განაწილების ფუნქციების შეფასება.....	192
8.1.	მიზანი.....	192
8.2.	მონაცემების სახეობები, რომლებიც გამოიყენება ტრანსპორტის დაგეგმვისას	193
8.3.	მოდელების შეფასება და კალიბრაცია	201
8.4.	პუასონის უტოლობა	205
8.5.	საბაზისო წლის მატრიცის შეფასება ფიქსირებული განაწილების ფუნქციის გამოყენებით	214
8.6.	პარამეტრების შეფასება ექსპონენტაციური განაწილების ფუნქციაში.....	216
8.7.	OD მატრიცების განახლება მგზავრობის დასრულების ჯამებით (ზრდის ფაქტორის მოდელები)	218
8.8.	OD მატრიცის განახლება ნაკადების დათვლებით	219
8.9.	დისკუსია	222

1. Introduction	6
1.1. The role of models in transport planning	6
1.2. Models for Transport Analysis	8
1.3. Use of Models in Transportation Studies	11
1.4. Function of models in the planning process	12
1.5. Using Models in Transport Planning	15
1.5.1. Predicting future developments	15
1.5.2. Arranging new infrastructure or upgrading existing ones	15
1.6. Overview of the 4-step modeling process	17
2. Theory of behavior	20
2.1. Choice of travel	20
2.2. Theory of individual behavior	22
2.3. General model of travel choice	28
2.4. Logit model	30
3. Description of the transport system: networks and data	32
3.1. Identify the problem	32
3.2. Research area	33
3.3. Network Description	36
3.3.1. Network Types	36
3.3.2. Network in details	37
3.4. Travel resistance	43
3.5. Calculation of the shortest path	46
3.6. Maps	50
4. Modeling of Generated and Attracted Trips	52
4.1. Introduction	52
4.2. Classification of trips	53
4.2.1. Purpose of the trip	53
4.2.2. Day period	54
4.2.3. Personality type	55
4.3. Factors influencing travel production	55

4.3.1. Individual Generated Trips	57
4.3.2. Individual Attracted Trips	57
4.3.3. Freight generated and attracted flows	58
4.4. Method of travel factor analysis	59
4.5. Models of Regression Analysis	61
4.5.1. Multiple regression based on zonal data model	61
4.5.2. Household-based regression model	63
4.5.3. The problem of nonlinearity	66
4.5.4. Calculation of zonal sums	69
4.6. Cross-classification or category analysis model	69
4.6.1. Household-based category model	70
4.6.2. Estimating the cost of travel by different classes of analysis (MCA)	74
4.6.3. Individual category approach	77
4.7. Discrete Choice Methods	80
4.8. Balancing trips	82
4.9. Conclusion	84
5. Travel distribution models	86
5.1. Introduction	86
5.2. Gravity Model Derivation	88
5.3. Direct Demand Model	90
5.4. Singly constrained trip distribution model	91
5.4.1. Origin constrained	91
5.4.2. Constrained to destination	93
5.5. Double constrained trip distribution model	94
5.6. Distribution Functions	97
5.6.1. Mathematical requirements	99
5.6.2. Continuous distribution functions	100
5.6.3. Discrete distribution functions	102
5.7. Growth Factor Models	102
5.7.1. Calculating Growth Factors	105

5.8. Network operation	107
5.9. Choice of departure time	109
6. Modal Choice Models	111
6.1. Sequential travel distribution	111
6.1.1. General Mode Choice Model	111
6.1.2. Specific constants of modality	112
6.1.3. Choosing a specific modality	113
6.1.4. Cost of generalized travel	114
6.2. Simultaneous distribution	117
7. Assignment	120
7.1. Introduction	120
7.1.1. Traffic assignment	120
7.1.2. Input and output of the assignment computation.....	121
7.1.3. Classification of assignment models	123
7.1.4. Notes	126
7.2. General problem of networking	127
7.3. All-or-nothing method	128
7.3.1. "All-or-nothing" method as the problem of optimization	128
7.3.2. Solving AON assignment Problem	133
7.4. Stochastic method	134
7.4.1. Mathematical description of the stochastic method	134
7.4.2. Solving logic assignment	136
7.4.3. Solving probit assignment	137
7.5. Deterministic Equilibrium assignment	141
7.6. Stochastic placement of user equilibrium	164
7.7. Multi-User Class traffic assignment	166
7.8. Public transit networks	168
7.8.1. Introduction	168
7.8.2. Presentation of Public Transport Network	172
7.8.3. Methods of public transport assignment	178
7.9. Elasticity of travel demand	184

7.10. Some paradoxical examples of traffic assignment	187
8. (OD) Original - Destination matrix and evaluation of distribution functions	195
8.1. Purpose	195
8.2. Types of data used in transport planning	196
8.3. Model evaluation and calibration	204
8.4. Poisson estimator	208
8.5. Estimation of the base year matrix for a fixed distribution function	217
8.6. Evaluation of parameters in the exponential distribution function	219
8.7. Update OD matrices by sums of trip ends (Growth Factor models)	221
8.8. Update OD Matrix by Flow Countings	222
8.9. Discussion	225

1. Introduction

Transportation of passengers and / or goods from one place to another is carried out using different type of transportation such as ship, train, car, bicycle, etc. The need to move leads to the movement of the various transports listed above. Vehicles, related infrastructure and services (railways, stations, roads, parking lots, bicycle lanes, with appropriate control devices (eg, traffic lights, road signs, etc.)), which are organized in an interconnected manner, form a transport system.

Transportation science studies the characteristics of this system and its various subsystems. These characteristics are related to the design, maintenance, and operation of the system and its components.

Quality services and high productivity of the transport system constantly require the search for different solutions and their implementation. To make a quality decision requires a thorough study of the expected results of the proposed solutions. The time interval during which this knowledge is planned to be used also plays an important role.

There are also situations where infrastructure planning affects the type of survey information. Expanding the road network in densely populated areas is a very difficult task; Therefore, we have to look for solutions offered by alternative transport.

For accurate forecasts, it is sufficient to consider the factors that will affect the future transportation system (e.g. revenue, gasoline prices, demographic composition, etc.) By the way, such forecasts can be obtained by analyzing historical data. Based on such studies over the last 30 years, a huge scientific knowledge base has been created, which is summarized in transport theories and functions in mathematical models. These theories and their models are constantly being refined and tested. This requires observations where model parameters are evaluated and tested using statistical evaluation procedures.

Models can be used as an analytical tool for analysis to detect the impact of changes in the system or its environment, or as a design (software) tool that considers the optimal system parameters for maximum results. This course focuses on analytical models that can predict the impact of system changes (e.g. new roads) (e.g. traffic jams).

2. Theory of behavior

Trip making is the result of individual choice behavior. An individual person decides, leave home to do an activity or not, how to travel to that destination, etc. The same applies for a firm that wants to ship goods. In this chapter travel behavior is discussed and connection with economical model underlined. Due to this logic, transport system modeling is discussed in next chapters and 4 step modeling distributed.

3.= Networks and data

Next transport system network and related data discussed and presented in details. Definition of study area, zoning processes and creating the network is the first part in this chapter. After comes the travel resistance and shortest path calculation and main information related to these processes.

4.= Trip generation

In this chapter the first step (trip generation) of 4 step modeling discussed and related processes such are: regression models, cross classification and discrete choice are presented. Classification of trips, factors effecting the trip generation, attraction and production included in the chapter as well.

5.= Trip distribution

Next step (trip distribution) in 4 step modeling and related models: gravity, direct demand, distribution functions and some other models are presented in this chapter. Mathematical example are illustrated as well and singly and double constrains of gravity model discussed.

6.= Mode choice

In this chapter the mode choice discussed and different types presented. Sequential trip distribution modal split and simultaneous distribution/modal split models evaluated in details and illustrated. After the chapter we can identify the flows between the zones for each modal split.

7.= Traffic assignment

In this final chapter different type of traffic assignment discussed and presented. All or nothing, stochastic, deterministic and stochastic equilibrium assignment methods in details are evaluated and general examples shown. After these chapters student finally can built the macro model from the scratch.

This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

The authors gratefully acknowledges colleagues from each institution participating in SmaLog with whom almost all topics covered in this report were discussed over the Project development. The authors wishes to thank the editors and reviewers for their suggestions which were most useful in revising the report.

The activity leading to these results has received funding from the European Community's Erasmus +, under grant agreement 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP.

Supervision: Prof. Antonio Comi, University of Rome Tor Vergata

1. შესავალი

1.1. მოდელის როლი ტრანსპორტის დაგეგმვაში

მგზავრების და/ან საქონლის ტრანსპორტირება ერთი ადგილიდან მეორეში ხორციელდება ისეთი სატრანსპორტო საშუალებების გამოყენებით, როგორცაა მაგალითად გემი, მატარებელი, მანქანა, ველოსიპედი და ა.შ. გადაადგილების საჭიროება იწვევს ზემოთ ჩამოთვლილი სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობაში მოყვანას. სატრანსპორტო საშუალებები, მასთან დაკავშირებული ინფრასტრუქტურა და სერვისები (სარკინიგზო მაგისტრალები, სადგურები, გზები, ავტოსადგომები, ველოსიპედის სავალი ნაწილები, შესაბამისი საკონტროლო მოწყობილობებით (მაგ., შუქნიშნები, საგზაო ნიშნები) და სხვა), რომლებიც ორგანიზებულად არიან დაკავშირებული ერთმანეთთან, ქმნიან **სატრანსპორტო სისტემას**.

სატრანსპორტო მეცნიერება იკვლევს ამ სისტემის და მისი სხვადასხვა ქვე-სისტემების მახასიათებლებს. ეს მახასიათებლები დაკავშირებულია სისტემის და მისი ელემენტების დიზაინთან, მეიტნენსთან და ოპერირებასთან.

სატრანსპორტო სისტემის ხარისხიანი მომსახურებები და მაღალი პროდუქტიულობა პერმანენტულად მოითხოვს სხვადასხვა გადაწყვეტილებების მიღებას და მათ რეალიზაციას. ხარისხიანი გადაწყვეტილების მისაღებად საჭიროა შემოთავაზებული გადაწყვეტილებების მოსალოდნელი შედეგების საფუძვლიანი შესწავლა. ასევე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დროის შუალედი, რომელის განმავლობაშიც იგეგმება ამ ცოდნის გამოყენება.

საინჟინრო სტრუქტურებს, მათ საბოლოო რეალიზებამდე ხანგლივი პერიოდი სჭირდებათ (ხშირად ათწლეულზე მეტი). შესაბამისად, მათ აქვთ მოქმედების ხანგძლივი ვადა, რაც გულისხმობს მათ გამოყენებას ხანგძლივი პერიოდის განმავლობაში. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ხაზის მარშრუტიზაციის მეთოდი გავლენას ახდენს მის მომავალ დატვირთვაზე; მარშრუტში ცვლილებამ შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს მის დატვირთვაზე. იმისათვის, რომ მინიმუმამდე დავიყვანოთ ქსელში ცვლილებები, საჭიროა გვექონდეს ინფორმაცია მისი პოტენციური მომხმარებლის შესახებ, მომავალი 5 წლის ჭრილში.

ავტომატური შუქნიშნის მიერ გზების კვეთის კონტროლი, გარკვეულ შემთხვევებში, საჭიროებს ინფორმაციას მანქანების მოცდენის და დაძვრის შესახებ. აგრეთვე არსებობს სიტუაციები, როდესაც ინფრასტრუქტურის დაგეგმვა მოქმედებს საკვლევ ინფორმაციის სახეობაზე. მჭიდროდ დასახლებულ ადგილებში საგზაო ქსელის გაფართოება ძალზედ რთული ამოცანაა; გამომდინარე აქედან უნდა ვეძიოთ ალტერნატიული ტრანსპორტის მიერ შემოთავაზებული გადაწყვეტილებები. ეს

გადაწყვეტილება განსხვავებული იქნება მეჩხერად დასახლებული რეგიონებისთვის, სადაც გზის მშენებლობის ეკოლოგიური ზემოქმედების შესახებ ცოდნას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს.

გონივრული გადაწყვეტილებების მისაღებად, აუცილებელია ფაქტობრივი ცოდნა მიმდინარე სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის გამოყენების და ზემოქმედების შესახებ. ამასთანავე, აუცილებელია პროგნოზები სამომავლო გამოყენებისა და ზემოქმედების შესახებ, რადგან ეს შეიძლება გამოწვეული იყოს ავტონომიური განვითარებებით ან პოლიტიკის შემუშავებით, მაგალითად, სატრანსპორტო სისტემაში განხორციელებული ცვლილებებით (ტრანსპორტის ტარიფები, ხაზის მარშრუტი, ახალი ინფრასტრუქტურა, სატრანსპორტო მომსახურების ხარისხი და ა.შ.).

სწორი პროგნოზებისთვის, საკმარისია გავითვალისწინოთ ის ფაქტორები, რომლებიც გავლენას მოახდენენ მომავალ სატრანსპორტო სისტემაზე (მაგალითად, შემოსავალი, ბენზინის ფასები, დემოგრაფიული შემადგენლობა და ა.შ.) სხვათა შორის ამგვარი პროგნოზები შეიძლება მივიღოთ ისტორიული მონაცემების ანალიზით. ბოლო 30 წლის განმავლობაში ჩატარებული ამგვარი კვლევების საფუძველზე შეიქმნა სამეცნიერო ცოდნის უზარმაზარი ბაზა, რომელიც შეჯამებულია სატრანსპორტო თეორიებში და ფუნქციონირებს მათემატიკურ მოდელებში. ეს თეორიები და მისი მოდელები მუდმივად იხვეწება და ხდება მათი ტესტირება. ამისათვის აუცილებელია დაკვირვებები, სადაც მოდელების პარამეტრების შეფასება და ტესტირება ხდება სტატისტიკური შეფასების პროცედურების გამოყენებით. არსებული ან სამომავლო მდგომარეობა შეიძლება გამოთვლილ იქნას ამ მოდელების გამოყენებით.

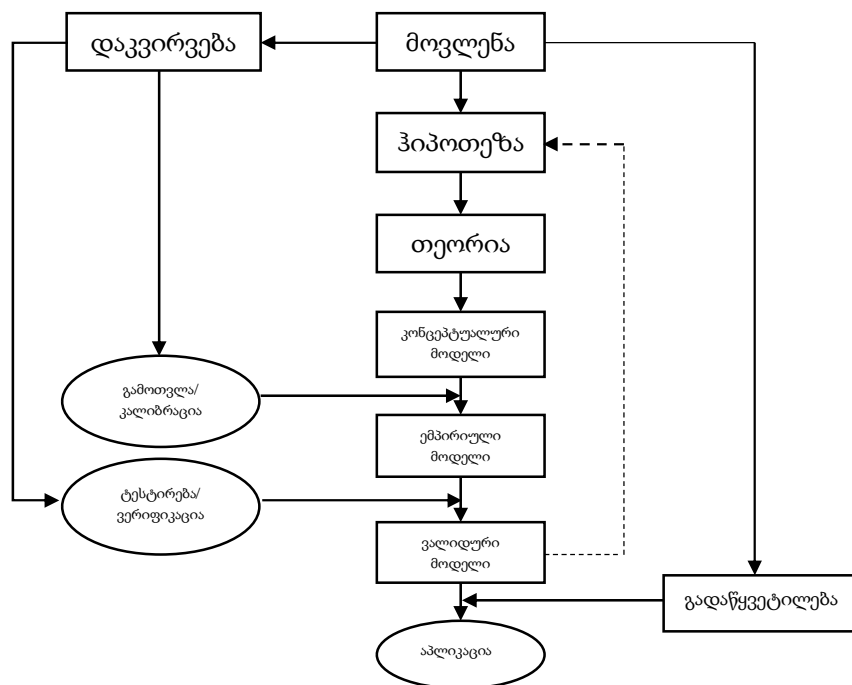
მოდელები შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც ანალიტიკური ინსტრუმენტი "რა-თუ" ანალიზისთვის, რათა გამოვლინდეს სისტემაში ან მის გარემოში განხორციელებული ცვლილებების ზეგავლენა, ან როგორც დიზაინის (პროგრამული) ინსტრუმენტი, რომელიც მაქსიმალური შედეგების მისაღწევად თვლის სისტემის ოპტიმალურ პარამეტრებს. ამ კურსში ყურადღება გამახვილებულია ანალიტიკურ მოდელებზე, რომლებსაც შეუძლიათ წინასწარ განსაზღვრონ სისტემის ცვლილებების (მაგ. ახალი გზები) ზემოქმედება (მაგ. საცობის დონე).

1.2. მოდელები ტრანსპორტის ანალიზისათვის

მოდელები რეალობის გამარტივებული წარმოდგენაა. მათი ფუნქციაა წარმოადგინონ რეალურ სამყაროში არსებული რთული ურთიერთდამოკიდებულებები და შექმნან დასკვნების გაკეთების საშუალება, თუ რა შედეგი მოჰყვება (სავარაუდოდ), თუ მოხდა ან მოხდება ცვლილებები ამ (რეალობის) ნაწილში. ტრანსპორტის დაგეგმვის მოდელები წარმოადგენენ აბსტრაქტულ მათემატიკურ მოდელებს, რომლებსაც აქვთ მათემატიკური განტოლების ფორმა, სადაც Y დამოკიდებული ცვლადის ქცევა (მაგ. ყოველდღიურად მატარებლით გადაადგილებულ მგზავრთა რაოდენობა) შეიძლება მიღებული იყოს ერთი ან რამოდენიმე X დამოუკიდებელი ცვლადისაგან (მაგ. მანქანის მფლობელობა, მატარებლის ბილეთების ღირებულება და ა.შ.) და მასთან დაკავშირებული a პარამეტრებისაგან.

$$Y = f(a, X) \tag{1.1}$$

პარამეტრები აღწერენ Y ცვლადის დამოკიდებულებას X ცვლადის ერთეულის ცვლილებაზე. განვასხვავებთ ე. წ. ანალიტიკურ მოდელებს და დიზაინის ან პროგრამირების მოდელებს.



ფიგურა 1.1: მოდელის ჩამოყალიბების პროცესი

ანალიტიკური მოდელების ძირითად დანიშნულებას სატრანსპორტო სისტემების ანალიზში წარმოადგენს „რა - თუ“ გათვლების წარმოება. ეს ნიშნავს სატრანსპორტო სისტემაში მოსალოდნელი ზემოქმედების ეფექტების გაანგარიშებას, თუ სისტემაში ცვლილებები (ადმინისტრაციული ზომები ან ინტერვენციები) იქნა გატარებული (მაგ. მატარებლით მგზავრობის გაძვირება) ან ადგილი ქონდა ავტონომიურ ცვლილებებს (მაგ. მოსახლეობის პოპულაციის კლება). ასეთი აპლიკაციებისთვის აუცილებელია ვალიდური მოდელი, რაც ნიშნავს იმას, რომ ემპირიული დაკვირვებით წარმოდგენილი მოდელი, საკმაოდ ზუსტად ასახავს სამოდულო სისტემის პარამეტრებს.

ფიგურა 1.1 ასახავს ვალიდური მოდელის ჩამოყალიბების პროცესს, რომელიც მზადაა პრობლემის გადასაჭრელად.

დაკვირვებების და ანალიზის საფუძველზე, მათემატიკურ მოდელში წარმოდგენილი კონკრეტული ანალიზის შესასრულებლად, ყალიბდებიან ჰიპოთეზები გარემოში რეალობის მახასიათებლების შესახებ. ურთიერთდაკავშირებულ და კარგად განსაზღვრულ ჰიპოთეზების სტრუქტურულ სიმრავლეს ვუწოდებთ თეორიას. ამგვარი თეორიის რაოდენობრივ მოდელში წარმოდგენა, რაოდენობრივი ცვლადითა და შესაბამისი პარამეტრებით, წარმოადგენს კონცეპტუალურ მოდელს. ეს მოდელი ჯერ კიდევ აბსტრაქტულია, მისი პარამეტრები, რომლებიც ახასიათებს სისტემას, ჯერჯერობით ციფრულად არ არის წარმოდგენილი. ასეთი კონცეპტუალური მოდელის შესაძლო ფუნქციური ფორმა წრფივი მოდელია (1.2):

$$Y = aX_1 + bX_2 + a.შ. \quad (1.2)$$

(1.2) -ში Y არის უცნობი ე.წ. დამოკიდებული ანუ განსასაზღვრი ცვლადი, ხოლო X_i ცნობილი დამოუკიდებელი ანუ განსაზღვრული ცვლადი. a და b უცნობი პარამეტრები შეიძლება განისაზღვროს კალიბრაციით ან შეფასებით, ამ ფენომენის შესახებ დაკვირვებათა სერიის გამოყენებით (ამ შემთხვევაში, Y , X_1 და X_2 -ზე დაკვირვება). მისი შედეგია ემპირიული მოდელი, რომელიც მეტ-ნაკლებად ემსგავსება იმ რეალობას, რაც ხდება სინამდვილეში. მაგალითად:

$$Y = 0.72 X_1 + 3.25 X_2 \quad (1.3)$$

თუ დადასტურდა, რომ ემპირიული მოდელი შეძლებს დამოკიდებული Y ცვლადის შესახებ პროგნოზირების გაკეთებას (სხვა მონაცემების გამოყენებით, გარდა იმ მონაცემებისა რომლებიდანაც იქნა მიღებული ემპირიული მოდელი), მაშინ მას ვუწოდებთ ვალიდურ მოდელს.

პრაქტიკაში ვალიდური მოდელის მისაღებად გამოყენებული პროცესი ხშირად განსხვავებულია 1.2 ფიგურაში მოცემული მარტივი წრფივი პროცესისაგან. ეს უფრო მეტად საცდელ და შეცდომების გასწორების პროცესს წარმოადგენს, მჭიდროდ დაკავშირებულს წინა ბიჯებთან, რომლებშიც საწყისი იდეები და ვარაუდები ადაპტირებულია მოდელის შედეგებსა და არსებულ რეალობას შორის განსხვავებათა გათვალისწინებით.

ანალიტიკური მოდელების ტიპური მაგალითები მოცემულია მე -4 და მე -6 თავებში.

ტრანსპორტის დაგეგმვაში გამოყენებული მოდელების მეორე კატეგორიას წარმოადგენს ე.წ. დიზაინის ან პროგრამირების მოდელები. მათი მიზანია აღმოაჩინონ X ცვლადის მნიშვნელობათა ის სიმრავლე, რომელიც იძლევა მოდელირებული სისტემის ოპერირების ოპტიმალურ შედეგს და იზომება Y ცვლადით. უმეტეს შემთხვევაში X - ისთვის შესაძლო მნიშვნელობები შეზღუდულია გარკვეულ დიაპაზონში, სხვადასხვა სახის გვერდითი შეზღუდვების გამო.

შესაბამისად, დიზაინის/პროგრამირების მოდელი მოიცავს Y ფუნქციისა და X ცვლადის მნიშვნელობათა სიმრავლეს:

$$Y = f(a, X), \text{ ფუნქციის მაქსიმიზაცია} \tag{1.4}$$

$$g(b, X) > 0, \text{ შეზღუდვით}$$

მაგალითი 1: იპოვეთ X_i მატარებლის ბილეთების ღირებულებები სხვადასხვა i კლასის მომხმარებელთათვის ისე რომ, მატარებლის Y დატვირვა იყოს მაქსიმალური. მაგალითი 2: მოცემულ ქსელში და მოცემულ წარმოებისა და დანიშნულების ადგილებს შორის არსებული მარშრუტების ნაკადთა სქემაში, დაადგინეთ X_i დატვირთვები ყოველ i ლინკზე, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს Y მგზავრობის დრო ქსელში, რომელშიც ყველა X დადებითია და აკმაყოფილებს კვანძებზე ნაკადის თანაბარ გადინებას. მაგალითი 3: მოიძიეთ შესაძლებელი X_i გაფართოება საგზაო ქსელის ყველა ლინკზე, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს საგზაო ქსელზე საცობები და ექვემდებარება საგზაო მშენებლობის ბიუჯეტის შეზღუდვას. ამ კურსში დიზაინის/პროგრამირების მოდელები გამოიყენება მე -7 თავში ქსელის ანალიზისათვის.

1.3. მოდელების გამოყენება სატრანსპორტო კვლევებში

მოდელები გამოიყენება სატრანსპორტო სისტემების დიზაინის, კონტროლისა და ოპერირების მხრივ შესაძლო ცვლილებების პროგნოზირებისათვის. მგზავრობის, ტრანსპორტისა და ტრაფიკის სამომავლო ცვლილებები შეიძლება იყოს ავტონომიური მოვლენების შედეგი, შეიძლება გამოწვეული იყოს ეკონომიკური, სოციალური ან სივრცითი პოლიტიკის გატარებით, ან შეიძლება მოჰყვეს სატრანსპორტო ან საგზაო მოძრაობის ღონისძიებებს.

- ავტონომიური მოვლენები დემოგრაფიული ცვლილებების შედეგია (მაგ. მიგრაცია), გაზრდილი ავტომობილების მფლობელობა, შემოსავალში ცვლილებები, საერთაშორისო ეკონომიკური ცვლილებები (მაგ., ნავთობის ფასი). როგორც წესი, ამ მოვლენებზე ნაკლებად შეიძლება იქონიოს გავლენა ტრანსპორტის დაგეგმვამ.

- ტიპური ეკონომიკური პოლიტიკისთვის (მაგ. ბენზინის გადასახადები), სოციალური პოლიტიკისთვის (მაგ. სამუშაო დრო, სამუშაო ძალის მონაწილეობა) და სივრცითი პოლიტიკისთვის (მაგ. სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწების გამოყენების შემცირება) არის ის მიდგომები, რომლებმაც შეიძლება გავლენა იქონიონ ტრანსპორტზე.

- სატრანსპორტო პოლიტიკა ეხება ტრანსპორტის სფეროს პროფესიონალების მიერ შემუშავებულ გეგმებს, რომლებიც უშუალოდ განიხილავენ სატრანსპორტო სისტემაში ცვლილებებს (საგზაო ან სარკინიგზო, საზოგადოებრივი ან პირადი, მანქანა ან ველოსიპედი და ა.შ.).

- საგზაო მოძრაობის ღონისძიებები ეხება საგზაო მოძრაობის სისტემის მუშაობაში ცვლილებებს, როგორცაა შუქნიშანი, პარკინგი, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მომსახურება და ა.შ. ამ დონეზე გადაწყვეტილებები ძირითადად ტექნიკური ხასიათისაა.

მოდელები ასევე გამოიყენება პოტენციური ზომების გამოსავლენად, რომლებმაც შეიძლება გავლენა იქონიონ სატრანსპორტო სისტემაზე, ზომების ეფექტურობის ანალიზისა და ამგვარი ზომების გვერდითი ეფექტების გამოსავლენად.

გარდა ამისა, სატრანსპორტო მოდელებს იყენებენ სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის, სატრანსპორტო საშუალებებისა და მომსახურების მოსაწყობად, როგორცაა გზის გამტარუნარიანობა, ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია, ეკოლოგიასთან მეგობრული საგზაო განლაგების დიზაინი, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელებში მარშრუტების და სერვისების გაუმჯობესება, კვანძებზე საგზაო მოძრაობის კონტროლის მიზნით შუქნიშნების დაპროექტება და ა.შ.

1.4. მოდელების ფუნქცია დაგეგმვის პროცესში

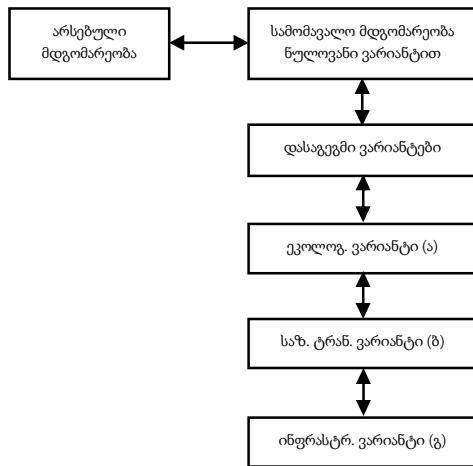
მოდელები სატრანსპორტო სისტემების ანალიზის პროცესში, რამდენიმე მიზანს ემსახურება. მათი დანიშნულებაა უფრო სტრუქტურული ფორმით წარმოადგინონ რთული ურთიერთდამოკიდებულებები. მოდელის მათემატიკური განტოლებებით წარმოდგენა საშუალებას იძლევა გავარკვიოთ, თუ რომელი ფაქტორები თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს და რამდენად მგრძნობიარეა დამოკიდებული ცვლადი დამოუკიდებელი ცვლადის ცვლილებების მიმართ.

მოდელების კიდევ ერთ მნიშვნელოვან ფუნქციას წარმოადგენს, შემოთავაზებული გეგმის მოსალოდნელი ცვლილებების ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასება: პროგნოზირების ფუნქცია (იხ. ფიგურა 1.2). ტრანსპორტის დაგეგმვის პროცესში ალტერნატიული გეგმები გამოიყენება არსებული ან მოსალოდნელი პრობლემების გადასაჭრელად. ამ გეგმების ეფექტურობა შეიძლება შეფასდეს იმის მიხედვით, თუ რამდენად შეესაბამებიან ისინი ადრე დადგენილი შეფასების კრიტერიუმებს.

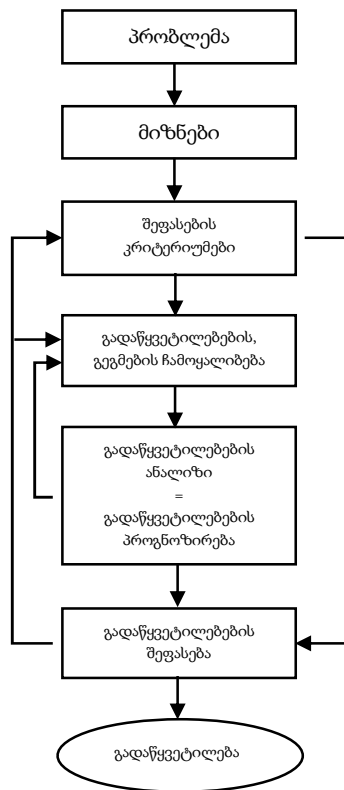
პრობლემების უმეტესობის და მასთან დაკავშირებული შემოთავაზებული გადაწყვეტილებების სირთულის გამო, მხოლოდ მოდელებს შეუძლიათ ზემოქმედების შეფასება, რაც გამოწვეულია თითოეული ამ გადაწყვეტილების გატარებით. ტრანსპორტის დაგეგმვის პროცესში გვხვდება ზემოქმედების შემდეგი მაგალითები: საგზაო დატვირთვები, მგზავრობის დრო, მოდალური ცვლები, საცობის დონე და ა.შ.

ტრანსპორტის დაგეგმვის პროცესში, სწორი გადაწყვეტილების მისაღებად, გამოცდილი პრაქტიკაა რიგი შემთხვევების მოდელირება და ანალიზი (იხ. ფიგურა 1.3). შესაბამისი ვარიანტების გარდა, ეს პროცესი მოიცავს აგრეთვე უმოქმედობის ვარიანტს (წულოვანი ბაზა) და არსებულ ვითარებას. დღესდღეობით, საგზაო ინფრასტრუქტურის დაგეგმვისას (ისეთი საკითხების გადასაჭრელად, როგორცაა მაგალითად საცობები), საუკეთესო პრაქტიკად ითვლება მინიმუმ სამი ვარიანტის დამუშავება და ანალიზი:

- ეკოლოგიური ვარიანტი: ეს არის გეგმა, რომელიც ითვალისწინებს პრობლემის მოგვარებას გარემოზე მინიმალური ზემოქმედებით;
- საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ვარიანტი: ეს გეგმა მოიაზრებს პრობლემის მოგვარებას საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მომსახურების მაქსიმალურად გაუმჯობესებით;
- სამშენებლო ვარიანტი: ეს გეგმა კი მოიაზრებს პრობლემის მოგვარებას ახალი მშენებლობებით.



ფიგურა 1.2: სატრანსპორტო გეგმების შეფასება სხვადასხვა შემთხვევების გამოყენებით

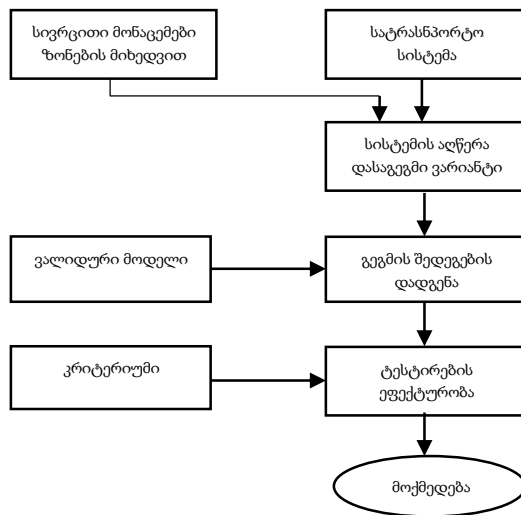


ფიგურა 1.3: დაგეგმვის პროცესი

იმისათვის, რომ შევძლოთ შევაფასოთ ვარიანტების ეფექტურობა, საჭიროა ამ გეგმების ზემოქმედების შედარება ნულოვანი ვარიანტის ზემოქმედებასთან და არსებულ მდგომარეობასთან. ამ შემთხვევაში, მოდელის გამოთვლა აუცილებელია

ზემოქმედების შესაფასებლად და შესადარებლად, შემდეგი მაჩვენებლებისათვის (დატვირთულობა, მგზავრობის დრო და ა.შ.).

დაახლოებით, ასეთი გამოთვლების ალგორითმი მოცემულია 1.4 ფიგურაში. თითოეული ვარიანტისთვის დადგენილია სისტემის რაოდენობრივი აღწერა. ეს აღწერა სინამდვილეში იძლევა მნიშვნელობებს მათემატიკური მოდელის X დამოუკიდებელი ცვლადისათვის. ძირითადად, გვხვდება ცვლადის ორი სახეობა. ეს არის ის ცვლადები, რომლებიც აღწერენ სატრანსპორტო სისტემებს (ქსელებს კვანძებითა და ბმულებით, მათი გამტარუნარიანობით, სიჩქარით და ა.შ.) და ცვლადები, რომელიც აღწერენ წარმოქმნილი მობილობის სივრცით განაწილებას (მოსახლეობა, დასაქმება, საცალო ვაჭრობისთვის სივრცე და ა.შ. თითოეულ ზონაში).



ფიგურა 1.4: ანალიზის ჩამოყალიბების პროცესი

1. არსებული ვითარების აღწერა
მიმდინარე პირობების შეფასება
2. ახალი სიტუაციის აღწერა
მოდელის ფუნქციების ადაპტირება (პარამეტრების მნიშვნელობები)
დამოუკიდებელი ცვლადის მნიშვნელობათა ადაპტირება
ახალი პირობების შეფასება
3. ახალი და ძველი ვითარებათა შედარება
პირობებში ცვლილებების შეფასება

ფიგურა 1.5: პროგნოზირების პროცესი

1.5. მოდელის გამოყენება ტრანსპორტის დაგეგმვაში

წარმოგიდგინებ შემთხვევების მოკლე მიმოხილვას, სადაც შეიძლება იქნას გამოყენებული მოდელირება.

1.5.1. მომავალი განვითარებების პროგნოზირება

უახლოეს ათწლეულებში, საკუთარი და სატვირთო მანქანების ზრდის ტემპები და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის სარგებლობის კუთხით ცვლილებები კვლავ მნიშვნელოვან საკითხებად რჩება. რამდენიმე მიზეზის გამო, ჩვენ უნდა ვიცოდეთ, გაგრძელდება თუ არა მანქანების გამოყენების ზრდის ტენდენცია მომავალში. არსებობს მთელი რიგი საკითხები, რომლებიც მოითხოვენ კრიტიკულ ანალიზს და თანამედროვე შეხედულებებს ნაკადების პროგნოზირების კუთხით. ერთის მხრივ, ჩვენ ვხედავთ ენერგეტიკაში ფასების ზრდას, მაგრამ ასევე შეინიშნება შემოსავლების ზრდაც. ამასთან, თავისუფალი დრო იზრდება. მცირეწლოვან ბავშვიანთა შინამეურვეობების რაოდენობა მცირდება, რაც მათ დედებს მეტ შესაძლებლობას აძლევს მონაწილეობა მიიღონ საზოგადოებრივ საქმიანობაში. იზრდება ერთ კაციანი ოჯახების რაოდენობა, რაც იწვევს ავტომობილების უფრო მეტ გამოყენებას. ნახევარ განაკვეთზე დასაქმებაც, ხელს უწყობს მობილობის ზრდას. საცხოვრებლისა და სამუშაოების დეცენტრალიზაცია იზრდება, რაც იწვევს მგზავრობის დისტანციების ზრდას და შესაბამისად ავტომობილების მეტ გამოყენებას. ტექნოლოგიური ინოვაციები მიმართულია ენერჯის მაქსიმალურად დაბალი გამოყენებისაკენ. განვითარებულია ეკოლოგიურად სუფთა და საწვავის ეფექტური ხარჯვის ძრავების ტექნოლოგიები და მანქანები უფრო მსუბუქია პლასტიკისა და სხვა მსუბუქი მასალების გამოყენების წყალობით. ჩვენი პროგნოზირების მოდელს უნდა შეეძლოს შეაფასონ ამგვარი მოვლენების სავარაუდო გავლენა არსებულ ვითარებაზე. მგზავრობათა სივრცითი განაწილების, მოდალობის და პიკური პერიოდების ცოდნა მნიშვნელოვანია ხარისხიანი გადაწყვეტილების მისაღებად. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმის გარკვევას, თუ რამდენად შეიცვლება ვითარება დაგეგმილი ცვლილებების შემდგომ პიკის საათებში.

1.5.2. ახალი ინფრასტრუქტურის მოწყობის ან არსებულის განახლების დაგეგმვა.

სივრცითი დაგეგმვის გავლენა საცხოვრებლის, სამუშაო და დასასვენებელი ადგილების გეოგრაფიული მდებარეობა გავლენას ახდენს სატრანსპორტო ნაკადებზე. ანალიტიკოსები ვალდებულნი არიან განსაზღვრონ სივრცითი დაგეგმვის სავარაუდო შედეგები. ეს ეხება მაგ. ახალ ან გაფართოებულ საცხოვრებელ ტერიტორიებს ან ახალ ბიზნესში ან ინდუსტრიულ ზონებში დასაქმების დონის ცვლილებებს. ამასთან, სივრცითი მოვლენები, თავის მხრივ დამოკიდებულია სატრანსპორტო სისტემის ხარისხზე. შემუშავებულია მოდელის, რომლებიც შეიძლება მიუთითებდეს ტრანსპორტის

დაგეგმარების მოქმედებებზე სივრცითი ცვლილებებისთვის. ასეთი მოდელები მნიშვნელოვანია შემდეგი გამოთვლებისთვის:

- სატრანსპორტო ნაკადები, რომლებიც თანხვედრაშია მოსახლეობის პოპულაციასა და დასაქმების პროგნოზებთან;
- საავტომობილო გზების ქსელში არსებული პრობლემური არეალის გავლენა სივრცით მოწყობაზე;
- საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ძლიერი პოლიტიკის შესაძლო ნეგატიური გავლენა დიდი ქალაქების დეურბანიზაციის პროცესში.

საგზაო და სარკინიგზო ქსელის გაუმჯობესება

არსებული გზების გაფართოება, ახალი გზების და სარკინიგზო მაგისტრალების მოწყობა იწვევს დიდ ფინანსურ დანახარჯებს, ხმაურს, გარემოზე ზემოქმედებას და ა.შ. თანდათანობით, ხელმისაწვდომი სივრცე უფრო და უფრო კლებულობს და იზრდება გზების და რკინიგზის მიერ დაკავებული სივრცეები. ეს მოითხოვს უფრო მეტ ყურადღებას ეკოლოგიური საკითხების მიმართ. ინფრასტრუქტურა უნდა მოეწყოს ისეთი სახით, რომ გარემოზე ზემოქმედება იყოს მინიმალური.

ხელმისაწვდომია მოდელები, რომლებიც ხელს უწყობენ ინფრასტრუქტურული ქსელების და მარშრუტების ოპტიმიზაციას. ახალი ინფრასტრუქტურის მოწყობის გადაწყვეტილების მისაღებად საჭიროა დამატებითი არგუმენტების მოყვანა, რაც მოითხოვს ზუსტი და ვალიდური პროგნოზირების მოდელებს.

არსებული მოცულობების უკეთესი გამოყენება

ამჟამად გზების არსებული მოცულობები სრულად არაა უტილიზებული, ვინაიდან მძროლები არ არიან სრულყოფილად ინფორმირებული გზებზე არსებული მდგომარეობის შესახებ და ასევე ნაკადების სუსტი კონტროლის გამო. მოდელების გამოყენებით შესაძლებელია მარშრუტის და მგზავრობის დროის გამოთვლა და მომხმარებლის ინფორმირება (მაგ. მესიჯებით), რაც დაეხმარება მას გადაწყვეტილების მიღებაში და თავის მხრივ შეამცირებს საცობებს. მოდელები ასევე გამოიყენება შუქნიშნების და სიჩქარმზომის მოწყობის პროცესში სატრანსპორტო ნაკადების კონტროლის მიზნით. მოდელების განვითარება ხელს უწყობს გზების დაგეგმვის და პროექტირების პროცესების გამარტივებას. მეიტენენსი კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია, სადაც მოდელებს შეუძლიათ მნიშვნელოვანი როლი ითამაშონ.

საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გამოყენების სტიმულირება

საკუთარი ავტომანქანის მოხმარების და მობილობის შემცირების მიზნით საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გაძლიერება არის აუცილებელი ჩვენი საზოგადოებისთვის. თუ საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გამოყენება შევა კონკურენციაში საკუთარი ავტომობილების მოხმარებასთან, იგი უნდა იყოს

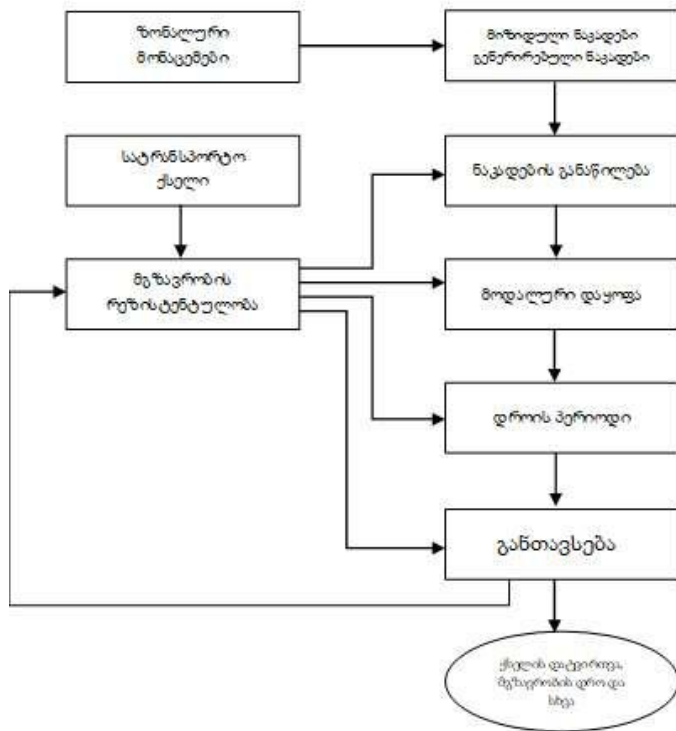
სათანადო სიმაღლეზე. მოდელები შეიძლება გამოყენებულ იქნას საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელების მოსაწყობად, გაწეული მომსახურების პარამეტრების გამოსათვლელად და იმის განსასაზღვრად, თუ რა სახის განვითარებები იზიდავენ რეალურად მანქანის მომხმარებლებს. მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს მიწათსარგებლობისა და საზოგადოებრივი ტრანსპორტით უზრუნველყოფის მჭიდრო ურთიერთდამოკიდებულება.

საზოგადოებრივი ტრანსპორტის სადგურები და გაჩერებები ხშირად წარმოადგენენ ახალი საქმიანობის განვითარების ბირთვს და შესაბამისად გავლენას ახდენენ ურბანულ განვითარებაზე. მეორეს მხრივ, საჭიროა მიწათსარგებლობის სპეციალური დაგეგმვა, რათა უზრუნველყოფილ იქნას საკმარისი საბაზისო მოთხოვნა მომსახურების ეფექტური მიწოდებისათვის. მიწათსარგებლობის გეგმასა და ტრანსპორტს შორის დამოკიდებულების მოდელირება არის სატრანსპორტო პროფესიის მთავარი ქვაკუთხედი.

1.6. მოდელირების 5 ბიჯიანი პროცესის მიმოხილვა

ეს კურსი დაფუძნებულია სატრანსპორტო მოდელირების თეორიაზე და სტრატეგიული დაგეგმვის პროცესში მის გამოყენებაზე. მოდელები მიზნად ისახავენ სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის გამოყენების დონის გაანგარიშებას: საგზაო დატვირთვები, სარკინიგზო ხაზების დაფარვის არეალები, სადგურებზე ტრანსფერტების რაოდენობა და ა.შ., პარალელურად, ამ მაჩვენებლების გარდა მოდელები გამოიყენება სხვადასხვა მახასიათებლების განსაზღვრისათვის: მარშრუტები, საცობის დონე და ხანგრძლივობა, მგზავრობის დრო, რეგიონებს შორის ნაკადები, მომსახურების ხარისხი და ა.შ.

სატრანსპორტო და სამგზავრო ნაკადების გაანგარიშებისას გამოიყენება ხუთ ბიჯიანი მოდელირება, რომლიდანაც თითოეული ბიჯი ემსახურება ხუთი განსხვავებული მონაცემის გამოანგარიშებას. 1.6 ფიგურა აღწერს 5 ბიჯიანი მოდელირების პროცესს. მარჯვენა სვეტში წარმოდგენილია ხუთივე ბიჯი (ზევიდან ქვევით), რომლებიც დამოკიდებული არიან მომხმარებელთა ქცევებზე (ამიტომ ვუწოდებთ 5-ბიჯიან მოდელირებას).



ფიგურა 1.6: მგზავრობის შერჩევის მოდელი

ბიჯი 1: გენერირებული და მიზიდული ნაკადები

ეს ქვემოდელი აღწერს, თუ რამდენად ხშირად ესაჭიროებათ ადამიანებს, როგორც პირადი, ასევე სხვა საჭიროებისთვის გადაადგილება. გენერირებული და მიზიდული ნაკადები წარმოადგენენ ზონებში დაწყებულ და დამთავრებულ მგზავრობებს. გამოყენებული მოდელები განიხილულია მე - 4 თავში.

ბიჯი 2: ნაკადების განაწილება

ეს ქვემოდელი აღწერს, თუ საით მიემართება ნაკადი, რომელიც იქნა განსაზღვრული პირველ ეტაპზე. იგი აკავშირებს მგზავრობის წარმოების და დანიშნულების მიმართულებებს. ამ ბიჯის შედეგი წარმოადგენს ცხრილს, სადაც მოცემულია გარკვეული პერიოდის განმავლობაში მგზავრობათა რაოდენობები თითოეულ წყვილ ზონას შორის. მოდელები ამ ეტაპზე განიხილება მე -5 თავში. მგზავრობათა დაკვირვებების საფუძველზე ცხრილების შედგენა განხილულია მე -8 თავში.

ბიჯი 3: მოდალური დაყოფა

ამ ბიჯის ქვემოდელი განსაზღვრავს თუ რომელ სატრანსპორტო საშუალებას გამოიყენებს მომხმარებელი მგზავრობისათვის. ეს დამოკიდებულია კონკურენტული სატრანსპორტო სახეობების მგზავრობის ხარისხის მაჩვენებლებზე. შეჯამებული ინდივიდუალური არჩევანი იწვევს ეგრეთწოდებულ მოდალურ

დაყოფას, სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალების გამოყენების გადაწყვეტილებას (მანქანა, ველოსიპედი, ავტობუსი, მატარებელი და ა.შ.). მოდელის ეს ნაწილი წარმოდგენილია მე - 6 თავში.

ბიჯი 4: პერიოდის განსაზღვრა

ეს ქვემოდელი განსაზღვრავს თუ როდის განხორციელდება მგზავრობების მაქსიმალური რაოდენობა, დღის რომელ პერიოდში (მაგ. დილის ან საღამოს პიკური პერიოდი ან არაპიკური პერიოდი).

ბიჯი 5: მგზავრობის განთავსება

ეს ბოლო ბიჯი ეხება მომხმარებლების მიერ ქსელებში მარშრუტების არჩევანს. ინდივიდუალური გადაწყვეტილებების შეჯამებით, წარმოიქმნება სამარშრუტო მონაკვეთებზე და გზაჯვარედინებზე სატრანსპორტო დატვირთვები. მე -7 თავში მოცემულია ამ მოდელების დეტალური განხილვა.

მგზავრობის რეზისტენტობა ან მგზავრობის ხარისხი (მგზავრობის დრო, ხარჯები) დომინანტურ როლს ასრულებს მგზავრობის არჩევის პროცესში (იხ. ფიგურა 1.6). ცალკეული მოდელები ითვლიან ამ მგზავრობის რეზისტენტობას ქსელის დატვირთულობის ელემენტების მახასიათებლების (სიმძლავრე, სიჩქარე და ა.შ.) და ამ ქსელის ელემენტების დატვირთვების (მოყვანილი თავ 3-ში) გამოყენებით. ეს საკითხები განხილულია მე -2 თავში.

გამოთვლები ხშირად არ ხორციელდება 1.6 ფიგურაში წარმოდგენილი გზით. ზოგიერთი გადაწყვეტილება (მაგალითად, დანიშნულების ადგილისა და სატრანსპორტო საშუალების არჩევანი) ხშირად გაერთიანებულია ერთ ბიჯში, ე.წ. სინქრონულ მოდელში. ვინაიდან, მგზავრობის რეზისტენტობა დამოკიდებულია ქსელის ელემენტების გამოყენების ხარისხზე (რაც მეტია დატვირთვა, უფრო მაღალია რეზისტენტობა) და ვინაიდან ხარისხი ცნობილია მხოლოდ გაანგარიშებათა ციკლის ბოლოს (განთავსების ბიჯში), ვაწარმოებთ განმეორებით გაანგარიშებებს. ეს პროცედურა საჭიროა საბოლოო შედეგის მისაღებად. პრაქტიკაში, ეს განმეორებითი გაანგარიშებების ციკლი რამდენჯერმე მეორდება თითოეული ანალიზისათვის.

2. მგზავრობის არჩევისას ქცევის თეორია

2.1. მგზავრობის არჩევანი

მგზავრობის რეალიზება არის გადაადგილების ვარიანტების შერჩევისას ინდივიდუალური გადაწყვეტილების მიღების შედეგი. მგზავრი ინდივიდუალურად დებულობს გადაწყვეტილებას გავიდეს თუ არა სახლიდან, რათა განახორციელოს გარკვეული საქმიანობა, სად განახორციელოს ეს საქმიანობა, როგორ მივიდეს დანიშნულების ადგილას და ა.შ. გარკვეულ მომენტში მგზავრი იღებს გააზრებულ გადაწყვეტილებას, რომელიც დროთა განმავლობაში გადაიქცევა ჩვევად. იგივე ეხება კომპანიასაც, რომელიც გეგმავს საქონლის გადაზიდვას.

მგზავრობის არჩევისას ქცევა მჭიდრო კავშირშია ინდივიდუალური პირის ან ფირმის სტრატეგიულ და გრძელვადიან ხედვებთან: მაგალითად საცხოვრებელის არჩევა (სახლის ან ფირმის ადგილმდებარეობა) და გადაადგილების არჩევანი (მანქანის ფლობა).

ჩვენ განვსაზღვრავთ მგზავრობის არჩევის ხუთ ძირითად ვარიანტს, რომლებიც იერარქიულად არიან დაკავშირებული ერთმანეთთან:

1. აქტივობის არჩევანი: დატოვოს თუ არა სახლი გარკვეული საქმიანობის განსახორციელებლად (მაგ. საყიდლები);
2. დანიშნულების ადგილის არჩევანი: სად უნდა განხორციელდეს საქმიანობა (ქალაქის ცენტრში? მეზობელ ქალაქში? და ა.შ.);
3. მოდალური არჩევანი: რომელი სატრანსპორტო საშუალებით უნდა წავიდეს დანიშნულების ადგილას და დაბრუნდეს უკან (ფეხით? ველოსიპედით? მანქანით? ავტობუსით? და ა.შ.);
4. დროის პერიოდის არჩევანი: დღის რომელ პერიოდში გაემგზავროს? (დილით ადრე? შუადღეს? საღამოს? და ა.შ.);
5. მარშრუტის არჩევანი: რომელი მარშრუტით ისარგებლოს საგზაო ან საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელში?

იერარქიულად დაკავშირება ნიშნავს, რომ ქვედა დონეზე მგზავრობის მახასიათებლები გავლენას ახდენენ უფრო მაღალ დონეზე გადაწყვეტილების მიღებაზე. მაგალითისთვის: არჩეული მარშრუტი განსაზღვრავს მგზავრობისთვის საჭირო დროს, რომელიც საცობების შემთხვევაში გავლენას ახდენს გამგზავრების საუკეთესო მომენტის შერჩევაზე. ზოგ შემთხვევაში მგზავრობისთვის საჭირო დრო განსაზღვრავს მომსახურების საფასურს, რომლის გადახდაც უნდა მოხდეს საზოგადოებრივი ტრანსპორტით სარგებლობისთვის, რაც, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს საზოგადოებრივ ტრანსპორტსა და სხვა სატრანსპორტო საშუალებებს შორის მოდალურ არჩევანზე. მგზავრობის დრო და საფასური საბოლოოდ განსაზღვრავს

მგზავრის მიერ მიღებულ გადაწყვეტილებას, თუ სად უნდა განახორციელოს სასურველი საქმიანობა.

ყველა ამ მგზავრობის არჩევანის სახეობებისთვის დამახასიათებელია, რომ არსებობენ ალტერნატივები. ალტერნატივები არიან მგზავრობის შესასრულებლად ურთიერთგამომრიცხავი გზები, რომელთაგან მხოლოდ ერთის არჩევა არის შესაძლებელი. საქმიანობის შესასრულებლად მრავალი მიმართულებიდან ან მრავალი დანიშნულების ადგილიდან ან მარშრუტებიდან შეგვიძლია გამოვიყენოთ მხოლოდ ერთი. ალტერნატივის სახეობა მგზავრობის ყველა ამ შემთხვევისთვის დისკრეტული ხასიათისაა: ალტერნატივები წარმოადგენენ ერთეულებს, რომელთა შედარება ერთ მასშტაბში არ შეიძლება (ავტობუსი და ველოსიპედი, ან A და B მარშრუტები უბრალოდ სრულიად განსხვავებული საგნებია). განსხვავებულია საქონლის შეძენის სიტუაციაც, როდესაც ალტერნატივა ხშირად იცვლება პროდუქტის რაოდენობის ცვლასთან ერთად.

ჩვენ ვითვალისწინებთ მგზავრთა ეგოისტურ და რაციონალურ არჩევანს, თავად გადაწყვეტილების მიმღების პოზიციის და ხელმისაწვდომი ინფორმაციის გათვალისწინებით. პირველადი გადაწყვეტილება ნიშნავს, რომ მგზავრი პირადი შეხედულებების და პრიორიტეტების შესაბამისად ცდილობს არსებული სიტუაციის ოპტიმიზაციას. რაციონალური ქცევა ნიშნავს, რომ მგზავრი თავის გადაწყვეტილებაში ეყრდნობა მისთვის ხელმისაწვდომი სხვადასხვა ალტერნატივების მახასიათებლებს (ამრიგად, არა ცრურწმენაზე ან კამათელის გაგორებაზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებას).

არჩევანის გაკეთება ყოველთვის არ არის შესაძლებელი. განსაკუთრებით ხშირია შემთხვევა, როდესაც არის მხოლოდ ერთი მოდალური ალტერნატივა, მაგალითად ველოსიპედით მგზავრობა იმ ადამიანისთვის, რომელიც არ ფლობს მანქანას და არც მართვის მოწმობას, არც ავტობუსის გაჩერება არის სახლის ან სკოლის მახლობლად. მგზავრებს, რომლებსაც მგზავრობის ალტერნატივა არ აქვთ, ტყვეები ეწოდებათ, დანარჩენებს კი არჩევანის მქონე მგზავრები.

ხსენებული მგზავრობის არჩევის ხუთი ვარიანტი წარმოადგენს არჩევანის ცალკეულ პრობლემებს, რომელთა მოგვარება შესაძლებელია ერთმანეთის მიმდევრობით. ამას ეწოდება თანმიმდევრული არჩევანის პროცესი. ბევრ კვლევაში ზოგიერთი არჩევანის ვარიანტები ერთნაირია, განსაკუთრებით დანიშნულების ადგილისა და მოდალური არჩევანისა. ეს გადაწყვეტილებები იმდენად მჭიდრო კავშირშია ერთმანეთთან, რომ შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთიანი კომბინირებული არჩევანი. ასეთ შემთხვევებში ერთდროულ არჩევანზე ვსაუბრობთ. მაგალითად, განვიხილოთ დელფში მცხოვრები ადამიანი, რომელსაც სურს სადამოს კონცერტზე დასწრება: ალტერნატივა (ა) არის მატარებლით ამსტერდამში გამგზავრება, ხოლო ალტერნატივა (ბ) ტრამვით ჰააგაში.

მგზავრობის არჩევისას ქცევები განსხვავებულია მგზავრობის მიზნობრიობის მიხედვით. მგზავრობის მკაფიოდ განსხვავებული მიზნები, როგორცაა სამუშაო, შოპინგი, დასვენება და ა.შ., წარმოადგენენ ცალკეულ ბაზრებს საკუთარი კანონებით. ვაჭრობაში მგზავრობის დროის მნიშვნელობა განსხვავდება სახლიდან სამსახურში და საყიდლებზე გასვლის დროისაგან. ამისათვის, დაგეგმვის პრაქტიკაში გამოიყენება არჩევანის განსხვავებული მოდელები, სხვადასხვა მგზავრობის მიზნებისათვის.

ფინალური შენიშვნა. მიუხედავად იმისა, რომ მგზავრობა ამ კურსში განიხილება, როგორც ანალიზის ერთეული, არჩევანის გაკეთებაზე ხშირად გავლენას ახდენს მგზავრობის მახასიათებლები. ეს ნიშნავს, რომ მოდალური არჩევანი სახლიდან სამუშაოზე მგზავრობისათვის დამოკიდებულია სამუშაოდან სახლში მგზავრობის პარამეტრებზე.

2.2. მგზავრობის არჩევისას ქცევის ინდივიდუალური სარგებლიანობის თეორია

ჩვენ ვიყენებთ მიკრო-ეკონომიკური სარგებლიანობის თეორიას, რათა გავიგოთ და ავხსნათ მომხმარებლის ქცევები მგზავრობის ვარიანტების არჩევისას. ამ თეორიით შეგვიძლია დამაკმაყოფილებლად და თანმიმდევრულად ავხსნათ გზავრობის და ტრანსპორტის ფენომენის საკმაოდ ფართო კლასი. გარდა ამისა, ეს თეორია ასევე იძლევა გაანგარიშების მოდელების ჩამოყალიბების შესაძლებლობას, რომელთა გამოყენებითაც შესაძლებელია განისაზღვროს მგზავრობის არჩევისას ქცევის რაოდენობრივი მაჩვენებელი.

განვიხილოთ ყველაზე მნიშვნელოვანი არჩევანი, რომელიც დაკავშირებულია სახლის გარეთ საქმიანობის განხორციელებასთან, ან განუხორციელებლობასთან. ამისათვის, მინიმუმ ორი მგზავრობის ჯაჭვი უნდა შევადგინოთ. სიმარტივისთვის, გადაადგილების ასეთ შემთხვევებს ვუწოდებთ მგზავრობას, თუმცა ხშირად საქმე გვაქვს ტურებთან.

დაშვებები მგზავრობის არჩევის სარგებლიანობის თეორიაში:

1. მგზავრობის შესახებ გადაწყვეტილების მიღებაში სამი დამხმარე კომპონენტი იღებს მონაწილეობას:
 - კომპონენტი N_i - დარჩენა იქ სადაც ვართ (დაწყების წერტილი);
 - კომპონენტი $N_j - p$ კლასის საქმიანობის განხორციელება j დანიშნულების ადგილზე;
 - კომპონენტი $Z_{ij} - i$ და j მდებარეობებს შორის მგზავრობის ღირებულება.

მგზავრობა განხორციელდება (შეიძლება იქთვას: შესრულდება გარე საქმიანობა) მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მათი კომპონენტების სხვაობა დადებითია:

$$N_j - N_i - Z_{ij} > 0 \quad (2.1)$$

სიმარტივისათვის ვირჩევთ ისეთ სიმრავლეს, სადაც $N_i = 0$. ვინაიდან აქტივობებს ვთვლით ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად, p ინდექსიც (საქმიანობის კლასი) გამოტოვებულია.

- ინდივიდი ანიჭებს დადებით N_j კომპონენტს თითოეულ აქტივობას j -ში. ეს კომპონენტი დამოკიდებულია p საქმიანობის სახეობასა და მის პარამეტრებზე. მთლიანი N_j კომპონენტი შედგება n_{gj} ქვე-კომპონენტებისაგან, რომლებიც მიიღებიან j ლოკაციაზე p აქტივობის განსხვავებული g პარამეტრებისაგან. თითოეული ინდივიდი აფასებს შესაძლებლობებს (პარამეტრებს) დამოუკიდებლად, პირადი შეხედულებებიდან გამომდინარე:

$$N_j = \sum_g n_{gj} \quad (2.2)$$

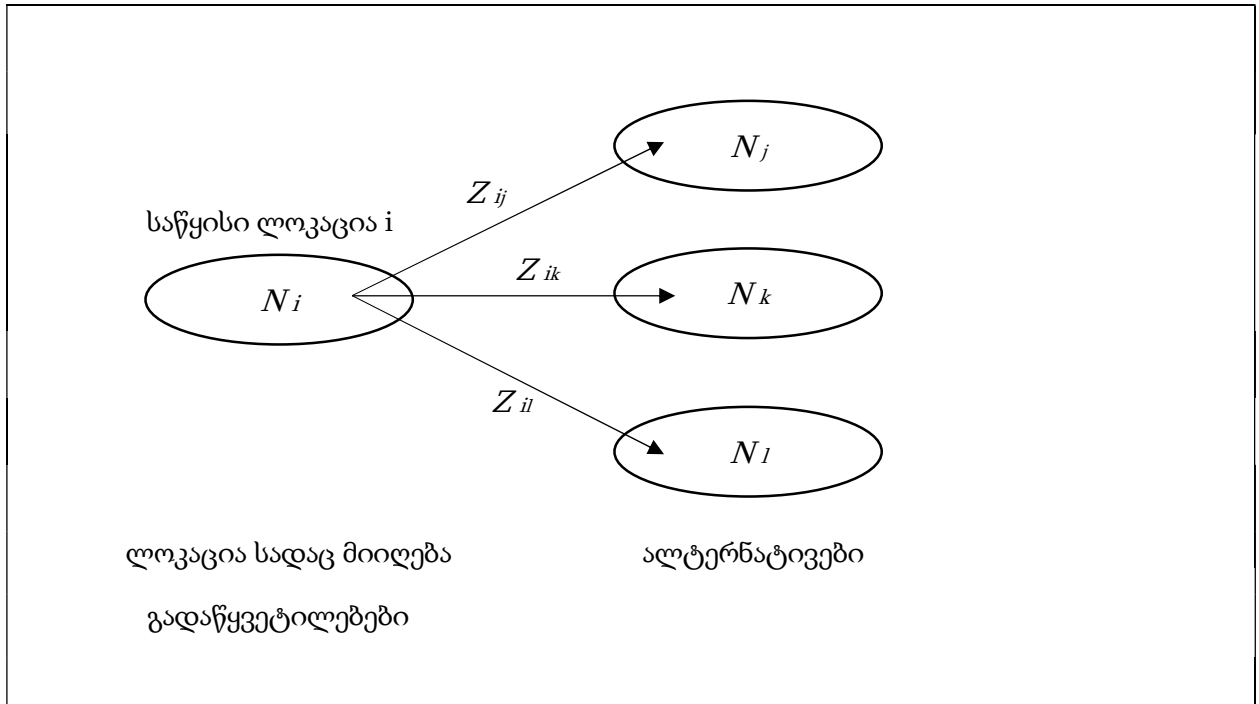
- ინდივიდი მგზავრობას ან მგზავრობის ჯაჭვს, რომელიც აქტივობის შესასრულებლად არის საჭირო, ანიჭებს Z_{ij} კომპონენტს. ეს კომპონენტი დამოკიდებულია მგზავრობის ან მგზავრობის ჯაჭვის სახეობასა და მის პარამეტრებზე (მოდალობა, ხანგრძლივობა, ღირებულება და ა.შ.). მგზავრობის მთლიანი Z_{ij} კომპონენტი შედგება Z_{hij} ქვე-კომპონენტებისაგან, რომელიც მიიღება მგზავრობის ან ტურის განსხვავებული h პარამეტრებისაგან (მოცდა, პარკირების საფასური, მგზავრობის დრო, და ა.შ.). თითოეული მგზავრი აფასებს ვარიანტებს საკუთარი შეფასებების საფუძველზე:

$$Z_{ij} = \sum_h Z_{hij} \quad (2.3)$$

ფიგურა 2.1 წარმოადგენს შოპინგის ვარიანტის ილუსტრაციას.

N_x = შოპინგის კომპონენტი x ლოკაციაზე (x არის j, k, l შესაბამისად).

Z_{ix}^m = მგზავრობის ფინანსური კომპონენტი i - დან x ლოკაციამდე, m მოდალობით.



ფიგურა 2.1 ალტერნატივების არჩევანი (მოდლობა მოცემულია)

4. აქტივობისთვის მგზავრობა განხორციელდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ჯამური კომპონენტი U_j მხოლოდ დადებითი მნიშვნელობისაა:

$$U_j = (N_j - Z_{ij}) > 0 \quad (2.4)$$

5. ინდივიდს არ შეუძლია ჩაერთოს ყველა შესაძლო საქმიანობაში დროისა და ფულის შეზღუდვების გამო.
 ა. არის შეზღუდული ბიუჯეტი K , რომელიც წარმოადგენს მომხმარებლის შემოსავალს. ეს ბიუჯეტი K წარმოადგენს ყველა ხარჯის ჯამს, რაც მოიცავს საქმიანობის და ვიზიტის k_j ხარჯებს j ლოკაციაზე.

$$K = \sum_j k_j \quad (2.5)$$

- ბ. არის შეზღუდული დროის ბიუჯეტი T , რომელიც მოიცავს აქტივობისთვის და მგზავრობისთვის საჭირო დროს. ეს არის დახარჯულ t_j დროთა ჯამი, რომელიც საჭიროა აქტივობის შესასრულებლად და ამ აქტივობის შესასრულებელ J ლოკაციამდე მგზავრობისთვის.

$$T = \sum_j t_j \quad (2.6)$$

6. მგზავრი ირჩევს j ალტერნატივას, რომელიც იძლევა ყველაზე მაღალ U სარგებელს და ასევე აკმაყოფილებს მგზავრის დროის და ფულის ბიუჯეტის შეზღუდვებს: სუბიექტური სარგებლიანობის მაქსიმიზაციის პრინციპი. თუ ჩვენ აღვნიშნავთ ალტერნატივას c - თი, მაშინ ადგილი აქვს:

$$U_c = \max (U_j) \quad (2.7)$$

განმარტება:

ალტერნატიული ვარიანტის არჩევისას, მხოლოდ კომპონენტების თანმიმდევრობა თამაშობს როლს, არა მათი აბსოლუტური სიდიდეები. ამის გამო N და Z კომპონენტთა ფუნქციების სახეობის არჩევანი საკმაოდ მოქნილია (მანამ, სანამ თანმიმდევრობაზე არ მოხდება ზემოქმედება). კომპონენტები N და Z შეიძლება შეფასდეს, როგორც n და z ქვე კომპონენტების შეწონილი ჯამი. ეს შეწონილი ჯამი გამოხატავს ქმედებებს, რომელსაც მომხმარებელი ასრულებს მგზავრობის ან ტურის X და Y მახასიათებლებს შორის.

$$N_j = \sum_g n_{gj} = \sum_g (\beta_g X_{gj}) \quad (2.8)$$

მაგალითად, სავაჭრო ცენტრის არჩევის შემთხვევაში, ინდივიდი აბალანსებს აქტივობის ისეთ ასპექტებს, როგორცაა პროდუქციის ასორტიმენტი და ხარისხი β ფაქტორების გამოყენებით. მაგალითად, მომხმარებელმა შეიძლება აირჩიოს პროდუქციის უფრო დაბალი ხარისხი, თუ იგი კომპენსირდება ფართო ასორტიმენტით, საიდანაც მას შეუძლია აირჩიოს. მგზავრობის შესახებ გადაწყვეტილების მიღებისას, მგზავრი აფასებს ვაჭრობისთვის საჭირო მგზავრობის პარამეტრებს, როგორცაა ლოდინის დრო, მანძილი, ხარჯები და პარკირების მომსახურება, α კომპრომისული ფაქტორების გამოყენებით. მას შეიძლება სურს, მაგალითად, გადაიხადოს უფრო მაღალი საფასური, თუ მგზავრობა უფრო ხელსაყრელია. ეგრეთ წოდებული დროის მნიშვნელობა (VOT), დროსა და ფულად სახსრებს შორის განსაკუთრებული დამოკიდებულება არის მნიშვნელოვანი პარამეტრი მგზავრობის არჩევისას (იხ. თავი 3.4).

$$Z_{ij} = \sum_h z_{ijh} = \sum_h (\alpha_h Y_{ijh}) \quad (2.9)$$

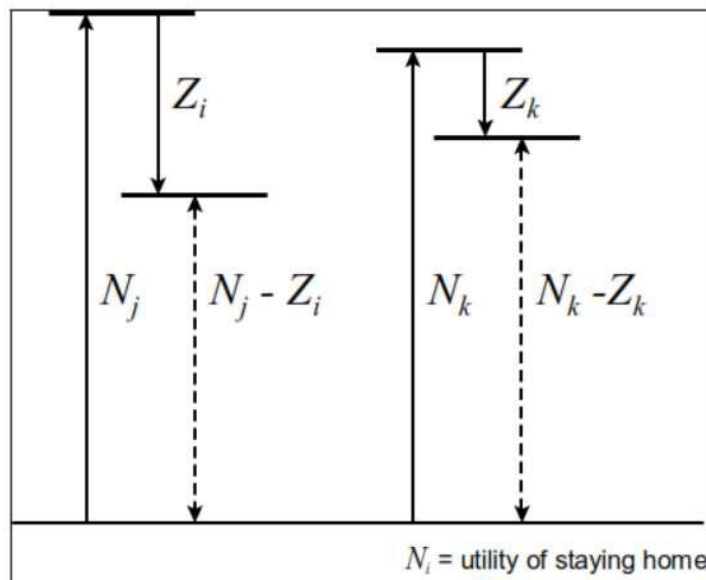
N და Z კომპონენტების დაბალანსება მიუთითებს იმაზე, რომ ინდივიდი ეძებს კომპრომის აქტივობის და მგზავრობის პარამეტრებს შორის. მაგალითად, ამა თუ იმ ცენტრში უფრო დიდი ასორტიმენტის გამო საყიდლებზე წასვლა საჭიროებს დამატებით დროს, რომელიც საჭიროა იქ

მისასვლელად. შეზღუდული დროისა და ბიუჯეტის გამო, დროის და ფულის ელემენტებს შორის კომპრომისი გარდაუვალია. ფიგურა 2.2 ასახავს კომპონენტების მაქსიმიზაციის გზას. თუ დავუშვებთ, რომ რაციონალური მომხმარებელი, რომელიც პირადი სარგებლის მაქსიმიზაციას ახდენს, გადაწყვეტს აირჩიოს დანიშნულება k , თუმცა j -ში სარგებელი უფრო მეტია.

ფორმულირებული არჩევანის თეორია ზოგადად გამოიყენება ყველა ტიპის მგზავრობის არჩევანისათვის ცალ-ცალკე (მოდალობა, მარშრუტი, დრო და ა.შ.) ან ნაწილობრივ შერწყმული (მაგ. მოდალობა და დანიშნულების ადგილი).

მგზავრობების სიხშირეების მოდელირების შემთხვევაში, თითოეული აქტივობის სახეობის მიხედვით შემდეგი ცვლადები თამაშობენ როლს:

1. ოჯახური მდგომარეობა (ტიპი და ზომა)
2. პირადი სახის (სამსახური და ა.შ.)
3. ასაკი, სქესი
4. განათლება
5. მანქანის, მართვის მოწმობის ფლობა
6. საწყისი ლოკაციის ტიპი.



ფიგურა 2.2 მაქსიმიზაცია მგზავრობის შესრულებისას

ამ შემთხვევაში, ალტერნატივები რომლიდანაც შესაძლებელია არჩევა, არის 0,1,2,3 და ა.შ. ვიზიტების რაოდენობა აქტივობის სახეობის მიხედვით (სამოგზაურო დანიშნულება) დროის ერთეულში (დღე ან კვირა). საწყისი ლოკაციის ტერიტორიული წვდომის ხარისხი უმეტესად არ განიხილება,

როგორც სასარგებლო ახსნადი ცვლადი. ცვლადებისათვის მნიშვნელობების მინიჭება ხდება აქტივობის ტიპის მიხედვით.

დანიშნულების ადგილის არჩევა აქტივობის სახეობის მიხედვით ჩვეულებრივ ექვემდებარება კონკურენტი დანიშნულების ლოკაციების დამახასიათებელ ცვლადებს.

1. წვდომის ხარისხი (მგზავრობის დრო და ხარჯები; არსებული მოდალური ალტერნატივები)
2. მოსახლეობის რაოდენობა და დასახლების სიმჭიდროვე
3. დასაქმების მაჩვენებელი და დაკავებულობა სხვადასხვა სექტორში
4. განათლებით უზრუნველყოფა
5. ქალაქის ცენტრის არსებობა

ასევე, ფაქტორების შედარებითი შეფასება დამოკიდებულია აქტივობის ან მგზავრობის მიზნის სახეობაზე.

მოდალური არჩევანის მოდელირებისას მგზავრობის დანიშნულების შესაბამისად ძირითადად გამოიყენება შემდეგი პირადი და მგზავრობის ცვლადები:

1. მგზავრობის მანძილი
2. მგზავრობის დრო
3. სამგზავრო ხარჯები
4. პარკირების ხარჯები
5. გზის გადასახადები
6. მართვის მოწმობის და მანქანის ფლობა
7. პირადი მონაცემები (ასაკი, სქესი და ა.შ.)

მგზავრობის დრო ჩვეულებრივ მიიღება მგზავრობის სხვადასხვა ნაწილებისგან (წვდომა, ხაზის მარშრუტი, ლოდინი, ტრანსფერი, პარკინგი და ა.შ.). უმეტეს შემთხვევაში, დანიშნულების ადგილის და მოდალობის არჩევანი გაერთიანებულია გადაწყვეტილებაში.

მარშრუტის არჩევის შემთხვევაში (რომელიც ცალკე არ განიხილება აქტივობის შესაბამისად, მაგრამ საერთოა მოდალობისთვის) შემდეგი ცვლადები შემოდიან მოდელებში:

1. მგზავრობის დრო (შეფერხების დროის ჩათვლით)

2. მგზავრობის საფასური (გადასახადების ჩათვლით)
3. მგზავრობის მანძილი
4. შეფერხებები გადასასვლელებსა ან ტრანსფერის წერტილებში
5. საცობები

მგზავრობის პერიოდის არჩევისას, შემდეგი დროზე დამოკიდებული ცვლადები თამაშობენ როლს მოდელში:

1. მგზავრობის დრო (შეფერხების დროის ჩათვლით)
2. მგზავრობის საფასური (გადასახადების ჩათვლით)
3. საცობი

2.3. მგზავრობის არჩევანის ზოგადი მოდელი

მაქსიმიზაციის პრინციპი (თავი 2.2) შეიძლება გარდაიქმნას ფართოდ და ადვილად გამოსაყენებელ გამოთვლით მოდელში, რომლითაც შესაძლებელია მარშრუტების და ქსელების გამოყენების ხარისხის გამომანგარიშება.

მგზავრი ანიჭებს თითოეულ i ალტერნატივას ჯამურ U_{ip} კომპონენტს. ეს არის აქტივობის კომპონენტებისა და მგზავრობის რეზისტენტულობის შეწონილი ჯამი:

$$U_{ip} = N_{ip} - Z_{ip} \quad (2.10)$$

ამ ჯამური კომპონენტის ნაწილი ანალიტიკოსისთვის (მოდელის შემქმნელისთვის) დამალულია, რადგან მას არ შეუძლია გააცნობიეროს ყველა მასსზე მოქმედი ფაქტორი, რომელსაც მგზავრი ვერ ითვალისწინებს რადგან არ არის გამოთვლადი. ამის გამო, ანალიტიკოსი გამოყოფს თითოეული ალტერნატივისთვის ცალკეულ ϵ_{ip} კომპონენტებს (ე.წ. ცდომილების კომპონენტი), რომელიც წარმოადგენს p მგზავრის i ალტერნატივის არაგამოთვლად კომპონენტს. ამრიგად, იგი მიუთითებს, თუ რამდენად გადახრილია გამომანგარიშებული V_i კომპონენტი უცნობი U_i კომპონენტის ფაქტორისაგან გარკვეული ალბათობით:

$$U_{ip} = V_i + \epsilon_{ip} \quad E[\epsilon_{ip}] = 0 \quad (2.11)$$

კომპონენტის ნაწილი V_i წარმოადგენს ალტერნატივების პარამეტრების შეწონილ ჯამს, მაგალითად, X_k მგზავრობის დროის კომპონენტები:

$$V_i = \sum_k \beta_k X_k \quad (2.12)$$

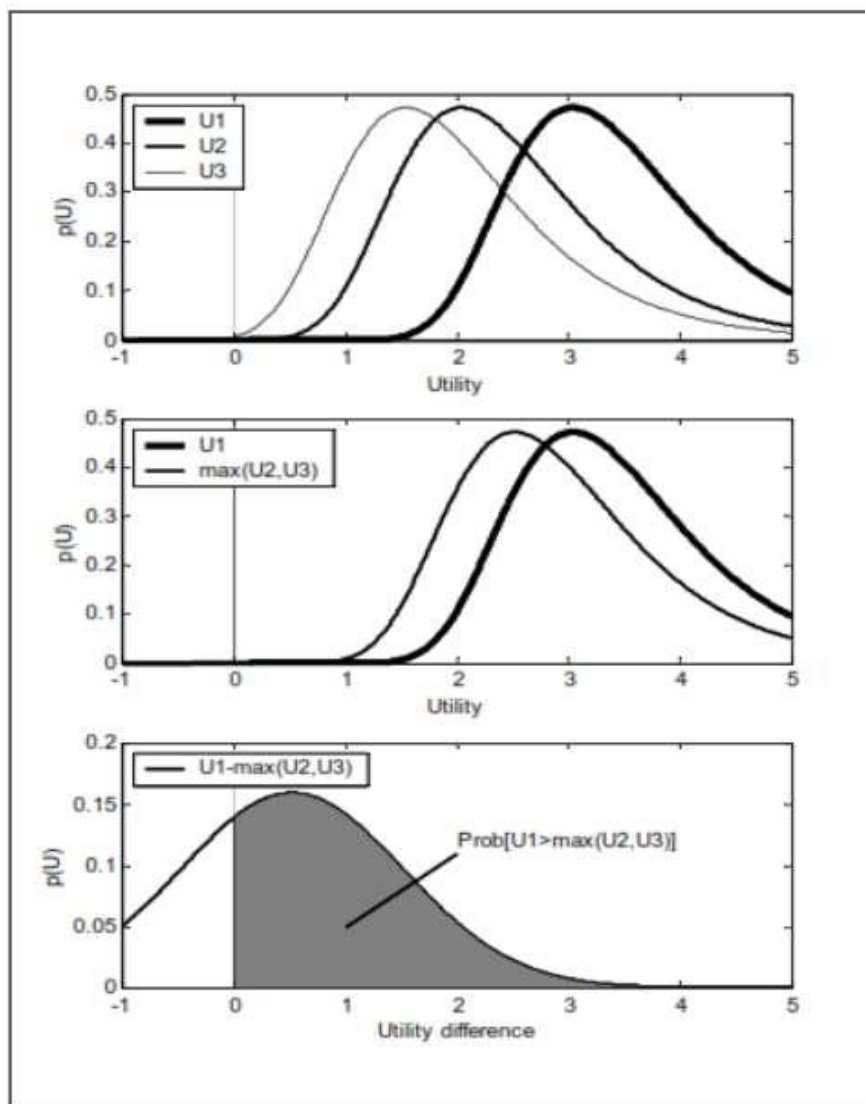
სადაც პარამეტრი β_k წარმოადგენს თითოეული გავლენის მქონე X_k ფაქტორის შესაბამის წონას. მაგალითად დროის მნიშვნელობა შეიძლება იყოს ერთ-ერთი ამ პარამეტრებისაგან.

ინდივიდი ირჩევს i ვარიანტს სხვადასხვა ალტერნატივებიდან თუ:

$$U_{ip} > U_{jp} \quad \forall j \neq i \quad (2.13)$$

ამრიგად თუ:

$$V_i + \varepsilon_{ip} > V_j + \varepsilon_{jp} \quad \forall j \neq i \quad (2.14)$$



ფიგურა 2.3 არჩევანის ალბათობის გრაფიკული ილუსტრაცია. ზედა გრაფიკში მოცემულია სამი სხვადასხვა ალტერნატივათა კომპონენტის არჩევანის ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია (PDF) სამი სხვადასხვა ალტერნატივისთვის. შუა გრაფიკზე ნაჩვენებია 2 და 3 ალტერნატივათა კომპონენტის მაქსიმალური PDF და 1 ალტერნატივის კომპონენტის PDF-ის სხვაობას. დაბოლოს, მესამე გრაფიკზე ნაჩვენებია PDF ფუნქცია, რომელიც განსაზღვრულია, როგორც 1 ალტერნატივის კომპონენტი და მე-2 და 3 ალტერნატივათა კომპონენტების მაქსიმუმის სხვაობა. 1 ალტერნატივის არჩევანის ალბათობა შეესაბამება მონიშნული არეალს.

2.4. ლოგიკური მოდელის წარმოება

i ალტერნატივის არჩევის ალბათობა მოცემულია შემდეგი ფორმულით:

$$\text{Prob}[\text{select}(i)] = \text{Prob}[U_{ip} > \max_{j \neq i}(U_{jp})] = \text{Prob}[V_{ip} + \mathcal{E}_{ip} > \max_{j \neq i}(V_{jp} + \mathcal{E}_{jp})] \quad (2.15)$$

თუ ვივარაუდებთ, რომ \mathcal{E}_{ip} , $i = 1, 2, \dots$ იდენტურად და დამოუკიდებლად ვრცელდება გემბელის განაწილების მიხედვით μ საზომი პარამეტრით, მაშინ შეიძლება ვთქვათ, რომ:

$$\text{Prob}[\text{select}(i)] = \frac{e^{\mu V_i}}{\sum_j e^{\mu V_j}} \quad (2.16)$$

წარმოდგენილია:

μ დისპერსიის პარამეტრით. ეს პარამეტრი დამოკიდებულია იმ საზომ ერთეულებზე, რომლებშიც გამოისახება ალტერნატივათა მახასიათებლები.

ეს ფორმულა ცნობილია როგორც ლოგიტ ფორმულა.

საკმაოდ მიღებულია ზომაა β_k ფაქტორების სტანდარტიზაცია μ დისპერსიის პარამეტრისათვის (2.12) ფორმულის მიხედვით. ამ შემთხვევაში (2.16) იცვლება:

$$\text{Prob}[\text{select}(i)] = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}} \quad (2.17)$$

ვინაიდან:

$$V_i = \sum_k \beta_k X_k, \quad \beta_k = \mu \beta_k$$

ლოგიტ არჩევანის მოდელის ძირითადი თვისებებია:

- ამა თუ იმ ალტერნატივის გამოყენების ალბათობა დამოკიდებულია კომპონენტების მნიშვნელობებსა და მათ განსხვავებებზე;
- ალტერნატივა, რომელის კომპონენტებსაც ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები აქვთ გამოირჩევა გამოყენების მაღალი ალბათობით.

ლოგიტ მოდელი ყველაზე ფართოდ გამოიყენებადი მოდელია, თუმცა მარშრუტის არჩევის ანალიზისას ე.წ. ალბათობის მოდელი უკეთეს მიდგომას წარმოადგენს (იხ. თავი 8.3.2). ამ ტიპის არჩევანის მოდელი ინდივიდუალური მიდგომის დონეზე გამოიყენება და შესაბამისად, მას უწოდებენ ცალკეულ მოდელს (მიკროსკოპული). ნაკადების და დატვირთვების მონაცემების მისაღებად, ალბათობები ჯამდება და დაიყვანება ნიმუშის მაჩვენებლების მიხედვით.

უპირველეს ყოვლისა, ცალკეული მოდელები გამოიყენება, რათა გაირკვეს, თუ რომელი ფაქტორები ახდენენ მნიშვნელოვან გავლენას ინდივიდუალური მგზავრობისას. შემდეგ, ეს მოდელები ამ ფაქტორებთან დაკავშირებული პარამეტრების მნიშვნელობების შეფასების საშუალებას იძლევიან. ბოლოს, ამ მოდელების გამოყენება შესაძლებელია პროგნოზების გასაკეთებლად. ამისათვის გამოიყოფა რამოდენიმე პირი, რომელთაგან თითოეულისთვის განსაზღვრულია ალტერნატივა და მისი მახასიათებლები. თითოეული ადამიანისთვის გამოითვლება თითოეული მისი ალტერნატივის არჩევის ალბათობა. ამ ალბათობების შეჯამება იძლევა მგზავრთა პროცენტს, რომლებიც გამოიყენებენ კონკრეტულ ალტერნატივას.

ამის საპირისპიროდ, გვაქვს ეგრეთ წოდებული გაერთიანებული მოდელები (მაკროსკოპული), რომელიც ასახავს მგზავრთა უფრო დიდი ჯგუფების ქცევას, რომელიც სავარაუდოდ იდენტურია. გაერთიანებული მოდელები ამ ჯგუფებისთვის საშუალო მაჩვენებლებით მუშაობს. ეს მოდელები უფრო ადვილია გამოყენებაში, მაგრამ ნაკლებად აცნობიერებენ მგზავრობის არჩევისას ქცევებს და ასევე ნაკლებად ზუსტია მათი შედეგებიც. მოდელების ამ კლასს განვიხილავთ მე -5 თავში.

3. სატრანსპორტო სისტემის აღწერა: ქსელები და მონაცემები

3.1. პრობლემის გაცნობა

სინამდვილეში, მგზავრობა შეიძლება დაიწყოს და დასრულდეს მსოფლიოს ნებისმიერ მისამართზე და გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი არსებული ქსელი, ქუჩა, მომსახურება და ა.შ. კონკრეტული სატრანსპორტო პრობლემის გადასაჭრელად არ არის საჭირო სისტემის მაქსიმალური დეტალიზაცია. ამის ნაცვლად, იმისათვის, რომ ჩავწვდეთ პრობლემას ძირეულად და მოვიძიოთ მისი გადაჭრის ხერხები, ხშირად მივმართავთ საკითხის გამარტივების გზას. ასევე, იმისთვის, რომ გამოთვლები იყოს შესაძლებელი, ანალიზი მართვადი და ხარჯები დასაბუთებული, საჭიროა რეალობის გამარტივებული აღწერა.

ამისათვის, ყოველი სატრანსპორტო ანალიზისას საჭიროა სისტემის აღწერილობა (ე.წ. სისტემის მოდელი), რომელიც პასუხობს შემდეგ კითხვებზე:

- რომელი სფეროა აქტუალური (მხოლოდ მგზავრები, თუ აგრეთვე საქონელიც?);
- რომელი გეოგრაფიული მდებარეობაა შესაბამისი?
- რომელი სატრანსპორტო ქსელები უნდა იქნას გათვალისწინებული?

ამგვარ კითხვებზე პასუხები დამოკიდებულია მოცემულ პრობლემაზე: შესასწავლი პოლიტიკური ღონისძიებების და შეფასების კრიტერიუმების სახეობები, რომელიც გამოყენებული იქნება და ა.შ. მაგალითად, ქვეყნის მაღალსიჩქარიანი სარკინიგზო ხაზის კვლევისას, გათვალისწინებული უნდა იქნას როგორც ინიციატორი ქვეყანა, ასევე მისი მოსაზღვრე ქვეყნები (ზოგ შემთხვევაში ეს შეიძლება იყოს არა მარტო მოსაზღვრე ქვეყნები, რასაც განსაზღვრავს პრობლემის სახეობა). ავია ქსელიც უნდა იყოს კვლევაში შესწავლილი, ასევე საგზაო ქსელის ის ნაწილი, რომელიც კავშირშია კვლევასთან, მაგრამ ამ შემთხვევაში არაა აუცილებელი მთლიანი საგზაო ქსელის შესწავლა. ადგილობრივი ავტობუსების ქსელის შესაქმნელად გადაწყვეტილების მისაღებად მხოლოდ ქალაქის ტერიტორია, მისი უშუალო გარემოთი უნდა იქნას შესწავლილი. მგზავრობის ანალიზისთვის საჭიროა სამანქანე და ველო ქსელის დეტალური აღწერა.

ადეკვატური სისტემის მოდელის პრობლემაზე მაღალი დამოკიდებულებიდან და მართველობასთან დაკავშირებული არსებული შეზღუდვებიდან გამომდინარე ასეთი სისტემის მოდელის შემუშავება უფრო მეტად ხელოვნებაა, ვიდრე მეცნიერება. სწორედ ამიტომ შეუძლებელია პრობლემის გადაჭრის გზის მზარევეპტის სახით წარმოდგენა.

3.2. საკვლევი არეალი

საკვლევი არეალის განმარტება რამდენიმე ნაბიჯს მოიცავს:

- საკვლევი არეალის განსაზღვრა
- საკვლევი არეალის დაყოფა ზონებად
- ზონის ცენტროიდების განსაზღვრა.

საკვლევი არეალის შემოსაზღვრა

საკვლევი არეალი განისაზღვრება, როგორც ტერიტორია, რომლის ფარგლებშიც განხორციელდება სატრანსპორტო ნაკადების ანალიზი და მოდელირება. იგი განსაზღვრულია წარმოსახვითი მრუდით რუქაზე. მრუდის მიღმა არსებული ტერიტორია არ განიხილება ამ კვლევაში, ვთვლით, რომ მგზავრობის მოთხოვნა ამ ტერიტორიაზე არ არსებობს. შესაბამისად მხოლოდ სასწავლო ტერიტორიას ვყოფთ ზონებად.

საკვლევი არეალის მოცულობა და მდებარეობა დამოკიდებულია არსებული პრობლემის შინაარსზე.

ეროვნული მნიშვნელობის კვლევისას, მთელი ევროპა, სავარაუდოდ, შეადგენს სასწავლო სივრცეს. ადგილობრივი მნიშვნელობის კვლევისას, ჩვეულებრივ, ქვეყნის საზღვრები განსაზღვრავს საკვლევ არეალს, მაგრამ ეს დამოკიდებულია არსებულ ვითარებაზე.

ზონალური დაყოფა

საკვლევი არეალი დაყოფილია რიგ ზონებად, რომელსაც ასევე უწოდებენ საგზაო ზონებს. ეს ზონები წარმოადგენენ ინდივიდუალური მგზავრობის დაწყების და დამთავრების მისამართებს. არ არის საჭირო ამ მისამართების ცოდნა დეტალური გეოგრაფიული სიზუსტის დონეზე და არც არის შესაძლებელი მონაცემების ხელმისაწვდომობის და ღირებულების თვალსაზრისით. ზონალური დაყოფა გულისხმობს, რომ ზონაში სამგზავრო ნაკადების ანალიზი შეუძლებელია, რადგან არ არსებობს გეოგრაფიული მონაცემები. ზონების მონაცემები, ანუ ზონების რაოდენობა, მათი ინდივიდუალური და საშუალო ზომა, მათი დაკავშირება მეზობელ ზონებთან დამოკიდებულია არსებულ პრობლემასა და შეზღუდვებზე.

ზონები წარმოადგენენ გეოგრაფიულ ერთეულს, რომელთა შორისაც გამოითვლება სამგზავრო ნაკადები. ამის გამო ისინი მნიშვნელოვან გეოგრაფიულ და ადმინისტრაციულ ერთეულებს წარმოადგენენ ტრანსპორტირების სივრცითი მოდელების შესაქმნელად კვლევაში და მონაცემთა სამართავად.

ზოგადად, რაც უფრო ბევრი ქვედანაყოფია, შესაბამისად მეტი ზონაა, ანუ უფრო მეტია სიზუსტე მოდელის გაანგარიშებაში, მაგრამ ასევე უფრო მაღალია მონაცემების შეგროვების ხარჯები და გამოთვლები. შესაძლებელია არსებობდეს ზონირების ოპტიმალური სიდიდე, რადგან ზონალური მონაცემების პროგნოზირების სიზუსტე (მაგალითად, მოსახლეობის მახასიათებლები) დამოკიდებულია ზონის სიდიდეზე.

თუ საზოგადოებრივი ტრანსპორტი მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს, ზონალური დაყოფისას მეტი სიზუსტეა საჭირო, რადგან საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გამოყენება მკაცრად არის დამოკიდებული ადგილობრივ ხელმისაწვდომობასა და სატრანსპორტო მახასიათებლებზე. განსაკუთრებით მცირე მანძილზე მგზავრობის მოდელირება სენსიტიურია უხეში ზონალური სისტემის მიმართ.

საგზაო მოძრაობის ზონების განსაზღვრასთან დაკავშირებით არსებობს არაერთი ადმინისტრაციული სივრცითი სისტემა, რომლის გამოყენებაც შესაძლებელია ზონების განსაზღვრისას. ასეთი სისტემებია:

- მუნიციპალიტეტები
- საყოვალთაო აღწერის უბნები
- საფოსტო უბნები
- საარჩევნო ოლქები
- ა.შ.

ასეთი სივრცითი სისტემების მახასიათებლები, რომლებიც მოიცავენ ზონების გეოგრაფიულ და დემოგრაფიულ ან სოციალურ-ეკონომიკურ მონაცემებს, ხელმისაწვდომია სხვადასხვა ადმინისტრაციული ერთეულის დონეზე (სატრანსპორტო სამინისტრო, სავაჭრო პალატა, და ა.შ.). ამგვარი მონაცემების მიღება ამცირებს მონაცემთა შეგროვებისა და სისტემის დიზაინის ხარჯებს.

მუნიციპალური ტრანსპორტის გეგმის შედგენისას მიღებული ზონის სიდიდე დაახლოებით 1000-დან 2000-მდე მოსახლეს შეადგენს. დელფის ზომის ქალაქისთვის ეს ნიშნავს დაახლოებით 50 სატრანსპორტო ზონას. რეგიონალური კვლევებისთვის გამოიყენება მაქსიმუმ 500 ზონა. ჰოლანდიის ეროვნული სისტემის მოდელი იყენებს 350 ზონას.

ზონის მიღებული ფორმა

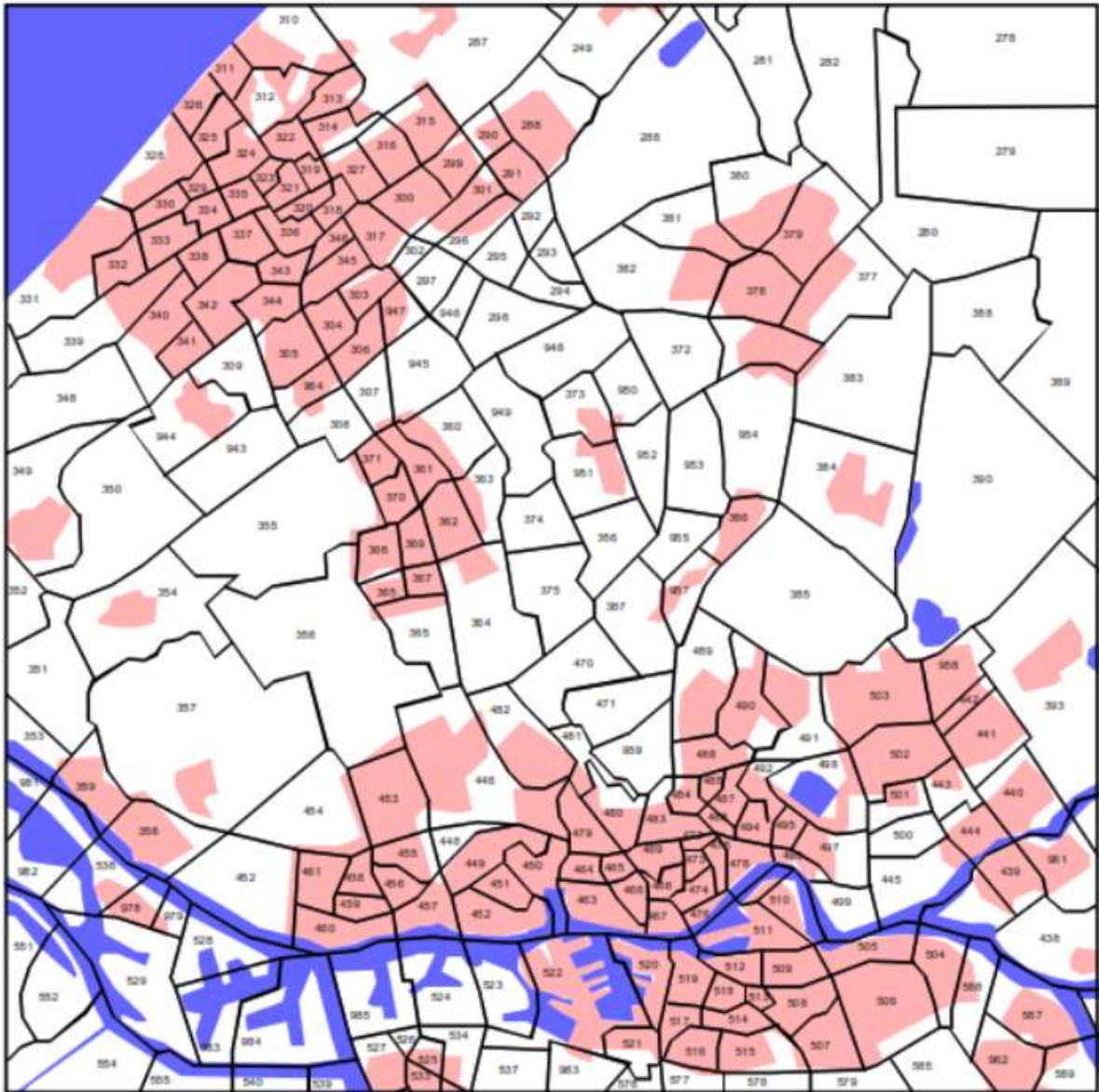
იდეალური ზონების საზღვრები უნდა მიჰყვებოდეს ოფიციალური სივრცითი სისტემების მიერ მოცემულ საზღვრებს, რათა დავზოგოთ ხარჯები და გავზარდოთ შესაძლებლობები. თავის მხრივ, საგზაო ზონებს უნდა ჰქონდეთ კომპაქტური ამოზნექილი ფორმა, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი შეცდომები მგზავრობის დისტანციებზე.

ზონის ცენტროიდები

საგზაო ზონა წარმოდგენილია ზონაში ერთი წერტილით, რომელსაც ეწოდება ცენტროიდი. ეს არის ზონის გეოგრაფიული წარმოდგენა. ითვლება, რომ ყველა მგზავრობა ამ წერტილში იწყება და მთავრდება. ცენტროიდი მოდელირებული სატრანსპორტო ქსელის ნაწილია. ეს არის გამოგონილი ქსელის კვანძი, რომელიც აკავშირებს ზონას მიმდებარე ქსელებთან. იგი ქსელს უკავშირდება ე.წ. ბმულებით (კონექტორებით), რომლებიც ფიქტიური კავშირებია (იხ. თავი 3.3). ცენტროიდის ადგილმდებარეობა წარმოადგენს ზონის სიმძიმის ცენტრს, რაც ნიშნავს, რომ მის ადგილმდებარეობას მინიმუმამდე დაჰყავს მანძილი და დროის ცდომილება ინდივიდუალური მგზავრობის მისამართების გეოგრაფიულად წარმოდგენისას (იხ. სურათი 3.2). ზონებს შორის ინტერზონალური მახასიათებლები, როგორცაა მანძილი ან მგზავრობის დრო, დაფუძნებულია ზონების ცენტროიდებს შორის მანძილსა ან დროზე.

ზონალური იერარქია

უმეტესად პროგრამებში გამოიყენება ერთიანი ზონირების სისტემა, ანალიზის ნებისმიერ ეტაპზე. მიუხედავად ამისა, მოდელირების სხვადასხვა ეტაპებზე შეიძლება დაგვჭირდეს განსხვავებული ზონალური სისტემა. განსაკუთრებით მოდალური არჩევანის ანალიზისას გამოიყენება უფრო დეტალური სივრცითი აღწერილობა, ვიდრე სხვა ეტაპებში. ამისათვის მრავალი კვლევა იყენებს ზონალურ იერარქიას. ნიდერლანდების ეროვნულ სატრანსპორტო მოდელში, მოდალური და დანიშნულების ადგილის არჩევის ანალიზისათვის საჭირო მგზავრობის მახასიათებლები დადგენილია 1200 ზონიან სისტემაში, ხოლო მგზავრობის წარმოებისა და ნაკადების განაწილებისათვის გამოიყენება შემცირებული 350 ზონიანი სისტემა.



ფიგურა 3.1 რეგიონის ზონებად დაყოფა

3.3. ქსელის აღწერა

3.3.1. ქსელის სახეობები

უმეტეს შემთხვევებში, ანალიზის საბოლოო მიზანია ქსელის ელემენტების დატვირთვების ცოდნა. სწორი არჩევანის მოდელირებისთვის საჭიროა სხვადასხვა ქსელში მგზავრობათა დისტანციებისა და ხანგძლივობის შესახებ ინფორმაციის ქონა. ამ მიზნის მისაღწევად საჭიროა სხვადასხვა ქსელის (მანქანა, ველოსიპედი, საზოგადოებრივი ტრანსპორტი) კომპიუტერიზებული აღწერა, რომელიც განასახიერებს ქსელის გეოგრაფიულ დამოკიდებულებებს და იძლევა მგზავრობის ისეთი მახასიათებლების გამოთვლის საშუალებას, როგორცაა სიჩქარე, დრო და ა.შ. ეს ქსელები წარმოადგენენ რეალური ქსელების გამარტივებულ რეპრეზენტაციას, რომლის დეტალიზების დონე დამოკიდებულია არსებულ პრობლემაზე. საჭიროა

მხოლოდ საკვლევ არეალში შემავალი ქსელების მოდელირება. ასეთი ქსელები შედგებიან კვანძებისა და მათ შორის კავშირებისაგან. ზონალური ცენტროიდები უკავშირდება მოდელირებული ქსელის კვანძებს ერთი ან მეტი ბმულით.

საზოგადოებრივი ტრანსპორტის შემთხვევაში სიტუაცია შედარებით რთულია. გარდა ფიზიკური ქსელისა, რომელზეც მოძრაობს საზოგადოებრივი ტრანსპორტი, გვაქვს ხაზოვანი ქსელი, რომელიც განსაზღვრავს მომსახურებებს და მათ მახასიათებლებს, როგორცაა სერვისის სახეობა, სიხშირე, მოცულობა, მგზავრობის დრო და ა.შ., იმისათვის, რომ არჩევანის მოდელირება სწორად მოხდეს, საჭიროა კონკრეტული სახეობის ქსელის აღწერა. ხაზოვანი ქსელის გაჩერებებს და ლოგისტიკურ ლოკაციებს, აგრეთვე მათი დამაკავშირებელი ხაზების მახასიათებლებს უმთავრესი მნიშვნელობა აქვთ; ძირითადი ფიზიკური ქსელი არ არის ასეთი მნიშვნელოვანი. ამრიგად, ხაზის ქსელის კვანძები საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გაჩერებებია, ხოლო ამ კვანძებთან დამაკავშირებელი ხაზები წარმოადგენს ამ გაჩერებებს შორის დამაკავშირებელ გზებს. სპეციალური ნიშნები, წარმოადგენენ მოსაცდელებს, ხაზებსა და გაჩერებებს შორის გადასასვლელებს.

დღესდღეობით კვლევების უმეტესობაში ანალიზები კერძო და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელებისთვის ტარდება ცალკე. უახლოეს მომავალში კომბინირებული მულტიმოდალური ქსელები იქნება პოპულარული, რომელშიც ეს ქსელები დაუკავშირდებიან ერთმანეთს სატრანსპორტო კვანძების გამოყენებით, რაც საშუალებას მისცემს მგზავრს ერთი სახის მოდალობა (მანქანა, ველოსიპედი, ავტობუსი) სხვა სახის მოდალობით (ავტობუსი, სარკინიგზო) ჩაანაცვლოს. სარკინიგზო სადგურები ტიპიური მულტიმოდალური კვანძებია. ასეთი მულტიმოდალური ქსელები მარშრუტისა და მოდალობის არჩევანის ინტეგრირების საშუალებას იძლევა ერთ არჩევის პროცესში. მულტიმოდალური ქსელის მარშრუტი ავტომატურად განსაზღვრავს სხვადასხვა მოდალობის გამოყენებას, ცალკე ან კომბინირებულად.

3.3.2. ქსელის დეტალიზების დონე

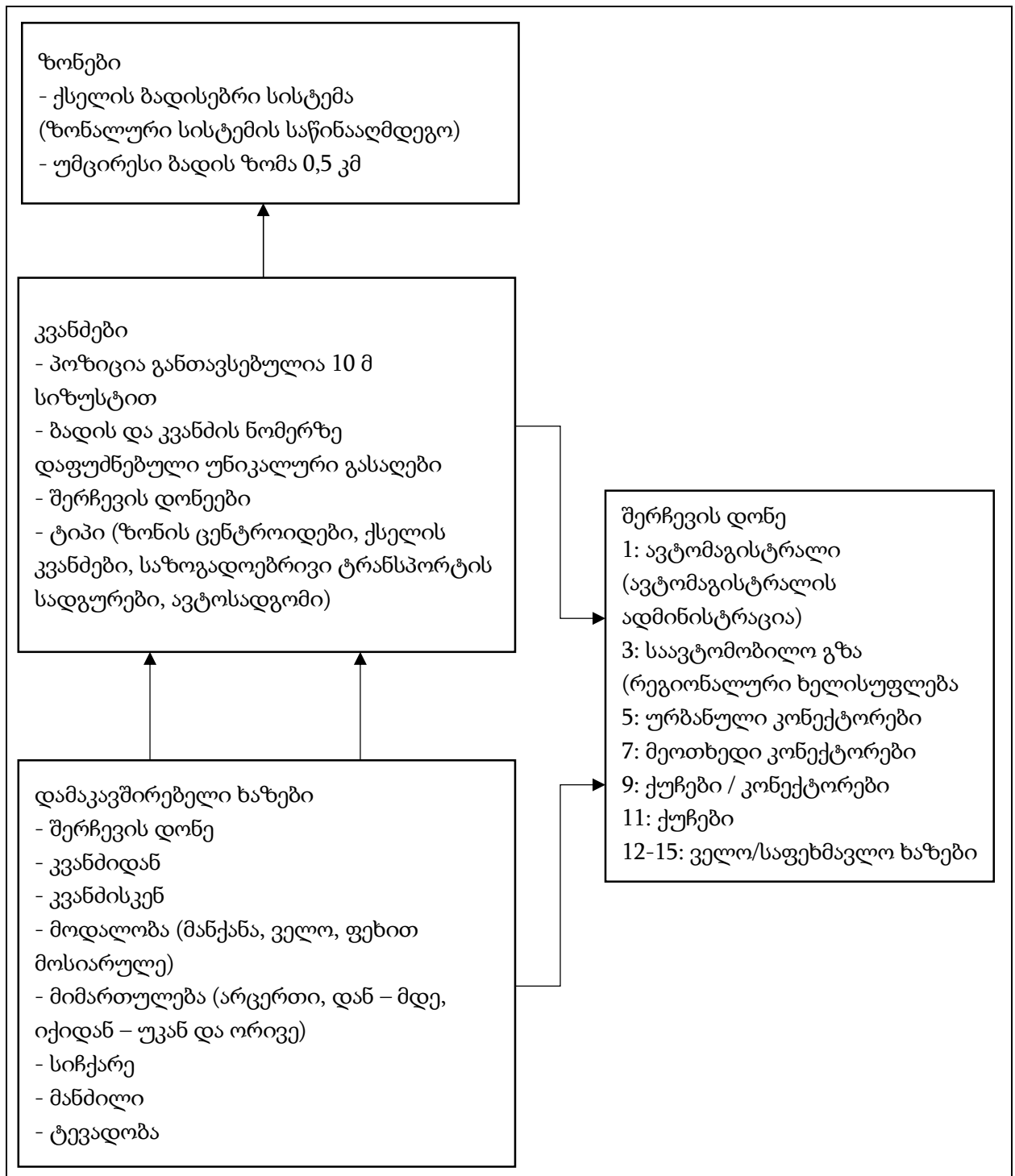
აზრი არ აქვს რეალური ქსელის ყველა ხაზის და კვანძის სისტემაში აღწერას. ეს ძალიან ძვირია და არც წარმოადგენს აუცილებლობას პრობლემის ეფექტურად გადასაჭრელად. შემდეგ ჩნდება კითხვა: რამდენად დეტალური უნდა იყოს აღწერა? რაც უფრო უხეშია მოდელირებული ქსელი, მით უფრო ნაკლებია დანახარჯები მონაცემების შესაგროვებლად, მაგრამ ასეთივე სიზუსტის იქნება რიცხვითი მონაცემები, როგორცაა მგზავრობის დრო ან საგზაო დატვირთვები. თუ სად არის ოპტიმალური დონე, დამოკიდებულია არსებულ პრობლემაზე: რა ტიპის გეგმები უნდა შეფასდეს, რა სახის ზემოქმედება უნდა იქნას გათვალისწინებული და რომელი კრიტერიუმები იქნას გამოყენებული შეფასებისას?

ჩვეულებრივ ფართო მასშტაბების დაგეგმვისას შემდეგი პრინციპები უნდა იქნას გათვალისწინებული. სამგზავრო მოთხოვნის მოდელირებისას, მოთხოვნის დაახლოებით 75% (გავლილი კილომეტრების თვალსაზრისით) უნდა იყოს ქსელის ანალიზის ნაწილი. მოდელირებული ქსელი უნდა შეიცავდეს ქსელის მთლიანი მოცულობის 75% -ს. მოძრაობის ნაკადის იერარქიული ხასიათის გამო, ანუ მგზავრთა უმეტესობა ცდილობს იმოგზაუროს მაქსიმალურად მაღალი მომსახურების მქონე გზებზე, ეს პრინციპი გამოიწვევს ქსელის ზომის გონივრულ შემცირებას. ქსელის 20% გადაადგილებული კილომეტრების დაახლოებით 80% -ს შეადგენს. მაგალითად, მოდელირებული ქსელი არ მოიცავს საცხოვრებელ ქუჩებს, რომლებიც, როგორც ერთი საგზაო კატეგორია, უკვე ქმნიან საგზაო ქსელის ნახევარს. საცხოვრებელი ქუჩების ჯგუფები შეიძლება ზუსტად წარმოდგენილი იყოს ერთი კონექტორის ბმულით. ქსელის ნაწილი უნდა შეირჩეს ისეთი სახით, რომ საკვლევი ტერიტორიის ნებისმიერ წერტილზე წვდომა იყოს შენარჩუნებული.

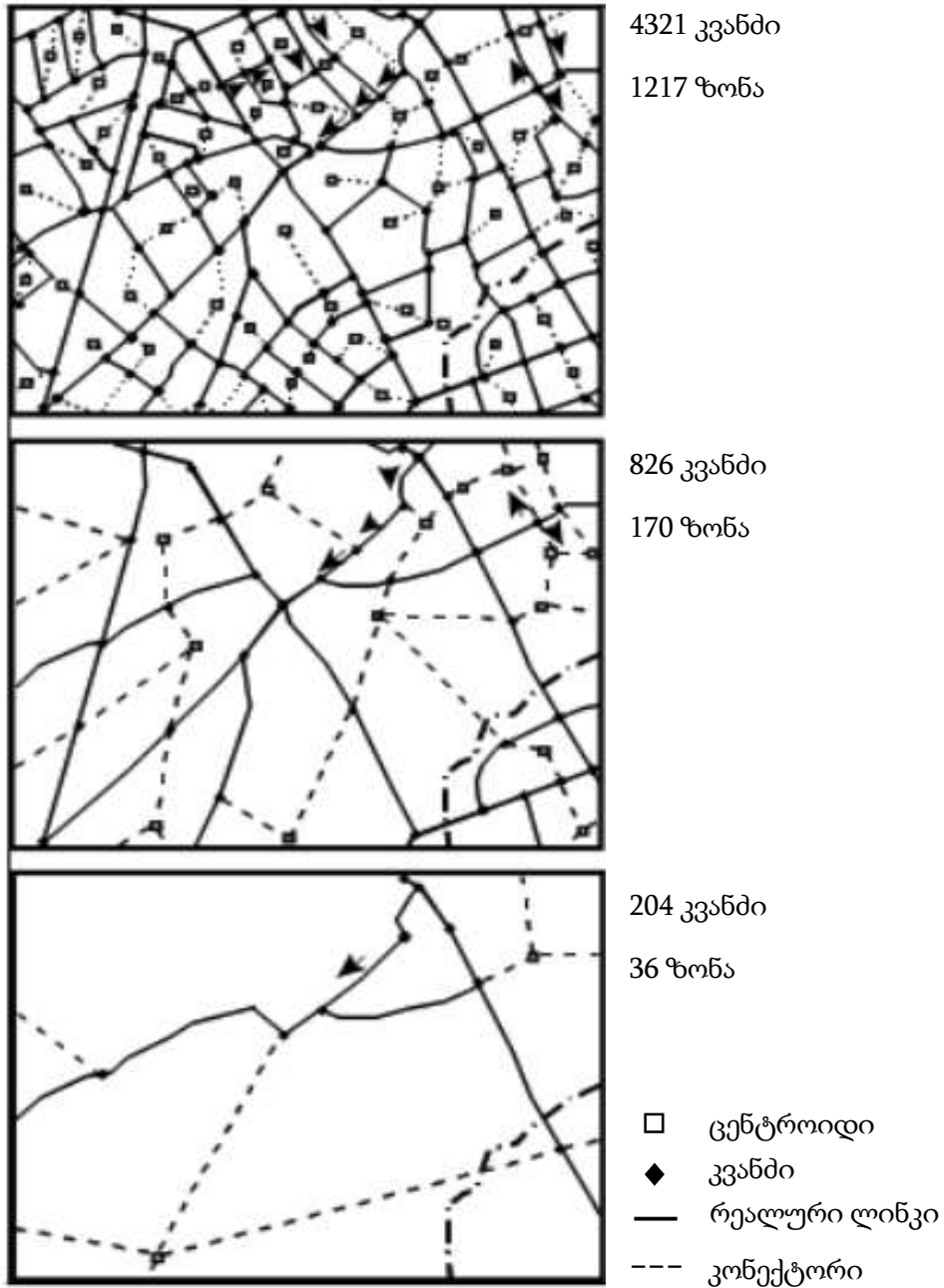
მოდელირებული ქსელის შესაქმნელად გამოიყენება რეალური ქსელის ფუნქციური კლასიფიკაცია. თითოეული სატრანსპორტო ქსელი შეიძლება დაიყოს ქვექსელებად, რომელთაც აქვთ ცალკეული სატრანსპორტო ფუნქცია. ქსელის თითოეულ ხაზს შეიძლება მიეზას ფუნქციათა კლასი, იმის მიხედვით თუ რა ხარისხით ემსახურება იგი ნაკადს ან უზრუნველყოფს ხაზზე წვდომას. შეგვიძლია განასხვავოთ ათი ასეთი ფუნქციური კლასი. მაგალითად:

- საავტომობილო გზა (100% ნაკადის ფუნქცია)
- ურბანული გზა
- არტერიული გზა
- შემკრები გზა
- საცხოვრებელი ქუჩა (5% ნაკადი, 95% წვდომა.)
- საცხოვრებელი ჩიხი (0% ნაკადი, 100% წვდომა).

იმის შემდეგ, რაც განისაზღვრება საკვლევი არეალის ქსელის ფუნქციური კლასიფიკაცია (რომელიც უმეტესად ხელმისაწვდომია), ქსელის მოდელის შერჩევა ხდება ზემოდან ქვემოთ. ამის შემდეგ, პირველ რიგში ხდება ზემო ფუნქციური კლასის მთლიანად შერჩევა და შერჩეული მთლიანი სიმძლავრის პროცენტის გამოთვლა. გადავდივართ შემდეგ ეტაპზე და განვსაზღვრავთ შერჩეული სიმძლავრის მნიშვნელობას. ეხლა საკითხავია, თუ როდის უნდა შევჩერდეთ.



ფიგურა 3.2 ძირითადი ქსელი (ნიდერლანდები, გამოყენებაშია 1977 წლიდან), განახლებული ვერსია



ფიგურა 3.3 საგზაო ქსელის აღწერა სივრცითი დეტალების სამ დონეზე (ეინდჰოვენი).

მინიმუმ, ქსელში ყველა ის ფრაგმენტი უნდა იქნას ასახული, რომელთა დატვირთვების გამოთვლა წარმოადგენს კვლევის მიზანს. იმისათვის, რომ გამოთვლები იყოს მაქსიმალურად ზუსტი, იგი უნდა შეიცავდეს ქსელის იმ დონის ფუნქციონალურ ფენას, რომელიც გვთავაზობს საკვლევი მარშრუტების ალტერნატივებს. ასე რომ, თუ გვინტერესებს საგზაო მაგისტრალები, მაშინ მოდელში უნდა გავითვალისწინოთ მისი დამაკავშირებელი გზები. თუ გვინტერესებს რბოლაში შეჯიბრების ფენომენი, იძულებულნი ვართ უზრუნველყოთ თითქმის მთელი ქსელის მოდელირება. იმისათვის, რომ ვიყოთ ზუსტები სხვადასხვა მიზნების მისაღწევად, ქსელის დაახლოებით 75% უნდა იყოს მოდელირებული.

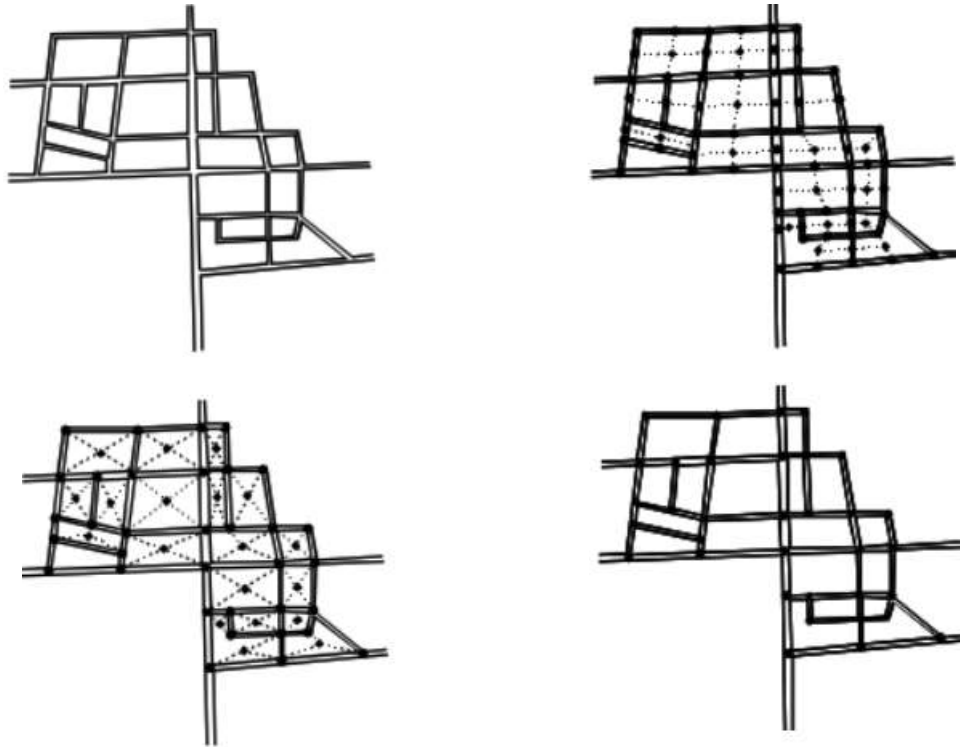
ფიგურა 3.3-ში მოცემულია ქსელის ილუსტრაცია, ერთი და იმავე რეალური ქსელის (ეინდჰოვენი) სამი მოდელი დეტალიზაციის მიხედვით: ზუსტი, საშუალო და დაბალი დონე.

საშუალო დონის ქსელი, რომელსაც კვანძების რაოდენობის მხოლოდ ერთი მეხუთედი აქვს ზუსტ დონესთან შედარებით, საუკეთესო ვარიანტია ხარჯების და დროის გამოთვლის მხრივ. იგი მხოლოდ ერთი მეხუთედია, მაგრამ მოცემული გამოთვლების წარმოებისას მათი სიზუსტე თითქმის ერთი და იგივეა, რაც ზუსტი ქსელის შემთხვევაში.

ურბანულ ქსელებში კვანძები წარმოადგენენ მნიშვნელოვან ელემენტებს. რაც უფრო მეტია კვანძების რაოდენობა, მით მეტი მონაცემების ასახვაა საჭირო. ზოგიერთ მოდელირების პროგრამაში კვანძების დამაკავშირებელი ბმულების რაოდენობა შეზღუდულია. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა დამხმარე კვანძების შემოღება, რეალობის სწორად წარმოსადგენად. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება კვანძების კოდირების საშუალებას. ილუსტრაციისთვის იხილეთ ფიგურა 3.5. ზონალური ცენტროიდები მოდელირებული ქსელის ნაწილია. იგი წარმოადგენს მგზავრობის შესასვლელ და გამოსასვლელ წერტილებს. ცენტროიდები უკავშირდებიან ქსელს ბმულების საშუალებით. ცენტროიდები შეიძლება დაკავშირებული იყვნენ არსებულ კვანძებთან ან დამხმარე კვანძებთან, რომლებიც სპეციალურად არიან შემოტანილი ქსელში. ცენტროიდული კავშირი დამოკიდებულია პროგრამულ უზრუნველყოფაზე. მოდელში საკმარისი სიზუსტის მისაღწევად ცენტროიდს უნდა ჰქონდეს კავშირი ყველა შესაბამის მიმართულებასთან.

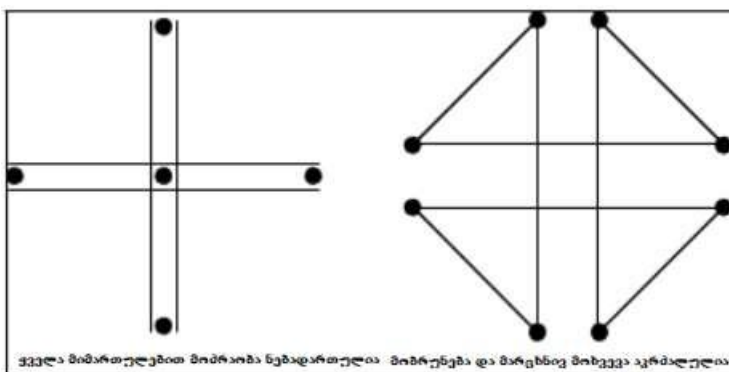
ქსელის კოდირება

მოდელირებული ქსელი შედგება კვანძებისა და ბმულებისგან. კვანძები წარმოადგენენ ფიზიკურ კვეთას, დამხმარე კვანძებს ან ცენტროიდებს. ცენტროიდები წარმოადგენენ სპეციალური კატეგორიის კვანძებს, სადაც უმოკლესი მარშრუტები იწყებიან და მთავრდებიან. ბმულები წარმოადგენენ ფიზიკურ ან დამხმარე საშუალებებს შორის ისეთ კავშირებს, როგორცაა კონექტორები. ორმხრივი ფიზიკური კავშირები წარმოადგენილია ორი ცალმხრივი ბმულით.



ფიგურა 3.4 საგზაო ქსელის სტრუქტურის შესაძლო სპეციფიკაციების მაგალითები

რთულ კვეთაზე მგზავრობის დროის დანაკარგი გამოწვეულია მოლოდინით კვეთაზე შესვლისას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია კვანძზე მოძრაობისას შექმნილი შეფერხებების გამო გამოწვეული დროის დანაკარგები. ამ სახის დროის დანაკარგები მნიშვნელოვნად მოქმედებენ მგზავრობის მარშრუტის არჩევანზე. ასეთ შემთხვევაში ზუსტი მოდელის შესაქმნელად შეიძლება საჭირო გახდეს ქსელის აღწერილობაში სპეციალური ბმულების შემოღება, რომლებიც წარმოადგენენ ამ კვეთაზე მოძრაობებს.



ფიგურა 3.5 ქსელის კოდირების ფორმები

3.4. მგზავრობის რეზისტენტობა

დროის ან ღირებულების განზოგადებული ფუნქციები

საქმიანობის და მგზავრობის შესრულება მოითხოვს დროისა და ფულის დანახარჯს. მიკრო-ეკონომიკური თეორიის ანალოგიურად, ტრანსპორტირების თეორია შემდეგ ორ განტოლებას ღებულობს როგორც შეზღუდვებს მგზავრობის არჩევისას:

ფინანსური ბიუჯეტი

$$\sum_n y_{np} k_n = K_p \quad (3.1)$$

დროის ბიუჯეტი

$$\sum_n y_{np} t_n = T_p \quad (3.2)$$

სადაც:

y_{np} = p მგზავრის მიერ n საქმიანობის (დანომუნულება) შესასრულებლად განხორციელებული ტურების რაოდენობა

k_n = დანახარჯები (მგზავრობის ღირებულების ჩათვლით) n საქმიანობის შესასრულებლად

t_n = დრო (მგზავრობის ხანგრძლივობის ჩათვლით) n საქმიანობის შესასრულებლად

K_p = p მგზავრის ფინანსური ბიუჯეტი (შემოსავალი)

T_p = p მგზავრის დროის ბიუჯეტი

თუ T პერიოდში მგზავრის პირად შემოსავალს ავლნიშნავთ INK_p – ით, მაშინ:

$$K_p = INK_p * T_p \quad (3.3)$$

ვგულისხმობთ, რომ (3.1) ასევე შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\sum_n y_{np} \frac{k_n}{INK_p} = T_p \quad (3.4)$$

თუ ინდივიდუალები ახდენენ თავიანთი საქმიანობის სარგებლიანობის მაქსიმიზაციას დროისა და ფინანსური შეზღუდვების საზღვრებში, ეს ნიშნავს, რომ ორივე შეზღუდვა შეიძლება გაერთიანდეს ერთ შეწონილ ჯამში. შეწონილ ჯამს მიყვართ განტოლებასთან:

$$\sum_n y_{np} (t_n + \gamma \frac{k_n}{INK_p}) = (1 + \gamma) T_p \quad (3.5)$$

შესაბამისად n საქმიანობის შესასრულებლად საჭირო Z_n მგზავრობის რეზისტენტობა:

$$Z_n = t_n + \gamma \frac{k_n}{INK_p} \quad (3.6)$$

Z_n - ს ეწოდება განზოგადოებული დრო.

თუ ავსახავთ $i-j$ ზონალურ ცვლილებაში, მივიღებთ შემდეგ განტოლებას:

$$Z_{ijv} = t_{ijv} + \gamma \frac{k_{ijv}}{INK} \quad (3.7)$$

სადაც:

Z_{ijv} = განზოგადებული დრო i და j ზონებს შორის v მოდალობით;

t_{ijv} = მგზავრობის დრო i და j ზონებს შორის v მოდალობით;

k_{ijv} = მგზავრობის ღირებულება i და j ზონებს შორის v მოდალობით;

γ = პარამეტრი, რომელიც ძირითადად შემოსავლის პროპორციულია ($\gamma = 3$)

INK/γ თანაფარდობას ეწოდება დროის მნიშვნელობა (VOT). ეს არის ის თანხა, რომელიც მგზავრებს სურთ დახარჯონ მგზავრობის ერთი ერთეულის დაზოგვის მიზნით. შეიძლება დამატებითმა ფაქტორებმა გავლენა მოახდინონ მგზავრობის რეზისტენტობაზე, მაგალითად, ფიზიკური ძალისხმევა ველოსიპედით მგზავრობისას.

მგზავრობის არჩევისას, მგზავრები ეძებენ კომპრომისს დროსა და ფულს შორის: დრო ფასდება ფინანსურად. ავტომობილების მძღოლები ცდილობენ დაზოგონ პარკირების ხარჯები, თავიანთი დანიშნულების ადგილისკენ შედარებით გრძელი მანძილის გავლით. გზის გადასახადების შემთხვევაში (მაგალითად, ის, რაც ადრე ბენელუქსის გვირაბში და ზელანდიის ხიდზე იყო გამოყენებული) ბევრი მძღოლი ირჩევს შემოვლით გზას ჯიბის ფულის დაზოგვის მიზნით. ეს, დამოკიდებულია საჭირო თანხასა და დროზე, რაც, თავის მხრივ დამოკიდებულია მგზავრის შემოსავალზე საათობრივი მაჩვენებლის მიხედვით.

ცხრილში 3.1 მოცემულია დროის მნიშვნელობები, რომლებიც ამჟამად გამოიყენება ნიდერლანდების ტრანსპორტის სამინისტროს მიერ სატრანსპორტო კვლევებში.

კვლევებმა აჩვენა, რომ ავტომობილის მძღოლებს ურჩევნიათ 5 კილომეტრით მეტი მანძილის გავლა (ან 5 წუთით მეტი მგზავრობა), რათა დაზოგონ 3.50 გულდენი. ამ კვლევებიდან გამომდინარეობს, რომ საშუალოდ ერთი საათი სატრანსპორტო

საშუალება დროის კუთხით ფასდება დაახლოებით 8-დან 10 გულდენამდე (1988 წელი). საავტომობილო ტვირთების გადაზიდვის საშუალო დრო დაახლოებით შეადგენს 63 გულდენს ($\approx 29 \text{ €}$) საათში (1992 წელი).

ჯგუფური შემოსავალი (საშუალო ნებისმიერი მოდალობისთვის) გულდენი / თვეში (ხელზე ასაღები)	კომპუტირებადი	მგზავრობის მიზანი ბიზნესი	სხვა
< 2500	9.20	19.80	7.30
2501 – 4000	9.70	27.80	8.20
4001 – 6000	13.00	37.90	9.30
> 6000	13.40	48.20	11.40
ყველა ჯგუფი	11.30	37.50	8.70
ჯგუფური შემოსავალი (საშუალო ნებისმიერი დანიშნულებისთვის) გულდენი / თვეში (ხელზე ასაღები)	მსუბუქი მანქანა	მგზავრობის მოდალობა მატარებელი	ავტობუსი
< 2500	8.70	6.80	5.00
2501 – 4000	9.80	8.10	6.00
4001 – 6000	13.50	9.70	7.20
> 6000	17.60	12.70	10.10
ყველა ჯგუფი	12.00	8.90	6.50
მოდალობა (საშუალო ყველა ჯგუფის შემოსავლისთვის)	კომპუტირებადი	მგზავრობის მიზანი ბიზნესი	სხვა
მანქანა	11.40	37.60	9.10
მატარებელი	11.60	33.00	7.90
ავტობუსი	9.50	32.90	5.60
ყველა ჯგუფი	11.30	37.50	8.70

ცხრილი 3.1: დროის შეფასების ძირითადი მაჩვენებლები გულდენი / საათში (1988 წელი) [წყარო: ნიდერლანდების სატრანსპორტო სამინისტრო]

დროის მნიშვნელობას ასევე გადამწყვეტი როლი უკავია ინფრასტრუქტურულ პროექტებში ინვესტირების შესაფასებლად. ცხირლში მოცემული დროის მნიშვნელობების გამოყენებით, ამ მგზავრობის დრო შეიძლება გამოვხატოთ ფინანსური სახით და დავაბალანსოთ ინვესტიციის ხარჯებთან.

3.1 ცხრილის გამოყენება

ცხირლში მოცემული მნიშვნელობები ვრცელდება 16 წელზე ზევით ასაკის პირთათვის; შემოსავლის მაჩვენებლები ეხება შინამეურნეობას; ასევე უნდა გავითვალისწინოთ რეალური ფასთა ზრდა. VOT- ის ფიგურები განაწილებულია სამ ცვლადზე: მგზავრობის მიზანი, მოდალობა და შემოსავალი. VOT- ის მნიშვნელობები მიღებულია მგზავრობის ქცევებიდან.

ობიექტური, გამოვლენილი და მოდელირებული რეზისტენტობა

მგზავრობის რეზისტენტობის განსაზღვრისას უნდა განვასხვავოთ ობიექტური, გამოვლენილი და მოდელირებული რეზისტენტობა.

ობიექტური რეზისტენტობა ან ხარჯები (X_{nk}) ობიექტურად შეიძლება შეფასდეს გაზომვის მეთოდით. მაგალითად მანქანით ან ავტობუსით მგზავრობის დრო და მანძილი. გამოვლენილი რეზისტენტულობა ან ხარჯები ობიექტური ხარჯების ინდივიდუალური შეფასების შედეგია. მგზავრის მიერ გადაწყვეტილებები მიიღება გამოვლენილი ხარჯების საფუძველზე. რეზისტენტობის შეფასება დაკავშირებულია მახასიათებლებთან და დამოკიდებულია დროის და დისტანციის შეფასებისას დაშვებულ შეცდომებზე. აღქმული დროის შესახებ მგზავრი მსჯელობს იმის მიხედვით, თუ რამდენად თავისუფლად შეუძლია განკარგოს მან თავისი დრო, ამრიგად, აქვს თუ არა სამსახური, ზრუნავს თუ არა ბავშვებზე, მიდის თუ არა სკოლაში.

მოდელირებული რეზისტენტობა ან ხარჯები (β_{nk}, X_{nk}) გამოიყენება მოდელში მგზავრობისას ქცევის ანალიზისთვის. პარამეტრის მნიშვნელობები გამოითვლება ფაქტიური ქცევის შეფასებით, ტესტირების და შეფასების მოდელების გამოყენებით. ემპირიული ანალიზით, შეფასების მოდელების გამოყენებით ვადგენთ, რომ დრო სხვადასხვანაირად აღიქმება. განსაკუთრებით, საზოგადოებრივი ტრანსპორტით მგზავრობისას, ტრანსპორტში ასვლა და ჩამოსვლის დრო (მაგ., საწყის მისამართიდან სატრანსპორტო საშუალებამდე და პირიქით) ფასდება 2 ან 3 ჯერ უფრო მეტად, ვიდრე სატრანსპორტო საშუალებით მგზავრობის დრო. ასევე გზაჯვარედინებზე მანქანაში მოცდის დრო ფასდება მეტად, ვიდრე მართვის დრო. (Hamerslag, 1979).

3.5. უმოკლესი გზის გაანგარიშება

შესავალი.

ქსელში უმოკლესი გზის გაანგარიშება არის მნიშვნელოვანი ნაბიჯი სატრანსპორტო ანალიზის პროცესში. კვლევის პროცესში, ამ გაანგარიშებას ადგილი აქვს არაერთხელ. უმოკლესი გზა სატრანსპორტო ანალიზის ფარგლებში ემსახურება რამდენიმე ფუნქციას.

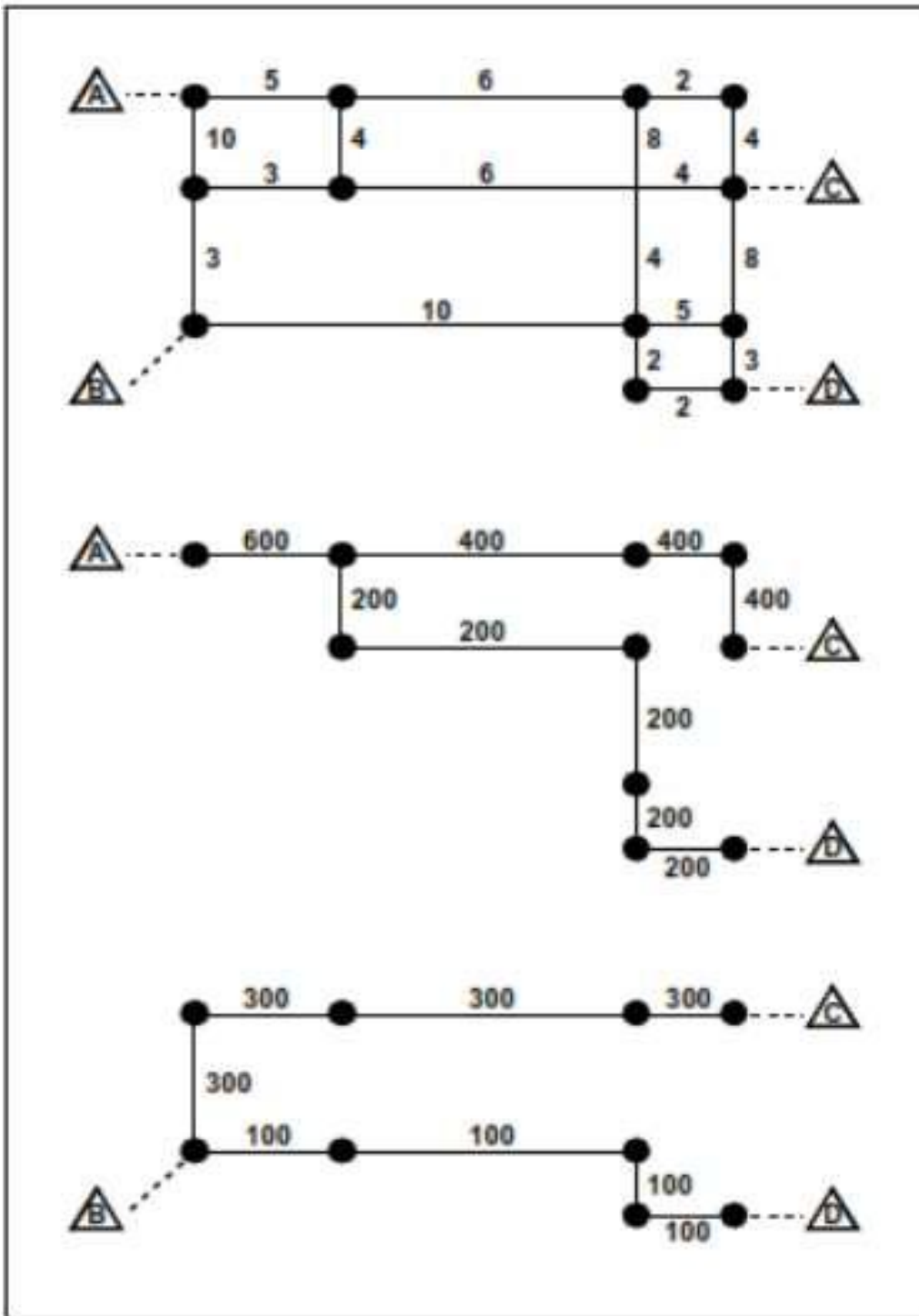
- კვანძებს ან ზონალურ ცენტროიდებს შორის უმოკლესი გზები ქმნიან მგზავრობის რეზისტენტობას ქსელში (გამოხატულია მარტივი ან განზოგადებული დროით, მანძილით ან ხარჯებით). მგზავრობის ეს რეზისტენტობები გამოიყენება ქცევის მოდელირებისას (მოდალობის, დანიშნულების, პერიოდის და მარშრუტის არჩევანი).
- უმოკლეს გზებს ასევე იყენებენ ქსელში ზონებს შორის მოძრაობის ნაკადების დასატანად, ბმულის დატვირთვის განსაზღვრის მიზნით.

არსებობს მრავალი ალგორითმი ქსელში უმოკლესი გზების მოსაძებნად.
შესაძლებელია განვასხვაოთ:

- იერარქიული ალგორითმები
- მატრიცული ალგორითმები

იერარქიული ალგორითმები თანმიმდევრობით ეძებენ თითოეულ საწყის კვანძს (ან ცენტროიდს) და ყველა სხვა კვანძს (დანიშნულების ცენტროიდებს) შორის უმოკლეს მარშრუტს. ეს ალგორითმები პირველად წარმოადგინა მურმა (1957). დეიხტრის მიხედვით (1959) ერთჯერადი ალგორითმები წარმოადგენენ სპეციალურ კლასს.

მატრიცული ალგორითმები ეძებენ ერთდროულად უმოკლეს მარშრუტებს ყველა საწყის კვანძსა (ცენტროიდსა) და ქსელში ყველა დანიშნულების კვანძამდე (ცენტროიდამდე). ზოგადად, შედარებით დიდ სატრანსპორტო ქსელებში იერარქიული ალგორითმები უფრო ეფექტურია: მათ სჭირდებათ ნაკლები კომპიუტერული მეხსიერება, ნაკლები გაანგარიშების დრო. სხვა მხრივ, მატრიცის ალგორითმები მარტივია დასაპროგრამირებლად.



ფიგურა 3.6 უმოკლეს გზის გაანგარიშების ილუსტრაცია

იერარქიული ალგორითმი

ქსელი აღწერილია კვანძებით (ინდექსი n) და ბმულებით (ინდექსი k). ბმულის რეზისტენტობა წარმოდგენილია განზოგადებული Z_k დროით. თითოეულ n კვანძს თან ერთვის ეტიკეტი 3 კომპონენტის შემადგენლობით: q_{in} , min და α_n :

- q_{in} არის ყველაზე მცირე რეზისტენტობა საწყისი i კვანძიდან n კვანძამდე გამოთვლების ყოველი ბიჯის შემდეგ;
- min არის უმოკლეს მარშრუტში ბოლო კვანძის ნომერი;
- α_n არის ინდიკატორი (0,1), რომელიც აჩვენებს საჭიროა თუ არა კიდევ ამ n კვანძისთვის გამოთვლები, ანუ კვანძი არის აქტიური თუ არააქტიური.

თითოეული ცენტროიდისთვის ან i საწყისი კვანძისთვის ტარდება შემდეგი გამოთვლები:

1. (ინიციალიზაცია) ყველა კვანძი ეტიკეტირდება $(B, 0, 1)$, სადაც B ძალიან დიდი რიცხვია. ნულოვანი ნიშნავს, რომ ჯერ არ არის ნაპოვნი ბოლო კვანძი.
2. საწყისი კვანძი ეტიკეტირებულია $(0, 0, 0)$
3. მოწმდება, არის თუ არა აქტიური მინიმუმ ერთი კვანძი ($\alpha = 0$). პირველ ეტაპზე ეს არის საწყისი კვანძი. თუ აქტიური კვანძი არ არის ნაპოვნი, საწყისი კვანძის გამოანგარიშებები ითვლება დასრულებულად.
4. შემდეგ, შეირჩევა ერთი აქტიური (n) კვანძი
5. შემდეგ, განისაზღვრება რომელი (k) კვანძები უკავშირდება აქტიურ კვანძს.
6. თითოეული ამ (k) კვანძებისთვის დგინდება, გადის თუ არა უმოკლესი გზა აქტიურ კვანძზე. ეს ის შემთხვევაა, თუ:

$$q_{in} + Z_k < q_{ik}$$

შემდეგ k კვანძი ეტიკეტირდება კომპონენტებით $(q_{in} + Z_k, n, 0)$.

ეს ნიშნავს, რომ ამ კვანძს თან ერთვის ახალი უფრო მცირე რეზისტენტობა, იცვლება ბოლო კვანძის ნომერიც და ეს კვანძი ხდება აქტიური.

7. n კვანძის α მნიშვნელობა ერთია და, ამრიგად, იგი ხდება პასიური.
8. გამოთვლები გრძელდება მე -3 ბიჯით.

მურის ტიპის ალგორითმებით შესაძლებელია აქტიური კვანძის სხვადასხვა გზით შერჩევა:

- თანმიმდევრობის მიხედვით, შეტანილი დამხმარე ცხრილში
- ყველაზე მცირე კვანძის ნომრით, ან
- შერჩევითობით.

ერთჯერადი ალგორითმები, ირჩევენ ყველაზე მცირე რეზისტენტობის მქონე კვანძს. ერთჯერადი ალგორითმის საშუალებით, თითოეული კვანძი ხდება აქტიური მხოლოდ ერთხელ. ეს ზოგავს გამოთვლისთვის საჭირო დროს.

3.6. განთავსების რუქა

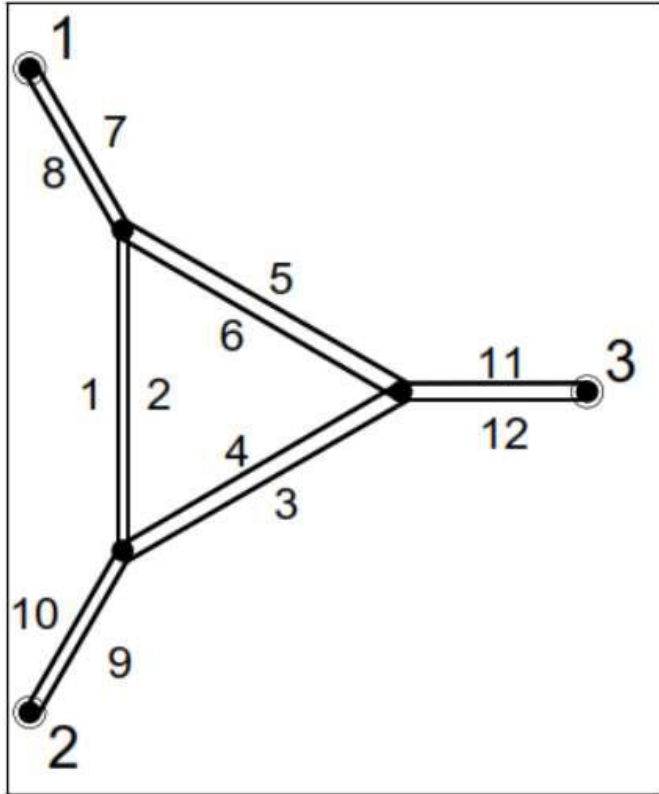
არსებობს რამოდენიმე საშუალება უმოკლესი გზის გაანგარიშების შედეგების დასადგენად. საკმაოდ კომპაქტური საშუალებაა უმოკლესი გზის იერარქია. უმოკლესი გზის იერარქია არის ვექტორი, რომლის სიგრძე შეესაბამება ქსელში კვანძების რაოდენობას. ეს არის პირველი კვანძი, რომელიც გვხვდება მიმდინარე კვანძიდან საწყის კვანძამდე, უმოკლესი გზის იერარქიაში.

მიუხედავად იმისა, რომ უმოკლესი გზის იერარქია ფრიად კომპაქტურია, გამოთვლების წარმოებისას უმოკლესი გზის დასადგენად იგი არ წარმოადგენს შესაფერის ფორმას. ამ შემთხვევაში გაცილებით ხშირია განთავსების რუქის გამოყენება. განთავსება A არის ცხრილი, რომლის სიმადლეც შეესაბამება ქსელის ბმულების რაოდენობას და სიგანე მარშრუტების რაოდენობას. თუ ელემენტები a, r ან განთავსების რუქა A უდრის 1, ე.ი. $A(a, r) = 1$, ეს მიუთითებს იმაზე, რომ r მარშრუტი კვეთს a მრუდს.

თუ განვიხილავთ ფიგურა 3.7 – ში წარმოდგენილ ქსელს, წარმოების / დანიშნულების 1, 2 და 3 კვანძებით, მაშინ შესაბამისი განთავსების რუქა წარმოდგენილია A მატრიცით. მატრიციაში მოცემული სვეტები შეესაბამება უმოკლეს გზებს OD- წყვილებისთვის 1-2, 1-3, 2-1, 2-3, 3-1 და 3-2.

განთავსების რუქა შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა სახის ანალიზისთვის, როგორცაა:

- მთლიანი ნაკადის გამოთვლა ბმულზე
- მარშრუტების განსაზღვრა, რომლებიც კვეთენ ბმულებს
- მარშრუტების განსაზღვრა, რომლებიც კვეთენ განსაზღვრული ბმულების კომბინაციას
- ბმულების განსაზღვრა, რომელთაგანაც შედგება მარშრუტი
- ბმულის ნაკადში კონკრეტული მარშრუტის წილი



$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ფიგურა 3.7 ქსელი 6 კვანძით და 12 ბმულით. კვანძები 1,2 და 3 ფუნქციონირებს როგორც წარმოებისა და დანიშნულების კვანძები

4. გენერირებული და მიზიდული მგზავრობების მოდელირება

4.1. შესავალი

კლასიკურ სატრანსპორტო მოდელში მგზავრობათა წარმოების ეტაპი მიმართულია საკვლევ არეალში გენერირებული და მიზიდული ნაკადების მთლიანი რაოდენობის პროგნოზირებაზე თითოეული ზონისათვის. ჩვეულებრივ ეს საკითხი შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც შეკითხვებზე პასუხის გაცემა, მაგალითად: რამდენი მგზავრობა წარმოებს თითოეული ზონაში? ზოგჯერ ეს საკითხი განიხილება, როგორც მგზავრობის სიხშირის დადგენა: რამდენ სავაჭრო ან სხვა დანიშნულების მგზავრობას ახორციელებს ინდივიდი საშუალოდ კვირაში? ჩვეულებრივ ეს ხდება დისკრეტული არჩევანის მოდელების გამოყენებით.

რამდენიმე ძირითადი კონცეფციის განსაზღვრების შემდეგ განვიხილავთ ფაქტორებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ გენერირებულ და მიზიდულ ნაკადებზე (თავი 4.3). შემდეგ კი განვიხილავთ მოდელირების მთავარ მიდგომებს. არსებობს სამი ძირითადი ინსტრუმენტი, რომელსაც ვიყენებთ ნაკადების მოდელირებისას:

- რეგრესიული მოდელები (თავი 4.4):

ჩვეულებრივ გამოიყენება რეგრესიის ორი სახეობა. პირველი იყენებს ზონულ დონეზე მოპოვებულ მონაცემებს, ზონაში მგზავრობების საშუალო რაოდენობას, როგორც დამოკიდებულ ცვლადს და საშუალო ზონალურ მახასიათებლებს, როგორც დამოუკიდებელ ცვლადებს. მეორე იყენებს ცალკეულ მონაცემებს შინამეურნეობის ან ინდივიდის დონეზე, ოჯახის წევრის ან ინდივიდის მიერ შესრულებულ მგზავრობათა რაოდენობას, როგორც დამოკიდებულ ცვლადს, და შინამეურნეობის და პირად მახასიათებლებს, როგორც დამოუკიდებელ ცვლადებს.

- ჯვარედინი კლასიფიკაციის მოდელები (თავი 4.5):

ჯვარედინი კლასიფიკაციის მეთოდები ურბანულ რეგიონში მოსახლეობას ცალკეულ ჯგუფებად ჰყოფს გარკვეული სოციალურ-ეკონომიკური მახასიათებლების მიხედვით. შემდეგ, კლასების შეაბამისად, ემპირიული მეთოდით აფასებს თითოეული ოჯახის ან ინდივიდის მიერ საშუალო კატეგორიის მგზავრობათა რაოდენობას. ეს ქმნის საძიებო ცხრილს, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას მგზავრობათა პროგნოზირებისათვის.

- დისკრეტული არჩევანის მოდელები (თავი 4.6):

დისკრეტული არჩევანის მოდელები იყენებენ ცალკეული შინამეურნეობის ან ინდივიდის დონის მონაცემებს, რათა შეაფასონ ალბათობა, რომლის მიხედვითაც ნებისმიერი ოჯახი ან ინდივიდი განახორციელებს მგზავრობას. შემდეგში შედეგი შეიძლება იქნას გამოყენებული, მგზავრობათა რაოდენობების პროგნოზირებისათვის.

სამივე მიდგომა შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზონალური მგზავრობის შეფასების მიზნით, სხვადასხვა მახასიათებლების გამოყენებით (ცხრილი 4.1). ჩვენ დავიწყებთ ზონალური და შინამეურნეობის მონაცემებზე დაფუძნებული წრფივი რეგრესიის მოდელების განხილვით, განსაკუთრებით ხაზს გავუსვამთ არაწრფივობის პრობლემას, რომელიც ამ შემთხვევაში ხშირად წარმოიშობა. ასევე განვიხილავთ აგრეგაციის პრობლემას (მაგ. მთლიანი ზონალური მონაცემების მოპოვება), რომელსაც ტრივიალური გადაწყვეტა აქვს, მოდელის წრფივი ფორმის გამო. შემდეგ გადავალთ ჯვარედინი კლასიფიკაციის მოდელებზე, სადაც შვეისწავლით არა მხოლოდ კლასიკური კატეგორიის ანალიზის სპეციფიკაციებს, არამედ უფრო თანამედროვე მიდგომებს, პიროვნებათა კატეგორიის ანალიზის მოდელის ჩათვლით. საბოლოოდ განვიხილავთ დისკრეტული არჩევანის მეთოდებს.

ანალიზის ერთეული წრფივი რეგრესია ჯვარედინი კლასიფიკაცია დისკრეტული არჩევანი			
ზონა	x (თავი 4.4.1)		
შინამეურნეობა	x (თავი 4.4.2)	x (თავი 4.5.1)	x (თავი 4.6)
პირადი	x	x (თავი 4.5.3)	x (თავი 4.6)

ცხრილი 4.1 მგზავრობათა მოდელირების მიდგომების კლასიფიკაცია

4.2. მგზავრობათა კლასიფიკაცია

4.2.1. მგზავრობის მიზანი

პრაქტიკაში გამოვლინდა, რომ მგზავრობათა ხარისხიანი მოდელებისათვის მიზანშეწონილია, თუ მგზავრობებს განვასხვავებთ დანიშნულების მიხედვით და ცალცალკე მოხდება მათი მოდელირება. სახლიდან გენერირებული მგზავრობები, ჩვეულებრივ იყოფიან ხუთ კატეგორიად:

- მგზავრობები სამსახურში;
- მგზავრობები სკოლაში ან კოლეჯში (სასწავლო ვიზიტები);
- სავაჭრო მგზავრობები;
- სოციალური და გართობითი სახის მგზავრობები;
- სხვა სახის მგზავრობები.

პირველ ორს, ჩვეულებრივ, სავალდებულო ვიზიტებს ვუწოდებთ, დანარჩენებს კი დისკრეტულ (ან არჩევით) ვიზიტებს. ამ უკანასკნელ კატეგორიაში შედის ყველა რუტინული მიზნის ვიზიტი, როგორცაა ჯანმრთელობა, ბიუროკრატია (პასპორტის ან მოწმობის მოპოვება) და როგორცაა ესკორტი. გარდა სახლიდან

გენერირებული მგზავრობებისა, სხვა სახის მგზავრობა არ არის გამიჯნული, რადგან იგი მხოლოდ ყველა მგზავრობის 15-20% -ს შეადგენს.

4.2.2. დღის პერიოდი

მგზავრობები ხშირად კლასიფიცირდება პიკურ და არაპიკურ პერიოდებად; სხვადასხვა მიზნით მგზავრობათა პროპორცია, მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია დღის პერიოდზე, იხ. ცხრილი 4.2.

დანიშნულება	პიკური (%)	არაპიკური (%)
სამსახური	52.12	12.68
განათლება	35.06	4.96
საყიდვები	1.54	11.35
სოციალური	0.79	5.40
ჯანმრთელობა	1.60	2.74
ბიუროკრატია	3.89	18.35
გაცილება	2.09	2.14
სხვა	0.19	0.73
სახლში დაბრუნება	2.72	41.65

ცხრილი 4.2 მგზავრობათა კლასიფიკაციის ნიმუში

დილის (AM) პიკის პერიოდი (ითვლება, რომ საღამოს პიკის პერიოდი არის მისი სარკისებური) ჩვეულებრივ 7:00 საათიდან 9:00 საათამდე პერიოდში იჩენს თავს, ხოლო არაპიკური პერიოდი კი 10:00 საათიდან 12:00 საათამდე.

4.2.3. პიროვნების ტიპი

ეს არის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი კლასიფიკაცია, რადგან ინდივიდუალური მგზავრის ქცევა დიდწილად დამოკიდებულია სოცალურ-ეკონომიკურ ატრიბუტზე. ჩვეულებრივ ვანსხვაგვებთ შემდეგ კატეგორიებს:

- შემოსავლის დონე (მაგ., სანტიაგოს კვლევაში ცხრა ჯგუფი);
- ავტომობილის ფლობა (როგორც წესი, სამი ჯგუფი: 0, 1 და 2 ან მეტი მანქანა);
- შინამეურნეობის ზომა და სტრუქტურა (მაგ., ბრიტანეთის უმეტესი კვლევების მიხედვით, ექვსი გჯუფი).

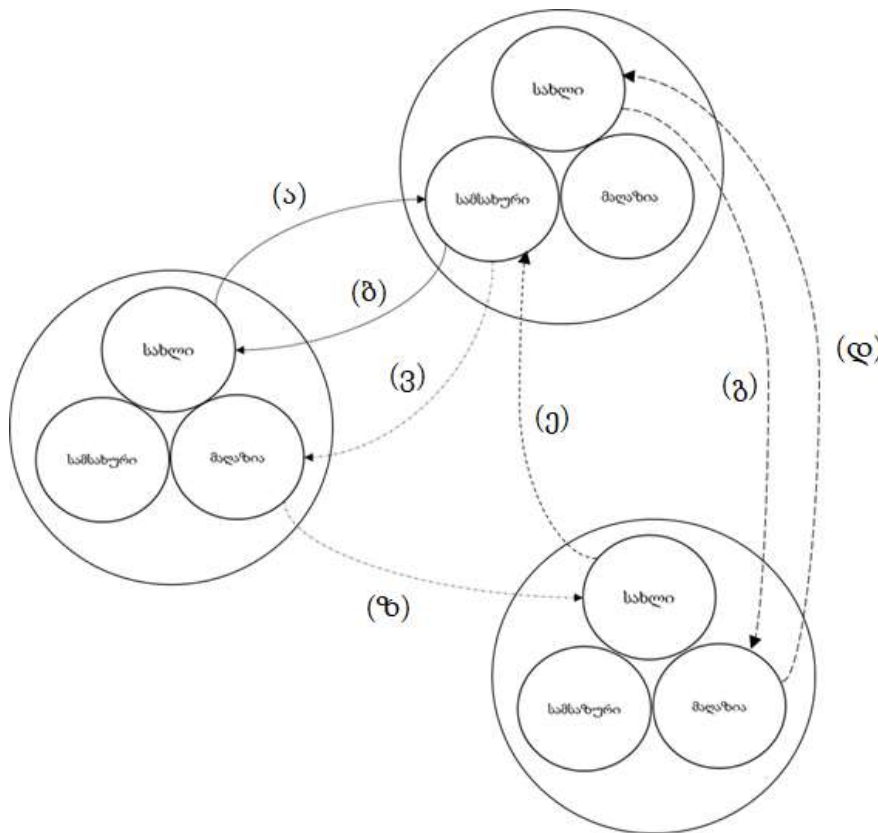
მნიშვნელოვანია ავღნიშნოთ, რომ ჯგუფების საერთო რაოდენობა შეიძლება ძალიან სწრაფად გაიზარდოს და ამან შეიძლება ძლიერი გავლენა იქონიოს მონაცემთა საჭიროების, მოდელის კალიბრაციისა და გამოყენების თვალსაზრისით.

4.3. ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მგზავრობის წარმოებაზე

მგზავრობის მოდელირებაში, როგორც წესი, გვინტერესებს არა მხოლოდ ინდივიდუალური მგზავრობები, არამედ სატვირთო გადაზიდვებიც. ამ მიზეზით, საჭიროა ოთხი ძირითადი ჯგუფის გამოყოფა (პირადი და სატვირთო, გენერირებული და მიზიდული). მოკლედ განვიხილავთ ზოგიერთ ფაქტორს, რომლებიც მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ პრაქტიკულ კვლევებში.

განმარტებები

გარკვეული პერიოდის განმავლობაში (დღის ან პიკის საათის განმავლობაში) ზონაში შემავალი ან გამავალი მგზავრობების ხარისხის დასადგენად ხელსაყრელია განასხვავოთ სახლთან და სხვა მდებარეობებთან დაკავშირებული მგზავრობები. მიზეზი არის ის, რომ მგზავრის ქცევის მოდელირება ამ გზით შედარებით იოლია. სახლთან დაკავშირებული მგზავრობები იწყება ან მთავრდება სახლში. სხვა სახის მგზავრობებს აქვთ განსხვავებული წარმოების და დანიშნულების მისამართები. ორივე სახის მგზავრობა ორგანიზებულია ჯაჭვურად ან ტურებად (იხილეთ ფიგურა 4.1). ამ ფიგურის ყველა მგზავრობა სახლთან დაკავშირებული მგზავრობებია, გარდა (ვ) მგზავრობისა j ზონიდან i ზონაში, რომელიც წარმოადგენს მგზავრობას სამსახურიდან მაღაზიაში.



ფიგურა 4.1 წარმოშობისა და დანიშნულების ადგილებს შორის გენერირებული და მიზიდული ნაკადები

სახლთან დაკავშირებული მგზავრობა განისაზღვრება, როგორც გენერირებული ნაკადი, რადგან იგი ინიცირებულია შინამეურნეობასთან დაკავშირებულ საქმიანობასთან. შესაბამისად, სხვა სახის მგზავრობები განისაზღვრებიან, როგორც მიზიდული ნაკადები.

გენერირებული ნაკადი ხასიათდება შინამეურნეობის მახასიათებლების გამოყენებით, ხოლო მიზიდული ნაკადი შეიძლება დახასიათდეს ისეთი ცვლადის გამოყენებით, რომელიც ასახავს საქმიანობის სახეობას, მაგალითად, დასაქმება, განათლება და ა.შ.

მოცემული განმარტებების გათვალისწინებით გენერირება და მიზიდულობა, შეიძლება წარმოადგენდეს გამგზავრებას ან ჩამოსვლას. სახლიდან სამსახურში წასვლა წარმოადგენს სახლიდან გამგზავრებას, ხოლო სამსახურიდან სახლში დაბრუნება კი სახლში მოსვლას. პარალელურად სამუშაოდან სახლში მგზავრობა სამუშაო ადგილზე ჩასვლაა, ხოლო სამსახურიდან სახლში მგზავრობა სამსახურიდან გამგზავრება. მაგალითად, (ბ), (გ) და (ვ) მგზავრობები წარმოადგენენ გამგზავრებას j ზონიდან, ხოლო (ა), (დ) და (ე) ჩამოსვლას j ზონაში. ამრიგად, ტერმინები "გენერირება" და "მიზიდულობა" ტექნიკურად მხოლოდ ქცევის განმსაზღვრელ ფაქტორებს ეხება. სატრანსპორტო ქსელის მოდელირებისთვის ჩვენ ძირითადად გვაინტერესებს ზონიდან მთლიანი გამგზავრები და ზონაში მთლიანი ჩამოსვლები (იხილეთ ცხრილი 4.8). ამ ზონალურ გამგზავრებებს და ჩამოსვლებს ხშირად მოიხსენიებენ როგორც მთლიან გენერირებულ და მიზიდულ ნაკადებს.

4.3.1. ინდივიდუალური გენერირებული მგზავრობები

გენერირებულ მგზავრობათა განსაზღვრა ზონაში დაწყებული ან წარმოშობილი ვიზიტების მთლიანი რაოდენობის დადგენას საჭიროებს. გენერირებული მგზავრობები (ნაკადები) განისაზღვრება მგზავრობათა სიხშირის და პირადი მონაცემების, ზონალური და სატრანსპორტო ქსელური მახასიათებლების ურთიერთდამოკიდებულებით.

შემდეგი ფაქტორები გვხვდება სხვადასხვა პრაქტიკულ კვლევაში:

- შემოსავალი;
- მანქანის ფლობა;
- შინამეურნეობის სტრუქტურა;
- შინამეურნეობის ზომა;
- მიწის ღირებულება;
- დასახლების სიმჭიდროვე;
- წვდომა.

პირველი ოთხი ფაქტორი გვხვდება ინდივიდუალურ გენერირებულ მგზავრობათა ანალიზის ფაზაში, ხოლო მიწის ღირებულება და დასახლების სიმჭიდროვე ტიპიურია ზონალურისთვის. ბოლო ფაქტორი, „წვდომა“ გვხვდება იშვიათად, თუმცა კვლევების უმრავლესობაში ნაცადია მისი გამოყენება. მიზეზი არის ის, რომ იგი გვთავაზობს ელასტიურ გენერირებულ ნაკადებს სატრანსპორტო სისტემაში ცვლილებების მიმართ.

4.3.2. ინდივიდუალური მიზიდული მგზავრობები

მიზიდულ მგზავრობათა (ნაკადების) შეფასება მრავალმხრივ მსგავსია გენერირებული ნაკადების შეფასებისა, რადგან პრობლემა ორივე შემთხვევაში ერთია: მიზიდული ნაკადების რაოდენობათა პროგნოზირება, მგზავრობის სიხშირის და პირადი მონაცემების, ინდივიდუალთა ქცევის, ზონალურ და ქსელურ მახასიათებელთან ურთიერთდამოკიდებულების განსაზღვრა. ამრიგად, მგზავრობის გენერირების აბზაცში აღწერილი მეთოდები - ჯვარედინი კლასიფიკაცია, რეგრესია და დისკრეტული არჩევანი - შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე ზონაში მიზიდული ნაკადების რაოდენობის შესაფასებლად. გენერირების მოდელებში, შეფასებები ძირითადად დაფუძნებულია ზონაში მოსახლეობის დემოგრაფიულ მონაცემებზე. მიზიდვის მოდელებში ცვლადები, რომლებსაც აქვთ საუკეთესო ახსნის უნარი არიან მიწის გამოყენების მახასიათებლები, როგორცაა საოფისე და სავაჭრო სივრცეები ან სხვადასხვა სექტორის დასაქმების დონე. როგორც გენერირების მოდელებში, მიზიდულშიც სატრანსპორტო ქსელის მახასიათებლები იშვიათად გამოიყენება, რაც ნიშნავს იმას, რომ მოდელებს არ შეუძლიათ ასახონ გავლენა მიზიდულ ნაკადებზე „წვდომის“ ფაქტორის ცვლილებების შედეგად. აგრეთვე გენერირების მოდელების მსგავსად, სამუშაოსთან დაკავშირებული მგზავრობის შესახებ ინფორმაცია ადვილად მიიღება ისეთი წყაროებიდან, როგორცაა აღწერა ან ადგილობრივი კვლევები. ამრიგად, მიზიდული ნაკადები ყოველთვის უნდა შეფასდეს არსებული ზონალური მონაცემების გამოყენებით.

რეგრესიული მოდელები ხშირად გამოიყენება მიზიდული მგზავრობების დასადგენად, მგზავრობათა რაოდენობას და ცვლადებს შორის მაღალი კორელაციის გამო, როგორცაა დასაქმება და ოფისი/გაქირავებული ფართობები. ჯვარედინი კლასიფიკაცია ასევე შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მიზიდული მგზავრობების დასადგენად, რომელშიც კლასიფიცირება ჩვეულებრივ დამოკიდებულია დასაქმების სექტორზე. ამასთან, მონაცემების მოგროვების სირთულემ, რომლის საფუძველზეც შეიძლება ჩამოყალიბდეს ჯვარედინი კლასიფიკაციის ცხრილი, იშვიათად გამოიყენება ინსტრუმენტად აქცია ეს მეთოდი. მონაცემების შეგროვების სირთულემ ასევე შეზღუდა დისკრეტული არჩევანის გამოყენება, თუმცა ლოგიტ მოდელების გამოყენება შესაძლებელია ერთიან დონეზე.

4.3.3. სატვირთო გადაზიდვების გენერირებული და მიზიდული ნაკადები

ჩვეულებრივ, სატვირთო გადაზიდვებში შედის რამდენიმე სატრანსპორტო მგზავრობა; სინამდვილეში, ისინი ინდუსტრიულად განვითარებულ რაიონებში ყველა მგზავრობის 20% -ს შეადგენენ, თუმცა მაინც საგზაო საცობების მნიშვნელოვანი წილი უკავიათ.

შემდეგ მონაცემებს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავიათ სატვირთო გადაზიდვებში:

- დასაქმებულთა რაოდენობა;
- გაყიდვების რაოდენობა;
- კომერციულ შენობათა ფართობები;
- საერთო კომერციული ფართობი.

ინფორმაციისთვის, არც ხელმისაწვდომობა და არც კომპანიის ბიზნეს მიმართულება არ განიხილება, როგორც განმარტებითი ცვლადი; ეს საკვირველია, რადგან ლოგიკურია, რომ სხვადასხვა პროდუქტს გააჩნია ტრანსპორტირების სხვადასხვა მოთხოვნები.

4.4. რეგრესული ანალიზის მოდელები

რეგრესული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნან წარმოებული ნაკადების რაოდენობათა და ინდივიდის პირად, ზონალურ და სატრანსპორტო ქსელის მახასიათებლებს შორის სტატისტიკურ დამოკიდებულებათა დასადგენად.

ჩვეულებრივ გამოიყენება ორი ტიპის რეგრესული მოდელი. პირველი იყენებს ზონალურ დონეზე მოგროვებულ მონაცემებს, შინამეურნეობის მგზავრობათა საშუალო რაოდენობას, როგორც დამოკიდებულ ცვლადს და საშუალო ზონალურ მახასიათებლებს, როგორც დამოუკიდებელ ცვლადს. მეორე შემთხვევაში გამოიყენება შინამეურნეობის ან ინდივიდუალური დონის მონაცემები, მგზავრობათა რაოდენობა, როგორც დამოკიდებული ცვლადი და შინამეურნეობის და პირადი მახვენებლები, როგორც დამოუკიდებელი ცვლადები.

საუკეთესო ვარიანტია, როდესაც საკვლევი ტერიტორიის მონაცემები ხელმისაწვდომია, რომლებიც შეიცავენ შესაბამის დამოუკიდებელ ცვლადებს (მაგ. სოციალურ-ეკონომიკურ და წვდომის ფაქტორები) და სხვადასხვა მიზნობრიობის მგზავრობათა სიხშირის მონაცემებს. ამ შემთხვევაში, შეგვიძლია გამოვიყენოთ რეგრესული მოდელი, რომელიც შექმნილია სპეციალურად საკვლევი არეალისთვის, სხვა მოდელების გადმოტანის ნაცვლად.

4.4.1. ზონალურ მონაცემებზე დაფუძნებული მრავალჯერადი რეგრესული მოდელი

ამ შემთხვევაში ვცდილობთ აღმოვაჩინოთ წრფივი კავშირი ზონაში გენერირებულ ან მიზიდულ მგზავრობათა რაოდენობებსა და თითოეულ ზონაში შინამეურნეობების საშუალო სოციალურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებს შორის. შემდეგში მოცემულია რამოდენიმე საინტერესო მოსაზრება:

1. ზონალურ მოდელებს შეუძლიათ განსაზღვრონ მხოლოდ ზონებს შორის მგზავრობათა წარმოების ქცევაში ცვალებადობა. ამ მიზეზის გამო, მათი გამოყენება მიზანშეწონილია, თუ ინტერ-ზონალური ცვალებადობა ადეკვატურად ასახავს მგზავრობათა ცვალებადობის რეალურ მიზეზს. ამისათვის აუცილებელია, რომ ზონებს ჰქონდეთ არა მხოლოდ ერთგვაროვანი სოციალურ-ეკონომიკური შემადგენლობა, არამედ წარმოადგენდნენ რაც შეიძლება ფართო სპექტრს. მთავარი პრობლემა არის ის, რომ ინდივიდუალური მგზავრობის მონაცემებში ძირითადი ცვლილებები ხდება შიდა ზონალურ დონეზე (ზონების ფარგლებში).
2. *კვეთის როლი.*
მოსალოდნელია, რომ სავარაუდო რეგრესული ხაზი გაივლის წარმოების წერტილზე; ამასთან, ხშირად ვღებულობთ დიდ მნიშვნელობებს (ე.ი. ნებისმიერი ცვლადის მნიშვნელობისა და მისი კოეფიციენტის საშუალო მონაცემთა შედარებით). თუ ეს ასე ხდება, განტოლება შეიძლება იქნას უგულებელყოფილი; ამის საპირისპიროდ, თუ კვეთა მნიშვნელოვნად არ განსხვავდება ნულისაგან, ხაზის გადაფასება შეიძლება იყოს ინფორმაციული და იძულებით იქნას გატარებული წარმოების წერტილზე.
3. *ნულოვანი ზონები.*
შესაძლებელია, რომ გარკვეულ ზონებში არ გვქონდეს ინფორმაცია ზოგიერთი დამოკიდებული ცვლადის შესახებ (მაგ., მგზავრობებს, რომლებიც წარმოიქმნება არასაცხოვრებელ ზონებში, არ შეიძლება ვუწოდოთ სახლთან დაკავშირებული მგზავრობები). ნულოვანი ზონები არ განიხილებიან კვლევებში; მიუხედავად იმისა, რომ მათი ჩართვა დიდად არ მოქმედებს კოეფიციენტის შეფასებაზე (რადგან განტოლებებმა უნდა გაიარონ წარმოების წერტილი), ზონების რაოდენობის თვითნებურმა ტემბამ, რომელიც არ იძლევა სასარგებლო მონაცემებს, მივყავართ სტატისტიკის მონაცემებთან, სადაც გადაჭარბებულია შეფასების რეგრესულობის სიზუსტე.
4. *ზონალური ჯამი ზონალური საშუალოს პირისპირ.*
მოდელის ფორმირებისას, როგორც ჩანს, ანალიტიკოსს აქვს არჩევანი, საერთო და ჯამურ ცვლადთა ისეთ გამოყენებებს შორის, როგორცაა, ტურები თითოეულ ზონაში და მანქანების რაოდენობა თითოეულ ზონაში, ან განაკვეთები (ზონალური მნიშვნელობები). პირველ შემთხვევაში რეგრესული მოდელი იქნება:

$$T_i = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i} + \dots + E_i \quad (4.1)$$

მაშინ მოდელის გამოყენების ხარისხი იქნება:

$$t_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1i} + \alpha_2 x_{2i} + \dots + e_i \quad (4.2)$$

სადაც

$$t_i = T_i/N_i; \quad x_i = X_i/N_i; \quad e_i = E_i/N_i; \quad \text{და } N_i - \text{შინამეურნეობები } i \text{ ზონაში.}$$

ორივე განტოლება იდენტურია იმ თვალსაზრისით, რომ ორივე ცდილობს ახსნას ზონებს შორის მგზავრობათა წარმოქმნის განსხვავებული ქცევები და ორივე შემთხვევაში პარამეტრებს აქვთ ერთი და იგივე მნიშვნელობა. მათი უნიკალური და ფუნდამენტური განსხვავება უკავშირდება ცდომილების კომპონენტს თითოეულ შემთხვევაში; ამკარაა, რომ მოდელის ცვალებადობა მუდმივად ვერ შენარჩუნდება ორივე შემთხვევაში, თუ N_i არ იქნება მუდმივი ყველა i ზონისთვის.

რადგანაც ჯამური ცვლადები პირდაპირ ასახავენ ზონის ზომას, მათი გამოყენება უნდა გულისხმობდეს, რომ შეცდომის მაგნიტუდა რეალურად დამოკიდებულია ზონის ზომაზე; ეს ჰეტეროსკასტულობა (დისპერსიის ცვალებადობა) ნაპოვნი იქნა პრაქტიკაში. მულტიპლიკაციის გამოყენებით, მაგალითად $1/N_i$, საშუალებას იძლევა შემცირდეს ჰეტეროსკასტულობა, რადგან ეს მოდელი შედგენილია ზონის ზომისგან დამოუკიდებელად. ამ მხრივ, ასევე დგინდება, რომ ჯამურ ცვლადებს უფრო მაღალი ურთიერთდამოკიდებულება გააჩნიათ (ანუ მრავალმხრივი), ვიდრე საშუალო ცვლადებს. ამასთან, მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ მოდელები, რომლებიც იყენებენ ჯამურ ცვლადებს, ხშირად ღებულობენ R^2 -ის უფრო მაღალ მნიშვნელობებს, მაგრამ ეს მხოლოდ ცრუ ეფექტია, რადგან ზონის ზომა ამკარად გვაჩვენებს ნაკადების მთლიან რაოდენობას. რა თქმა უნდა არასასურველია ჯამური და საშუალო ცვლადების ნაზავი ერთ მოდელში.

ზონალური რეგრესიის მოდელებთან დაკავშირებულმა სხვადასხვა სირთულეებმა (ზონის ზომაზე დამოკიდებულება, ზონალური საზღვრები, ცრუ კორელაციები და ა.შ.) განაპირობა ისეთი მოდელების გამოყენება, რომლებიც ჭეშმარიტ ერთეულებზეა დაფუძნებული: შინამეურნეობა ან პირადი.

4.4.2. შინამეურნეობაზე დაფუძნებული რეგრესული მოდელი

შიდა ზონალური ვარიაციები შეიძლება შემცირდეს ზონის ზომის შემცირებით, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ ზონები ერთგვაროვანია. ამასთან, რაც მცირეა ზონის ზომა, მეტია ზონების რაოდენობაც. ამას ორი შედეგი აქვს:

- უფრო ძვირი მოდელები მონაცემთა მოგროვების, კალიბრაციის და ოპერაციის თვალსაზრისით;
- უფრო მაღალი შეცდომის მაჩვენებელი ნიმუშების დამუშავებისას, რომელიც უგულვებელყოფილია მრავალჯერად წრფივ რეგრესულ მოდელში.

ამ მიზეზების გამო, ლოგიკურია გამოვიყენოთ მოდელები, რომლებიც დამოუკიდებელია ზონალური საზღვრებისაგან. 1970-იანი წლების დასაწყისში გადაწყდა, რომ ამ შემთხვევაში ყველაზე შესაფერისი ანალიზის ერთეული იყო შინამეურნეობა (და არა ინდივიდი); ზოგი მეცნიერი ამტკიცებდა, რომ მნიშვნელოვან ინტერპერსონალურ ურთიერთქმედებათა სერიებს, მხოლოდ შინამეურნეობის შემთხვევაში აქვთ ადგილი და შეუძლებელია ინდივიდუალური მოდელის პირობებში მისი არსებობა (მაგალითად, მანქანის ხელმისაწვდომობა, ანუ ვინ სარგებლობს მანქანით). ამ საკითხს განვიხილავთ 4.5.3 ნაწილში.

შინამეურნეობაზე დაფუძნებულ აპლიკაციებში, თითოეული ოჯახი გამოყენებულია, როგორც გამოსარკვევი მონაცემების ვექტორი, რათა მოდელში აისახოს შინამეურნეობის და მასთან დაკავშირებული მგზავრობის ყველა განსხვავებული ქცევითი მახასიათებლები. კალიბრაციის პროცესი, ისევე როგორც ზონალური მოდელების შემთხვევაში, მიმდინარეობს ეტაპობრივად, თითოეული ცვლადის ტესტირებით, საუკეთესო მოდელის მიღებამდე. საჭიროა სიფრთხილე ავტომატურ კომპიუტერულ პროგრამებთან, რადგან მათ შესაძლებელია გამოტოვონ ისეთი ცვლადები, რომლებსაც შედარებით სუსტი პროგნოზირების თვისებები გააჩნიათ, ვიდრე სხვა მოდელებში შენარჩუნებულ ცვლადებს, მაგრამ რომელთა პროგნოზირება შეიძლება ბევრად უფრო იოლი იყოს.

მაგალითი 4.1:

განვიხილოთ ცვლადები (t) მგზავრობები თითო შინამეურნეობაზე, დასაქმებულთა რაოდენობა (X_1) და მანქანების რაოდენობა (X_2). 4.3 ცხრილში მოცემულია თანმიმდევრული მოდელის შეფასების შედეგები. ნიმუშის დიდი ზომების გათვალისწინებით, ($n - 2$) თავისუფლების ხარისხების შესაბამისი მაჩვენებელი ასევე დიდია, ასე რომ t მნიშვნელობები შეიძლება შევადაროთ ცალმხრივი ტესტირების 95% მნიშვნელობის დონის კრიტიკულ მაჩვენებელს - 1.645 (ვიციტ, რომ ნულოვანი ჰიპოთეზა ამ შემთხვევაში ცალმხრივია, რადგან t უნდა გაიზარდოს, X_1 და X_2 - თან ერთად).

მესამე მოდელი საინტერესო განტოლებაა, მისი დაბალი R^2 -ის მიუხედავად. კვეთა 0.91 არ არის მაღალი მაჩვენებელი (მაგალითად, შეადარეთ იგი 1,44-ჯერ მუშების რაოდენობას) და განმარტებითი ცვლადები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ნულისაგან (N_0 უგულვებელყოფილია ყველა შემთხვევაში). შესაძლოა მოდელში სხვა ცვლადების ჩართვამ მოიტანოს მეტი სარგებელი.

ნაბიჯი	განტოლება	R^2
1	$t = 2.36 X_1$	0.203
2	$t = 1.80 X_1 + 1.31 X_2$	0.325
3	$t = 0.91 + 1.44 X_1 + 1.07 X_2$	0.384

ცხრილი 4.3 ეტაპობრივი რეგრესიის მაგალითი

მანქანების რაოდენობა	შინამეურნეობაში დასაქმებულთა რაოდენობა			
	0	1	2	3 და მეტი
0	0.9/0.9	2.1/2.4	3.4/3.8	5.3/5.6
1	3.2/2.0	3.5/3.4	3.7/4.9	8.5/6.7
2 და მეტი		4.1/4.6	4.7/6.0	8.5/7.8

ცხრილი 4.4 შინამეურნეობის მგზავრობათა და კლასის შედარება (გამოვლენილი / სავარაუდო).

პასუხი იმაზე, თუ რამდენად ხელსაყრელია ეს მოდელები, შესაძლებელია მივიღოთ ზოგიერთ ჯგუფებზე დაკვირვებების და მოდელირებულ მგზავრობათა მონაცემების შედარებით (იხ. ცხრილი 4.4). ეს უკეთესია ვარიანტია ვიდრე ჯამების შედარება, რადგან ასეთ შემთხვევაში სხვადასხვა შეცდომები შესაძლებელია კომპენსირდეს და მიკერძოება არ გამოვლინდეს. როგორც ჩანს, უჯრედების უმრავლესობა აჩვენებს გონივრულ მიახლოებას (ანუ 30% -ზე ნაკლები შეცდომები). თუ მაღალი მიკერძოება იქნა დაფიქსირებული, საჭირო იქნება მოდელის პარამეტრების რეგულირება; ეს მარტივი არ არის, რადგან მზა წესები არ არსებობს და ეს დიდწილად დამოკიდებულია კონტექსტზე.

მაგალითი 4.2:

შემდეგი მგზავრობის სიხშირის მოდელი (იხ. ცხრილი 4.5) არის შინამეურნეობაზე დაფუძნებული მგზავრობის გენერირების მოდელის მაგალითი. იგი წარმოადგენს წრფივ რეგრესულ მოდელს, დამხმარე ცვლადის გამოყენებით. იგი ითვლის ინდივიდუალური შინამეურნეობების მიერ წარმოებულ ყოველკვირეულ მგზავრობათა რაოდენობას. (ყოველკვირეული) მგზავრობის წარმოების დონე დამოკიდებულია შემდეგზე:

- შინამეურნეობის ზომა
- ცხოვრების ციკლი
- უმაღლესი განათლება შინამეურნეობაში
- შინამეურნეობის სტრუქტურა
- მართვის მოწმობის მფლობელთა რაოდენობა

როგორც ჩანს, შემოსავლები და ავტომობილების საკუთრება არ არის მნიშვნელოვანი, როგორც განმარტებითი ცვლადი. ეს, სავარაუდოდ კავშირშია მოდელთა განსაკუთრებულ ბუნებასთან, რომელიც არ ანსხვავებს მგზავრობის მიზნებს. საშუალოდ, ნიდერლანდებში ოჯახი კვირაში დაახლოებით 50 მგზავრობას ასრულებს. ყველაზე მეტად იგი დამოკიდებულია შინამეურნეობის წევრთა რაოდენობაზე: კვირაში 22,5 ვიზიტი თითო წევრზე. რაც უფრო მაღალია განათლების დონე, მით უფრო მეტ მგზავრობას აქვს ადგილი 14.1 ვიზიტის განსხვავებით კვირაში (10.1–4.0).

მოდელი:

$$Y = \sum_k \alpha_k X_k \tag{4.3}$$

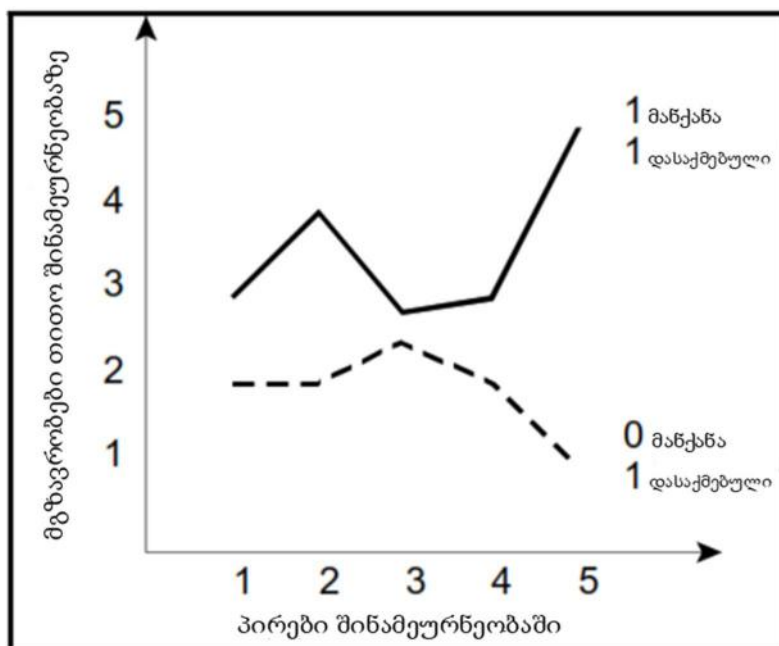
Y: ყოველკვირეული შინამეურნეობასთან დაკავშირებული მგზავრობები (ყველა მიზანი, მოდალობა)

	ცვლადი	პარამეტრის მნიშვნელობა
# შინამეურნეობის წევრები		22.5
ცხოვრების სტილი	წყვილი, უშვილო, მამრი < 35 წელი	5.6
	წყვილი, უშვილო, მამრი 35-64 წელი	-2.8
	წყვილი, უშვილო, მამრი > 64 წელი	-5.6
განათლება	საშუალო სკოლა	-4
	პროფესიული ან ზოგადი მოსამზადებელი სკოლა	3.4
	უმაღლესი პროფესიული სკოლა	9.4
	უნივერსიტეტი	10.1
# მართვის მოწმობა		3.9
სტრუქტურა	# ზრდასრული	-5
	# ბავშვი < 6 წელი	1.9
	# ბავშვი 6-12 წელი	3.5
$R^2 = 0.9$		

ცხრილი 4.5 შინამეურნეობის ყოველკვირეული მგზავრობის წარმოების რეგრესული მოდელი (დამხმარე ცვლადით) (წყარო: Bovy & Kitamura, 1986)

4.4.3. არაწრფივობის პრობლემა

როგორც ვნახეთ, წრფივი რეგრესული მოდელი თვლის, რომ თითოეული დამოუკიდებელი ცვლადი ახდენს წრფივ გავლენას დამოკიდებულ ცვლადზე. არაწრფივობის გამოვლენა ადვილი არ არის, რადგან აშკარად წრფივი დამოკიდებულება შეიძლება აღმოჩნდეს არა-წრფივი, როდესაც მოდელში სხვა ცვლადის არსებობა დაშვებულია. მრავალმხრივი გრაფიკები ამ თვალსაზრისით სასარგებლოა; 4.2 მაგალითში მოცემულია შინამეურნეობის მონაცემები ავტომობილების საკუთრების და დასაქმებულთა რაოდენობის მიხედვით. შეიძლება აღმოვაჩინოთ, რომ ქცევა მგზავრობისას არ არის წრფივი შინამეურნეობის ზომის მიმართ.



ფიგურა 4.2 არაწრფივობის მაგალითი

მნიშვნელოვანია ავღნიშნოთ, რომ არსებობს ცვლადთა სიმრავლე, რომელთაც აქვთ თვისობრივი ხასიათი, რომელიც, ხშირად აჩვენებს არაწრფივ თვისებებს (მაგ. საცხოვრებლის ტიპი, შინამეურნეობის უფროსის ოკუპაცია, ასაკი, სქესი). ზოგადად, არსებობს ორი მეთოდი არაწრფივი ცვლადის მოდელში ჩასართავად:

1. გარდაქმნით ცვლადი, მისი ეფექტის გაწრფივებისათვის (მაგ., გალოგარითმება, ახარისხება).

ამასთან, ადეკვატური გარდაქმნის შერჩევა არ არის მარტივი დავალება, ამიტომ საჭიროა სიფრთხილე, საკმაოდ დიდი დრო და ძალისხმევა;

2. გამოიყენეთ დამხმარე ცვლადი.

ამ შემთხვევაში განხილული დამოუკიდებელი ცვლადი იყოფა რამდენიმე დისკრეტულ ინტერვალად და თითოეული მათგანი ცალკე განიხილება მოდელში. ამ ფორმით არ არის აუცილებელი ვივარაუდოთ, რომ ცვლადს აქვს წრფივი ეფექტი, რადგან მისი თითოეული ნაწილი განიხილება ცალკე მგზავრობისას ქცევაზე მისი გავლენის თვალსაზრისით. მაგალითად, თუ მანქანის ფლობა განიხილება ამ მხრივ, შესაბამისად ინტერვალები შეიძლება იყოს 0, 1 და 2 ან მეტი მანქანა თითო შინამეურნეობაზე. რადგან ყოველი შინამეურნეობა შეიძლება მხოლოდ ერთ ინტერვალს მიეკუთვნებოდეს, შესაბამისი დამხმარე ცვლადი ამ კლასში მიიღებს მნიშვნელობა 1-ს და დანარჩენებში 0-ს. ადვილი დასადგენია, რომ საჭიროა მხოლოდ $(n - 1)$ დამხმარე ცვლადი, n ინტერვალების წარმოსადგენად.

მაგალითი 4.3:

განვიხილოთ მაგალითი 4.1-ის მოდელი და ჩათვალოთ, რომ X_2 ცვლადი შეიცვალა შემდეგი დამხმარე ცვლადებით:

Z_1 , რომელიც ღებულობს მნიშვნელობა 1-ს, იმ შინამეურნეობებისათვის, რომლებიც ფლობენ 1 მანქანას და 0-ს ყველა სხვა შემთხვევაში;

Z_2 , რომელიც ღებულობს მნიშვნელობა 1-ს, იმ შინამეურნეობებისათვის, რომლებიც ფლობენ 2 და მეტ მანქანას და 0-ს ყველა სხვა შემთხვევაში;

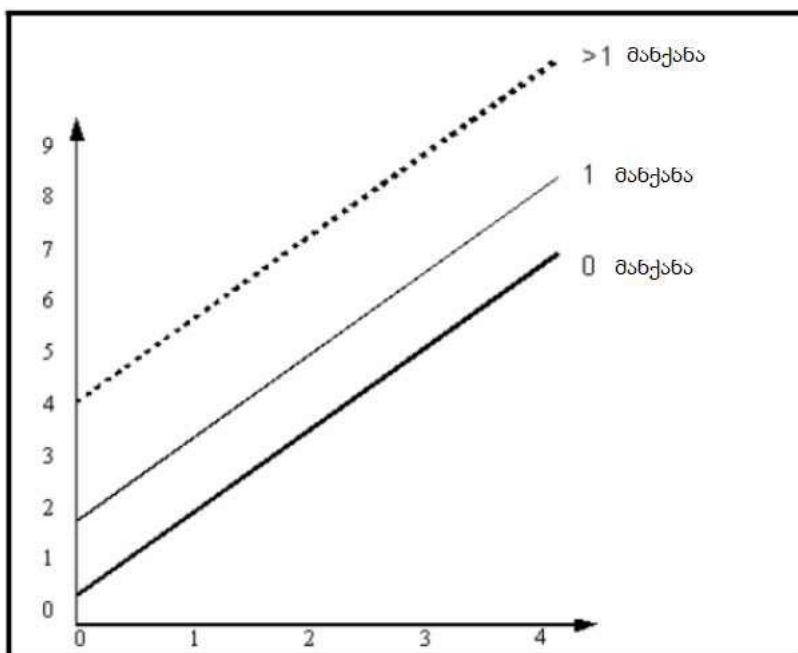
ადვილი შესამჩნევია, რომ შინამეურნეობები, რომელთაც არ ჰყავთ საკუთრებაში არსებული ავტომობილები, შეესაბამება იმ შემთხვევას, როდესაც Z_1 და Z_2 არის 0. მესამე საფეხურის მოდელი ახლა გამოიყურება შემდეგნაირად 4.3 ცხრილში:

$$t = 0.84 + 1.41X_1 + 0.75Z_1 + 3.14Z_2$$

(4.1)

$$R^2 = 0.387$$

უკეთესი R^2 მნიშვნელობის გარეშეც კი, ეს მოდელი უმჯობესია წინა მოდელთან შედარებით მხოლოდ იმიტომ, რომ X_1 (ან Z_1 და Z_2)-ის არაწრფივი ეფექტი აშკარაა და მისი უგულებელყოფა შეუძლებელია. გავითვალისწინოთ, რომ თუ დამხმარე ცვლადების კოეფიციენტები იყო, მაგალითად 1 და 2 და თუ არასდროს შეიცავდა ორზე მეტ მანქანას თითო შინამეურნეობაში, მაშინ ეფექტი აშკარად წრფივი იქნება. მოდელი გრაფიკულად გამოსახულია 4.3 ფიგურაში.



ფიგურა 4.3 რეგრესული მოდელი დამხმარე ცვლადებით

4.4.4. ზონალური ჯამების გამოთვლა

შინამეურნეობის ტიპის მოდელების შემთხვევაში საჭიროა აგრეგაციის ეტაპი. ამის მიუხედავად, ზუსტად იმის გამო, რომ მოდელი წრფივია, აგრეგაციის პრობლემა ტრივიალურად გვარდება მოდელის განტოლებაში თითოეული დამოუკიდებელი ცვლადის საშუალო ზონალური მნიშვნელობების ჩანაცვლებით და შემდეგ მისი გამრავლებით თითოეულ ზონაში შინამეურნეობათა რაოდენობაზე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ აგრეგაციის ეტაპი შეიძლება ძალიან რთული საკითხი იყოს არა-წრფივ მოდელებში.

ამრიგად, ცხრილი 4.3-ის მესამე მოდელისთვის გვექნება:

$$T_i = N_i(0.91 + 1.44 V_{1i} + 1.07 V_{2i}) \quad (4.5)$$

სადაც T_i არის ზონაში შინამეურნეობის მგზავრობათა მთლიანი რაოდენობა, N_i არის მასში შინამეურნეობების საერთო რაოდენობა და V_{1i} არის X_j ცვლადის საშუალო მნიშვნელობა i ზონაში.

მეორეს მხრივ, როდესაც ვიყენებთ დამხმარე ცვლადს, აუცილებელია აგრეთვე ვიცოდეთ შინამეურნეობების რაოდენობა თითოეული კლასის თითოეული ზონისთვის; 4.3 მაგალითის მოდელში ჩვენ მოვიტხოვთ:

$$T_i = N_i(0.84 + 1.41 V_{1i}) + 0.75 N_{1i} + 3.14 N_{2i} \quad (4.6)$$

სადაც N_{hi} არის i ზონაში h კლასის შინამეურნეობების (ავტო ფლობელობით) რაოდენობა.

ეს უკანასკნელი გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს კიდევ ერთხელ შევაფასოთ დამხმარე ცვლადების გამოყენების კიდევ ერთი უპირატესობა ცალკეულ რეგრესიებში. მოდელების აგრეგაციისთვის, პირველ შემთხვევაში, საჭიროა თითო შინამეურნეობაში დასაქმებულთა (X_i) საშუალო რაოდენობის გამოთვლა თითოეული მანქანის მფლობელთა ჯგუფისთვის თითოეულ ზონაში და ეს შეიძლება საკმაოდ რთული პროცესი იყოს.

4.5. ჯვარედინი კლასიფიკაციის ან კატეგორიის ანალიზის მოდელი

წარმოებული მგზავრობების გაანგარიშების ჯვარედინი კლასიფიკაციის მეთოდები ურბანულ არეალში ჰყოფენ მოსახლეობას ცალკეულ ჯგუფებად (შინამეურნეობებად ან ინდივიდებად) გარკვეული სოციალურ-ეკონომიკური მახასიათებლების საფუძველზე. მაგალითად, შინამეურნეობა შეიძლება კლასიფიცირდეს, როგორც შინამეურნეობის ზომით (1, 2, 3, 4, 5 ინდივიდი / შინამეურნეობა) და ავტო მფლობელობით (0, 1, ≥ 2 ავტო / შინამეურნეობა), რაც საბოლოოდ ყალიბდება 15 ჯგუფად (იხ. ცხრილი 4.6). მგზავრობათა წარმოების საშუალო განაკვეთები (სავარაუდო ვიზიტების რაოდენობა, რომელსაც აწარმოებს შინამეურნეობა ან ინდივიდი) გამომდინარეობს ემპირიულად თითოეული ჯგუფის დისაგრეგირებულ ან აგრეგირებულ მონაცემთა კომპლექტიდან. ზემოთ მოყვანილ მაგალითში მიღებულია 15 საშუალო მგზავრობის მაჩვენებელი.

მას შემდეგ, რაც მგზავრობის განაკვეთები ცნობილია თითოეული კლასისათვის, მათ ჩვეულებრივ იყენებენ თითოეული ზონისათვის.

შინამეურნეობის ზომა	0 მანქანა	1 მანქანა	≥2 მანქანა
1			
2			
3			
4			
≥5			

ცხრილი 4.6: ჯვარედინი კლასიფიკაციის ცხრილის ნიმუში

თითოეული ზონა შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად, მსგავსი მახასიათებლის მქონე ზონის შინამეურნეობებსა და ინდივიდებს შორის პროპორციის გამოყენებით. ამ მეთოდის გამოყენებით, ერთზე მეტი მგზავრობის საშუალო მაჩვენებელი გამოიყენება წარმოების დასადგენად ნებისმიერ ზონაში. მაგალითად, ზონა შეიძლება დაიყოს შინამეურნეობებად მანქანების გარეშე და მანქანის ფლობით. ამ შემთხვევაში, თითოეულ ზონაში გამოიყენება 2 საშუალო მგზავრობის მაჩვენებელი.

$$T_i^p = \sum_h N_{hit}^p \quad (4.7)$$

4.5.1. შინამეურნეობაზე დაფუძნებული კატეგორიის მოდელი

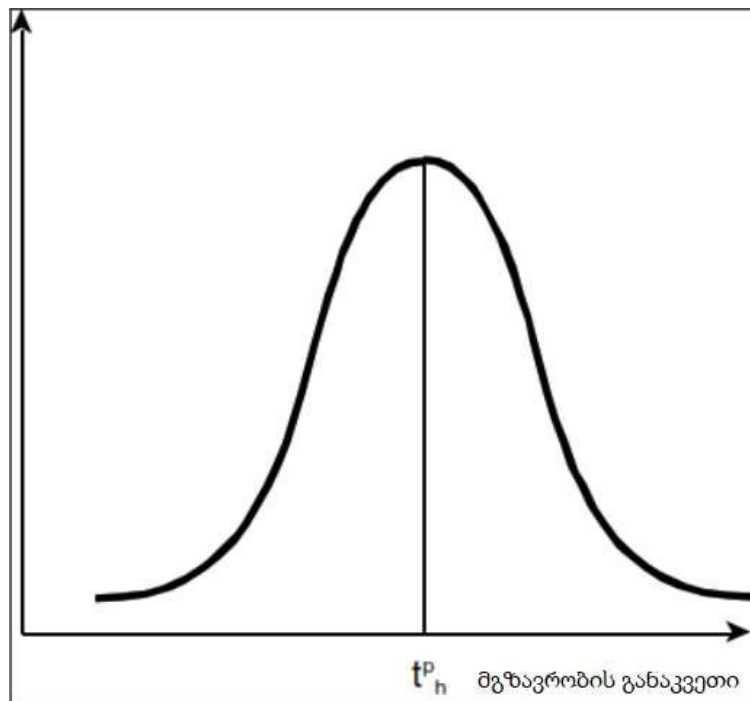
მეთოდი ემყარება რეაგირების შეფასებას (მაგ., შინამეურნეობაში წარმოებულ მგზავრობათა რაოდენობა, მოცემული დანიშნულებისთვის), როგორც შინამეურნეობის ატრიბუტების ფუნქციას. მისი ძირითადი ვარაუდია, რომ მგზავრობის წარმოების მაჩვენებლები დროთა განმავლობაში შედარებით სტაბილურია გარკვეული შინამეურნეობის სტრატეგიკაციისათვის. მეთოდი ამ მაჩვენებლებს ემპირიულად მოიპოვებს და ამისათვის ჩვეულებრივ სჭირდება დიდი რაოდენობის მონაცემები; სინამდვილეში, გადამწყვეტი ელემენტი თითოეული კლასის შინამეურნეობების რაოდენობაა. მიუხედავად იმისა, რომ ეს მეთოდი თავდაპირველად შეიქმნა დიდ ბრიტანეთში აღწერის მონაცემების გამოყენებისთვის, მიდგომის სერიოზულ პრობლემად რჩება თითოეული შინამეურნეობის რაოდენობის პროგნოზირების საჭიროება.

ვთქვათ t_h^p არის მგზავრობათა საშუალო რაოდენობა p დანიშნულების შესაბამისად (და გარკვეულ დროს) წარმოებული h ტიპის შინამეურნეობის წევრების მიერ. ტიპები განისაზღვრება არჩეული სტრატეგიკაციით; მაგალითად, m შინამეურნეობის ზომების და n მანქანების მფლობელობის საფუძველზე ჯვარედინი კლასიფიკაციის გამოყენებით. ამ განაკვეთების გამოთვლისათვის სტანდარტულ

მეთოდად ითვლება შინამეურნეობის განაწილება საკალიბრაციო მონაცემებში ცალკეულ ჯგუფებად და ჯამურად, თანმიმდევრობით, დაფიქსირებული ვიზიტების T_h^p ტიპის შინამეურნეობების მიხედვით. მნიშვნელობა t_h^p არის მგზავრობათა საერთო რაოდენობა h ჯგუფში, დანიშნულებისამებრ იგი იყოფა შემადგენელი N_h შინამეურნეობების რაოდენობაზე. მათემატიკურად იგი გამოიყურება შემდეგნაირად:

$$t_h^p = \frac{T_h^p}{N_h} \quad (4.8)$$

ამ მეთოდის "ხელოვნება" მდგომარეობს იმაში, რომ შეარჩიოს ისეთი კატეგორიები, რომ მინიმუმამდე შემცირდეს 4.4 ფიგურაში გამოსახული სიხშირის განაწილების სტანდარტული გადახრები.



ფიგურა 4.4 შინამეურნეობისთვის მგზავრობის განაკვეთი

პრინციპში მეთოდს აქვს შემდეგი უპირატესობები:

1. ჯვარედინი კლასიფიკაციის ჯგუფები დამოუკიდებელია საკვლევი არეალის ზონალური სისტემისაგან.
2. არ საჭიროებს წინასწარ ვარაუდებს ურთიერთობის ფორმის შესახებ (ე.ი. ისინი არ უნდა იყვნენ ერთფეროვანი, რომ აღარაფერი ვთქვათ წრფივობაზე).

3. ურთიერთდამოკიდებულება შეიძლება განსხვავდებოდეს ფორმით ჯგუფიდან ჯგუფამდე (მაგ. ერთი ან ორი მანქანის მფლობელი ოჯახისთვის შინამეურნეობის ზომაში ცვლილებების შედეგები შეიძლება იყოს განსხვავებული).

და როგორც ტრადიციული ჯვარედინი კლასიფიკაციის მეთოდების შემთხვევაში, მასაც აქვს რამდენიმე უარყოფითი მხარე:

1. მოდელი არ იძლევა ექსტრაპოლაციის შესაძლებლობას მისი დაკალიბრების ფენების მიღმა, თუმცა ცვლადის ყველაზე დაბალი ან მაღალი კლასი შეიძლება ღია იყოს (მაგ., შინამეურნეობები, რომელთაც ჰყავთ ორი ან მეტი მანქანა და ხუთი ან მეტი მოსახლე).
2. ზედმეტად დიდი რაოდენობა ნიმუშებისა არის საჭირო, წინააღმდეგ შემთხვევაში მნიშვნელობები იქნება განსხვავებული, კალიბრაციისთვის ხელმისაწვდომი შინამეურნეობების რაოდენობიდან გამომდინარე. გამომდინარეობს, რომ თითო უჯრაში საჭიროა მინიმუმ 50 დაკვირვება, რათა შეფასება იყოს საშუალოდ საიმედო.
3. არ არსებობს ეფექტური გზა კლასიფიკაციისთვის ცვლადების შესარჩევად, ან ცვლადის საუკეთესო ჯგუფის შესარჩევად; სტანდარტული გადახრის მინიმუმამდე შემცირება, რაც მითითებულია 4.4 ფიგურაში მოითხოვს ვრცელ პროცედურას, რომელიც შეიძლება ჩაითვალოს პრაქტიკულად შეუსრულებლად.

მოდელის გამოყენება ზონალურ დონეზე

აღვნიშნოთ შინამეურნეობის h ტიპი (მანქანით და მის გარეშე), ხოლო i ზონაში h ტიპის შინამეურნეობათა რაოდენობა t_h^p -ით. ამის საშუალებით ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ მგზავრობის წარმოება p დანიშნულების მიხედვით h საოჯახო ტიპის ზონაში, შემდეგნაირად:

$$T_i^p = \sum_h N_{hi} t_h^p \quad (4.9)$$

იმის დასადგენად, თუ რამდენად მუშაობს მოდელი, შესაძლებელია მოდელირებული მნიშვნელობები შევადაროთ მნიშვნელობებს კალიბრაციის ნიმუშიდან. გარდაუვალია შეცდომები, რომლებიც გამოწვეულია p -ს საშუალო მონაცემების გამოყენებით, ლოგიკურია რომ, უკეთესი სტრატეგიკაცია უზრუნველყოფს (4.4 ფიგურაში სტანდარტული გადახრის მინიმუმამდე შემცირების თვალსაზრისით) მცირე შეცდომების წარმოქმნას.

საყოფაცხოვრებო კატეგორიების განსაზღვრის სხვადასხვა გზა არსებობს. პირველად დიდ ბრიტანეთში (Wootton and Pick 1967), მიეცა ყურადღება და ჩამოყალიბდა 108 კატეგორიის მოთხოვნები: შემოსავლის ექვსი დონე, მანქანის

საკუთრების სამი დონე (0, 1 და 2 ან მეტი მანქანა თითო შინამეურნეობაზე) და შინამეურნეობის სტრუქტურის ექვსი ჯგუფი, როგორც მოცემულია 4.7 ცხრილში. პრობლემა აშკარაა, თუ როგორ უნდა განისაზღვროს მომავალში თითოეული კატეგორიის შინამეურნეობების რაოდენობა.

ჯგუფი	დასაქმებულთა რ-ბა	სხვა ზრდასრულები
1	0	1
2	0	2 ან მეტი
3	1	1 ან ნაკლები
4	1	2 ან მეტი
5	2 ან მეტი	1 ან ნაკლები
6	2 ან მეტი	2 ან მეტი

ცხრილი 4.7: შინამეურნეობის სტრუქტურის დაჯგუფების ნიმუში

შემდეგი ცხრილი 4.8 არის ჰოლანდიური ინდივიდუალური მგზავრობის წარმოქმნის მოდელის მაგალითი, რომელიც შედგება გენერირებული და მიზიდული ნაწილებისაგან. ცხრილში მოცემულია მგზავრობის ტარიფები სადამოს პიკის საათისთვის. ცალკეული მოდელები მოცემულია სამი სივრცული პარამეტრის (აგლომერაციები, ქალაქები და სოფლები) და ორი მგზავრობის მიზნობრიობით, კერძოდ თითოეული შინამეურნეობიდან სამუშაოდ და სხვა.

სადამოს პიკი		გენერირებული		მიზიდული		ჯამი
		დასაქმებულები	ადგილობრივები	სამუშაოები		
				ვაჭრობა	სხვა	
აგლომერაცია	სახლი-გამგზავრება	0.2282				Σ
	სამსახური-ჩამოსვლა				0.2626	Σ
	სხვა-გამგზავრება		0.1259	0.3224	0.0257	Σ
	სხვა-ჩამოსვლა		0.0633	0.3173	0.2626	Σ
ქალაქი	სახლი-გამგზავრება	0.2169				Σ
	სამსახური-ჩამოსვლა				0.2435	Σ
	სხვა-გამგზავრება		0.1633	0.5934	0.0323	Σ
	სხვა-ჩამოსვლა		0.895	0.6127	0.2435	Σ
სოფელი	სახლი-გამგზავრება	0.236				Σ
	სამსახური-ჩამოსვლა				0.2674	Σ
	სხვა-გამგზავრება		0.13	0.8417	0.0372	Σ
	სხვა-ჩამოსვლა		0.0744	0.7039	0.2674	Σ

ცხრილი 4.8: ინდივიდუალური მგზავრობების ტარიფები რანდსტად მოდელის მიხედვით (Randstadmodel 1994)

სახლიდან - სამსახურში გენერირებულ მგზავრობათა მაჩვენებლები დაფუძნებულია დასაქმებულ პირებზე, ხოლო ყველა სხვა მაჩვენებლები კი მოსახლეობაზე. მიზიდული მგზავრობები კი ემყარება დასაქმების სახეობას (საცალო და სხვა).

მგზავრობის მაჩვენებლების დათვლები ხორციელდება მონაცემთა სხვადასხვა წყაროს (OVG) გამოყენებით. მთლიანი წარმოების და დანიშნულების გაანგარიშება

თითოეულ ზონაში ხორციელდება ჰორიზონტალურად სხვადასხვა გენერირებული და მიზიდული კომპონენტების დამატებით.

4.5.2. მგზავრობის ღირებულების შეფასება სხვადასხვა კლასის ანალიზით (MCA)

MCA არის ალტერნატიული მეთოდი კლასების განსასაზღვრად და ჯვარედინი კლასიფიკაციის შედეგების შესაფასებლად, რომელიც უზრუნველყოფს სტატისტიკურად მძლავრ პროცედურას ცვლადის შერჩევისა და კლასიფიკაციისთვის. ეს საშუალებას გვაძლევს გადავლახოთ ზემოთ ჩამოთვლილი უარყოფითი მხარეები სხვა ტიპის ჯვარედინი კლასიფიკაციის მეთოდებისათვის. განვიხილოთ მოდელი, რომელსაც გააჩნია მუდმივი დამოკიდებული ცვლადი (მაგალითად, მგზავრობის ღირებულება) და ორი განსხვავებული დამოუკიდებელი ცვლადი, მაგალითად, შინამეურნეობის ზომა და მანქანის საკუთრება.

დამოკიდებული ცვლადისთვის საშუალო მაჩვენებლის დადგენა შესაძლებელია მთლიანი შინამეურნეობის განხილვით. ასევე, ჯგუფური საშუალო მნიშვნელობა შეიძლება შეფასდეს ჯვარედინი კლასიფიკაციის მატრიცის თითოეული მწკრივისა და სვეტისთვის; თითოეული მათგანი შეიძლება გამოიხატოს, როგორც მთლიანი საშუალო მნიშვნელობის გადახრები. გადახრების ნიშნებზე დაკვირვებით, უჯრედის მნიშვნელობა შეიძლება შეფასდეს უჯრედში შესაბამისი მწკრივისა და სვეტის გადახრით. ამ გზით, მცირე დაკვირვებით წარმოქმნილი ზოგიერთი პრობლემა შეიძლება კომპენსირდეს.

მაგალითი 4.4:

4.9 ცხრილში მოცემულია საკვლევ ზონაში მოგროვილი მონაცემები და კლასიფიცირებულია სამი მანქანის საკუთრების და ოთხი შინამეურნეობის ზომის დონეზე. სვეტში მოცემულია თითოეულ ჯგუფში (კატეგორიაში) დაფიქსირებული შინამეურნეობების რაოდენობა და რიგებში გამოთვლილ მგზავრობათა საშუალო რაოდენობა.

შინამეურნეობის ზომა	0 მანქანა	1 მანქანა	2 და მეტი მანქანა	ჯამი	საშუალო
1 პირი	28	21	0	49	0.47
2 ან 3 პირი	150	201	93	444	1.28
4 პირი	61	90	75	226	1.86
5 პირი	37	142	90	269	1.9
ჯამი	276	454	258	988	
საშუალო მგზავრობა	0.73	1.53	2.44		1.54 (= მთლიან საშუალოს)

ცხრილი 4.9: შინამეურნეობების რაოდენობა თითო ჯგუფში და საშუალო მგზავრობის მაჩვენებლები კონკრეტული მიზნობრიობით

როგორც ვხედავთ, მნიშვნელობები მერყეობს 0-დან (ნაკლებად სავარაუდოა, შინამეურნეობები ერთ პირით და ერთზე მეტი ავტომობილით) 201-მდე. ასევე ამ შემთხვევაში ვატარებთ ჯვარედინი კლასიფიკაციის მეთოდს მხოლოდ ორი ცვლადით, უკვე არსებობს ოთხი უჯრედი, რომელზეც დაკვირვებების ჩვეულებრივი მინიმალური რაოდენობაა (50) , რაც საჭიროა მგზავრობის საშუალო მაჩვენებლის და დისპერსიის დადგენისათვის, გარკვეული საიმედოობით. ჩვენ ახლა გვსურს გამოვიყენოთ მწკრივის საშუალო და სვეტის სრული მნიშვნელობები, რათა შევაფასოთ თითოეული უჯრედისთვის მგზავრობის საშუალო მაჩვენებლები, მათ შორის ის, რაც მიღებულია დაკვირვების გარეშე. ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ გადახრა (მთლიანი საშუალოდან) ნული ავტო მფლობელობისათვის, როგორც $0.73 - 1.54 = -0.81$; ერთი მანქანისთვის $1.53 - 1.54 = -0.01$, ხოლო ორი ან მეტი მანქანისთვის $2.44 - 1.54 = 0.90$; ანალოგიურად, ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ გადახრები ოთხივე შინამეურნეობათა ზომის ჯგუფისთვის: $-1.07, -0.26, 0.32$ და 0.36 . თუ ცვლადები არ არიან დაკავშირებულნი ამ მნიშვნელობებთან, შეგვიძლია შევადგინოთ მთლიანი მგზავრობის მაჩვენებელთა ცხრილი; მაგალითად, ერთი პირის შინამეურნეობისა და ერთი მანქანისთვის მგზავრობის მაჩვენებელი არის $1.54 - 1.07 - 0.01 = 0.46$ მგზავრობა. ერთი პირის და არც ერთი მანქანის შემთხვევაში, მაჩვენებელი აღმოჩნდება უარყოფითი და უტოლდება -0.34 ($1.54 - 1.06 - 0.82$); ამას არანაირი მნიშვნელობა არ აქვს და, შესაბამისად, ფაქტობრივი მაჩვენებელი ნულდება.

ცხრილი 4.10 ასახავს მგზავრობათა მნიშვნელობების სრულ ცხრილს, მისი მწკრივისა და სვეტის გადახრებთან ერთად.

შინამეურნეობის ზომა	0 მანქანა	1 მანქანა	2 და მეტი მანქანა	გადახრა მთლიანი საშუალოდან
1 პირი	0	0.46	1.37	-1.07
2 ან 3 პირი	0.46	1.27	2.18	-0.26
4 პირი	1.05	1.85	2.76	0.32
5 პირი	1.09	1.89	2.8	0.36
საშუალო მგზავრობა	-0.81	-0.01	0.9	

ცხრილი 4.10 მგზავრობათა მნიშვნელობები გამოთვლილი მრავალჯერადი კლასიფიკაციით

ჯვარედინი კლასიფიკაციის სტანდარტული მოდელებისგან განსხვავებით, გადახრები არ გამოითვლება მხოლოდ შინამეურნეობისთვის. უფრო მეტიც, ავტომობილების გადახრა გამოითვლება ყველა შინამეურნეობის ზომისათვის და პირიქით. ამრიგად, თუ ურთიერთდამოკიდებულება არსებობს, ეს გადახრები უნდა იყოს მორგებული ურთიერთდამოკიდებულების ეფექტების გათვალისწინებით. ამ შეწონილ საშუალოს, ზოგადად გააჩნია კორექტირების ზომების შემცირების ტენდენცია მთლიანი საშუალოს მიმართ, როდესაც არსებობს ურთიერთდამოკიდებულება. მიუხედავად ამისა, მრავალუჯრედიანი

კლასიფიკაცია კვლავ დაფუძნებულია ყველა არსებულ მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლაზე და არა მხოლოდ მრავალდონიან უჯრედში განთავსებულ მონაცემებზე. სტატისტიკური უპირატესობების გარდა, გასათვალისწინებელია, რომ უჯრედის მნიშვნელობები აღარ ემყარება მხოლოდ მოცემულ უჯრედში მოცემულ მონაცემთა ზომას; უფრო მეტიც, ისინი დაფუძნებულია მთლიან მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობაზე.

მაგალითი 4.5:

4.11 ცხრილში მოცემულია სტანდარტული კატეგორიის ანალიზის პროცედურაში გამოყენებულ მნიშვნელობათა განაკვეთების ერთობლიობა (ე.ი. ცალკეული უჯრედების საშუალებით). ეს მნიშვნელობები შეიძლება შევადაროთ მე -4 ცხრილის მნიშვნელობებს.

შედარების შედეგად ჩნდება ორი საინტერესო საკითხი. პირველ რიგში, MCA- ის შემთხვევაში ცარიელ უჯრედებსაც გააჩნიათ მნიშვნელობები. მეორე, ზოგიერთი პარადოქსული პროგრესი 4.11 ცხრილიდან (მაგ 0 და 1 ავტომობილის მფლობელობაში მყოფი ოჯახებისთვის განაკვეთების შემცირება, როდესაც იზრდება 4 – დან 5 – ზე ან მეტი), გადატანილია 4.10 ცხრილში. გასათვალისწინებელია, რომ ისინი შესაძლოა წარმოიქმნენ მცირე რაოდენობა ნიმუშების პრობლემებიდან, სულ მცირე, ერთ შემთხვევაში.

შინამეურნეობის ზომა	მანქანის მფლობელობა		
	0 მანქანა	1 მანქანა	2 და მეტი მანქანა
1 პირი	0.12	0.96	
2 ან 3 პირი	0.6	1.38	2.16
4 პირი	1.14	1.74	2.6
5 პირი	1.02	1.68	2.6

ცხრილი 4.11 მგზავრობის მონაცემები გაანგარიშებულია ორდინალური კატეგორიის ანალიზის გამოყენებით (ნაწილი 4.5.1)

4.5.3. ინდივიდუალური კატეგორიის მიდგომა

ეს საინტერესო ალტერნატივაა და გვთავაზობს მეტ უპირატესობებს ზემოთ განხილულ შინამეურნეობის მოდელთან შედარებით:

1. ინდივიდუალურ დონეზე მგზავრობის წარმოების მოდელი თავსებადია კლასიკური სატრანსპორტო მოდელირების სისტემის სხვა კომპონენტებთან, რომელიც დაფუძნებულია მგზავრებზე, ვიდრე ოჯახებზე;
2. ეს იძლევა ჯვარედინი კლასიფიკაციის სქემის გამოყენების საშუალებას, რომელიც ამუშავებს ყველა მნიშვნელოვან ცვლადებს და იძლევა მართვადი

კლასების რაოდენობას; ეს თავის მხრივ, ამ კლასში მონაცემების მარტივი პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

3. ინდივიდუალური კატეგორიის მოდელისათვის საჭირო ნიმუშების მოცულობა შეიძლება რამდენჯერმე მცირე იყოს, ვიდრე შინამეურნეობის კატეგორიის მოდელის შემთხვევაში;

4. დემოგრაფიული ცვლილებები უფრო ადვილად შეიძლება აღინიშნოს ინდივიდუალურ კატეგორიის მოდელში, მაგალითად, გარკვეული ძირითადი დემოგრაფიული ცვლადების (მაგალითად, ასაკი) შინამეურნეობის დონეზე განსაზღვრა შეუძლებელია;

5. ინდივიდუალური კატეგორიები უფრო მოქნილია პროგნოზირებისას, ვიდრე შინამეურნეობის კატეგორიები, რადგან ეს უკანასკნელი მოითხოვს დამატებით პროგნოზებს შინამეურნეობის ფორმირებისა და ოჯახის ზომის შესახებ; ამ ამოცანების თავიდან აცილება შესაძლებელია ინდივიდუალური კატეგორიების შემთხვევაში. ზოგადად, მგზავრობის უმეტესი ნაწილი ასაკოვან ადამიანებზე მოდის, ვიდრე 18 წლამდე ასაკის ჯგუფზე;

ძირითადი შეზღუდვა, რომელიც ინდივიდუალური კატეგორიის მოდელს შეიძლება ჰქონდეს, ეხება იმ მთავარ მიზეზს, რის გამოც არჩეულ იქნა შინამეურნეობის მოდელები 1960-იანი წლების ბოლოს ზონალური მოდელების შესაცვლელად; ეს არის შინამეურნეობაში ურთიერთდამოკიდებულების ეფექტებისა და შინამეურნეობის ფულის ხარჯებისა და ფულის ბიუჯეტების ასახვის სირთულეები ინდივიდუალურ მოდელში.

ცვლადის განსაზღვრა და მოდელის სპეციფიკაცია

ინდივიდუალურ მგზავრობათა მაჩვენებლების შეფასება ინდივიდუალურ დონეზე მიყვება იგივე ხაზს, რაც იყო განმარტებული შინამეურნეობის მიმართ (MCA). მოდელის შემუშავება მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

1. რამდენიმე ცვლადის განხილვა, რომლებიც, სავარაუდოდ მნიშვნელოვანი იქნებიან ინდივიდუალური მობილობის განსხვავებების ასახსნელად. აგრეთვე, იმ კატეგორია ჯგუფის განსაზღვრა, რომლებიც იყენებენ ამ ცვლადებს;
2. მგზავრობის მაჩვენებელთა წინასწარი ანალიზი იმის გასარკვევად, რომელ ცვლადს აქვს ყველაზე ნაკლები მნიშვნელობა და შეიძლება გამოირიცხოს მოდელიდან. ეს ხდება იმ კატეგორიების მგზავრობათა მაჩვენებლების შედარების გზით, რომლებიც დიფერენცირებულია მხოლოდ ანალიზირებადი ცვლადით და მოწმდება, არის თუ არა მათი განსხვავებები სტატისტიკურად დამოკიდებული;

3. მგზავრობის მახასიათებლების დეტალური ანალიზი ცვლადების მოსაძებნად, რომლებიც განსაზღვრავენ მსგავს კატეგორიებს. გამორიცხულია ის ცვლადი, რომელიც არ იძლევა მონაცემთა ცვალებადობის არსებით განმარტებას, ან ცვლადები, რომლებიც დუბლირებენ სხვა ცვლადებთან დაკავშირებულ მაჩვენებლებს (ე.ი. უფრო ადვილია პროგნოზირებისთვის ან უფრო მეტად პოლიტიკის შესაბამისი). სავარჯიშო ტარდება იმ შეზღუდვების გათვალისწინებით, რომ საბოლოო კატეგორიების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს გარკვეულ პრაქტიკულ მაქსიმუმს (მაგალითად, 15 კლასი).

ამ ანალიზისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემდეგი ზომები: კორელაციის კოეფიციენტი R_{jk} , დახლილობის m_{jk} და გამყოფი a_{jk} რეგრესიისთვის $t_j^p = a_{jk} + m_{jk}t_k^p$ j და k კატეგორიები, შეიძლება ერთგვაროვნად იქნან შეფასებულნი, თუ ისინი აკმაყოფილებენ შემდეგ მოთხოვნებს:

$$R_{jk} > 0.900$$

$$0.75 < m_{jk} < 1.25$$

$$a_{jk} > 0.10$$

ეს პირობები საკმაოდ რთულია და შესაძლოა შეიცვალოს.

მოდელის აპლიკაცია აგრეგირების დონეზე

ვთქვათ, რომ t_n არის მგზავრობის მაჩვენებელი, ანუ გარკვეული პერიოდის განმავლობაში j კატეგორიის (საშუალო) ინდივიდუალის მიერ წარმოებული მგზავრობების რაოდენობა; t_n^p არის მგზავრობის მაჩვენებელი p დანიშნულების მიხედვით. t_i არის i ზონაში (ყველა კატეგორია ერთად) მაცხოვრებლების მიერ წარმოებული მგზავრობების საერთო რაოდენობა. N_i არის i ზონის მაცხოვრებელთა რიცხვი, ხოლო α_{ni} არის n ზონის მაცხოვრებელთა პროცენტული მაჩვენებელი, რომლებიც მიეკუთვნებიან n ჯგუფის კატეგორიას. ამიტომ არსებობს შემდეგი ძირითადი დამოკიდებულება:

$$T_i^p = N_i \sum_n \alpha_{ni} t_n^p \tag{4.10}$$

მაგალითი 4.6:

კიდევ ერთი ნიდერლანდების მაგალითი მგზავრობის მაჩვენებლის ჯვარედინი კლასიფიკაციის ვოლოკას (WOLOCAS) მოდელი. ეს მოდელი პროგნოზირებს მგზავრობის გენერირებას ახალი მაცხოვრებელი ადგილებისთვის. მგზავრობის მაჩვენებლები წარმოადგენენ ინდივიდუალურ ტიპებს, რომლებიც კლასიფიცირდება სქესის მიხედვით, მანქანის საკუთრებით, პროფესიული სტატუსით, განათლებითა და ასაკით (იხ. ცხრილი 4.12-4.14). მგზავრობის

გენერირების მოდელი განასხვავებს სამი სახის მგზავრობის მიზანს. ყოველდღიური მგზავრობის მაჩვენებლები ფასდება ჰოლანდიის ეროვნული მობილობის კვლევის სისტემატურად განახლებადი მონაცემების გამოყენებით. ამ მოდელის გამოყენებისას საჭიროა ახალი საცხოვრებელი ფართების დემოგრაფიული ზომებისა და შემადგენლობის შეფასებები. შეფასებები ვრცელდება მხოლოდ 12 წელზე უფროსი ასაკის პირებზე. [წყარო: Wolocas, 1990].

მგზავრობის დანიშნულება - სამსახური		განათლება		
		საწყისი	საშუალო	უმაღლესი
დასაქმებული კაცი	მანქანიანი	1.7	1.743	1.702
	უმანქანო	1.656	1.656	1.656
დასაქმებული ქალი	მანქანიანი	1.369	1.331	1.331
	უმანქანო	1.268	1.31	1.31

ცხრილი 4.12: "სამუშაოსთვის" დღიურად გენერირებულ მგზავრობათა მაჩვენებლები.

მგზავრობის დანიშნულება - სერვისი		ასაკი	
		12 - 18	> 18
კაცი	მანქანიანი		0.656
	უმანქანო	1.983	0.917
ქალი	მანქანიანი	-	1.111
	უმანქანო	1.983	1.201
საშუალო		1.983	

ცხრილი 4.13: "სერვისისთვის" დღიურად გენერირებულ მგზავრობათა მაჩვენებლები.

მგზავრობის დანიშნულება - სხვა		ასაკი	
		12 - 40	> 40
დასაქმებული	მანქანიანი	1.185	0.779
	უმანქანო	0.974	0.98
უმუშევარი	მანქანიანი	1.158	1.442
	უმანქანო	1.512	0.98

ცხრილი 4.14: "სხვა დანიშნ." დღიურად გენერირებულ მგზავრობათა მაჩვენებლები.

4.6. დისკრეტული არჩევანის მეთოდები

ვინაიდან, ინდივიდი ირჩევს კონკრეტული მგზავრობის წარმოებას, მისი პროგნოზირებისთვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას დისკრეტული არჩევანის მოდელები. ალბათობა იმისა, რომ ინდივიდი გადაწყვეტს ერთი ან მეტი მგზავრობის წარმოებას შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სახით:

$$P_n(1+) = \frac{1}{1 + e^{\beta(x_{0n} - x_{1n})}} \quad (4.11)$$

$$P_n(0) = 1 - P_n(1+)$$

სადაც:

- $P_n(0)$ = ალბათობა, რომ ინდივიდი არ აწარმოებს მგზავრობას
- $P_n(1+)$ = ალბათობა, რომ ინდივიდი აწარმოებს ერთ ან მეტ მგზავრობას
- β = კოეფიციენტების ვექტორი, რომელიც გამოთვლილია მოდელით
- x_{1n} = განმარტებით ცვლადთა ვექტორი n პირის მიერ ერთი ან მეტი მგზავრობის წარმოების სარგებლიანობა
- x_{0n} = განმარტებით ცვლადთა ვექტორი n პირის მიერ მგზავრობის არწარმოების სარგებლიანობა

გამოთვლილი კოეფიციენტებიდან ვხედავთ, თუ როგორ მოქმედებენ განმარტებითი ცვლადები იმ ალბათობაზე, რომლითაც ინდივიდი განახორციელებს გარკვეულ მგზავრობას.

გარდა ამისა, ჩვენ შეგვიძლია დეაგრეგირებული ალბათობების აგრეგირება, რათა მივიღოთ მოსახლეობის პროპორცია, რომელიც აწარმოებს ამ ტიპის მგზავრობას და ამით წარმოქმნის ზონაში აგრეგირებულ მგზავრობათა საერთო რაოდენობას.

ლოგიტ მოდელის შედეგების ინტერპრეტაცია

მოდელმა გამოიმუშავა შემდეგი შედეგები:

პარამეტრები	გამოთვლები	სტატისტიკური
მუდმივი	-0.474	-2.4
სქესი	0.267	2.1
ასაკი	-0.047	-19.1
დაოჯახებული კაცი	0.314	2.8
დაოჯახებული ქალი	1.594	12.4
ქალი <6 წლის ბავშვით	-1.742	-11.4
განათლება	0.211	13.8

ფიგურა 4.15: ლოგიტ მოდელის მგზავრობის პროგნოზირების შედეგები

მოცემული ცვლადები სქესი, ასაკი, დაოჯახებული ქალი, დაოჯახებული მამაკაცი, ქალი ბავშვით <6 წელი ყველა არის დამხმარე ცვლადი (ე.ი. უდრის 1 ან 0).

გაითვალისწინეთ, რომ ყველა კოეფიციენტი მნიშვნელოვანია 95% სიზუსტის დონეზე (t - სტატისტიკური > 2).

ლოგიტ მოდელი პროგნოზირებს ალბათობას, რომლითაც ინდივიდი აწარმოებს სამუშაო დანიშნულების მგზავრობას შემდეგი ტოლობის მიხედვით:

$$P(\text{მგზავრობა}) = \frac{1}{1 + e^{0.474 - 0.267(\text{სქესი}) + 0.047(\text{ასაკი}) - 0.324(\text{დაოჯ.კლ}) - 1.594(\text{დაოჯ.კვ}) + 1.742(\text{<6 წლ ბავშვით}) - 0.211(\text{განათ})}$$

$$P(\text{არმგზავრობა}) = 1 - P(\text{მგზავრობა}) \quad (4.12)$$

გამოთვლილი კოეფიციენტებიდან ვხედავთ, თუ როგორ მოქმედებს განმარტებადი ცვლადის გავლენა იმ ალბათობაზე, რომლითაც ინდივიდი აწარმოებს მგზავრობას სამსახურში.

მაგალითად, განათლების კოეფიციენტი (0.211) მიგვითითებს იმაზე, რომ რაც უფრო მაღალია განათლების დონე, მით უფრო მეტი შესაძლებლობაა სამუშაო მგზავრობის, ვიდრე ნაკლებად განათლებულ პირთა შემთხვევაში. გაითვალისწინეთ, რომ მოდელის მხრიდან არც ერთი ნიშანი არ ჩანს არამიზნობრივი. ასევე შეგვიძლია გამოვიყენოთ ზემოთ მოცემული განტოლება იმის დასადგენად, თუ რა გავლენას ახდენს განმარტებადი ცვლადის ცვლილება ინდივიდის მგზავრობის ალბათობაზე. მაგალითად, საშუალო სკოლის დიპლომის მქონე პირის (განათლება = 10), რომელსაც აქვს სამსახურში მგზავრობის 50% -იანი ალბათობა, რომ ჰქონდეს სამსახურში მგზავრობის 70% ალბათობა, მაშინ მას უნდა ჰქონდეს მინიმუმ ბაკალავრის ხარისხი.

მაგალითი 4.7:

ნიდერლანდების ეროვნული სატრანსპორტო მოდელის სისტემა მთლიანად ემყარება მგზავრობის დისკრეტული არჩევანის მოდელს. მგზავრობის სიხშირის ქვემოდელი პროგნოზირებს ალბათობას, რომ ცნობილი მახასიათებლების მქონე ინდივიდი საშუალოდ დღეში აწარმოებს ერთ ან მეტ ტურს. მოგვიანებით ეტაპზე ტურები იშლება მგზავრობებად.

ანალიზის ერთეული არის ინდივიდი, ცნობილი მახასიათებლების მქონე ოჯახის წევრი. მგზავრობის წარმოების ეს მოდელი განასხვავებს 5 მგზავრობის მიზანს. საერთო ჯამში, რვა განსხვავებულება გამოირჩევა მოდელეებში.

მოდელს აქვს ორეტაპიანი სტრუქტურა:

- 1 ეტაპზე, მოდელი წინასწარმეტყველებს ერთი ან მეტი ტურის წარმოების ალბათობას, ამრიგად, ბინარული ლოგიტ მოდელი.
- მე-2 ეტაპზე, ბინარული არჩევანის კიდევ ერთი მოდელი პროგნოზირებს ერთი ტურის ჩატარების პირობით ალბათობას ორ ან მეტ ტურთან შედარებით, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ეს ტურები სრულდება. ეს პროცესი რამდენჯერმე მეორდება.

მოდელი 2 ზედიზედ გამოიყენება კასკადში.

ამ მეორე მოდელის ყველა ბიჯი იდენტურია (მაგრამ განსხვავდება მოდელის 1 –

სგან). ეს არის ეგრეთ წოდებული გაჩერდი/გაიმეორე მოდელი.

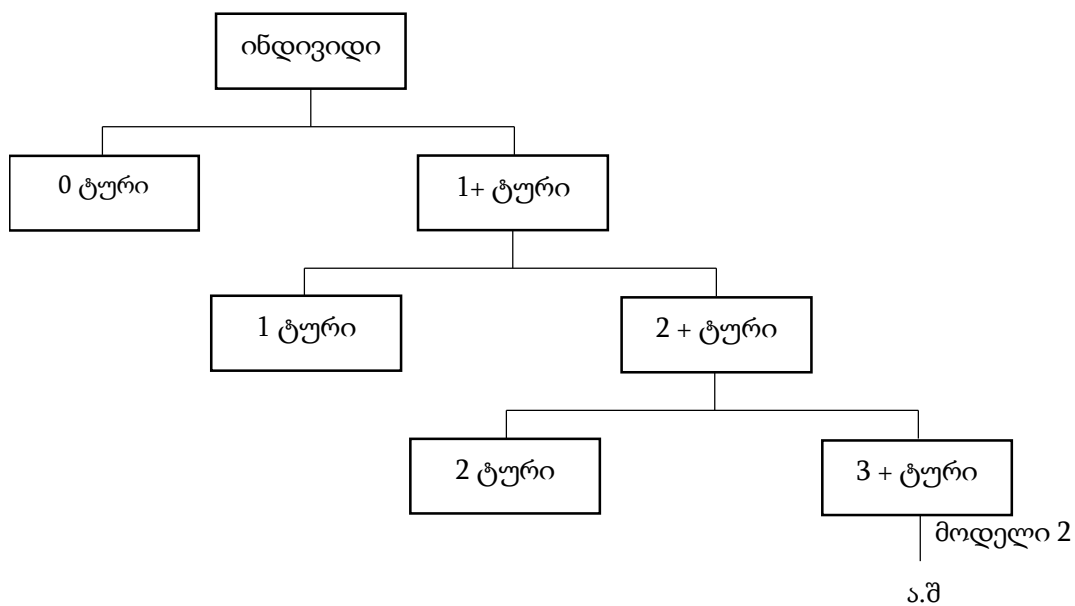
ორივე მოდელი არის ბინარული ლოგიტ მოდელი, რომლებიც წრფივი უტილიტ ფუნქციებია, დამხმარე ცვლადით ინდივიდუალური და შინამეურნეობის მახასიათებლების ასაღწერად.

პრაქტიკულ პროგრამებში, ალბათობებთან მუშაობის ნაცვლად, ტურების მოსალოდნელი რაოდენობაა გამოყენებული გამოთვლებისთვის.

ტურების მოსალოდნელი სავარაუდო რაოდენობა (ENT) შეიძლება გამოითვალოს შემდეგნაირად:

$$ENT = \frac{P_r(1+)}{1 - P_r(R)} \quad (4.13)$$

სადაც $P_r(1+)$ არის მოდელის 1-ის ალბათობის შედეგი, ხოლო $P_r(R)$ არის დამატებითი მგზავრობის წარმოების ალბათობა, რაც მე-2 მოდელის შედეგია.



ფიგურა 4.5: მგზავრობის წარმოების დისკრეტული მოდელების სტრუქტურა ჰოლანდიის ეროვნული სატრანსპორტო მოდელის სისტემაში [წყარო: LMS, 1990]

4.7. მგზავრობათა დაბალანსება

ზოგიერთი მკითხველისთვის შეიძლება აშკარა იყოს, რომ ზემოთ მოყვანილი მოდელები, როგორც წესი, არ იძლევა გარანტიას, რომ ყველა ზონაში

გენერირებული მგზავრობები (წარმოშობის O_i) ტოლი იქნება მიზიდული მგზავრობების (დანიშნულების D_j):

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j \quad (2.14)$$

პრობლემა არის ის, რომ ეს განტოლება გულისხმობს სტრუქტურაში შემდეგი ქვე-მოდელის (მაგ. მგზავრობის განაწილებას) მოთხოვნებს; შეუძლებელია მგზავრობის განაწილების მატრიცის არსებობა, სადაც ყველა მწკრივის შეჯამებით მიღებული მგზავრობების საერთო რაოდენობა განსხვავებულია, ვიდრე მიღებული ყველა სვეტის შეჯამებისას.

ამ სირთულის გამოსავალი არის პრაგმატული, რომელიც უპირატესობას ანიჭებს იმ ფაქტს, რომ ჩვეულებრივ, მგზავრობის მოდელები ბევრად უფრო უკეთესია (სიტყვის ყველა გაგებით) ვიდრე მათი მგზავრობის მიზიდვის კონტრმოდელი. პირველი, ჩვეულებრივ, საკმაოდ დახვეწილი, შინამეურნეობაზე დაფუძნებული პროგრამებია, რომლებიც ჩვეულებრივ განმარტებით ცვლადებს ემყარება. მეორეს მხრივ, მგზავრობის მიზიდვის მოდელები საუკეთესოდ არის შეფასებული ზონალური მონაცემების გამოყენებით. ამ მიზეზით, საუკეთესო პრაქტიკა თვლის, რომ საერთო ყველა წარმომავლობის შეჯამების შედეგად მიღებული მგზავრობების რაოდენობა O_i , ფაქტობრივად წარმოედგენს T -ს ნამდვილ მნიშვნელობას; შესაბამისად, ყველა დანიშნულების D_j მრავლდება f ფაქტორზე, რომელიც მოცემულია:

$$f = \frac{T}{\sum_j D_j} \quad (2.15)$$

რაც აშკარად უზრუნველყოფს, რომ მათი ჯამი T -ს ემატება.

გენერირებული და მიზიდული მგზავრობების დასაბალანსებლად ერთ ბიჯში, შეგვიძლია გამოვიყენოთ რამოდენიმე პროცედურა. პროცედურა დასაბალანსებლად გთავაზობს შემდეგ მეთოდებს:

- შეინარჩუნეთ გენერირებები მუდმივად გენერირება შენარჩუნდება მუდმივად და მიზიდულობა არის მორგებული ისე, რომ მისი ჯამი ტოლია გენერირების ჯამის.
- შეინარჩუნეთ მიზიდულობა მუდმივად მიზიდულობა შენარჩუნდება მუდმივად და გენერირება არის მორგებული ისე, რომ მისი ჯამი ტოლია მიზიდულობის ჯამის.
- გენერირებისა და მიზიდულობის შეწონილი ჯამი ორივე გენერირება და მიზიდულობა ისეა მორგებული, რომ მათი ჯამი უდრის მომხმარებლის მიერ მითითებულ გენერირებულ და მიზიდულ მგზავრობათა შეწონილ ჯამს.

- მომხმარებლის მიერ მითითებულ მნიშვნელობათა ჯამი
 ორივე, გენერირება და მიზიდულობა ისეა მორგებული, რომ მათი ჯამი
 მომხმარებლის მიერ განსაზღვრული მნიშვნელობის ტოლია.

რეგრესიის მოდელი		
დონე	განტოლება	შენიშვნა
ზონალური	$T_i^p = \sum_k \alpha_k^p X_{ik}$	$T_i^p = p$ მიზნისათვის გენერირებული ზონალური მგზავრობები $X_{ik} = K$ - ს ზონალურ განმარტებით ცვლადს i ზონისთვის
შინამეურნეობითი	$T_i^p = \sum_h N_{hi} \sum_k \beta_{hk}^p Y_{hk}$	$Y_{hk} = K$ - ს შინამეურნეობის განმარტებით ცვლადს h შინამეურნეობისთვის $N_{hi} = i$ ზონაში h ტიპის შინამეურნეობათა რაოდენობა
ინდივიდუალური	$T_i^p = \sum_n N_{ni} \sum_k \gamma_{nk}^p Z_{nk}$	$Z_{pk} = K$ - ს ინდივიდუალურ განმარტებით ცვლადს p ინდივიდუალისთვის $N_{ni} = i$ ზონაში n ტიპის ინდივიდუალთა რაოდენობა
ჯვარედინი კლასიფიკაციის მოდელი		
დონე	განტოლება	შენიშვნა
შინამეურნეობითი	$T_i^p = \sum_h N_{hi} t_h^p$	$t_h^p =$ თითოეული h შინამეურნეობის მგზავრობის მაჩვენებელი
ინდივიდუალური	$T_i^p = \sum_n N_{ni} t_n^p$	$t_n^p =$ თითოეული n ინდივიდუალის მგზავრობის მაჩვენებელი
დისკრეტული არჩევანის მოდელი		
დონე	განტოლება	შენიშვნა
შინამეურნეობითი	$T_i^p = \sum_h N_{hi} t_h^p \sum_{x=0}^{\max} x P_{hp}(x)$	$P_{hp}(x) =$ ალბათობა, h შინამეურნეობის ჯგუფიდან შერჩევითი შინამეურნეობა აწარმოებს p მიზნობრიობის x მგზავრობებს ($x = 0, 1, 2, \dots$, მაქს)
ინდივიდუალური	$T_i^p = \sum_n N_{ni} t_n^p \sum_{x=0}^{\max} x P_{np}(x)$	$P_{np}(x) =$ ალბათობა, n ინდივიდუალთა ჯგუფიდან შერჩევითი ინდივიდუალ აწარმოებს p მიზნობრიობის x მგზავრობებს ($x = 0, 1, 2, \dots$, მაქს)

ცხრილი 4.16: მგზავრობის გენერირების მოდელების სპეციფიკაციების შეჯამება

4.8. დასკვნა

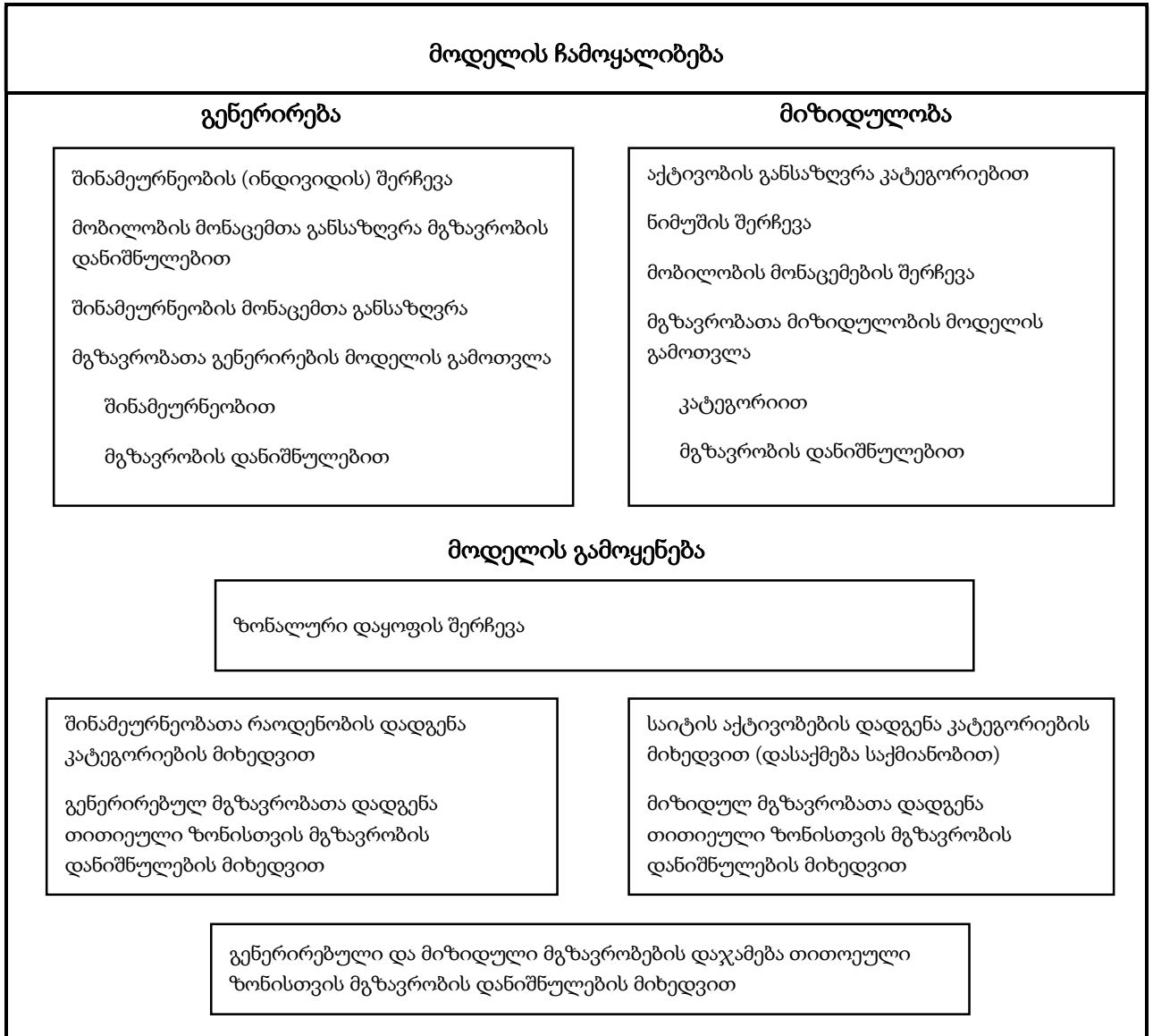
მგზავრობის გენერირების მოდელის სხვადასხვა მიდგომების შესაჯამებლად, ცხრილი 4.16 გვთავაზობს პროგნოზირების ფორმულებს, რომლებიც გამოყენებულ უნდა იქნას თითოეული მიდგომისთვის. ჩვენ განვსაზღვრეთ შემდეგი:

$p =$ მგზავრობის დანიშნულების ინდექსი;

$i =$ ზონის ინდექსი;

$T_i^p = i$ ზონაში p მიზნობრიობისთვის პროგნოზირებული (გენერირებული ან მიზიდული, წარმოშობის ან დანიშნულების ადგილები) მგზავრობების სავარაუდო რაოდენობა;

$\alpha, \beta, \gamma =$ მგზავრობის გენერირების პარამეტრები ზონალური, შინამეურნეობითი და ინდივიდუალური დონეების შესაბამისად.



ფიგურა 4.6: წარმოშობის (გამგზავრების) და ზონალური დანიშნულებების (ჩამოსვლის) გამოთვლის სრული პროცედურა.

5. მგზავრობის განაწილების მოდელები

5.1. შესავალი

მას შემდეგ, რაც არსებული ინფორმაცია მოგროვდა თითოეულ ზონაში გენერირებული ან მიზიდული მგზავრობების შესახებ, ტრანსპორტის მოდელირების შემდეგი ეტაპი წარმოადგენს ამ მგზავრობათა განაწილებას წარმოება - დანიშნულების (OD) ცხრილში, უჯრედების დონეზე. ეს შეიძლება მოხდეს დისაგრეგირებულ ან აგრეგირებულ დონეზე. დისაგრეგირებულ დონეზე მგზავრობათა განაწილებისას, დანიშნულების ადგილის არჩევანის პროპორციები სიმულირებულია ინდივიდუალური მახასიათებლების გამოყენებით. აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილებაში ინდივიდუალური მახასიათებლები არ განიხილება. ამ კურსში განვიხილავთ მხოლოდ აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილების მოდელებს.

გამგზავრების წერტილი აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილების ეტაპზე წარმოადგენს მგზავრობათა წარმოების ეტაპზე გამოთვლილ წარმოება-დანიშნულების (OD) ცხრილს. ეს გულისხმობს, რომ ხელმისაწვდომია:

- გამგზავრების რაოდენობა,
- ჩამოსვლების რაოდენობა,
- გამგზავრების და ჩამოსვლის რაოდენობები,
- არცერთი.

თუ რომელი შემთხვევაა ჭეშმარიტი, დამოკიდებულია კვლევის მიზანზე და მონაცემთა ხელმისაწვდომობაზე. შედეგამდე მიყვავართ მგზავრობათა განაწილების ცალკეულ მოდელებს. 5.1 ფიგურა ასახავს მგზავრობათა განაწილების პრობლემას იმ შემთხვევებისათვის, სადაც ცნობილია გამგზავრების და ჩამოსვლების რაოდენობა: მიზანია OD ცხრილის პროგნოზირება გენერირებულ და მიზიდულ მგზავრობათა შეფასებისა და მიმდინარე OD ნაკადების ან თითოეული მგზავრობის ღირებულების გაზომვის საფუძველზე.

წარმოება	დანიშნულება				$\sum_j T_{ij}$
	1	2	...	n	
1					P1
2		?			p2
...					...
m					Pm
$\sum_j T_{ij}$	A1	A2	...	An	

ფიგურა 5.1: ორმხრივად შეზღუდული მგზავრობის განაწილება

ურბანული ტრანსპორტის დაგეგმარებაში დომინირებს აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილების ორი ძირითადი კატეგორია:

- აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილების მეთოდების პირველი ძირითადი კატეგორია დაფუძნებულია გრავიტაციის მოდელზე (თავი 5.2 - 5.6). გრავიტაციის მოდელებისთვის, ტიპური მონაცემები მოიცავს ერთი ან მეტი ნაკადის მატრიცას, წინაღობის მატრიცა ასახავს ზონებს შორის მგზავრობის დისტანციას, დროს ან ღირებულებას და ითვლის გენერირების და მიზიდულობის სამომავლო პროგნოზებს.

გრავიტაციის მოდელი თავდაპირველად მოტივირებული იყო დაკვირვებით, რომ ნაკადები მცირდება ზონებს შორის მანძილის ცვლილების ფუნქციის შესაბამისად, ისევე, როგორც ორ ობიექტს შორის გრავიტაციული მიზიდულობა მცირდება ამ ობიექტებს შორის მანძილის ცვლილების ფუნქციის შესაბამისად. მოდელირებისთვის ნიუტონის ანალოგი შეიცვალა ჰიპოთეზით, რომ i და j ზონებს შორის მგზავრობები წარმოადგენს i ზონაში წარმოებულ და j ზონაში მიზიდულ მგზავრობათა და/ან ყველა ზონის მიმართ წვდომის ფუნქციას.

გრავიტაციის მოდელის თანამედროვე მიდგომებმა აჩვენა, რომ იგი შეიძლება აღქმული იქნას, როგორც ნაკადების სივრცითი მოწყობა, შეზღუდული ზონალური წარმოების და დანიშნულების ჯამები და სხვადასხვა დამხმარე გამოთვლები ან მგზავრობის საშუალო სიგრძის შეზღუდვები (Ortúzar en Willumsen, 1994).

შეიძლება გამოყენებულ იქნას წინაღობის მრავალი სხვადასხვა სახეობა, მაგალითად, მგზავრობის მანძილი, დრო ან ღირებულება. ასევე არსებობს რამდენიმე პოტენციური წინაღობის ფუნქცია, რომლებიც გამოიყენება თითოეული ზონის მიზიდულობის დასახასიათებლად. პოპულარული არჩევანია ექსპონენციური ფუნქციები, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ენტროპიის მოდელებში. როგორც წინაღობის ფუნქციათა ალტერნატივა, შეგვიძლია გამოვიყენოთ ხახუნის ფაქტორის საძიებო ცხრილი (არსებითად დისკრეტული წინაღობის ფუნქცია), რომელიც ზონებს შორის წინაღობას უკავშირებს ზონებს შორის მიზიდულობას.

გრავიტაციის მოდელის გამოყენებამდე, საჭიროა დაკალიბრდეს წინაღობის ფუნქცია. როგორც წესი, კალიბრაცია გულისხმობს იტერაციულ პროცესს, რომელიც ითვლის კოეფიციენტებს ისე, რომ გრავიტაციის მოდელი ასახავს მგზავრობათა სიგრძის სიხშირის განაწილებას და ემთხვევა საბაზისო წლის გენერირებას ან მიზიდულობას, ან ორივეს (იხ. თავი 9).

- აგრეგირებულ მგზავრობათა განაწილების მეორე ძირითადი კატეგორიაა ზრდის ფაქტორის მეთოდები (ნაწილი 5.7). ეს გულისხმობს არსებული მატრიცის მასშტაბირებას (ე.წ. საბაზისო მატრიცა) მულტიპლიკაციური

ფაქტორების გამოყენებით (ხშირად გამომდინარეობს პროგნოზირებული გენერირებისა და/ან მიზიდულობისაგან) მატრიცის უჯრედებზე.

5.2. გრავიტაციის მოდელის დერივაცია

გრავიტაციის მოდელში, ზოგადი ფორმით, ნათქვამია, რომ წარმოების და დანიშნულების ზონებს შორის მგზავრობათა რაოდენობა შემდეგი სამი ფაქტორის პროპორციულია:

- წარმოების ზონის ფაქტორი (გენერირების უნარი)
- დანიშნულების ზონის ფაქტორი (მიზიდულობის უნარი)
- ფაქტორი, რომელიც დამოკიდებულია წარმოების და დანიშნულების ზონებს შორის მგზავრობის ხარჯებზე,

მათემატიკურად ეს გამოისახება შემდეგი სახით:

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij} \quad (5.1)$$

სადაც,

T_{ij} = i ზონიდან j ზონაში მგზავრობათა რაოდენობა

Q_i = i ზონის გენერირების უნარი

X_j = j ზონის მიზიდულობის უნარი

F_{ij} = i ზონიდან j ზონაზე წვდომა (დამოკიდებულია C_{ij} მგზავრობის ღირებულებაზე)

μ = არეალში მგზავრობათა საშუალო ინტენსიობის საზომი

ამ თავში ეს მოდელი მოხსენიებულია, როგორც ზოგადი მგზავრობის წარმოების მოდელი; ეს უფრო სპეციფიკური იქნება იმ შემთხვევებისთვის, სადაც დამატებითი ინფორმაცია ხელმისაწვდომია, მაგალითად ჩამოსვლის ან გამგზავრების რაოდენობები.

ჩანს, რომ ზემოთ მოყვანილი მოდელი შეესაბამება სიმეტრიის შესახებ ინტუიციურად ნათელ ვარაუდებს: თუ შესაძლო დანიშნულების ორ ზონას აქვს მსგავსი მიზიდულობის უნარები და თანაბრად ხელმისაწვდომები არიან წარმოების ზონიდან, არ არსებობს იმ მოლოდინის საფუძველი, რომ უფრო მეტი ვიზიტი

განხორციელდება ამ წარმოების ზონიდან პირველი დანიშნულების ზონაში, ვიდრე მეორეში.

მოდელი შესაძლებელია ოფიციალურად გამყარდეს, 2.2 თავში აღწერილი სარგებლიანობის თეორიის გამოყენებით.

სარგებლიანობის თეორიის თანახმად, გადაწყვეტილების მიმღები პირები მიზნად ისახავენ მაქსიმალურად გაზარდონ საკუთარი სარგებელი. სარგებლის მაქსიმიზაციისათვის, როგორც წესი, დღის განმავლობაში საჭიროა რამოდენიმე სახის აქტივობა, მაგ. სამსახური და საცხოვრებელი.

i წარმოების ადგილიდან j დანიშნულების ადგილამდე მგზავრობის წარმოების U_{ijp} ინდივიდუალური სარგებლიანობა, კონკრეტული ჰომოგენური მგზავრობის მიზნობრიობისათვის (მაგ. სახლიდან სამსახურში), არის :

$$U_{ijp} = U_i + U_j - f(c_{ij}) + \varepsilon_{ijp} \quad (5.2)$$

U_i = წარმოების საშუალო სარგებელი დაკავშირებული i -სთან

U_j = დანიშნულების საშუალო სარგებელი დაკავშირებული j -სთან

$f(c_{ij})$ = i და j -ს შორის მგზავრობის წინაღობის (ფასი) სარგებელის მნიშვნელობა

ε_{ijp} = ინდივიდუალური ცდომილების კომპონენტი, არასწორად აღქმა, ცვლილებები მოთხოვნებში და არამოდელირებული ატრიბუტები

განვსაზღვროთ,

$$V_{ij} = U_i + U_j - f(c_{ij}) \quad (5.3)$$

ახლა შეგვიძლია დავწეროთ

$$U_{ijp} = V_{ij} + \varepsilon_{ijp} \quad (5.4)$$

თუ ვივარაუდებთ, რომ ცდომილების კომპონენტი ε_{ijp} არის გემბელის განაწილება b მასშტაბის პარამეტრით (თავი 2.3), მაშინ თითოეული გადაწყვეტილების მიმღებისათვის ალბათობა, რომ იგი აირჩევს მგზავრობას i ზონიდან j ზონაში, ტოლია:

$$P_{ij} = \frac{\exp(bV_{ij})}{\sum_{ij} \exp(bV_{ij})} = \frac{1}{k} \exp(bU_i) * \exp(bU_j) * \exp(-bf(C_{ij})) \quad (5.5)$$

სადაც,

$$k = \sum_{ij} \exp(bV_{ij}) \quad (5.6)$$

P_{ij} = ალბათობა იმისა, რომ ინდივიდი განახორციელებს მგზავრობას i -დან j -ში

b = გემბელის განაწილების მასშტაბის პარამეტრი

k = ალტერნატიული მგზავრობების რაოდენობის და ცვალებადობის მნიშვნელობა. რაც უფრო დიდია k , არჩევანის უფრო მეტი შესაძლებლობა აქვს მგზავრს.

P მგზავრთათვის, i და j -ს შორის მგზავრობათა სავარაუდო რაოდენობა შეადგენს:

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij} \quad (5.7)$$

სადაც,

$$Q_i = \text{გენერირების პოტენციალი} = \exp(bU_i) \quad (5.8)$$

$$X_j = \text{მიზიდულობის პოტენციალი} = \exp(bU_j) \quad (5.9)$$

$$F_{ij} = j\text{-ზე წვდომა} = \exp(-bf(C_{ij})) \quad (5.10)$$

$$\mu = \text{არეალში მგზავრობათა საშუალო ინტენსივობა} = P/k$$

ამ ზოგადი მგზავრობის განაწილების მოდელის, როგორც საწყისი წერტილის გათვალისწინებით, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ სხვადასხვა მოდელები, დაწესებული დამატებითი შეზღუდვების გათვალისწინებით, განსაკუთრებით ზონებში ჩამოსვლებისა და გამგზავრებების რაოდენობებზე (იხ. ცხრილი 5.1).

	გამგზავრება უცნობია	გამგზავრება ცნობილია
ჩამოსვლა უცნობია	პირდაპირი მოთხოვნა (თავი 5.3)	წარმოების შეზღუდვა (თავი 5.4.1)
ჩამოსვლა ცნობილია	დანიშნულების შეზღუდვა (თავი 5.4.2)	ორმაგი შეზღუდვა (თავი 5.5)

ცხრილი 5.1: განაწილების მოდელების სახეები ჩამოსვლაზე და გამგზავრებაზე დაწესებული შეზღუდვების შესაბამისად

5.3. პირდაპირი მოთხოვნის მოდელი

ამ შემთხვევაში, დამატებითი მგზავრობის შეზღუდვები არ არის დაწესებული, ამიტომ ეს მოდელი მგზავრობის განაწილების ზოგადი მოდელის ტოლფასია:

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij} \quad (5.11)$$

სადაც,

$$Q_i = i\text{-ის გენერირების პოტენციალი}$$

$$X_j = j\text{-ის მიზიდულობის პოტენციალი}$$

$F_{ij} = i$ - დან j - ზე წვდომა

μ = არეაში მგზავრობათა საშუალო ინტენსიობა

გენერირებისა და მიზიდულობის პოტენციალი შეიძლება გამომდინარეობდეს მოსახლეობიდან, ფართობიდან, სამუშაო ადგილების რაოდენობიდან და ა.შ., გამგზავრების (გენგირება) და ჩამოსვლის (მიზიდულობა) მნიშვნელობები უცნობია. ისინი განისაზღვრება ენდოგენურად. შედეგად მიღებული ნაკადები შეფასებულია მხოლოდ ზონების i და j - ის პოტენციალზე და მათ შორის წინაღობაზე.

მიუხედავად იმისა, რომ პირდაპირი მოთხოვნის მოდელის განხორციელება მარტივია, მოდელის უარყოფითი მხარე ის არის, რომ იგი წინასწარ განსაზღვრავს დიდი რაოდენობით ვიზიტებს ანალიზის ერთეულზე (მაგ. ინდივიდი) განსაკუთრებით ხელმისაწვდომი წარმოშობის ზონებისათვის (ზონებში, რომლებსაც მიმდებარე ტერიტორიებისადმი აქვთ მაღალი მიზიდულობის პოტენციალი). ეს არ არის რეალისტური ყველა ვითარებაში. მაგალითად, ზოგადად, სახლიდან სასამხურში მგზავრობების რაოდენობა საერთოდ არ გაიზრდება, თუნდაც მიმდებარედ არსებობდეს დასაქმების ბევრი ვარიანტი. ამ მიზეზით ეს მეთოდი პრაქტიკაში იშვიათად გამოიყენება.

5.4. ერთჯერადად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი

5.4.1. წარმოების ადგილზე შეზღუდული

წარმოების შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელში, P_i ჩამოსვლების რაოდენობაზე დაწესებულია შეზღუდვების პაკეტი, როგორც ზოგად მგზავრობის განაწილების მოდელზე:

$$\sum_j T_{ij} = P_i \quad (5.12)$$

სადაც, P_i არის i ზონიდან გამგზავრებების ცნობილი რაოდენობა, რომელიც განისაზღვრება ეგზოგენურად (მაგალითად, შეფასებულია მგზავრობის გენერირების მოდელის გამოყენებით). მისი გაერთიანება მიზიდულ მგზავრობათა განაწილების მოდელთან

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij} \quad (5.13)$$

შეგვიძლია დავწეროთ

$$\sum_j T_{ij} = \sum_j (\mu Q_i X_j F_{ij}) = \mu Q_i \sum_j (X_j F_{ij}) = P_i \quad (5.14)$$

განვსაზღვროთ Q_i -ის მნიშვნელობა

$$Q_i = \frac{P_i a_i}{\mu} \quad (5.15)$$

სადაც a_i განსაზღვრულია, როგორც $a_i = \frac{1}{\sum_j (X_j F_{ij})}$

(5.13) და (5.15)-ის გაერთიანება იძლევა წარმოების შეზღუდული განაწილების მოდელს

$$T_{ij} = P_i \frac{X_j F_{ij}}{\sum_j (X_j F_{ij})} = a_i P_i X_j F_{ij} \quad (5.16)$$

სადაც:

a_i = ბალანსის ფაქტორი

P_i = i ზონიდან გამგზავრებების რაოდენობა

X_j = j ზონის მიზიდულობის პოტენციალი

F_{ij} = i ზონიდან j ზონაზე წვდომა

წარმოების შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი, შესაბამისად, არის პროპორციული მოდელი, რომელიც ჰყოფს მოცემულ მგზავრობათა რაოდენობებს i ზონაში წარმოებულ j ზონა დანიშნულებით, მათი შესაბამისი წვდომისა და სარგებლიანობის შესაძლებლობების პროპორციულად.

მიუხედავად იმისა, რომ შეიძლება გამოყენებულ იქნას წვდომის სხვადასხვაგვარი განმარტებები, ფაქტორი $\sum_j (X_j F_{ij})$ ხშირად მოიხსენიება, როგორც i ზონაზე წვდომა. მგზავრობათა მთლიანი რაოდენობის ზონაზე წვდომად დაყოფით, ჩვენ თავიდან ვიცილებთ ფენომენს, რაც იწვევს წარმოების ზონიდან მგზავრობათა მთლიანი რაოდენობის ზრდას, თუ იგი ახლოსაა მაღალი მიზიდულობის ზონებთან. რა თქმა უნდა, თუ დანიშნულების ადგილი მაღალი ხელმისაწვდომობისაა, ანუ მრავალი წარმოების ზონა, რომელსაც აქვს მაღალი გენერირების უნარი, მდებარეობს ახლო მანძილზე, ეს მაინც გამოიწვევს მგზავრობათა დიდ რაოდენობას. ეს შეიძლება იყოს არასასურველი ეფექტი, თუ მიზიდულობის უნარი დაფუძნებულია, მაგალითად, ზონაში სამუშაო ადგილების რაოდენობაზე.

განტოლება (5.16) გვიჩვენებს, რომ X_j და F_{ij} - ის აბსოლუტური მნიშვნელობები არ არის აუცილებელი ამ პროპორციულ მოდელში. თუ თითოეულ ამ ცვლადს გავამრავლებთ თავისუფალ მუდმივ ფაქტორზე, ეს არ იმოქმედებს მოდელის შედეგებზე. ეს თვისება ფართო თავისუფლებას ქმნის ორივე ცვლადის დაზუსტების პროცესში.

წარმოების შეზღუდული მოდელის პრაქტიკული მაგალითია ვოლოკასის (WOLOCAS) მოდელი. ეს მოდელი შექმნილია იმისთვის, რომ იწინასწარმეტყველოს ახალი საცხოვრებელი ტერიტორიების განვითარების გავლენა. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ტერიტორიებიდან წარმოებულ მგზავრობათა რაოდენობა ფასდება დეტალური მგზავრობის წარმოების მოდელებით, მგზავრების ჩამოსვლების რაოდენობა აღარ აღირიცხება. ამის ნაცვლად, მიზიდვის უნარები განისაზღვრა სხვადასხვა მგზავრობის დანიშნულების მიხედვით, სამუშაო ადგილები, სავაჭრო ობიექტები და მაცხოვრებელთა რაოდენობა.

5.4.2. დანიშნულების ადგილზე შეზღუდული

წარმოების შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელის ანალოგიურად, შესაძლებელია მივიღოთ დანიშნულების შეზღუდული მგზავრობის განაწილება. შიდა მგზავრობი შეზღუდულია ეგზოგენურად მოცემული ჩამოსვლებით. ცნობილია j -ში A_j ჩამოსვლების რაოდენობა (მაგალითად, მგზავრობის წარმოების ცალკეული მოდელის გამოყენებით), რაც გულისხმობს:

$$\sum_i T_{ij} = A_j \quad \forall j \tag{5.17}$$

დერივაციის გამოტოვებით (რაც 5.4.1 ნაწილში მოცემული დერივაციის ანალოგია), მოდელი მოცემულია ქვემოთ:

$$T_{ij} = A_j \frac{Q_i F_{ij}}{\sum_i (Q_i F_{ij})} = b_j Q_i A_j F_{ij} \tag{5.18}$$

სადაც:

$$b_j = \text{ბალანსის ფაქტორი} = \frac{1}{\sum_i (Q_i F_{ij})}$$

Q_i = i -ის გენერირების უნარი

A_j = j -ში ჩამოსული მგზავრობების რაოდენობა

F_{ij} = i ზონიდან j ზონაზე წვდომა

დანიშნულების შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი არის პროპორციული მოდელი, რომელიც ჰყოფს i -დან j -ში მოცემულ მგზავრობებს, მათზე წვდომისა და სარგებლიანობის შესაძლებლობის პროპორციულად.

ამ შემთხვევაშიც, მოდელის შედეგები არ არიან მგრძნობიარე Q_i და F_{ij} -ის აბსოლუტური მნიშვნელობების მიმართ (იხ. განტოლება 5.18). თითოეული ამ ცვლადის გამრავლება თავისუფალ მუდმივ ფაქტორზე, მოდელის შედეგებზე ვერ ახდენს ცვლილებას. ეს თვისება ფართო თავისუფლებას ქმნის ორივე ცვლადის დაზუსტების პროცესში.

5.5. ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი

ორმაგად შეზღუდული მოდელი ჩნდება, თუ გამგზავრების და ჩამოსვლის რაოდენობები ასახულია ზოგადი მგზავრობის განაწილების მოდელში. ჩვენ ვიწყებთ ზოგადი მგზავრობის განაწილების მოდელით:

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij} \quad (5.19)$$

ეხლა ჩვენ გვაქვს ზონებში ჩამოსვლა და გამგზავრების რაოდენობათა ორი სახის შეზღუდვა, რომელიც ეგზოგენურად არის მოცემული. ამრიგად, ცნობილია j - ში A_j ჩამოსვლების რაოდენობა და ცნობილია i - დან P_i გამგზავრებების რაოდენობა (ცალკეული მოდელების გამოყენებით). ეს იძლევა

$$\sum_i T_{ij} = P_i \quad (5.20)$$

და

$$\sum_i T_{ij} = A_j \quad (5.21)$$

აქედან გამომდინარე,

$$\sum_j T_{ij} = \sum_j (\mu Q_i X_j F_{ij}) = \mu Q_i \sum_j (X_j F_{ij}) = P_i \quad (5.22)$$

და

$$\sum_i T_{ij} = \sum_i (\mu Q_i X_j F_{ij}) = \mu X_j \sum_i (Q_i F_{ij}) = A_j \quad (5.23)$$

Q_i და X_j - ს ამოხსნა:

$$Q_i = \frac{P_i a_i}{\mu} \quad (5.24)$$

და

$$X_j = \frac{A_j b_j}{\mu} \quad (5.25)$$

სადაც, a_i და b_j არიან მგზავრობის შეზღუდვების ბალანსის ფაქტორები, განსაზღვრულნი შემდეგი სახით

$$a_i = \frac{1}{\sum_j (X_j F_{ij})} \quad (5.26)$$

და

$$b_j = \frac{1}{\sum_i (Q_i F_{ij})} \quad (5.27)$$

აქედან გამომდინარე, ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელი ახლა ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$T_{ij} = \frac{1}{\mu} a_i b_j P_i A_j F_{ij} \quad (5.28)$$

პარამეტრი μ შეიძლება შედიოდეს a_i და b_j სავარაუდო მნიშვნელობებში, რის შედეგადაც:

$$T_{ij} = a_i b_j P_i A_j F_{ij} \tag{5.29}$$

სადაც,

a_i = ბალანსის ფაქტორი

b_j = ბალანსის ფაქტორი

P_i = i - ზონიდან გამგზავრებების რაოდენობა

A_j = j - ზონაში ჩამოსვლების რაოდენობა

F_{ij} = i ზონიდან j ზონაზე წვდომა

იმის გათვალისწინებით, რომ მგზავრობათა განაწილება შეიძლება გამოითვალოს უშუალოდ შეუზღუდავი და ერთჯერადად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელების გამოყენებით (იმ შემთხვევაში, თუ საკმარისი მონაცემები ხელმისაწვდომია), ეს არ არის ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელის შემთხვევა. თუ ყველა საჭირო მონაცემები არის ხელმისაწვდომი (მაგ. P_i გამგზავრებების რაოდენობა, A_j ჩამოსვლების რაოდენობა, F_{ij} განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობები), განტოლებები (5.24) - (5.27) განსაზღვრავენ a_i და b_j კოეფიციენტებს (5.29) მოდელში ფარული წესით. ამ კოეფიციენტების დასადგენად შეიძლება გამოყენებულ იქნას იტერაციული პროცედურა. შემდეგი მაგალითი გვიჩვენებს ასეთ პროცედურას.

ზონა	მოსახლეობა	დასაქმება
1	1000	300
2	800	200

მაგალითი 5.1: მგზავრობათა განაწილება ორმაგი შეზღუდვის მოდელის გამოყენებით

განვიხილოთ საკვლევი არეალი, რომელიც შედგება ორი ზონისაგან. შემდეგი მონაცემები მოსახლეობის და დასაქმების შესახებ ხელმისაწვდომია:

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში მოსახლეობის რაოდენობა უფრო ზუსტად იყო განსაზღვრული, ვიდრე სამუშაო ადგილების რაოდენობა. ეროვნული მონაცემებიდან ირკვევა, რომ სამსახურთან დაკავშირებულ მგზავრობათა რაოდენობა საშუალოდ ადამიანისთვის შეადგენს 0.25-ს დღეში. ზონაში ჩამოსულ სამუშაო მგზავრობათა რაოდენობა კი შეადგენს 0.8-ს თითო სამუშაოსათვის. ამ შემთხვევაში მგზავრობის წინაღობა შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ტოლია ყველა (OD) წყვილებისათვის.

შეკითხვები:

- (ა) ორმაგად შეზღუდული განაწილების მოდელის ჩამოყალიბება და ცვლადების განსაზღვრა.
- (ბ) ორმაგად შეზღუდული განაწილების მოდელის გამოყენებით გამოთვალეთ მგზავრობის განაწილება.

პასუხი:

(ა) $T_{ij} = a_i b_j P_i A_j F_{ij}$

ცვლადების განსაზღვრა იხილეთ ზემოთ.

- (ბ) თუ მგზავრობის წინაღობა ტოლია ყველა (OD) წყვილებისათვის, მაშინ შეიძლება გამოყენებულ იქნას 1 - ის ტოლი განაწილების ფუნქცია; ე.ი. $F_{ij} = 1$. მგზავრობის გენერირება მიიღება შემდეგნაირად:

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} = 0.25 \begin{pmatrix} 1000 \\ 800 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 250 \\ 200 \end{pmatrix} \text{ და } \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} = 0.8 \begin{pmatrix} 300 \\ 200 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 240 \\ 160 \end{pmatrix}$$

ეხლა უნდა შევაფასოთ a_i და b_j ბალანსის ფაქტორების მნიშვნელობები. ეს ხდება იტერაციული მეთოდით. ინიციალიზაციის ეტაპზე ვავსებთ ცხრილს ცნობილი P_i , A_j და F_{ij} - ის მნიშვნელობებით:

ზონიდან	ზონაში		ჯამი	Pi	ფაქტორი
	1	2			
1	1	1	2	250	
2	1	1	2	200	
ჯამი	2	2	4	450	
Aj	240	160	400		
ფაქტორი					

გამგზავრებების საერთო რაოდენობა (450) არ ემთხვევა ჩამოსვლების საერთო რაოდენობას (400). პირველი ბიჯი, შესაბამისად მათი დაბალანსებაა. ეს ხდება ჩამოსვლების რაოდენობის გამრავლებით 450/400 ფაქტორზე (რადგან გამგზავრებების უფრო ზუსტი რაოდენობაა ცნობილი):

ზონიდან	ზონაში		ჯამი	Pi	ფაქტორი
	1	2			
1	1	1	2	250	125
2	1	1	2	200	100
ჯამი	2	2	4	450	
Aj	270	180	450		
ფაქტორი					

შემდეგი ნაბიჯია თითოეული მწკრივის ფაქტორთა განსაზღვრა ჯამური მწკრივების შესაბამისად (გამგზავრება):

ზონიდან	ზონაში		ჯამი	Pi	ფაქტორი
	1	2			
1	125	125	250	250	
2	100	100	200	200	
ჯამი	225	225	450	450	
Aj	270	180	450		
ფაქტორი	270/225	180/225			

და თითოეული სვეტის ფაქტორთა განსაზღვრა ჯამური სვეტის რაოდენობის შესაბამისად (ჩამოსვლები):

ზონიდან	ზონაში		ჯამი	Pi	ფაქტორი
	1	2			
1	150	100	250	250	1
2	120	80	200	200	1
ჯამი	270	180	450	450	
Aj	270	180	450		
ფაქტორი	1	1			

ამ შემთხვევაში აღარაა საჭირო მეტი პროცესის გამეორება, რადგან იგი აღარ შეცვლის მოცემულობას. ზემოთ მოცემულ ცხრილში მოყვანილია მოთხოვნილი მგზავრობათა განაწილება.

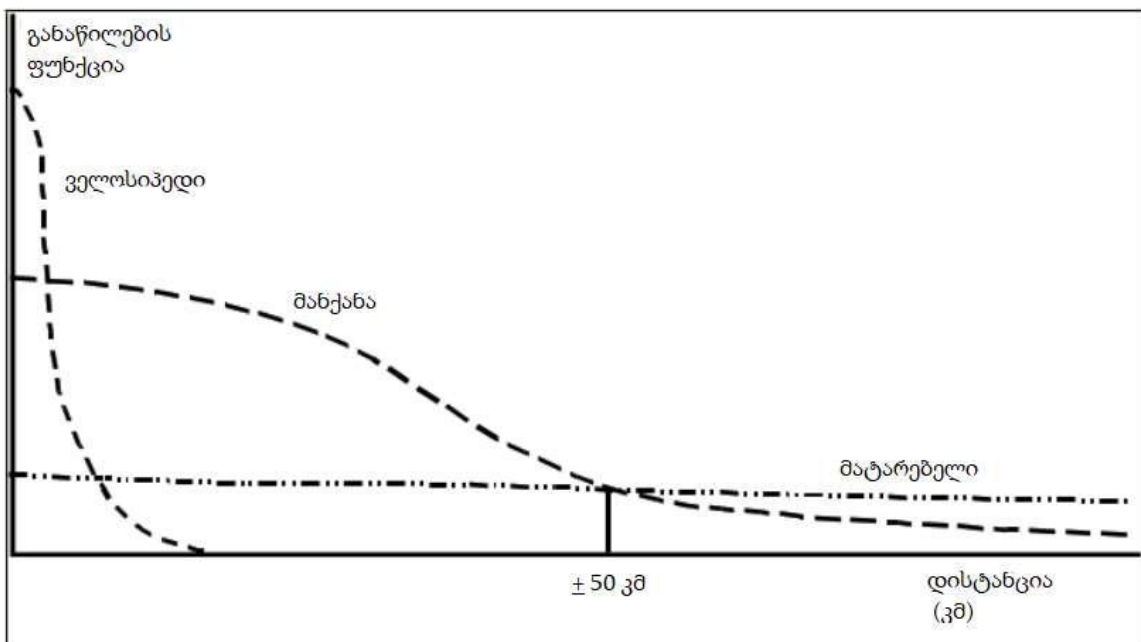
5.6. განაწილების ფუნქციები

როგორც 5.1 მაგალითიდან ჩანს, განაწილების ფუნქციების ცოდნა აუცილებელია მგზავრობის განაწილების მოდელების გამოყენებისათვის. განაწილების ფუნქცია F (ასევე ცნობილი, როგორც შემაკავებელი ფუნქცია) წარმოადგენს მზადყოფნას მგზავრობის შესასრულებლად, მიუხედავად განზოგადებული სამგზავრო C_{ij} ხარჯებისა. ზოგადად, ასეთი ფუნქცია იქნება მგზავრობის ღირებულების მონოტონურად შემცირების ფუნქცია.

როგორც წესი, გამოიყენება სხვადასხვა განაწილების ფუნქციები, რაც დამოკიდებულია მგზავრობის მიზნებსა და მგზავრობის ინიციატორის ატრიბუტებზე. ამგვარი განსხვავება შეიძლება მიეკუთვნებოდეს იმ ფაქტს, რომ მოსახლეობის სხვადასხვა კატეგორიები (სტუდენტები, დიასახლისები, თანამშრომლები) აფასებენ მგზავრობის წინაღობას განსხვავებული გზით, ფულისა და დროის ბიუჯეტიდან გამომდინარე. რა თქმა უნდა, ამ განსხვავებული განაწილების ფუნქციების გამოყენების მოთხოვნა, მგზავრობათა გენერირება და მიზიდულობა შეიძლება შეფასდეს კატეგორიების მიხედვით. ჰოლანდიაში მგზავრობის განაწილების უმეტესობას განასხვავებენ სხვადასხვა მგზავრობის მიზნებით (მაგ. სამუშაო, ბიზნესი და სხვ.), ზოგი ასევე განასხვავებს მგზავრობათა

სხვადასხვა კატეგორიას (მაგ. მანქანაზე წვდომობა და მანქანაზე წვდომის არარსებობა).

განაწილების ფუნქციების ფორმის ტიპიური მაგალითი სხვადასხვა მგზავრობათა მოდალობისთვის მოცემულია 5.2 ფიგურაში. ყველა ფუნქცია მონოტონურად მცირდება. ველოსიპედისთვის განაწილების ფუნქცია აღემატება დანარჩენებს მცირე სამგზავრო დისტანციებზე, მაგრამ მცირდება დაახლოებით ნულამდე 10 კილომეტრის მანძილზე. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მრუდი თავდაპირველად ყველაზე მცირეა, მაგრამ უმნიშვნელოდ იკლებს. დაახლოებით 50 კილომეტრის მანძილზე, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მრუდი აღემატება მანქანის მრუდს.



ფიგურა 5.2: განაწილების ფუნქციის მაგალითი სხვადასხვა მოდალობისთვის

5.6.1. მათემატიკური მოთხოვნები

ჩვეულებრივ განაწილების ფუნქციები შეფასებულია ემპირიული მონაცემების საფუძველზე. ამ პროცედურაში შეიძლება დაწესდეს შემდეგი თეორიული მოთხოვნები:

1. ფუნქცია უნდა მცირდებოდეს საერთო მგზავრობათა განზოგადებული დროის მონაცემებით; მგზავრობისთვის საჭირო დროის უფრო მაღალმა მაჩვენებელმა უნდა გამოიწვიოს მგზავრობის წარმოების შემცირება:

$$F(C_{ij}) \geq F(C_{ij} + \Delta c) \text{ თუ } \Delta c > 0$$

2. გამოსახულება $\int_0^\infty F(c) c dc$ სასრულია.
ეს მოთხოვნა გულისხმობს, რომ შეზღუდული რაოდენობის მგზავრობები გენერირებს თითოეული ზონიდან, თუნდაც საკვლევი არეალი არ არის შემოსაზღვრული. თუ ეს მოთხოვნა არ დაკმაყოფილდა, მგზავრობათა რაოდენობა დამოკიდებულია საკვლევი არეალის საზღვრებზე, რაც ხელს უშლის მოდელის პარამეტრების სხვა კვლევებში გადატანას.
ხარისხოვანი ფუნქციები (იხ. შემდეგი თავი), რომელთა ხარისხის მაჩვენებლები ნაკლებია ან ტოლი 2-ის, არ აკმაყოფილებენ ამ მოთხოვნას.
3. შეფარდება $\frac{F(ac_{ij})}{F(c_{ij})}$ დამოკიდებულია c_{ij} - ის მნიშვნელობაზე
ეს მოთხოვნა გამოხატავს, რომ თუ მგზავრობის საფასურს შევამცირებთ მუდმივი ფაქტორით, ეს გავლენას მოახდენს მგზავრობის განაწილებაზე.
4. დაფიქსირებულმა აბსოლუტურმა ცვლილებებმა უნდა მოახდინონ შემამცირებელი გავლენა მგზავრობის წარმოებაზე:

$$\frac{F(c_{ij} + \Delta c)}{F(c_{ij})} > \frac{F(c_{ij} + A + \Delta c)}{F(c_{ij} + A)} \text{ თუ } A > 0$$

ექსპონენციალური განაწილების ფუნქცია (იხ. შემდეგი თავი) არ აკმაყოფილებს ამ მოთხოვნას.

შენიშვნა - პრაქტიკული მოთხოვნები მათემატიკურის საპირისპიროდ: მიუხედავად იმისა, რომ ეს მოთხოვნები გამომდინარეობს ინტუიციურად აშკარა არგუმენტებით, ზოგიერთი მათგანი პრაქტიკაში უგულებელყოფილია, რათა უკეთესად მოერგოს ემპირიულ მონაცემებს. მაგალითად: უნიმოდალური ავტოსატრანსპორტო საშუალებების განაწილების მოდელის გამოყენებისას (მხოლოდ მანქანით მგზავრობის მოდელები), ემპირიული მონაცემები საუკეთესოდ ერგება, თუ არჩეულია განაწილების ფუნქცია, რომელიც არ აკმაყოფილებს პირველ მოთხოვნას. იმის ნაცვლად, რომ შემცირდეს მთლიანი მგზავრობის სიგრძე, ტიპიური განაწილების ფუნქცია ასეთ უნიმოდალურ მოდელში ჯერ იზრდება, აღწევს მაქსიმუმს 1 და 3 კილომეტრს შორის, და შემდეგ მცირდება. ეს ასახავს იმ აზრს, რომ მცირე მანძილებისთვის ველოსიპედის კონკურენციის გამო, მანქანით მგზავრობის სურვილი მწირია (იხ. ფიგურა 5.2). უნდა აღინიშნოს, რომ უფრო ელევანტური გადაწყვეტილება იქნებოდა ორივე მგზავრობის მოდალობის ერთდროულად გათვალისწინება, როგორც ეს განხილულია მოდალობის არჩევის თავში.

5.6.2. უწყვეტი განაწილების ფუნქციები

დროთა განმავლობაში განაწილების ფუნქციის სხვადასხვა მათემატიკური ფორმა იქნა შემოთავაზებული. მომდევნო განხილვა რათქმა უნდა არ არის სრული, მაგრამ საკმაოდ ფართოდ მიმოიხილავს ჰოლანდიურ პრაქტიკას. გავითვალისწინოთ, რომ განაწილების ნებისმიერი ფუნქცია წარმოდგენილია m ინდექსით (მოდალობის არჩევანი). თუ გავითვალისწინებულა მხოლოდ ერთი მოდალური ვარიანტი, ეს ინდექსი შეიძლება იქნას გამოტოვებული.

ხარისხოვანი:

$$F_{ijm}(C_{ijm}) = C_{ijm}^{-\alpha_m} \quad (5.30)$$

ითვლება, რომ ეს ფუნქცია შედარებით ზუსტია დიდი სამგზავრო დისტანციებისათვის ან ხარჯებისათვის, ხოლო მცირე დისტანციებზე ნაკლებად. სწორედ ამიტომ პრაქტიკაში იგი იშვიათად გამოიყენება. თუ $\alpha_m = 2$, გამოიყენება ნიუტონის მოდელი. მიუხედავად სახელისა, ტრანსპორტის დაგეგმვისას "გრავიტაციის მოდელი" გამოიყენება წარმოების მგზავრობების მოდელებისათვის, განაწილების ფუნქციების ფართო სპექტრის გამოყენებით, მათ შორის ნიუტონის.

მაჩვენებლიანი:

$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \alpha_m \exp(\beta_m C_{ijm}) \quad (5.31)$$

ამ ფუნქციის აღსანიშნავი თვისებაა ის, რომ მგზავრობისთვის საჭირო დროის განსაზღვრული აბსოლუტური მატება იწვევს მგზავრობის (მოდელური) წარმოების შემცირებას. ამრიგად, ეს ფუნქცია არ არის ზუსტი, როდესაც შესასწავლი მგზავრობის მანძილი საკვლევ არეალში აღემატება 15 კილომეტრს.

მიუხედავად ამისა, ეს ფუნქცია თეორიულ კვლევაში საკმაოდ ხშირად გვხვდება მისი მიმზიდველი მათემატიკური თვისებების გამო. ლიტერატურის მიხედვით მგზავრობის განაწილების მოდელთა უმეტესობას მივყავართ ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციის მქონე მოდელებამდე.

ტოპ - მაჩვენებლიანი (ტანერი):

$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \alpha_m C_{ijm}^{y_m} \exp(\beta_m C_{ijm}) \quad (5.32)$$

ლოგნორმალი:

$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \alpha_m \exp(\beta_m \ln^2(C_{ijm} + 1)) \quad (5.33)$$

ტოპ - ლოგნორმალი:

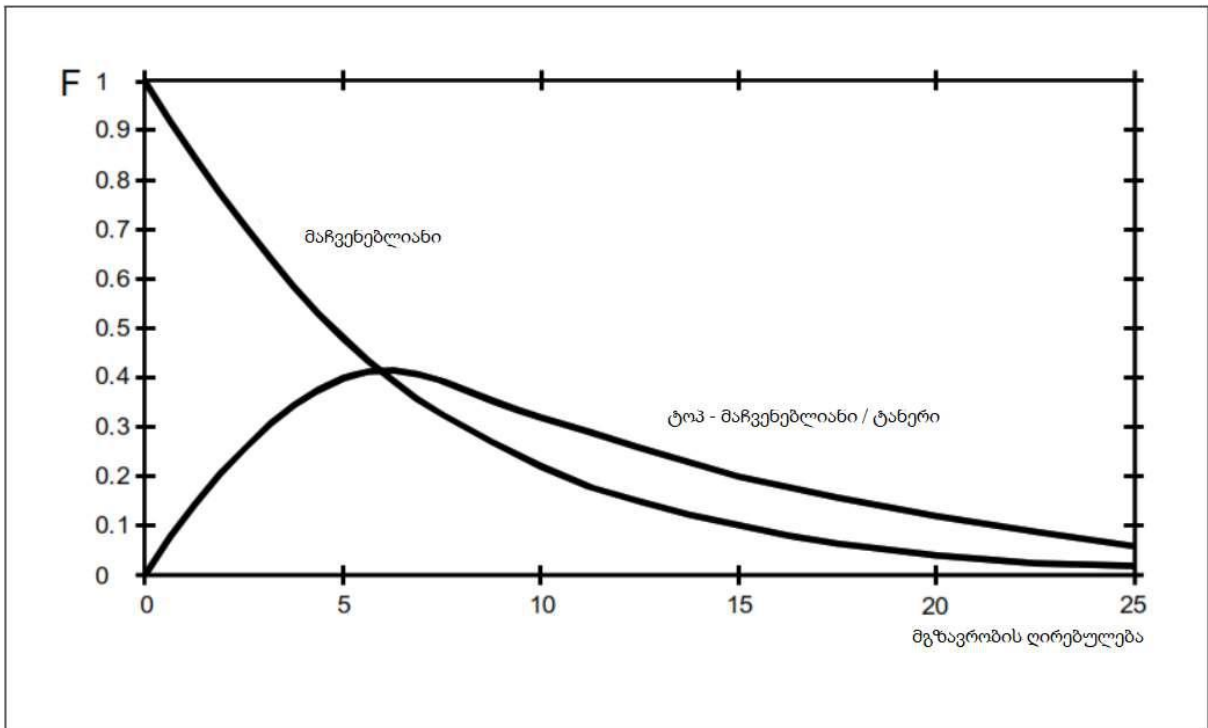
$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \alpha_m C_{ijm}^{y_m} \exp(\beta_m \ln^2(C_{ijm} + 1)) \quad (5.34)$$

ლოგ - ლოგისტიკური:

$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \frac{\max^m}{1 + \exp[\beta_m + \gamma_m \log(C_{ijm})]} \quad (5.35)$$

ამ სახის ფუნქციები გამოყენებულია ვოლოკას მოდელში.

ტოპ - მაჩვენებლიანი და ტოპ - ლოგნორმალ დისტრიბუციის ფუნქციები პრაქტიკაში გამოიყენება, როგორც მაჩვენებლიანი და ლოგნორმალის ფუნქციების ალტერნატივა. ისინი უგულვებელყოფენ მოთხოვნას, რომ განაწილების ფუნქცია მონოტონურად უნდა მცირდებოდეს (იხ. ფიგურა 5.3). ეს აუმაჯობებს ემპირიულ მონაცემებთან შესაბამისობას, თუ გამოიყენება უნიმოდალური მოდელი (იხ. შენიშვნა ზემოთ).



ფიგურა 5.3: მაჩვენებლიანი განაწილების ფუნქცია (პარამეტრი $\alpha = 1, \beta = -0.15$) და ტოპ - მაჩვენებლიანი განაწილების ფუნქცია (პარამეტრი $\alpha = 0.25, \beta = -0.15, \gamma = 0.75$)

5.6.3. დისკრეტული განაწილების ფუნქციები

როგორც უწყვეტი განაწილების ალტერნატივა, შეიძლება გამოყენებულ იქნას დისკრეტული ან ნაწილობრივ მუდმივი განაწილების ფუნქცია. ამ ფუნქციის მათემატიკური ფორმაა:

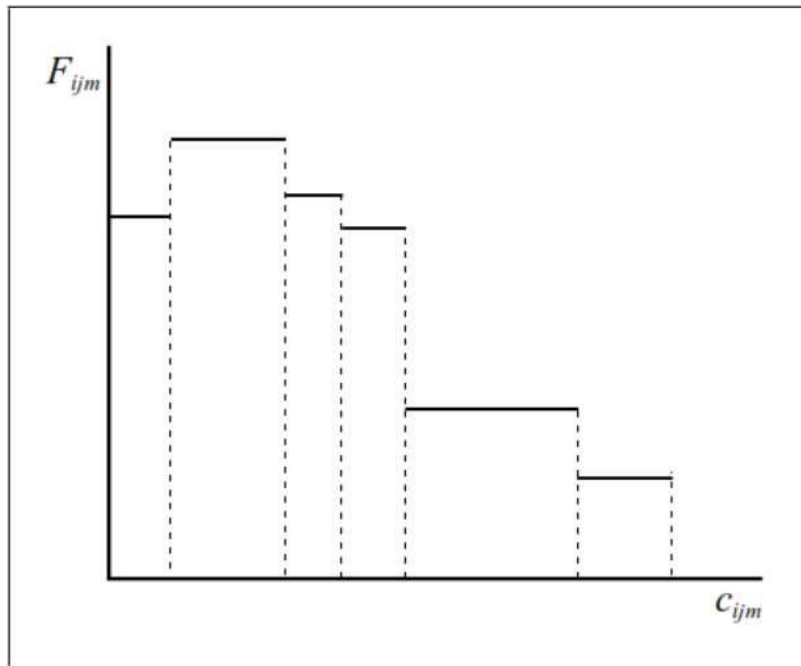
$$F_{ijm}(C_{ijm}) = \sum_{k=1}^K F_{ijm}^k d^k(C_{ijm}) \quad (5.36)$$

სადაც

$$F_{ijm}^k \geq 0 \text{ და } d^k(C_{ijm}) \in \{0,1\}$$

k არის ღირებულების ყუთი, K არის ღირებულების ყუთების რაოდენობა (მაგ. 10) და F_{ijm}^k არის განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობა k ღირებულების ყუთისათვის. ფუნქცია $d^k(C_{ijm})$ არის წევრობის ფუნქცია, რომელიც 1-ია, თუ C_{ijm} არის k ღირებულების ყუთში, ხოლო სხვა შემთხვევაში 0.

ეს ფუნქცია განსაზღვრავს ფიქსირებული განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობას თითოეული ღირებულების ყუთისათვის. ამ მიდგომის თვისებაა ის, რომ რაიმე სახის ვარაუდები არ არის დაწესებული განაწილების ფუნქციის ფორმაზე. 5.4 ფიგურაში მოცემულია დისკრეტული განაწილების ფუნქციის მაგალითი.



ფიგურა 5.4: დისკრეტული განაწილების ფუნქციის მაგალითი

5.7. ზრდის ფაქტორის მოდელები

მგზავრობის განაწილების მოდელთა ალტერნატივად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზრდის ფაქტორის მოდელები. ამ მიდგომისთვის საჭიროა საბაზისო წლის მატრიცა. ამ მატრიცის თითოეული უჯრედი მრავლდება ზრდის ფაქტორზე. ზრდის ფაქტორები შეიძლება გამოითვალოს სხვადასხვა გზით, მაგ. როგორც ეკონომიკური მოდელის შედეგი, ტენდენციური მოდელის შედეგი და ა.შ. ჩვენ განვიხილავთ მგზავრობათა გენერირების მოდელზე დაფუძნებულ ზრდის

ფაქტორს. საბაზისო წლის მატრიცა წარმოადგენს ამ წლის განმავლობაში განხორციელებულ მგზავრობებს. თეორიულად, სატრანსპორტო კვლევების გამოყენებით შესაძლებელია უშუალო დაკვირვებები საბაზისო წლის მატრიცაზე. ამასთან, თუ საკვლევი ზონა მრავალ ზონადაა დაყოფილი და კვლევა ჩატარებულია არასრულად, უშუალოდ საბაზისო წლის მატრიცაზე დაკვირვებით მივიღებთ მატრიცას, რომელიც ძირითადად შედგება ნულოვანი უჯრედებისგან. ეს შეგვიძლია ვიხილოთ შემდეგ მაგალითში:

განვიხილოთ ქალაქი 100,000 მოსახლით, რომელიც აწარმოებს 15.000 მგზავრობას ორსაათიანი პიკის პერიოდში. თუ ეს ქალაქი 50 ზონად არის დაყოფილი, 2.000 – ზე მეტი OD უჯრედით, ხოლო თითო OD– უჯრედში საშუალო ვიზიტების რაოდენობაა $15.000 / 2.000 = 6$. თუ მოსახლეობის 10% გამოკითხულია (10% გამოკითხვისთვის მაღალი მაჩვენებელია) საშუალოდ 0.6 მგზავრობა მოდის თითო უჯრედზე მატრიცაში. ეს ნიშნავს, რომ უჯრედების მინიმუმ 40% უნდა იყოს ნულის ტოლი.

ზრდის ფაქტორის მოდელის გამოყენება საბაზო წლის მატრიცაში, რომელიც ძირითადად შეიცავს ნულებს გვაძლევს პროგნოზირებულ მატრიცას, რომელიც ძირითადად შედგება ნულებისაგან. უკეთესი მიდგომაა საბაზისო წლის მატრიცაში დამატებითი შეზღუდვების დაწესება, რათა მივაწოდოთ რეალისტური მნიშვნელობა იმ უჯრედებს, რომლებშიც არ შეიმჩნევა მგზავრობები, მაგალითად, ის მოთხოვნა, რომ საბაზისო წლის მატრიცა შეესაბამებოდეს გრავიტაციის მოდელს, ე.ი.

$$T_{ij}^0 = Q_i X_j f(C_{ij}) \tag{5.37}$$

სადაც:

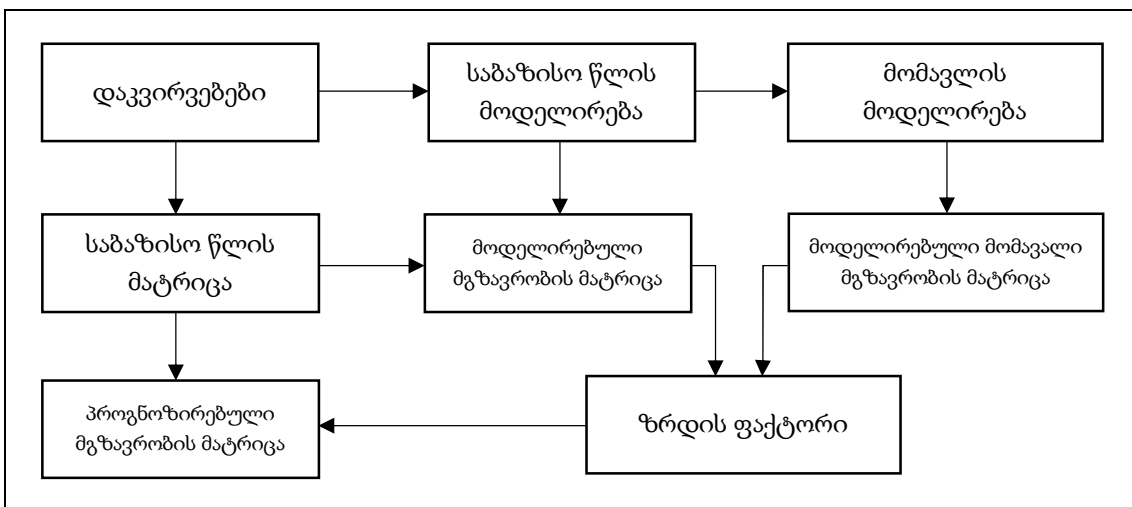
- T_{ij}^0 საბაზისო წლის მატრიცა
- Q_i, X_j გრავიტაციის მოდელის პარამეტრები, ისეთი სახით დაკალიბრებული, რომ მაჩვენებლიანი $\|T_{ij}^0 - T_{ij}^{observed}\|$ მინიმიზირებულია.
- $f(C_{ij})$ განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობა OD წყვილისთვის $i - j$

გასათვალისწინებელია, რომ ამგვარმა სტრუქტურამ შესაძლოა "გააფუჭოს" მატრიცა. როდესაც გამოიყენება უფრო დიდი ზომის ზონები, შეუძლებელია C_{ij} მგზავრობის ხარჯების შესაბამისი მნიშვნელობის დადგენა, რომელიც i და j -ს შორის ყველა მგზავრობის წარმომადგენელია. ამან შეიძლება გამოიწვიოს უზუსტობები ზემოთ აღწერილი მიდგომის გამოყენებისას.

ინფორმაციის კიდევ ერთი წყარო, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას საბაზისო წლის მატრიცების შესაფასებლად, ნაკადების დავთლაა. წინა საბაზისო

წლის მატრიცის ადაპტაციისათვის შეფასების ტექნიკა ხელმისაწვდომია, საგზაო მოძრაობის რაოდენობის გათვალისწინებით. ეს მეთოდები ცალკე თავში იქნება განხილული.

ზრდის ფაქტორების მეთოდოლოგია მოცემულია 5.5 ფიგურაზე. მგზავრობის განაწილების მოდელი გამოიყენება მიმდინარე და მომავალი მგზავრობის მატრიცის გამოსათვლელად. ამ მატრიცების შერწყმა იწვევს ზრდის ფაქტორს, რომელიც შემდეგ გამოიყენება საბაზისო წლის მატრიცაში, რის შედეგადაც მიიღება პროგნოზირებადი მგზავრობათა მატრიცა.



ფიგურა 5.5: პროგნოზირებული მგზავრობის მატრიცა ზრდის ფაქტორის მეთოდოლოგიის გამოყენებით

საბაზისო წლის მატრიცა არის საუკეთესო შეფასების შესაძლებლობა საკვლევ არეალში მიმდინარე წარმოება - დანიშნულების მგზავრობათა ნაკადების შესასწავლად. ზრდის ფაქტორების მეთოდოლოგიაში საბაზისო წლის მატრიცა არის საწყისი წერტილი სამომავლო პროგნოზების გაკეთების მიზნით. იგი ითვლება მომავლის საუკეთესო ბაზად, ვიდრე მგზავრობის განაწილების მოდელის გამოყენება.

ამის რამოდენიმე მიზეზია:

- მოდელს არ შეუძლიათ დააფიქსირონ მგზავრობათა წარმოების თავისებურებანი, რომლებიც ხშირად მოიპებნება საკვლევ არეალში. ეს თავისებურებები შეიძლება აისახოს საბაზისო მატრიცაში, რადგან იგი დაფუძნებულია დაკვირვებებზე.
- დაგეგმვის პრაქტიკაში აუცილებელია, რომ მონაწილე მხარეები შეთანხმდნენ გეგმის საფუძვლებზე. ამ თვალსაზრისით, საბაზისო მატრიცა არის საუკეთესო

ინსტრუმენტი ნდობის მოსაპოვებლად, ვიდრე მოდელი, რადგან ეს უფრო გასაგებია, დამოწმებადია და ა.შ.

ამრიგად, პროგნოზირებისას ფართოდ მიღებული მიდგომაა საბაზისო მატრიცის აღება და მისი ადაპტაცია მოდელისგან მიღებული ზრდის ფაქტორების გამოყენებით.

5.5 ფიგურაში მითითებულ მეთოდოლოგიას ასევე აქვს მრავალი უარყოფითი მხარე, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია:

- თუ ვითარდება ახალი სამშენებლო ობიექტი, მგზავრობის განაწილებაში ცვლილებების დაფიქსირება ძნელია ზრდის ფაქტორის მოდელში. ეს იმიტომ, რომ ამ სამშენებლო უბნების ამჟამინდელ მაცხოვრებელთა მგზავრობისას ქცევები არ არის მომავალში ქცევების განმსაზღვრელი, განსაკუთრებით როდესაც სასოფლო მეურნეობაზე ორიენტირებული გარემო იცვლება ურბანულ გარემოდ.

- საბაზისო წლის მატრიცა დიდ წილად დამოკიდებულია ისტორიულ მგზავრობათა სქემებზე. ეს ნიშნები შეიძლება გაქრენ რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში. განსაკუთრებით ეს ეხება იმ შემთხვევებს, სადაც სუბურბანიზაციის შედეგად წარმოიშვა ახალი ქალაქი: თავდაპირველად გარეუბნები ორიენტირებულია ახლომდებარე ქალაქებზე, მაგრამ დროთა განმავლობაში ასეთი ისტორიული კავშირები იკარგება და ჩნდება უფრო დაბალანსებული მგზავრობის სქემები. რა თქმა უნდა, დამგეგმავებმა უნდა გაითვალისწინონ ეს მოვლენები. ამ შემთხვევაში უბრალოდ ზრდის ფაქტორების გამოყენება არ გამოიწვევს სასურველ შედეგს.

5.7.1. ზრდის ფაქტორების გამოთვლა

ამ თავში ჩვენ ვიყენებთ შემდეგ აღნიშვნებს:

T_{ij}^0 საბაზისო მატრიცა (OD მატრიცა ცნობილია)

T_{ij} პროგნოზირებული სამომავლო OD მატრიცა

τ ზრდის ფაქტორი

\widehat{T}_{ij}^0 მგზავრობათა რაოდენობის მოდელის შედეგი (არსებული ვითარება)

\widehat{T}_{ij} მგზავრობათა რაოდენობის მოდელის შედეგი (სამომავლო ვითარება)

ჩვენ შეგვიძლია განვასხვავოთ საბაზისო მატრიცის განახლების სხვადასხვა დონე, მარტივიდან რთულამდე საზომით. მიდგომების პირველ კლასში ზრდის ფაქტორები არ ასახავენ ქსელში მომხდარ ცვლილებებს და განიხილავენ მხოლოდ სოციალურ-ეკონომიკური პირობების ცვლილებებს საკვლევ არეალში.

ა) ქსელის დამოუკიდებელი საბაზისო მატრიცის განახლება.

ა.1 ზოგადი ზრდის ფაქტორი τ

$$T_{ij} = \tau T_{ij}^0 \quad \forall i, j$$

τ შეიძლება განისაზღვროს ისეთი ზოგადი ფაქტორებით, რომლებიც გამოხატავს დემოგრაფიულ ზრდას, ეკონომიკურ ზრდას და ა.შ.

ა.2 წარმოების ან დანიშნულების კონკრეტული ზრდის ფაქტორები τ

$$T_{ij} = \tau_i T_{ij}^0 \quad T_{ij} = \tau_j T_{ij}^0 \quad \forall i, j$$

τ ზრდის ფაქტორები შეიძლება გამომდინარეობდნენ მგზავრობის დასრულების მოდელებიდან, რომლებიც გამოიყენება წარმატებით არსებულ და მომავალ სიტუაციებში.

ა.3 დამოუკიდებლად და ეგზოგენურად განსაზღვრული ზრდის ფაქტორების ორი კომპლექტი წარმოებისა და დანიშნულების ადგილებისათვის.

$$T_{ij} = \tau_i \tau_j T_{ij}^0 \quad \forall i, j$$

შეზღუდვებით:

$$\tau_i \sum_j T_{ij}^0 = \sum_j T_{ij} \quad \forall i$$

$$\tau_j \sum_i T_{ij}^0 = \sum_i T_{ij} \quad \forall j$$

$$\sum_i (\tau_i \sum_j T_{ij}^0) = \sum_j (\tau_j \sum_i T_{ij}^0)$$

ამ განახლების პრობლემა შეიძლება იტერაციით მოგვარდეს ბიპროპორციული მორგებით. ალტერნატიულად, τ ზრდის ფაქტორები შეიძლება გამომდინარეობდეს მგზავრობის დასრულების მოდელებიდან, რომლებიც წარმატებით გამოიყენებიან მიმდინარე და მომავალ სიტუაციებში.

ბ. ქსელთან დაკავშირებული ბაზის მატრიცის განახლება.

ამ შემთხვევაში ზრდის ფაქტორები ასახავენ ცვლილებებს, რომლებიც OD-ზეა დამოკიდებული. ცვლილებები შეიძლება გამოითვალოს მგზავრობის განაწილების მოდელების გამოყენებით, რომლებიც გამოიყენება არსებულ და მომავალ სიტუაციებში.

$$T_{ij} = \tau_{ij} T_{ij}^0 \quad \text{სადაც, } \tau_{ij} = \widehat{T}_{ij} / \widehat{T}_{ij}^0$$

შეიძლება გამვიხილოთ ა.3 და ბ. მიდგომების გაერთიანება ერთ საბაზისო წლის მატრიცის განახლებაში.

5.8. გამოთვლილი რაოდენობები; ქსელის ფუნქციონირება

მგზავრობის განაწილების გამოთვლის შემდეგ, შესაძლებელია სხვადასხვა მნიშვნელობების მიღება. ეს მნიშვნელობები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ სატრანსპორტო ქსელის შესაფასებლად. მათი გამოთვლა შესაძლებელია შემდეგი გზით:

აღნიშვნა

B_t = მთლიანი მგზავრობის დრო

B_k = მთლიანი მგზავრობის ღირებულება

B_l = მთლიანი მგზავრობის მანძილი

ბმულის მახასიათებლებისაგან

$$B_t = \sum_a q_a t_a \quad (5.38)$$

$$B_k = \sum_a q_a c_a \quad (5.39)$$

$$B_l = \sum_a q_a l_a \quad (5.40)$$

q_a = ნაკადი a ბმულზე

t_a = მგზავრობის დრო a ბმულზე

c_a = მგზავრობის ღირებულება a ბმულზე

l_a = a ბმულის სიგრძე

მარშრუტის მახასიათებლებისაგან

$$B_t = \sum_i \sum_j \sum_r T_{ij}^r t_{ij}^r \quad (5.41)$$

$$B_k = \sum_i \sum_j \sum_r T_{ij}^r c_{ij}^r \quad (5.42)$$

$$B_l = \sum_i \sum_j \sum_r T_{ij}^r l_{ij}^r \quad (5.43)$$

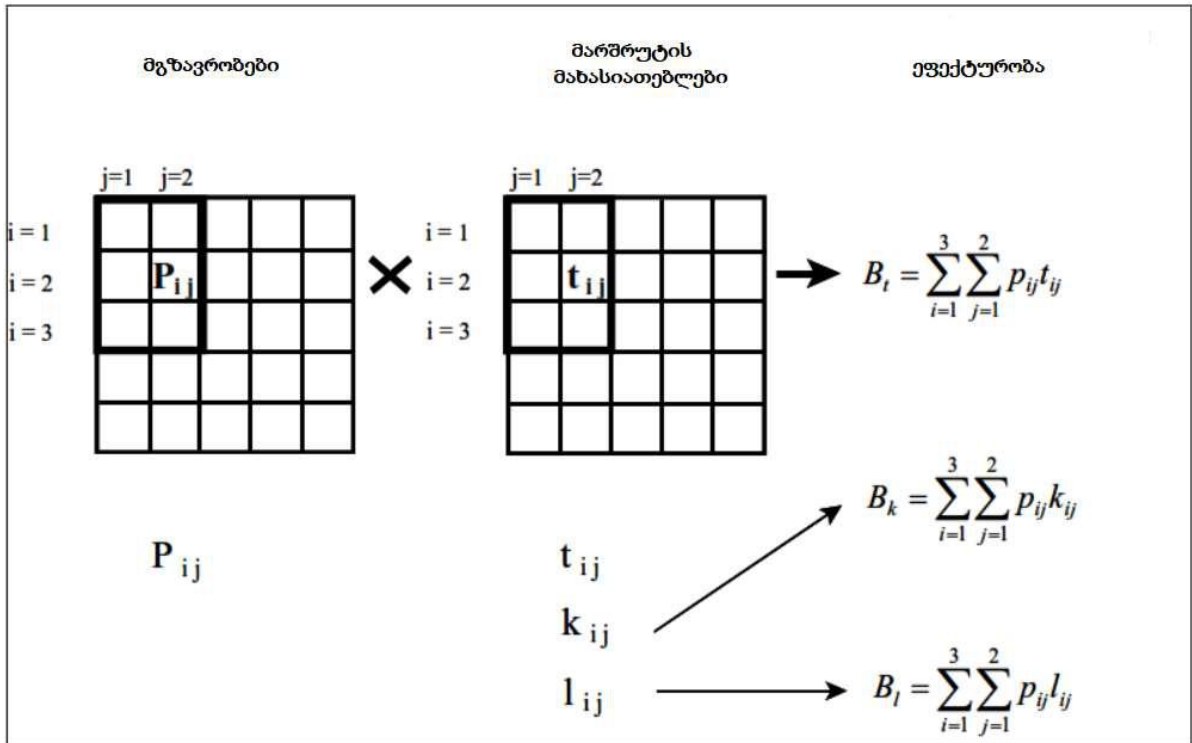
T_{ij}^r = i - დან j - მდე მგზავრობების რაოდენობა r მარშრუტით

t_{ij}^r = i - დან j - მდე მგზავრობის დრო r მარშრუტით

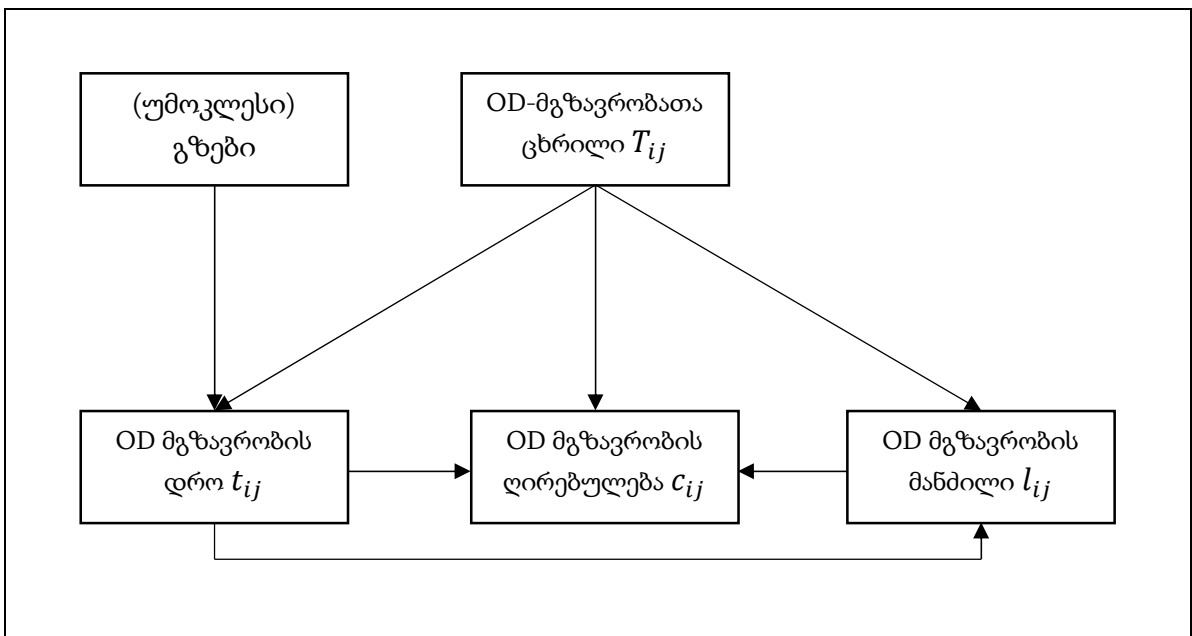
c_{ij}^r = i - დან j - მდე მგზავრობის ღირებულება r მარშრუტით

l_{ij}^r = i - დან j - მდე მგზავრობის სიგრძე r მარშრუტით

5.6 და 5.7 ფიგურებზე მოცემულია ეს გამოთვლითი სქემები



ფიგურა 5.6: ქსელის ეფექტურობის ინდექსის გამონაგარიშება მგზავრობის განაწილების მონაცემებით



ფიგურა 5.7: ქსელის ეფექტურობის ინდექსის გამონაგარიშება

5.9. გამგზავრების დროის არჩევანი

საქმიანობის შესრულების დრო გავლენას ახდენს მისგან გამომდინარე სარგებლიანობაზე და შესაბამისად, გავლენას ახდენს მგზავრობის სარგებლიანობაზე, რომელიც საჭიროა ამ საქმიანობის შესასრულებლად. ჩვეულებრივ, დასაქმებულებს შერჩეული აქვთ გარკვეული დრო, რათა დაიწყონ და დაასრულონ ყოველდღიური სამუშაო. ადრე თუ გვიან დაწყება გარკვეულ შეუსაბამობას იწვევს. ეს უკუსარგებლიანობა ზოგჯერ მიიღება იმ შემთხვევაში, თუ სასურველ დროს მგზავრობის წარმოება კიდევ უფრო მეტ დისკულტირებას გამოიწვევს გზებზე გადატვირთულობის გამო, ან საზოგადოებრივ ტრანსპორტში დისკომფორტისა და არარეგულარობის გამო. მგზავრთა მიერ პიკის თავიდან აცილების ფენომენს პიკის გავრცელებას უწოდებენ.

პიკის გავრცელება ტრანსპორტის დაგეგმვის ერთ – ერთი პრობლემაა. პიკის გავრცელების დაუცველობა, სხვა საკითხებთან ერთად, იწვევს მგზავრობის მოთხოვნის შემცირებას პიკის საათში: ახალი ინფრასტრუქტურის მშენებლობა უმეტეს შემთხვევაში გარდაუვლად იწვევს „პიკში დაბრუნების“ ეფექტს.

სატრანსპორტო მოდელების ჯაჭვში გამგზავრების დროის არჩევანის შეტანა გამოიხატება ადრე და გვიან ჩამოსვლების შეფასებაში, სარგებლიანობის შეფასების შკალის გამოყენებით. მგზავრობის დროის არჩევანი (მგზავრობის მოცემულ მოდალობაში), როგორც წესი, მოდელირდება, როგორც არჩევანი არაერთ დისკრეტული დროის ინტერვალებს შორის, თუ ვარაუდობენ, რომ მგზავრებმა მაქსიმალურად გაზარდეს სარგებლიანობა, რომელიც შეიძლება დაიშალოს შემდეგ კომპონენტებად:

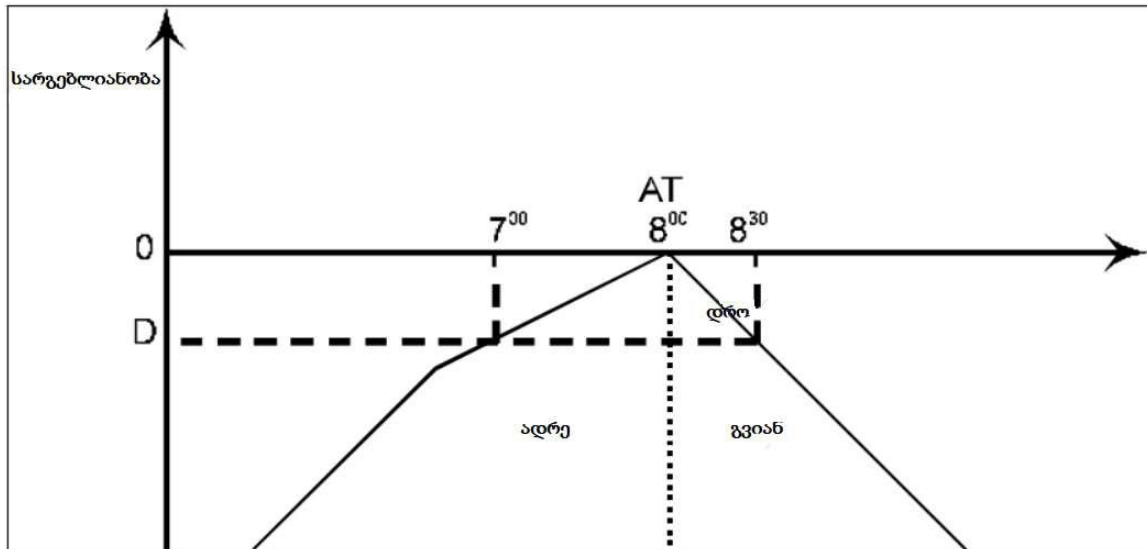
- საქმიანობის სარგებლიანობა (მუდმივი)
- თავისუფალი ნაკადის მგზავრობის დროის არასარგებლიანობა (მუდმივი)
- საცობების გამო მგზავრობის დროის დაკარგვის არასარგებლიანობა (დროზე დამოკიდებული)
- ადრეულად ჩამოსვლის არასარგებლიანობა (დროზე დამოკიდებული)
- დაგვიანებით ჩამოსვლის არასარგებლიანობა (დროზე დამოკიდებული)

ამ კომპონენტების შეფასების წესი განსხვავდება სხვადასხვა ადამიანებისათვის.

გრაფიკი 5.8 ასახავს (ჰიპოთეტურ) არასარგებლიანობის D ფუნქციას თუ მოცემულია სასურველი ჩამოსვლის დრო AT. გვიან ჩამოსვლა ჯარიმდება მეტად ვიდრე ადრე ჩამოსვლა და უფრო ადრე ჩამოსვლა დაკავშირებულია დიდ არასარგებლიანობასთან დროის ერთეულში (იხ. ფიგურა 5.8).

ახალი ინფრასტრუქტურა იწვევს საცობის დონის ცვლილებებს. მაგალითად, განვიხილოთ ნიდერლანდების, ამსტერდამის წრიულ გზაზე ზებურგერ ტუნელის გახსნა. ამან შეიძლება გამოიწვიოს დიდი ცვლილებები მგზავრობის დროის

არჩევანში. გამგზავრების დროის არჩევის მოდელები, სამომავლო მგზავრობების მოთხოვნის პროგნოზირებისას, საცობების დონის ცვლილებებზე მგზავრების რეაქციის გათვალისწინების საშუალებას იძლევა.



ფიგურა 5.8: (უკუ) სარგებლიანობა, როგორც დროის ფუნქცია (AT: სასურველი ჩამოსვლის დრო)

6. მოდალური არჩევანის მოდელები

მგზავრობის მოდალური არჩევანი (მაგ. მანქანა, საზოგადოებრივი ტრანსპორტი ან არაავტომობილი) დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალებების, განსაკუთრებით მანქანის ხელმისაწვდომობაზე და წარმოებიდან დანიშნულების ადგილამდე მგზავრობის თითოეული მოდალობის რეზისტენტულობაზე. ამის გარდა, მგზავრობის თითოეულ მოდალობას აქვს თავისი განსაკუთრებული დადებითი და უარყოფითი მხარეები, მგზავრობის დროისა და ხარჯებისგან დამოუკიდებლად.

6.1. თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილების მოდალური დაყოფა

6.1.1. ზოგადი მოდალობის არჩევანის მოდელი

ტრანსპორტის დაგეგმვის ტრადიციულ მიდგომას წარმოადგენს ოთხ ბიჯიანი მოდელი: მოდელი, რომელიც განასხვავებს მგზავრობის წარმოებას, მგზავრობის განაწილებას, მოდალურ დაყოფასა და მარშრუტის არჩევას. ამ მიდგომით მოდალური არჩევანი მოდელირდება თანმიმდევრობით, ეტაპობრივად მგზავრობის წარმოებიდან განაწილებამდე. ამ შემთხვევაში მოდალობის არჩევანის მოდელი შესაბამისად არის მთლიან მგზავრობათა მოთხოვნა წარმოება-დანიშნულების (OD) წყვილებს შორის.

ჩვეულებრივ გამოყენებული მიდგომაა მოცემულ OD წყვილებზე მგზავრობათა მთლიანი მოთხოვნის განაწილება, არსებულ მოდალობებზე ლოგიტ მოდელის გამოყენებით:

$$\beta_{ijv} = \frac{\exp[bV_{ij}^v]}{\sum_w(\exp[bV_{ij}^w])} = \frac{\exp \sum_k \alpha_k^v X_{ijk}^v}{\sum_w(\exp \sum_k \alpha_k^w X_{ijk}^w)} \quad (6.1)$$

= ij OD - წყვილისთვის v მოდალობის გამოყენების პროპორცია

$$T_{ijv} = T_{ij} \beta_{ijv} \quad (6.2)$$

სადაც,

b = ვარიანტის (ან მასშტაბის) პარამეტრი ლოგიტ მოდელში

V_{ij}^v = i და j - ს შორის v მოდალობით მგზავრობის OD - წყვილისათვის სარგებლიანობის განმარტებადი ნაწილი

X_{ijk}^v = i და j - ს შორის v მოდალობით მგზავრობის OD - წყვილისათვის k ხარისხის განმარტებადი ცვლადი

α_k^v = i და j - ს შორის v მოდალობით მგზავრობის OD - წყვილისათვის k ხარისხის განმარტებადი ცვლადის შეწონილი პარამეტრი

გავითვალისწინოთ, რომ α_k^v წონები შეიძლება დამოკიდებული იყოს მგზავრობის მოდალობაზე. მაგალითად, ფეხით მოსიარულეთა მიერ მგზავრობის მანძილზე მიმაგრებული წონა განსხვავდება მანქანის მიერ მგზავრობის მანძილზე მიმაგრებული წონისაგან.

6.1.2. მოდალობის სპეციფიური მუდმივები

(6.1) განტოლებაში ცვლადი X_{ijk}^v აღნიშნავს მგზავრობის განმარტებად ატრიბუტებს v მოდალობის გამოყენებით. მრავალი ფაქტორი, რომლებიც ზემოქმედებენ მოდალურ არჩევანზე არადაკვირვებადია ან დაკვირვებადია მაღალი ბიუჯეტის შემთხვევაში. მაგალითები განიხილავენ არა ფიზიკურ ფაქტორებს, როგორებიცაა კომფორტი, სტატუსი, უსაფრთხოება, ასევე საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გაჩერებაზე მოცდის დრო, გაჩერებამდე ფეხით მისასვლელი საშუალო მანძილი და ა.შ. ამ ფაქტორების გავლენა, როგორც წესი, შეჯამებულია მოდალობის სპეციფიურ მუდმივაში, ანუ (6.1) იცვლება:

$$\beta_{ijv} = \frac{\exp(c^v + \sum_k \alpha_k^v X_{ijk}^v)}{\sum_w \exp(c^w + \sum_k \alpha_k^w X_{ijk}^w)} \quad (6.3)$$

მაგალითი 6.1

მაგალითისათვის, ჩვენ ვიყენებთ ლოგიტ მოდელს, რომელიც მოდელირებს პროპორციებს მგზავრობის სამი მოდალობის გამოყენებით: მანქანა (C), საზოგადოებრივი ტრანსპორტი (PT), არამოტორიზებული მგზავრობა (NM) სახლიდან - სამსახურში მგზავრობებისათვის.

$$P_{NM} = \frac{\exp \sum_k \alpha_k^{NM} X_k^{NM}}{1 + \exp \sum_k \alpha_k^{NM} X_k^{NM} + \exp \sum_k \alpha_k^{PT} X_k^{PT}}$$

$$P_{PT} = \frac{\exp \sum_k \alpha_k^{PT} X_k^{PT}}{1 + \exp \sum_k \alpha_k^{NM} X_k^{NM} + \exp \sum_k \alpha_k^{PT} X_k^{PT}}$$

$$P_C = 1 - P_{NM} - P_{PT}$$

ამ მოდელში განსაზღვრული ცვლადებია:

- მოდალობის სპეციფიური მუდმივა,
- i დან j - მდე მანძილი (კმ)
- ij -ის OD წყვილისთვის PT საზოგადოებრივი ტრანსპორტით მგზავრობის დროის / მანქანით მგზავრობის დროსთან შეფარდება
- ij -ის OD წყვილისთვის NM არამოტორიზებული მგზავრობის დროის / მანქანით მგზავრობის დროსთან შეფარდება

პარამეტრის მნიშვნელობები მოცემულია 6.1 ცხრილში.

	NM	PT
მუდმივა	3.753	1.681
i დან j – მდე მანძილი (კმ)	-0.111	-0.002
PT/Car	0.084	-2.269
NM/Car	-1.109	0.477

ცხრილი 6.1: ლოგიტ მოდელში სარგებლიანობის ფუნქციის α_k პარამეტრის მნიშვნელობები, წყარო: [Maanen & Verroen, 1992]

გაითვალისწინეთ, რომ (6.1) მოდელის პირველი ხაზის სახით წარმოსადგენად, უნდა განვსაზღვროთ შემდეგი სარგებლიანობის ფუნქციები:

$$V_{NM} = V_c + 3.753 - 0.111 L + 0.084 T_{PT} / T_c - 1.109 T_{NM} / T_c$$

$$V_{PT} = V_c + 1.681 - 0.002 L + 2.269 T_{PT} / T_c - 0.477 T_{NM} / T_c$$

$$V_c = \text{მუდმივა}$$

პირველი მოსაზრება არის ის, რომ არამოტორიზებული და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მოდალობისთვის განკუთვნილი სარგებლიანობა განისაზღვრება ავტომობილის მოდალობის სარგებლიანობით.

მეორე დასკვნის თანახმად, ავტომობილის მოდალობის გამოსაყენებლად არაა საჭირო ამ მოდალობის სარგებლიანობის ცოდნა. ეს შეიძლება იყოს დიდი პრაქტიკული უპირატესობა.

6.1.3. მიზნისადმი - სპეციფიური მოდალობის არჩევანის მოდელი

მოდალური არჩევანის პროპორციები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მგზავრობის დანიშნულებასა და მიზნებზე, მაგ. თუ მიზანი არის "დაღევა", მგზავრობის მოდალობა "მანქანის მართვა" ნაკლებად მიმზიდველია.

მგზავრობის მიზნისადმი სპეციფიური მოდალობის არჩევანის მოდელის გამოყენების პირობაა დანიშნულებისადმი სპეციფიური მგზავრობის განაწილების ხელმისაწვდომობა, მაგალითად:

$$T_{ij}^p = \mu^p Q_i^p X_j^p F_{ij}^p \quad (6.4)$$

$$F_{ij}^p = F^p(c_{ij}) \quad (6.5)$$

დანიშნულებისადმი სპეციფიური მგზავრობის განაწილება მიკუთვნებულია მგზავრობის r მოდალობაზე, შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$T_{ij}^p = T_{ij}^p \beta_{ijv}^p,$$

სადაც v მოდალობის β_{ijv} არჩევანის ალბათობა (ლოგიტ მოდელი) p დანიშნულებისათვის აკმაყოფილებს:

$$\beta_{ijv}^p = \frac{\exp(f_p(c_{ijv}))}{\sum_w \exp(f_p(c_{ijw}))} \quad 0 \leq \beta_{ijv}^p \leq 1 \quad (6.6)$$

სადაც

c_{ijv} = მგზავრობის წინაღობა (განზოგადებული ხარჯები) i და j შორის v მოდალობისათვის

6.1.4. მგზავრობის განაწილება: განზოგადებული მგზავრობის ღირებულება

მგზავრობის განაწილების და მოდულური დაყოფის თანმიმდევრულად გამოყენების შედეგია ის, რომ მგზავრობის განაწილების გამოთვლის დროს ცნობილია თითოეული მოდალობის სამგზავრო ხარჯები, მაგრამ არა მოდალობის არჩევანის პროპორციები. აშკარა შეკითხვაა, რომელიც ამ ეტაპზე ჩნდება: "რომელი მგზავრობის საფასური უნდა იქნას გამოყენებული მგზავრობის განაწილების თანმიმდევრულად გამოანგარიშებისას?"

მგზავრობის განაწილების ზოგადი მოდელია:

$$T_{ij} = \mu Q_i X_j F_{ij}$$

სადაც

$$F_{ij} = f(c_{ij})$$

შემდეგი შესაძლებლობები შეიძლება იქნას გამოყენებული c_{ij} – ისთვის მგზავრობის განაწილებისას:

1. $c_{ij} = \min_v \{c_{ijv}\}$ (მინიმალური ხარჯები)
2. $c_{ij} = -\frac{1}{\alpha} \ln(\sum_{v=1}^V \exp(-\alpha c_{ijv}))$ (ლოგიტ ანალოგი)
3. $c_{ij} = 1 / (\sum_{v=1}^V 1/c_{ijv})$ (ელექტრო წრიული ანალოგი)
4. $c_{ij} = \sum_{v=1}^V c_{ijv} / V$ (საშუალო ხარჯები)
5. $c_{ij} = \sum_{v=1}^V \beta_{ijv} c_{ijv}$ (საშუალო შეწონილი ხარჯები) ამ შემთხვევაში საჭიროა β_{ijv} მოდალობის არჩევანის პროპორციებისადმი ხელმისაწვდომობა.

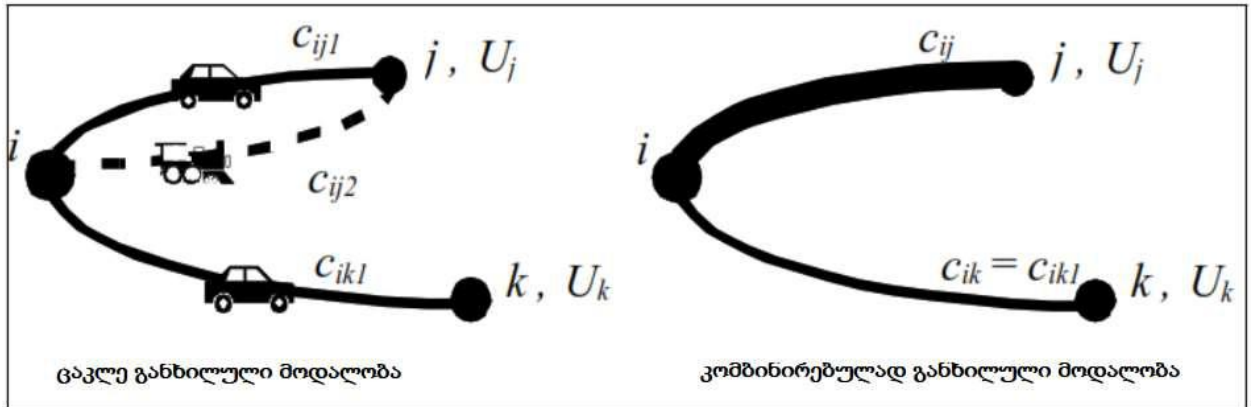
ზოგადად დამატებითი მარშრუტი ან მგზავრობის მოდალობა ამცირებს წარმოების და დანიშნულების ადგილებს შორის მგზავრობისათვის გათვალისწინებულ ხარჯებს. ეს ხდება იმის გამო, რომ გათვალისწინებული მგზავრობის ხარჯები ინდივიდისათვის ტოლფასია მგზავრობის ალტერნატივების მინიმალური ღირებულებისა, რომლებზეც ამ პირს აქვს წვდომა. მაგალითად, თუ პირს აქვს A და B შორის მგზავრობის ორი მოდალური ალტერნატივა, შესაბამისი მგზავრობის ღირებულებით 2 და 10, ეს ადამიანი შეაფასებს A და B – ს შორის მგზავრობის ხანგრძლივობას, როგორც 2-ს. ასე რომ, ვარიანტები 4 და 5 არ ჩანს რეალისტური. პრაქტიკოსებს შეიძლება ჰქონდეთ მიზეზი, რომ გამოიყენონ ეს პარამეტრები, მაგალითად, თუ ადამიანების დიდი ჯგუფები იმყოფება კონკრეტული მგზავრობის მოდალობის ტყვეობაში (ჩვეულებრივ, საზოგადოებრივი ტრანსპორტი). ამ შემთხვევაში, დაბალი განზოგადებული მგზავრობის ღირებულების მქონე ავტომობილის ალტერნატივა ხელმისაწვდომია მხოლოდ მგზავრთა ნაწილისათვის. შემდეგი მაგალითი ასახავს იდეას ვარიანტი 2-ის უკან.

მაგალითი 6.2

დავუშვათ, რომ ადამიანს, რომელიც იწყებს მგზავრობას i წარმოების ადგილიდან, აქვს სამი სამგზავრო ალტერნატივა:

- j დანიშნულების ადგილამდე მანქანით მგზავრობა c_{ij1} ღირებულებით (ვარიანტი 1)
- j დანიშნულების ადგილამდე საზოგადოებრივი ტრანსპორტით მგზავრობა c_{ij} ღირებულებით (ვარიანტი 2)
- k დანიშნულების ადგილამდე მანქანით მგზავრობა c_{ik} ღირებულებით (ვარიანტი 3)

გარდა ამისა, ვარაუდობენ, რომ j - ში საქმიანობის შესრულების სარგებლიანობა U_j , ხოლო k - ში საქმიანობის განხორციელების სარგებლიანობა U_k (იხ. სურათი 6.1), და რომ მგზავრები განაწილებულნი არიან მგზავრობის ალტერნატივებზე ლოგიტ მოდელის გამოყენებით მასშტაბის α პარამეტრით.



სურათი 6.1: განსაზღვრეთ c_{ij} ისე, რომ j დანიშნულების ადგილზე მარჯვენა ქსელით გამგზავრებული ადამიანების პროპორცია ტოლი იყოს მარცხენა ქსელით გამგზავრებული ადამიანებისა. ვარაუდობენ, რომ მგზავრები განაწილებულია ალტერნატივებზე, ლოგიტ მოდელის მიხედვით.

შედეგად, თითოეული ალტერნატივის ობიექტური სარგებლიანობაა:

- ვარიანტი 1: $U_j - c_{ij}$
- ვარიანტი 2: $U_j - c_{ij}$
- ვარიანტი 3: $U_k - c_{ik}$

თუ თითოეული ალტერნატივა შეიძლება ჩაითვალოს დამოუკიდებელ ვარიანტად, ლოგიტ მოდელი არის სავარაუდო მოდელი, რომ გამოანგარიშდეს მგზავრობის პროპორცია თითოეული ალტერნატივისთვის. (გაითვალისწინეთ, რომ პირველ ორ ვარიანტს საერთო დანიშნულების მიზნობრიობა აქვთ, რაც გულისხმობს, რომ დამოუკიდებლობა გამარტივებას გულისხმობს). ლოგიტ მოდელის მიხედვით, j -ს მიმართულების ამომრჩეველ მგზავრთა წილი ითვლება შემდეგნაირად:

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} = \frac{\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2})}{\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})}$$

ამასთან, რომ თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილების მოდიფიცირებული მოდალური გაყოფის მოდელის შესაქმნელად საჭიროა გამოვიყენოთ ქსელის აგრეგაცია, ე.ი. 1 და 2 ვარიანტი შეცვალებთ ჰიპოთეტური ვარიანტით, რომელიც ორივეს წარმოადგენს. თუ ამ ვარიანტს მივანიჭებთ c_{ij} მგზავრობის ღირებულებას, j -ში მგზავრობის მსურველთა წილი მოცემული იქნება:

$$P'_j = \frac{\exp \alpha(U_j - c_{ij})}{\exp \alpha(U_j - c_{ij}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})}$$

ჩვენ ახლა შეგვიძლია გამოვთვალოთ c_{ij} მნიშვნელობა $P_j = P'_j$ დაშვებით. იგი გვადლევს შემდეგ თანმიმდევრობას გამოსახულებაში:

$$\begin{aligned} & \frac{\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2})}{\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})} = \frac{\exp \alpha(U_j - c_{ij})}{\exp \alpha(U_j - c_{ij}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})} \\ & \Rightarrow [\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2})] \cdot [\exp \alpha(U_j - c_{ij}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})] \\ & = [\exp \alpha(U_j - c_{ij})] \cdot [\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2}) + \exp \alpha(U_k - c_{ik1})] \\ & \Rightarrow [\exp \alpha(U_j - c_{ij1}) + \exp \alpha(U_j - c_{ij2})] \cdot \exp \alpha(U_k - c_{ik1}) = \exp \alpha(U_j - c_{ij}) \cdot \exp \alpha(U_k - c_{ik1}) \\ & \Rightarrow [\exp(-\alpha c_{ij1}) + \exp(-\alpha c_{ij2})] = \exp(-\alpha c_{ij}) \\ & \Rightarrow c_{ij} = -\frac{1}{\alpha} \ln[\exp(-\alpha c_{ij1}) + \exp(-\alpha c_{ij2})] \end{aligned}$$

გაითვალისწინეთ, რომ ეს შედეგი შეესაბამება ადრე ნახსენებ ლოგიტ ანალოგს. მეთოდური სირთულე იმის დადგენისა, თუ რომელი ზოგადი მგზავრობის c_{ij} საფასური იქნას გამოყენებული, თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილების მოდალური გაყოფის მოდელებში, თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილების მოდალური გაყოფის მოდელების შემუშავების ერთ – ერთი მიზეზია. ის გამოიყენება განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, სადაც რეჟიმებს შორის განზოგადებული მგზავრობის ხარჯებში განსხვავება უფრო მაღალია და თუ ალტერნატიული რეჟიმების პროპორცია არ შეიძლება იქნას უგულებელყოფილი.

6.2. ერთდროული განაწილება / მოდალური დაყოფის მოდელი

ჰოლანდიურ პრაქტიკაში განაწილების გამოთვლა და მოდალური დაყოფა ჩვეულებრივ ერთდროულად ხორციელდება. ეს ნიშნავს, რომ მოცემული i წარმოების ადგილისთვის ყველა j დანიშნულების ადგილის და r მოდალობის ყველა კომბინაცია განიხილება, როგორც ცალკეული მგზავრობის ალტერნატივა, თავისი შესაბამისი F_{ijr} განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობებით. ეს შედარებით რეალისტურია ვიდრე თანმიმდევრული მოდელი (ყოველი j დანიშნულების ადგილი განიხილება, როგორც ცალკეული ალტერნატივა, განაწილების F_{ij} მნიშვნელობით), ვინაიდან სარგებლიანობის მაქსიმიზაციის მიზნის მქონე მგზავრები დანიშნულების ადგილს არჩევენ, როგორც დანიშნულების ადგილზე საქმიანობის სარგებლიანობის, ასევე დანიშნულების ადგილამდე მგზავრობის უკუსარგებლიანობის გათვალისწინებით. ამ აზროვნებით, თანმიმდევრული მგზავრობის განაწილება - მოდალური დაყოფის მოდელი ჩამოყალიბებულია შემდეგი სახით:

მოდლობაზე სპეციფიური განაწილების მოდელი:

$$T_{ij}^v = \mu Q_i X_j F_{ijv} \quad (6.8)$$

v = მგზავრობის მოდალობა

F_{ijv} = მოდალობაზე სპეციფიური წვდომის ფუნქცია = $f_v(c_{ijv})$

c_{ijv} = მოდალობაზე სპეციფიური მგზავრობის წინალობის მნიშვნელობები

P_i და A_j -ზე ორმაგი შეზღუდვების ვარაუდებს მივყავართ:

$$\sum_j \sum_v T_{ij}^v = P_i \quad (6.9)$$

$$\sum_i \sum_v T_{ij}^v = A_j \quad (6.10)$$

$$\sum_j \sum_v \mu Q_i X_j F_{ijv} = P_i \quad (6.11)$$

$$\sum_i \sum_v \mu Q_i X_j F_{ijv} = A_j \quad (6.12)$$

$$Q_i = \frac{P_i}{\mu \sum_j (X_j \sum_v F_{ijv})} = \frac{a_i P_i}{\mu} \quad (6.13)$$

$$X_j = \frac{A_j}{\mu \sum_i (Q_i \sum_v F_{ijv})} = \frac{b_j A_j}{\mu} \quad (6.14)$$

a_i და b_j ბალანსის ფაქტორები ამჯამად მოდალობაზე სპეციფიური $f(c_{ij})$ მგზავრობის წინალობის ფუნქციაა.

$$T_{ij}^v = \frac{1}{\mu} a_i b_j P_i A_j F_{ijv} \quad (6.15)$$

იტერაციული გადაწყვეტილება მსგავსია მარტივი (ერთადერთი მოდალობის) ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელისა (იხ. თავი 5.5). პარამეტრი μ შეთავსებულია a_i და b_j სავარაუდო მნიშვნელობებთან.

მაგალითი 6.3

გამოთვალეთ მგზავრობის განაწილება და მოდალური დაყოფა ქვემოთ მოცემული მონაცემების გამოყენებით. მგზავრობის წარმოების და დანიშნულების ადგილები მოცემულია. განხილული სამგზავრო მოდალობები არის მანქანა და საზოგადოებრივი ტრანსპორტი (ცხრილი 6.3). ჩვენ ვთვლით, რომ მანქანით მგზავრობის განაწილების ფუნქცია მოცემულია, როგორც დისკრეტული განაწილების ფუნქცია. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის განაწილების ფუნქცია წარმოიშობა მანქანის განაწილების ფუნქციიდან, შემდეგი ბიჯით უფრო მაღალ დირეზულეზბათა ჯგუფების ჩანაცვლებით (იხ. ცხრილი 6.2).

დირეზულეზბის ჯგუფი [წუთი]	2 - 5	5 - 7	7 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 30
F_{ij} - მანქანა	200	67	26	19	7	0.7
F_{ij} - საზ. ტრანსპორტი	67	26	19	7	0.7	0.7

ცხრილი 6.2: F_{ijv} განაწილების ფუნქცია

ზონაში	ზონიდან					
	A		B		C	
	მანქანა	საზ. ტრან.	მანქანა	საზ. ტრან.	მანქანა	საზ. ტრან.
A	6	8	12	17	9	12
B	12	17	6	8	15	8
C	9	12	15	8	6	8

ცხრილი 6.3: c_{ijv} მანქანით მგზავრობის დროის მატრიცა და საზოგადოებრივი ტრანსპორტისთვის [წუთები]

შესაბამისი F_{ijv} განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობებია (ცხრილი 6.4):

ზონაში	ზონიდან						$\sum_i F_{ij}$	P_i
	A		B		C			
	მანქანა	საზ. ტრან.	მანქანა	საზ. ტრან.	მანქანა	საზ. ტრან.		
A	67	19	19	0.7	26	7	138.7	100
B	19	0.7	67	19	7	19	131.7	600
C	26	7	7	19	67	19	145	400
A_j	200		1200		600			2000

ცხრილი 6.4: $F_{ijv}(c_{ijv})$ მანქანის და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობებია

6.4 ცხრილი ასახავს დაბალანსებულ განაწილებას. ოპერაციები ხორციელდება ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის განაწილების მოდელის ანალოგიით ერთ მგზავრობის მოდალობაში (იხ. თავი 5). სცადეთ გადაჭრათ ეს პრობლემა დამოუკიდებლად!

7. მარშრუტის შერჩევა და ნაკადების ქსელში განთავსება

7.1. შესავალი

ტრანსპორტის ანალიზის პროცესში ნაკადების განთავსება არის ბიჯი, რომლის დროსაც ხორციელდება ინტერნონალური ნაკადების განთავსება ქსელში. ინტერნონალური მგზავრობები შეადგენენ მოთხოვნას ნაკადში და გამოითვლებიან მოდალური დაყოფის ეტაპზე. მგზავრობის მოთხოვნა, როგორც ეს აღწერილია თითოეული მგზავრობის მიზნობირობისა და თითოეული სამგზავრო მოდალობის (ზოგჯერ პერიოდების) წარმოება - დანიშნულების (OD) ცხრილების მიხედვით, ეწინააღმდეგება ინფრასტრუქტურის შესაძლებლობებს, რომლებიც წარმოადგენენ ბმულებისა და კვანძების ქსელს და გააჩნიათ ისეთი მახასიათებლები, როგორიცაა სიმძლავრე, მგზავრობის მაქსიმალური სიჩქარე, ცალმხრივი ქუჩები, გზის მომსახურების გადასახადები და სხვა წინაღობის ფაქტორები.

ნაკადების განთავსება გულისხმობს ერთი ან მეტი ოპტიმალური (ჩვეულებრივ უმოკლესი) მარშრუტის გამოთვლას თითოეული წარმოებისა და დანიშნულების ადგილებს შორის და მგზავრობის მოთხოვნის გადანაწილებას ამ მარშრუტებზე. ყველა ამ მარშრუტებსა და (OD) წყვილებს შორის მგზავრობათა ჯამი ასახავს მოცემულ ბმულებსა და კვანძებზე მოძრაობის დატვირთვას. ჩვეულებრივ, თითოეული მოდალობისათვის არსებობს განსხვავებული განთავსება, რადგან თითოეული მოდალობისათვის ქსელები საკმაოდ განსხვავებულია.

ჩვეულებრივ, მგზავრობათა წარმოება (თავი 4) და განაწილება (თავი 5) იანგარიშება ცალ-ცალკე მგზავრობათა დანიშნულებების მიხედვით, როდესაც ნაკადების განთავსება ხორციელდება ყველა მგზავრობის დანიშნულებისათვის ერთდროულად, ე.ი. დანიშნულებათა მიხედვით (OD) ცხრილების ერთ ცხრილში გაერთიანების შემდეგ.

კითხვა:

რა პირობებში არის სასურველი ცალცალკე განთავსების შესრულება მგზავრობის თითოეული დანიშნულებისათვის?

7.1.1. ნაკადების განთავსების მიზანი

ტრანსპორტის დაგეგმვაში ნაკადების განთავსებას გააჩნია ხუთი ფუნქცია:

- *ქსელის მახასიათებელთა ანალიზი*

რამდენიმე განსხვავებული განთავსების შესრულებით, შესაძლებელია გამოვამკარაოთ არსებული ქსელის ნაკლოვანებები (ნაკლული ბმულები, სიმძლავრის დეფიციტი), ფუნქციური კლასების არასწორი გამოყენება და გრძელი

შემოვლითი გზების თავიდან აცილება. ასევე, შესაძლებელია იდეების მოძიება არსებული პრობლემების გადასაჭრელად. ასეთივე ანალიზი სასარგებლოა სამომავლოდ დაგეგმილი ქსელის სცენარებისთვის.

- ნაკადის პროგნოზები

მიმდინარე და სამომავლო ქსელის სცენარებთან დაკავშირებით, მრავალი ასპექტია გაანგარიშებული, რათა შევძლოთ საგზაო მოძრაობის სამომავლო ვითარების პროგნოზირება. ესენია, ბმულების დატვირთვა, მგზავრობის დრო, სიჩქარე, საცობი, კვეთის წინაღობა და შემოვლითი ფაქტორები. ყველა ეს ინფორმაცია გამოიყენება ალტერნატიული გეგმის შესაფასებლად.

- მიღებულ ზემოქმედებათა გამოთვლები

ასევე ნაკადების განთავსების გამოთვლების საფუძველზე იანგარიშება ისეთი ზემოქმედებები, როგორცაა ხმაურის დონე, ჰაერის დაბინძურება, ენერჯის მოხმარება და ტრანსპორტის უსაფრთხოება, რაც მნიშვნელოვანია გეგმების შეფასებისას.

- პროექტირებული მონაცემების მიწოდება

შეფასებული ქსელის სცენარები უნდა იქნას გათვალისწინებული ფიზიკურად ინფრასტრუქტურის დიზაინში. ბმულების დატვირთვების გამოთვლები მნიშვნელოვანი დახმარებაა ტექნიკური პროექტირებისათვის. პროექტირებულად წოდებული ნაკადები გამოყვანილია გამოთვლილი ნაკადებისაგან.

- შესაყვანი მონაცემების მიწოდება

ტრანსპორტის ანალიზის ისეთ ბიჯებში, როგორცაა განაწილება და მოდალური არჩევანი გამოიყენება (OD) წყვილების წინაღობის მახასიათებლები (მგზავრობის დრო, დისტანციები, ხარჯები), რომლებიც გამოითვლება განთავსების ეტაპზე, როგორც მარშრუტების ატრიბუტები (იხ. თავი 1.4).

7.1.2. განთავსების გამოთვლისას შესაყვანი და მისაღები მონაცემები

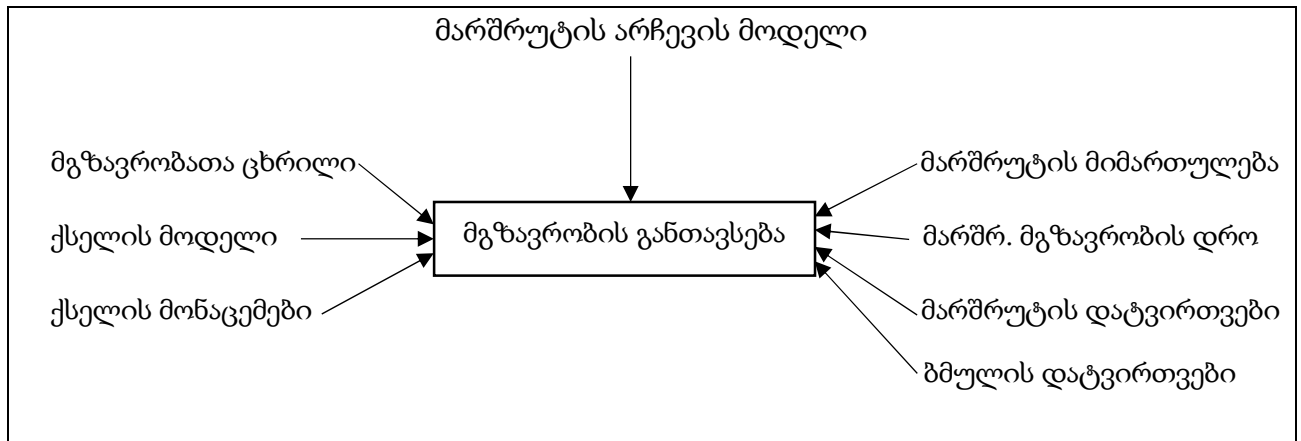
განთავსებისთვის აუცილებელი შესაყვანი მონაცემები:

- ზონებს შორის მგზავრობათა (OD) ცხრილი, როგორც წესი მგზავრობები კომბინირდება დანიშნულების მიხედვით;
- ქსელის (კომპიუტერული) წარმოდგენა;
- ქსელის ელემენტების მახასიათებლები (ბმულები და კვანძები);
- მარშრუტის არჩევის მოდელი.

განთავსების გამოთვლის შედეგად პირდაპირ მიღებული მონაცემები:

- მარშრუტები (მიმდებარე კავშირებისა და კვანძების თანმიმდევრული სერია);
- მარშრუტის მახასიათებლები (მგზავრობის დრო, დისტანციები, ხარჯები);
- მარშრუტის დატვირთვები: მგზავრობების რაოდენობა თითო მარშრუტზე;
- ბმულის და კვანძის დატვირთვები: თითოეულ ბმულსა და კვეთის მოსახვევზე (ნაკადის) მგზავრობათა რაოდენობა დროის ერთეულში.

ფიგურა 7.1 აჯამებს ნაკადების ქსელში განთავსების სტრუქტურას



სურათი 7.1: მგზავრობათა განთავსება ქსელში

მარშრუტების არჩევის მოდელი ანაწილებს OD წყვილით მოცემულ მგზავრობებს ალტერნატიულ მარშრუტებზე: იგი აღწერს მგზავრის ქცევას მარშრუტის არჩევისას. ქსელის მახასიათებლები იძლევა საფუძველს, რომელზე დაყრდნობითაც განისაზღვრება მარშრუტები და რომელ მარშრუტებზეც ხდება მგზავრობათა განთავსება (სხვათა შორის მგზავრობის დრო და მანძილი); ამასთან, ეს მონაცემები აუცილებელია ქსელში შესაძლო საცობების აღსაწერად. მგზავრობათა ცხრილი და მარშრუტის არჩევის მოდელი წარმოადგენს საგზაო მოძრაობის სისტემის მოთხოვნის მხარეს, ხოლო ქსელის მოდელი და ქსელის მონაცემები აღწერს მიწოდების მხარეს.

7.1.3. განთავსების მოდელთა კლასიფიკაცია

სრული წარმოდგენის ჩამოსაყალიბებლად უნდა აღვნიშნოთ, რომ არსებობს განსხვავება სტატიკურ და დინამიურ მოდელებს შორის. სტატიკური მოდელები გვთავაზობენ, რომ მგზავრობის მოთხოვნა და მიწოდება არიან უცვლელნი

მოცემულ დროის პერიოდში, შესაბამისად მუდმივია მოცემული დროის პერიოდში (სტაციონარული). დინამიური მოდელები იყენებენ უფრო რეალურ ვარაუდებს, რომ (OD) მოთხოვნა და ბმულის მახასიათებლები ცვლადი არიან დროის მოცემულ პერიოდში და შესაბამისად საჭიროებენ დიდ გამოთვლით რესურსებს და წარმოადგენენ დამატებით მოთხოვნებს მონაცემებთან მიმართებაში. ჩვენ შემოვიფარგლებით სტატიკური მოდელებით.

პრაქტიკაში გამოყენებული სტატიკური განთავსების მოდელები შეიძლება განვასხვავოთ ორი ძირითადი მახასიათებლის მიხედვით:

- განსხვავებები ქცევებში ინდივიდუალური მარშრუტის არჩევისას;
- საცობის ეფექტები ქსელში.

ამას მივყავართ ოთხი ტიპის მოდელებად, იხ. ცხრილი 7.1. თითოეული ამ მოდელის გამოყენება დამოკიდებულია სიტუაციაზე (არსებობენ თუ არა საცობის ეფექტები) და სიზუსტის დონეზე.

		საცობის ეფექტის მოდელირება	
		კი	არა
შერჩევითი სარგებლიანობის მიხედვით მარშრუტის შერჩევის მოდელირება	კი	ყველაფერი-ან-არაფერი (თავი 8.3)	დეტერმინისტული წონასწორობა (თავი 8.5)
	არა	სტოქასტური (თავი 8.4)	სტოქასტური წონასწორობა (თავი 8.6)

ცხრილი 7.1: სტატიკური ნაკადების განთავსების მეთოდების კლასიფიკაცია

„ყველაფერი-ან-არაფერი“ განთავსების მეთოდი

ზოგიერთი მეთოდი, მაგალითად, ყველაფერი-ან-არაფერი (AON) განთავსების მეთოდი უგულებელყოფს იმ ფაქტს, რომ ბმულის მგზავრობის დრო დამოკიდებულია ნაკადზე (მაგ., რომ ისინი წარმოადგენენ ბმულის მოცულობის ფუნქციას). ეს მარტივი მეთოდები ზონის წყვილებს შორის ყველა მგზავრობას ერთ (ოპტიმალურ) მარშრუტს ანიჭებს, მაგალითად, უმოკლეს მარშრუტს დროის ან მანძილის მიხედვით.

„დეტერმინისტული წონასწორობის“ განთავსების მეთოდი

წონასწორობის მეთოდები ითვალისწინებს ნაკადების მოცულობის დამოკიდებულებას მგზავრობის ხანგძლივობასთან და იწვევს ბმულის ნაკადების და მგზავრობის ხანგძლივობის გაანგარიშებას, რომლებიც ურთიერთ დამოკიდებულია ერთმანეთთან. წონასწორობის ნაკადის ალგორითმები მოითხოვენ განთავსებულ მარშრუტებზე წინ და უკან მოძრავი ნაკადებისა და მგზავრობის დროის გაანგარიშებას შორის ციკლის გამეორებას. დამატებითი

გამოთვლების მიუხედავად, წონასწორობის მეთოდები თითქმის ყოველთვის უპირატესია სხვა განთავსების მოდელებთან შედარებით. ეს მეთოდები ყოფს მგზავრობათა მთელს ნაკადს (OD) წყვილებს შორის მრავალ სხვადასხვა მარშრუტებად.

გადამწყვეტი ქცევითი დაშვებები, რომლებიც საფუძვლად უდევს მომხმარებლის წონასწორობის (UE) განთავსების მოდელს, მოიაზრებს, რომ თითოეულ მგზავრს აქვს სრულყოფილი ინფორმაცია ქსელის ატრიბუტებთან დაკავშირებით, ასევე თითოეული მგზავრი ირჩევს მარშრუტს, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს მისი მგზავრობის დრო ან მგზავრობის ხარჯები და ირჩევს ისეთნაირად, რომ ყველა მგზავრისათვის ერთი და იგივე O და D ზონებს შორის მგზავრობებს აქვთ ერთნაირი მგზავრობის დრო ან ღირებულება. ვორდროპი პირველი იყო ვინც UE – სთვის შემდეგი პირობა შემოგვთავაზა: არცერთ ინდივიდუალურ მგზავრს არ შეუძლია ცალმხრივად შეამციროს თავისი მგზავრობის დრო მარშრუტების შეცვლით. UE -ს პრინციპის შედეგია ის, რომ O-D წყვილისათვის გამოყენებულ ყველა მარშრუტს აქვს იგივე მინიმალური ღირებულება. სამწუხაროდ, ეს არ არის დატვირთულ ნაკადთა ქსელის რეალისტური აღწერა.

„სტოქასტური“ განთავსების მეთოდი

ბევრ ურბანულ არეალში არსებობს სხვადასხვა ალტერნატიული მარშრუტები, რომლებიც შეიძლება იქნას გამოყენებული ერთი წარმოების ზონიდან მეორე დანიშნულების ზონაში გადასადგილებლად. ხშირად წარმოების ზონაში მგზავრობები სხვადასხვა წერტილებიდან დანიშნულების ზონაში მდებარე სხვადასხვა წერტილებამდე ხორციელდება სრულიად განსხვავებული ძირითადი გზებით. ასევე, სხვადასხვა ინდივიდი განსხვავებული წესით განსჯის თითოეულ ალტერნატივას. ამ მექანიზმებმა შეიძლება წარმოშოს მრავალი მარშრუტი i წარმოებას და j დანიშნულების ადგილებს შორის, იმ შემთხვევაშიც კი, თუ არსებობს ვარაუდი, რომ ბმულის ხარჯები არიან დამოუკიდებელი ნაკადისაგან. მოცემულ ლიტერატურაში წარმოდგენილია სხვადასხვა კრიტერიუმები, რათა განსაზღვრონ ყველა შესაძლო გონივრული მარშრუტი. ამასთან, ზოგიერთ შემთხვევაში, გონივრული ალტერნატიული მარშრუტები შეიძლება იყოს ისეთი მრავალრიცხოვანი, რომ ხელი შეუშალოს მათ მარტივად აღრიცხვას. იმისათვის, რომ ნაკადის განთავსების მოდელის მოქმედება იყოს მართებული, მან სწორად უნდა გაანაწილოს ნაკადების მოცულობები ამ ალტერნატიულ მარშრუტებზე, ლოგიკურ ქცევათა წესების გათვალისწინებით.

ქცევითი წესების თვალსაზრისით, ნაკადების განთავსება არის მგზავრობა ინდივიდუალური მარშრუტის შერჩევის შედეგი. გასაკვირი არ არის, რომ განთავსების მოდელები, ასევე განსხვავდებიან იმ ვარაუდებში, თუ როგორ და რომელ მარშრუტებს აირჩევენ მომხმარებლები მგზავრობისათვის. მგზავრობის

ინდივიდუალური მარშრუტის არჩევისას ქცევა გამოიხატება θ ქცევითი პარამეტრით. ეს პარამეტრი განსაზღვრავს ნაკადის განაწილებას ალტერნატიულ მარშრუტებს შორის, რომლებიც გამოხატულია β განაწილების განაკვეთით.

„სტოქასტური წონასწორობის“ განთავსების მეთოდი

განთავსება, რომელიც აერთიანებს სტოქასტური განთავსების და დეტერმინისტული მომხმარებლის წონასწორობის განთავსების თვისებებს, შემოგვთავაზა დაგანზომ და შეფიმ (1977). ცნობილია, როგორც სტოქასტური მომხმარებლის წონასწორობის მეთოდი (SUE), ეს მოდელი ეყრდნობა იმ ვარაუდს, რომ მგზავრებს აქვთ არასრულყოფილი ინფორმაცია ქსელის მარშრუტების შესახებ და/ან განსხვავდება ქსელური მახასიათებლების შესახებ მათი შეხედულებები.

სტოქასტური წონასწორობის მეთოდის დროს, არცერთი მგზავრი არ მიიჩნევს, რომ მათ შეუძლიათ გაზარდონ მოსალოდნელი სარგებლიანობა სხვადასხვა მარშრუტის არჩევით. მგზავრთა შეხედულებათა ცვალებადობიდან გამომდინარე (OD) ნაკადები ნაწილდება სხვადასხვა მარშრუტებზე. მარშრუტის არჩევანი პროპორციულად დამოკიდებულია მგზავრობის ხანგძლივობაზე. მგზავრობის დრო თავის მხრივ დამოკიდებულია ბმულის ნაკადზე, ხოლო ბმულის ნაკადები კვლავ დამოკიდებულია მარშრუტის არჩევის პროპორციებზე. ითქმება, რომ სისტემაში არის (SUE), თუ მარშრუტის არჩევის და მგზავრობის ხანგძლივობის პროპორციები ერთგვაროვანია.

განთავსების სხვა მეთოდები

განთავსების მოდელების უფრო რეალისტური მიდგომის კიდევ ერთი, მაგრამ არა ურთიერთგამომრიცხავი მიდგომა გულისხმობს მრავალ კლასობრივ ან/და მულტიკრიტერიულ მოდელებს, რომელშიც მგზავრთა სხვადასხვა ჯგუფები აფასებენ ქსელის მახასიათებლებს, როგორცაა მგზავრობის დრო ან საიმედოობა. ეს მოდელები განსაკუთრებით სასარგებლოა მულტი-მოდალურ მგზავრობათა განთავსებისას.

7.1.4. აღნიშვნები

სიმარტივისათვის, შემდეგში ჩვენ გამოვიყენებთ ტერმინებს, როგორცაა „მგზავრობის დრო“, „მგზავრობის ღირებულება“ ან „მგზავრობის წინაღობა“ ან „მგზავრობის არასარგებლიანობა“. ამ თავში ჩვენ ავლწერთ მგზავრობათა ძირითად განთავსების მოდელებს და განვიხილავთ თითოეული მეთოდის უპირატესობებსა და უარყოფით მხარეებს. სხვადასხვა განთავსების მოდელის მათემატიკურ გამოთვლებში გამოყენებული იქნება შემდეგი აღნიშვნები:

ინდექსები

i = წარმოების ადგილი

j = დანიშნულების ადგილი

r = მარშრუტი

k = ოპტიმალური მარშრუტი

a = ბმული

ცვლადები

T_{ij} = i - დან j - ში მგზავრობათა რაოდენობა (მოძრაობის ნაკადი)

T_{ijr} = i - დან j - ში, r მარშრუტით მგზავრობათა რაოდენობა (მარშრუტის ნაკადი)

t_a = a ბმულზე მგზავრობის დრო

\underline{t}_a = ყველა ბმულზე მგზავრობათა დროის ვექტორი

t_{ijr} = r მარშრუტზე მგზავრობის დრო

\underline{t}_{ijr} = ყველა მარშრუტზე მგზავრობათა დროის ვექტორი

α_{ijr}^a = ბმულზე-მარშრუტზე-ინციდენტი = $\begin{cases} 1 & \text{თუ } a \text{ ლინკი } r \text{ მარშრუტზეა } i \text{ დან } j \text{ მდე} \\ 0 & \text{სხვა შემთხვევაში} \end{cases}$

β_{ijr} = სატრანსპორტო ნაკადის პროპორცია i - დან j - მდე $r \in [0,1]$ მარშრუტით (მარშრუტის არჩევის პროპორციები)

q_a = a ბმულზე სატრანსპორტო ნაკადი (ბმულზე ნაკადი)

\underline{q}_a = ბმულზე სატრანსპორტო ნაკადის ვექტორი

პარამეტრები

θ = მარშრუტის არჩევის ქცევითი პარამეტრი

$\underline{\theta}$ = მარშრუტის არჩევის მოდელის პარამეტრების ვექტორი

7.2. ქსელში განთავსების ზოგადი პრობლემა

ზოგადად, ქსელში განთავსების მოდელის შესაყვანი მონაცემებია α_{ijr}^a , $\underline{\theta}$ და T_{ij} (მარშრუტის შემადგენლობა, ქცევითი პარამეტრები და მგზავრობაზე მოთხოვნა).

ქსელში განთავსების მიზანია შემდეგ რაოდენობათა დადგენა (ასევე იხილეთ ფიგურა 7.1):

1. t_a - ბმულზე მგზავრობის დრო
2. β_{ijr} - მარშრუტის არჩევის პროპორციები
3. t_{ijr} - მარშრუტზე მგზავრობის დრო
4. T_{ijr} - მარშრუტის ნაკადი
5. q_a - ბმულის ნაკადი

ადგილი აქვთ შემდეგ დამოკიდებულებებს. მათი ზოგადობის გამო, ამ დამოკიდებულებებს უწოდობენ განმსაზღვრელ შეზღუდვებს.

(1): ბმულზე მგზავრობის დრო ბმულის ნაკადის ფუნქციაა:

$$t_a = t_a(q_a) \tag{7.1}$$

გაითვალისწინეთ, ვვარაუდობთ, რომ ბმულზე მგზავრობის დრო დამოკიდებულია მხოლოდ ბმულზე არსებულ ნაკადზე და არა სხვა ბმულებზე. იგი ცნობილია, როგორც განმაცალკავებელი ვარაუდი.

(2): მარშრუტის არჩევის პროპორცია β_{ijr} განსაზღვრავს ნაკადის განაწილებას ალტერნატიულ მარშრუტებს შორის. მარშრუტის არჩევის პროპორციები არის მარშრუტების მახასიათებელთა ფუნქცია (გამოხატულია t_{ijr} მგზავრობის დროის ვექტორით) და θ ქცევითი მარშრუტის არჩევის პარამეტრების სიმრავლით.

$$\beta_{ijr} = \beta_{ijr}(\theta, t_{ijr}) = \beta_{ijr}(\theta, t_a(q_a)) \quad \beta_{ijr} \in [0,1] \tag{7.2}$$

(3): t_{ijr} მარშრუტზე მგზავრობის დრო წარმოადგენს i და j შორის, t_a ბმულის r მარშრუტზე მგზავრობათა დროთა ჯამს:

$$t_{ijr} = \sum_a \alpha_{ijr}^a t_a(q_a) \tag{7.3}$$

სადაც α_{ijr}^a ინდიკატორი ცვლადი მიუთითებს არის თუ არა a ბმული r მარშრუტის ნაწილი i და j -ს შორის. ბმულის - მარშრუტის α ინციდენტურობის მატრიცა განსაზღვრავს ქსელის სტრუქტურას.

(4): i - დან j - ში ვიზიტების მთლიანი რაოდენობა გამრავლებულია β_{ijr} მგზავრთა პროპორციაზე, რომელიც ირჩევს r მარშრუტს და აისახება T_{ijr} მარშრუტის ნაკადზე:

$$T_{ijr} = \beta_{ijr} T_{ij} = \beta_{ijr}(\theta, t_a(q_a)) T_{ij} \tag{7.4}$$

(5): ბმულზე ნაკადი არის ამ ბმულზე გამავალ მარშრუტთა ნაკადების ჯამი:

$$q_a = \sum_i \sum_j \sum_r \alpha_{ijr}^a T_{ijr} = \sum_i \sum_j \sum_r \alpha_{ijr}^a \beta_{ijr} (\theta, \underline{t}_a(q_a)) T_{ij} \quad (7.5)$$

7.3. ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსების მეთოდი

7.3.1. „ყველაფერი-ან-არაფერი“ განთავსების მეთოდი, როგორც ოპტიმიზაციის პრობლემა

ყველაფერი-ან-არაფერი (AON) განთავსებით, O - D წყვილს შორის ყველა გადაადგილებებს ენიჭება მხოლოდ ერთი მარშრუტი (ჩვეულებრივ უმოკლესი მარშრუტი), რომელიც აკავშირებს წარმოების და დანიშნულების ადგილებს. ეს მოდელი არარეალისტურია იმიტომ, რომ ყველა O - D წყვილს შორის მხოლოდ ერთი მარშრუტია გამოყენებული მაშინაც კი, თუ არსებობს სხვა მარშრუტი იგივე ან თითქმის იგივე მგზავრობის დროის მონაცემით. ასევე, ნაკადი განთავსდება ბმულებზე, იმის მიუხედავად, არის თუ არა საკმარისი ბმულის გამტარუნარიანობა ან საცობების მხრივ მდგომარეობა; მგზავრობის დრო წარმოდგენილია, როგორც ფიქსირებული შესაყვანი მონაცემი და არ ითვალისწინებს ბმულზე საცობების მხრივ მდგომარეობას.

ზოგადად, (AON) მოდელი არ ქმნის მაღალი რეალისტურობის შედეგებს. წარმოქმნილი ნაკადები ზედმეტად კონცენტრირებულია ცალკეულ მარშრუტებზე. გარდა ამისა, აფერხებს არასტაბილურობის მაღალ დონეს; ქსელში მცირე ცვლილებებმა შეიძლება გამოიწვიოს შედეგების მნიშვნელოვანი ცვლილებები (მარშრუტის არჩევანი, მგზავრობის დრო, ნაკადები). მიუხედავად ამ უარყოფითი მხარეებისა, AON მოდელი მნიშვნელოვანი ნაწილია უფრო რთული განთავსების მოდელების გამოთვლების პროცესში.

რაც შეეხება ქსელში განთავსების ზოგად პრობლემას (იხ. წინა ნაწილი), AON მეთოდი ხასიათდება შემდეგი სახით:

დაშვებები:

t_a მუდმივია (q_a ნაკადის დონისგან დამოუკიდებელი);

$\theta = 0$ (მარშრუტებს შორის ნაკადები არ გადაამისამართდება);

k_{ij} ოპტიმალური მარშრუტია, i - დან j - მდე სამგზავროდ.

განმსაზღვრელი შეზღუდვები ახლა უფრო სპეციფიკური შეიძლება იყოს:

(1) t_a მოცემულია და მუდმივია

$$(2) \beta_{ijr} = \beta_{ijr}(\underline{t}_a) = \begin{cases} 1 & \text{თუ } r = k_{ij} \\ 0 & \text{თუ სხვა} \end{cases} \quad (7.6)$$

$$(3) t_{ijr} = \sum_a \alpha_{ijr}^a t_a \quad (7.7)$$

$$(4) T_{ijr} = \begin{cases} T_{ij} & \text{თუ } r = k_{ij} \\ 0 & \text{თუ სხვა} \end{cases} \quad (7.8)$$

$$(5) q_a = \sum_i \sum_j \alpha_{ijk_{ij}}^a T_{ij} \quad (7.9)$$

AON განთავსების უმოკლესი მარშრუტის ცნება საკმაოდ მარტივია; ის განსაზღვრულია შემდეგი სახით:

ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსების უმოკლესი მარშრუტი:
 განთავსება, რომელშიც თითოეული OD წყვილისათვის შესაბამისი ნაკადი განთავსდება ცალკეულ მარშრუტზე, რომელსაც ბმულის ღირებულების ფიქსირებულ სიმრავლეთა შესაბამისად, გააჩნია მინიმალური მარშრუტის ღირებულება (საცობის ეფექტები არ არის გათვალისწინებული).

შეიძლება იქნას ნაჩვენები, რომ ამ განთავსების პრობლემის გადაჭრა ოპტიმიზაციის პრობლემის გადაჭრის ექვივალენტურია. არსებობს ორი სახის ფორმულირება: მარშრუტზე დაფუძნებული ფორმულირება და ბმულზე დაფუძნებული ფორმულირება. მარშრუტზე დაფუძნებული ფორმულირება იყენებს მარშრუტის დონის ცვლადებს (t_{ijr} და T_{ijr} მარშრუტის მგზავრობის დროისა და მარშრუტის ნაკადის შესაბამისად), ხოლო ბმულზე დაფუძნებული ფორმულირება იყენებს ბმულის დონის ცვლადებს (t_a და q_a ბმულის მგზავრობის დროისა და ბმულის ნაკადის). ორივე ფორმულირებას მივყავართ წრფივი პროგრამირების (LP) პრობლემასთან.

მარშრუტზე დაფუძნებული ფორმულირება:

$$\min_{T_{ijr}} Z = \sum_i \sum_j \sum_r t_{ijr} T_{ijr} \quad (7.10)$$

$$\text{თუ, } \sum_r T_{ijr} = T_{ij} \quad \forall i, j \quad (7.11)$$

$$T_{ijr} \geq 0 \quad \forall i, j, r \quad (7.12)$$

Z ობიექტური ფუნქცია მარშრუტზე დაფუძნებულ ფორმულირებაში (იხ. (7.10)) გამოხატავს მგზავრობის საერთო დროს ყველა მგზავრისათვის. შეზღუდვა (7.11) გულისხმობს, რომ ყველა მგზავრს უნდა მიენიჭოს მარშრუტი, ხოლო შეზღუდვა (7.12) არის არანეგატიურობის შეზღუდვა, რომელიც ვრცელდება მარშრუტის ნაკადზე. T_{ij} მგზავრობათა საერთო რაოდენობა თითოეული O - D წყვილისათვის

წარმოადგენს ამ მოდელის შესაყვან მონაცემს. გაითვალისწინეთ, რომ ამ მოდელის გამოყენების მიზნით, ჩვენ უნდა ჩამოვთვალოთ ყველა მარშრუტი თითოეული წარმოებიდან თითოეული მიმართულებით.

ბმულზე დაფუძნებული ფორმულირება:

$$\min_{q_a} Z = \sum_a t_a q_a \quad (7.13)$$

$$\text{თუ, } q_a = \sum_{s \in S} q_a^s \quad \forall a \in A \quad (7.14)$$

$$T_{ms} + \sum_{a \in M^-} q_a^s = \sum_{a \in M^+} q_a^s \quad \forall s \in S \quad \forall m \in N \setminus \{s\} \quad (7.15)$$

(*s*-ზე გადამისამართებულ მარშრუტთა ნაკადების კონსერვაცია)

$$q_a^s \geq 0 \quad \forall a \in A \quad \forall s \in S \quad (7.16)$$

(*არა-ნეგატიურობის შეზღუდვები*)

სადაც:

q_a^s ნაკადი *a* ბმულზე განკუთვნილია *s* კვანძისთვის

S დანიშნულების კვანძთა ნაკრები

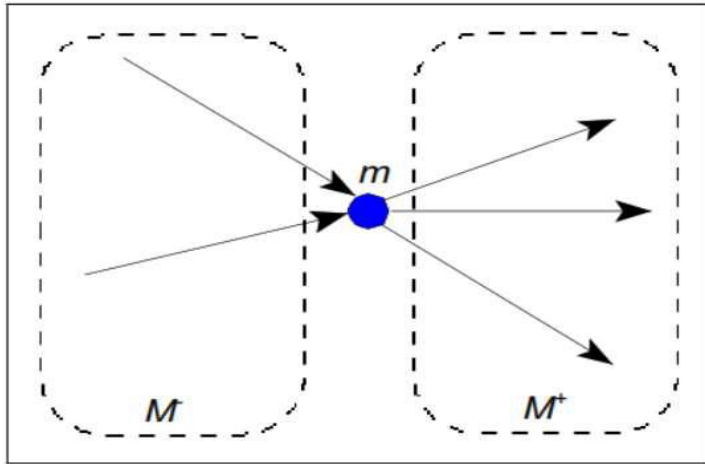
M^- *m* კვანძე შემომავალ ბმულთა ნაკრები

M^+ *m* კვანძიდან გამავალ ბმულთა ნაკრები

T_{ms} *m* კვანძიდან *s* დანიშნულებამდე OD მოთხოვნა (T_{ms} ნულისგან განსხვავებულია, თუ *m* წარმოადგენს მგზავრობის წარმოების ადგილს)

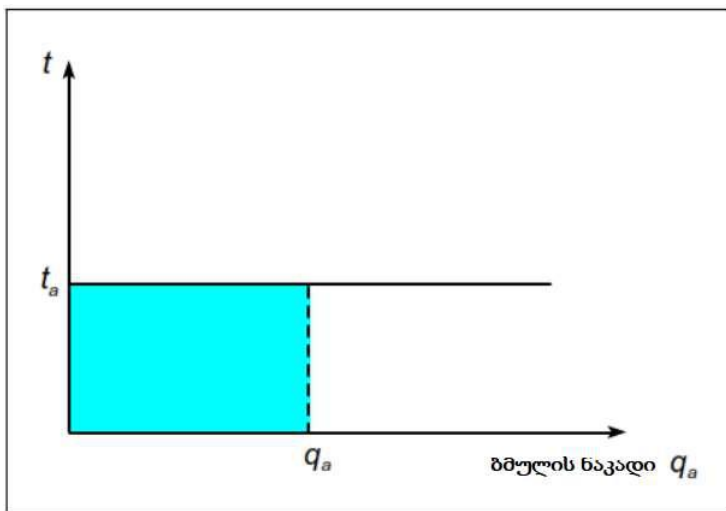
N ყველა ბმულთა ნაკრები

თუ ვივარაუდებთ, რომ (7.10) - (7.12) და (7.13) - (7.16) გადაწყვეტილებები უნიკალურია, მაშინ მარშრუტის საფუძველზე ფორმულირება (7.10) - (7.12) და ბმულზე დაფუძნებული ფორმულირება (7.13) - (7.16) მართლაც იძლევა ბმულზე იდენტურ ნაკადებს.



ფიგურა 7.2: შემომავალი და გამომავალი ბმულები

ბმულზე დაფუძნებულ ფორმულირებაში ჩვენ გვაქვს მსგავსი ობიექტური ფუნქცია (იხ. (7.13)), როგორც მარშრუტზე დაფუძნებული ფორმულირებისას; იგი ასევე გამოხატავს მგზავრობის მთლიან დროს, რაც გამოწვეულია ყველა მგზავრის მიერ. თუმცა ამ შემთხვევაში Z გამოსახულია ბმულის დონის ცვლადებით. ობიექტური ფუნქცია გულისხმობს 7.3 ფიგურაზე მითითებული არეალის შემცირებას.



ფიგურა 7.3: მგზავრობის დროის ფუნქცია

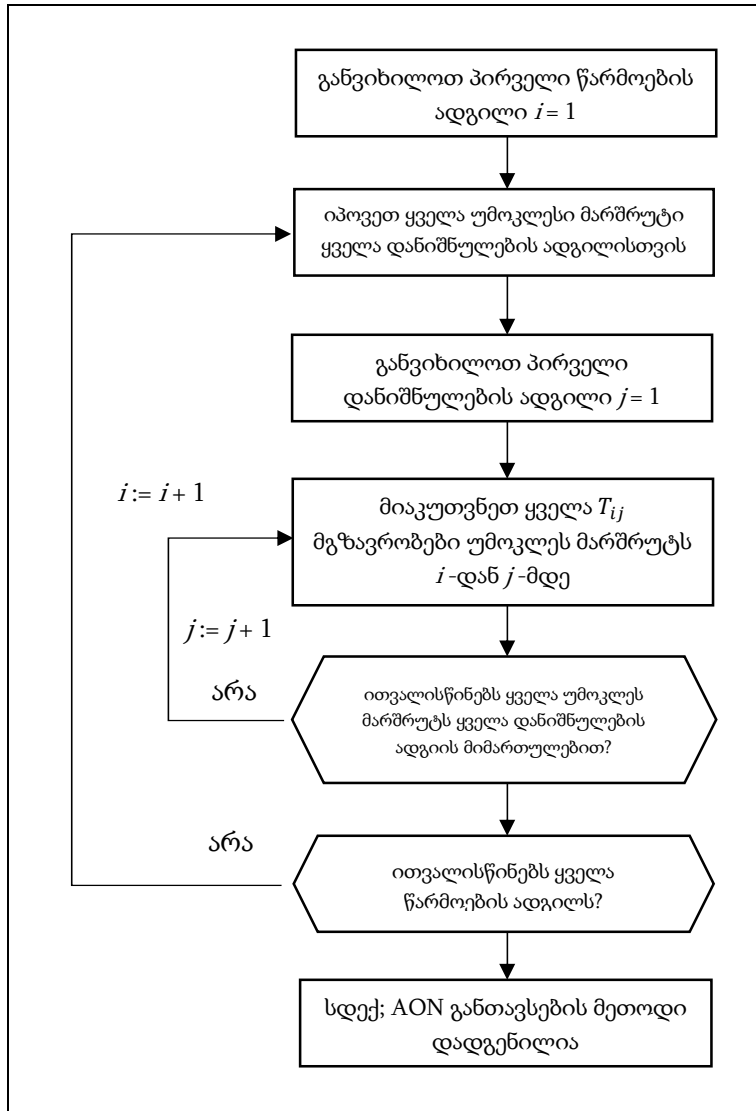
შეზღუდვები (7.15) არის ნაკადის კონსერვაციის შეზღუდვები; თითოეული მიმართულებისათვის, კვანძში შემომავალი ყველა ნაკადის ჯამი ტოლი უნდა იყოს ამავე კვანძიდან გამავალი ყველა ნაკადის ჯამისა (ფიგურა 7.2). უთანასწორობა (7.16)

გულისხმობს, რომ ყველა ნაკადი უნდა იყოს არა უარყოფითი. მარშრუტზე დაფუძნებული და ბმულზე დაფუძნებული მოდელების ობიექტურ ფუნქციასა ოპტიმალური მნიშვნელობები იდენტურია. თუ ორივე მეთოდი უნიკალურია, მაშინ ორივე მოდელის ნაკადების შედეგებიც იდენტურია. როდესაც თითოეული (OD) წყვილისთვის არსებობს უნიკალური უმოკლესი გზა, მაშინ უმოკლესი გზის AON განთავსება ცალსახად განსაზღვრულია. ამ შემთხვევაში, როგორც მარშრუტის, ასევე ბმულის დონეზე დაფუძნებული მოდელები წარმოქმნიან ამ განთავსების მეთოდის შესაბამის გამომავალ მონაცემებს (მარშრუტისა და ბმულის ნაკადები).

იმ შემთხვევაში, თუ უმოკლესი მარშრუტის AON განთავსების მეთოდი ცალსახად არაა განსაზღვრული, ანუ, როდესაც ერთი OD წყვილის შესაბამის მრავალრიცხოვან მარშრუტებს გააჩნიათ თანაბარი მგზავრობის დრო, მაშინ მოდელებს არ სჭირდებათ AON განთავსების გენერირება. შესაძლებელია, რომ ნაკადი განაწილდეს მრავალ მარშრუტზე თანაბარი მგზავრობით დროით და შესაბამისად არ წარმოადგენდეს AON განთავსების მეთოდს. ამასთან, რომელიმე მოდელის კომპიუტერული რეალიზაცია ჩვეულებრივ წარმოშობს AON განთავსების მეთოდს ნებისმიერ შემთხვევაში, გამომდინარე გამოყენებული ალგორითმების თვისებათა გამო.

7.3.2. AON განთავსების პრობლემის გადაჭრა

AON განთავსების პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია წრფივი პროგრამირების გზით (7.10) - (7.12) ან (7.13) - (7.16) (7.16), (LP) ტექნიკის გამოყენებით. პრობლემის მაღალი განზომილების გამო, ასეთი მიდგომა მალე გამოიკვეთება შეუსრულებლად გამოთვლის თვალსაზრისით. მისი გადაჭრის უფრო ეფექტურ გზას წარმოადგენს უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმი. უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმები იყენებენ პრობლემათა თვისებებს, რაც ალგორითმის უფრო ეფექტურად გადაჭრის საშუალებას იძლევა. თითოეული წარმოების ადგილისათვის უმოკლესი მარშრუტი განისაზღვრება თითოეული დანიშნულების ადგილამდე, რის შედეგადაც ვდებულობთ უმოკლეს მარშრუტთა ხეს ყველა წარმოების ადგილისათვის (იხ. თავი 3). ყველა მგზავრობა განთავსდება ამ უმოკლესი მარშრუტების გასწვრივ, რაც იძლევა ქსელზე მარშრუტის ნაკადების შედეგებს. (OD) წყვილთა ყველა მარშრუტების ნაკადთა შეჯამებით (იხ. განტოლება (7.9)), მიიღება AON განთავსების ბმულის ნაკადები. ალგორითმი წარმოდგენილია 7.4 ფიგურაში.



ფიგურა 7.4: AON განთავსების ალგორითმი

7.4. სტოქასტური განთავსების მეთოდი

7.4.1. სტოქასტური განთავსების მეთოდის მათემატიკური აღწერა

არსებობს რამდენიმე სახის სტოქასტური განთავსების მეთოდი. ეს განთავსება ანაწილებს მგზავრობებს ორ ზონას შორის ამ ზონების დამაკავშირებელ რამდენიმე მარშრუტზე, ხელმძღვანელობს რა მარშრუტის არჩევისას ქცევების შესახებ თეორიით. ვინაიდან ეს მოდელი ანაწილებს მგზავრობებს რამდენიმე მარშრუტზე, მიიღება ქსელში უფრო თანაბრად განაწილებული ნაკადის სქემა, AON განთავსების მეთოდთან შედარებით. ამ ტიპის მოდელი სასარგებლოა ველო და ავტო მოძრაობის ანალიზისთვის არა-გადატვირთული პერიოდის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში ჩვენ გამოვიყენებთ სარგებლიანობის თეორიას.

ქსელში განთავსების ზოგად პრობლემაზე დაყრდნობით (იხ. თავი 7.2), სტოქასტური განთავსების მეთოდი ხასიათდება შემდეგი სახით:

დაშვებები:

t_a მუდმივია (q_a ნაკადის დონისგან დამოუკიდებელი);

$\Theta > 0$ (მარშრუტებს შორის ნაკადების გადამისამართება);

განმსაზღვრელი შეზღუდვები მარტივდება:

$$(1) t_a \text{ მოცემულია და მუდმივია}$$

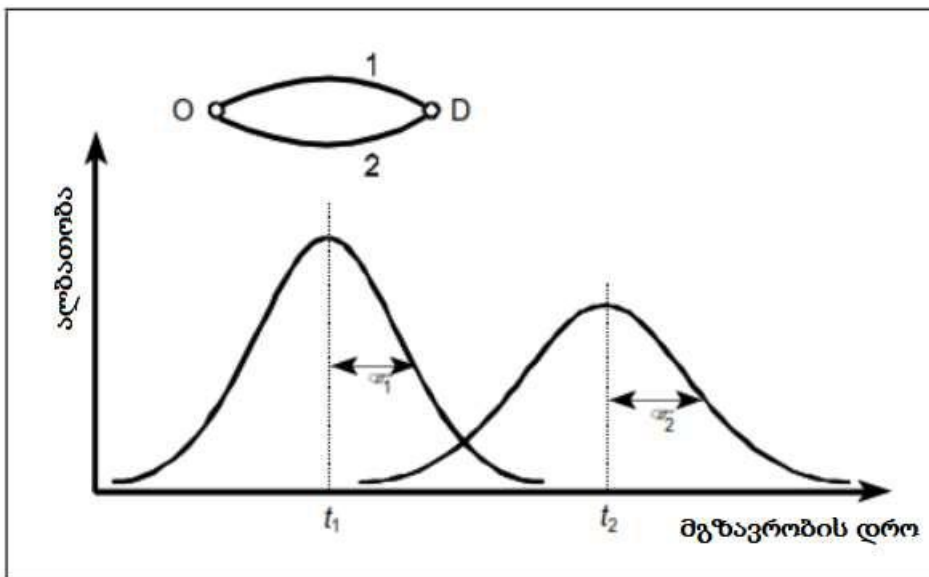
$$(2) \beta_{ijr} = \beta_{ijr}(\Theta, t_a) \in [0, 1] \quad (7.17)$$

$$(3) t_{ijr} = \sum_a \alpha_{ijr}^a t_a \quad (7.18)$$

$$(4) T_{ijr} = \beta_{ijr}(\Theta, t_a) T_{ij} \quad (7.19)$$

$$(5) q_a = \sum_i \sum_j \sum_r \alpha_{ijr}^a \beta_{ijr}(\Theta, t_a) T_{ij} \quad (7.20)$$

სტოქასტური განთავსების მოდელის ვარაუდით, მგზავრობის განზოგადებული დროის მნიშვნელობა, რომელსაც მგზავრი ანიჭებს მარშრუტს და ცნობილია როგორც აღქმული ან სუბიექტური განზოგადებული მგზავრობის დრო, მოჰყვება ალბათურ განაწილებას. ამ ალბათური განაწილების საშუალო ზოგადად განზოგადებული ობიექტური მგზავრობის დროის ტოლია. ალბათური განაწილების სტანდარტული გადახრა არის ღონისძიება მგზავრებს შორის ქცევითი განსხვავებების დასადგენად. განსხვავება ობიექტური და სუბიექტური განზოგადებული მგზავრობის დროებს შორის განპირობებულია მარშრუტის ატრიბუტების აღქმის განსხვავებით (მაგალითად ღირებულება და დრო), ამ ატრიბუტების წონებში განსხვავებებით (დროის მნიშვნელობა, დროის ბიუჯეტი) და მარშრუტის ინდივიდუალური პარამეტრებით. 7.5 ფიგურაში მოცემულია ორი ალტერნატიული მარშრუტის სიტუაცია.



ფიგურა 7.5: მარშრუტზე მგზავრობის დროის ალბათური განაწილებები

სტოქასტური განთავსება შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით:

სტოქასტური განთავსების მეთოდი:

განთავსება, რომლითაც ყველა მგზავრი ირჩევს თავის უმოკლეს გზას წარმოებიდან დანიშნულების ადგილამდე (საცობის ეფექტები არ არის გათვალისწინებული).

სუბიექტური t_r მარშრუტის მგზავრობის დრო შეიძლება ფორმულირდეს შემდეგი სახით (შერჩევითი ცვლადები დაბეჭდილია მუქად):

$$t_r = t_r + \sqrt{(\Theta L_r)z} \quad (7.21)$$

სადაც:

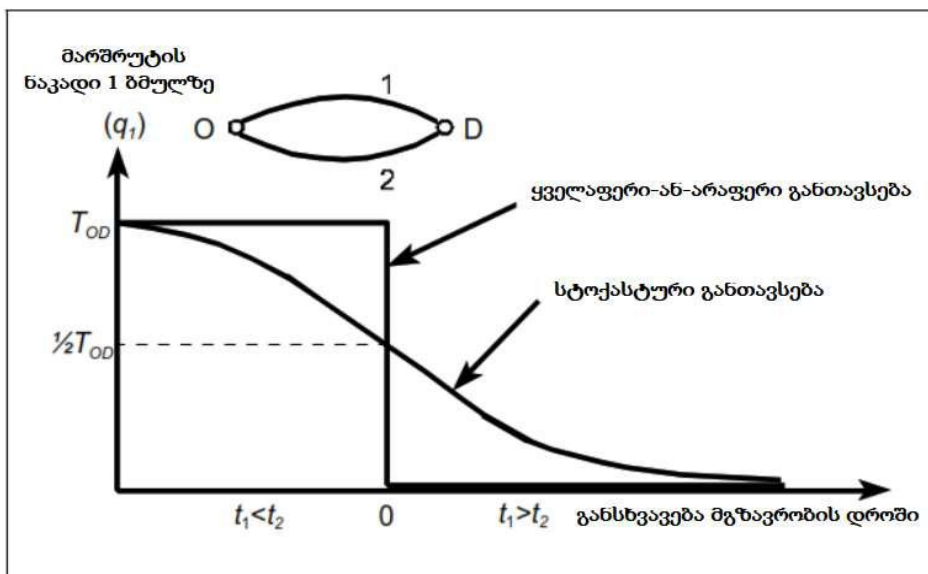
$t_r = r$ მარშრუტის ობიექტური მგზავრობის დრო

Θ = დისპერსიული პარამეტრი

$L_r = r$ მარშრუტის სიგრძის საზომი

z წარმოადგენს ზოგიერთი განაწილების თანმხლებ შერჩევით ცვლადს

თითოეულ მარშრუტს აქვს მგზავრობის ნამდვილი დრო და მისი ალბათური განაწილება ცალკეული მგზავრებისათვის. ვიზიტები ორივე მარშრუტზე გადანაწილებულია იმის საფუძველზე, რომ გარკვეული მარშრუტი უმოკლესა. განაწილება შეიძლება გამოისახოს სიგმოიდური მრუდით (ეს არის მარშრუტებს შორის სუბიექტური მგზავრობის დროების სხვაობის ალბათური განაწილება, იხ. ფიგურა 7.6). როდესაც ორ მარშრუტს აქვს ერთი და იგივე ობიექტური t_r მარშრუტის სამგზავრო დრო, განაწილება წარმოებს ორმოცდაათი - ორმოცდაათზე.



ფიგურა 7.6: სტოქასტური და AON განთავსების მოდელებში ორ მარშრუტს შორის ნაკადების განაწილება

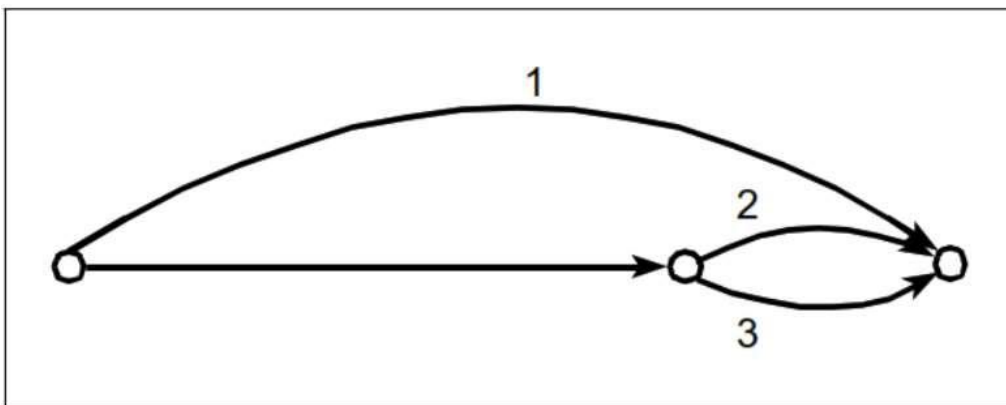
ობიექტური და სუბიექტური განზოგადებული მგზავრობის დროებს შორის განსხვავებისათვის არჩეული ალბათური განაწილებიდან გამომდინარე, ჩვენ ვღებულობთ სხვადასხვა მოდელებს. ხშირად გამოიყენება ალბათური განაწილების ორი ტიპი. როდესაც ალტერნატივების მხედვით მიზიდულობა სავარაუდოდ ურთიერთ დამოუკიდებელია, იდენტურად განაწილებული გუმბელის შერჩევითი ცვლადებით, ვღებულობთ ლოგიტ მოდელებს. როდესაც ეს ცვლადები წარმოადგენენ მრავალპარამეტრიან და ნორმალურად განაწილებულებს, შედეგად მიღებულ მოდელებს უწოდებენ პრობიტ მოდელებს. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში, z არის სტანდარტით ნორმალურად განაწილებული.

7.4.2. ლოგიტ განთავსების გადაწყვეტა

ლოგიტ მოდელი განიხილული იქნა მოდალობის არჩევანთან დაკავშირებულ თავში. ამრიგად, ამ ეტაპზე ჩვენ მხოლოდ განვიხილავთ მარშრუტის არჩევის საბოლოო ფორმულას:

$$\beta_{ijr} = \frac{\exp(-\gamma t_{ijr})}{\sum_p \exp(-\gamma t_{ijp})} \tag{7.22}$$

გამოთვლის მხრივ სიმარტივის გამო, ლოგიტ მოდელი ყველაზე პოპულარული მოდელია სტოქსტურ განთავსებაში. ამასთან, მას აქვს ერთი მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარე: თუ ხელმისაწვდომია ორზე მეტი მარშრუტი, რომელთაგან ორი ერთმანეთს მნიშვნელოვნად გადაფარავს (მაგალითად, იხ. ფიგურა 7.7), ყველა მარშრუტი კვლავ განიხილება, როგორც დამოუკიდებელი ალტერნატივა. ამას მიეყვართ გადაფარული მარშრუტების გადაჭარბებულ შეფასებასთან.



ფიგურა 7.7: სამ მარშრუტიანი ქსელის მაგალითი, რომელშიც ორი მარშრუტი მნიშვნელოვნადაა ერთმანეთზე გადაფარული

7.4.3. პრობიტ განთავსების გადაწყვეტა

ქსელებში პრობიტ განთავსება ვერ გადაწყდება ანალიტიკური ხერხებით. ამიტომ საოპერაციო მოდელები იყენებენ სიმულაციას. შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ, გარკვეული გონივრული ვარაუდების თანახმად, მარშრუტის დონის სტოქასტური ფორმულირება (რეალური ქცევითი მოდელი) შესაძლებელია გააზრებულ იქნას ბმულის დონის ექვივალენტური ფორმულირების სახით (იხილეთ Bovy, 1990). სუბიექტური t_a ბმულის მგზავრობის დრო შეიძლება ფორმულირდეს შემდეგი სახით:

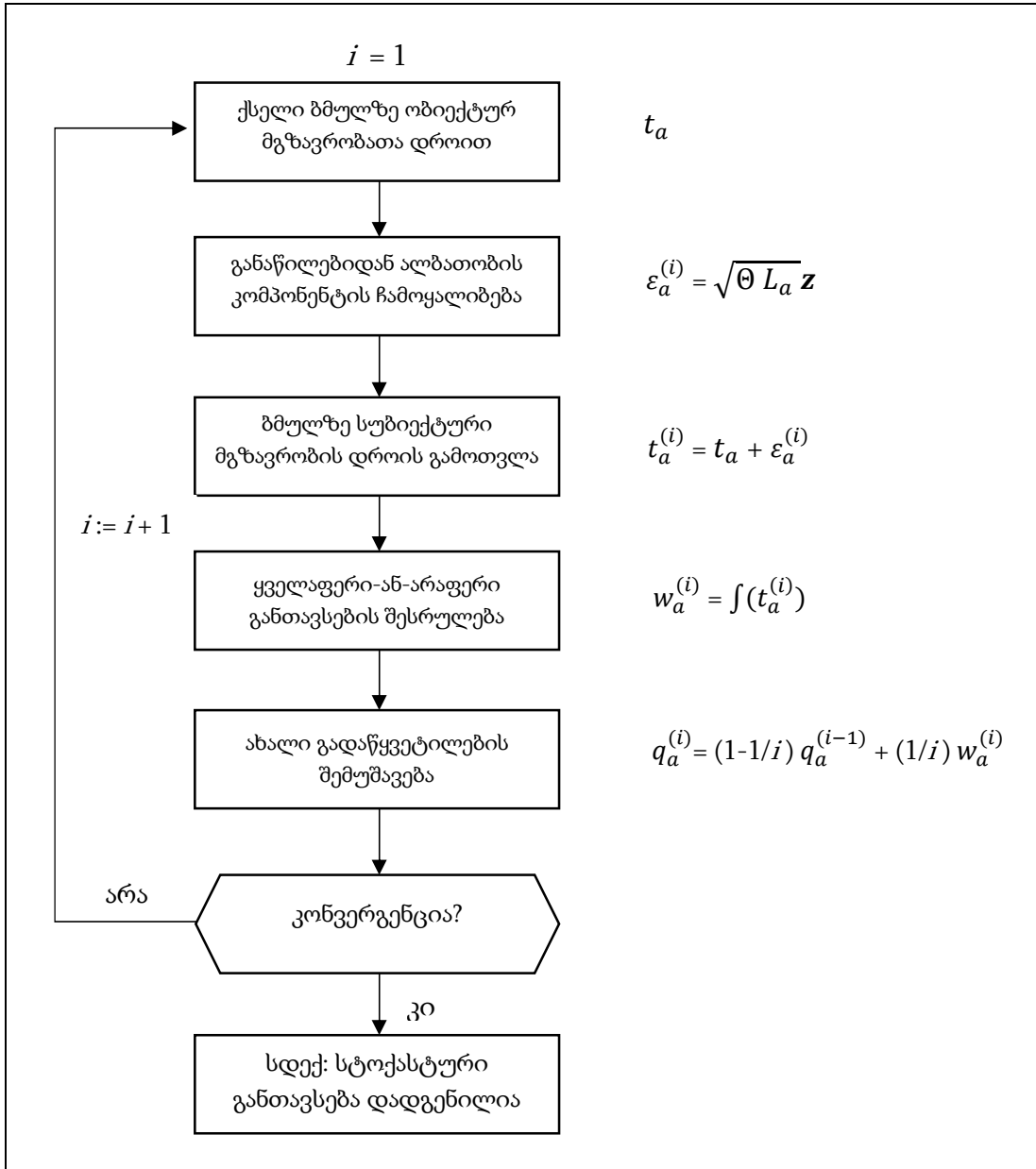
$$t_a = t_a + \sqrt{(\Theta L_a)z} \quad (7.23)$$

სადაც:

$t_a = a$ ბმულის ობიექტური მგზავრობის დრო

$L_a = a$ ბმულის სიგრძის ზომა (მაგ. დისტანცია)

z წარმოადგენს სტანდარტულად ნორმალური განაწილების შერჩევით ცვლადს.

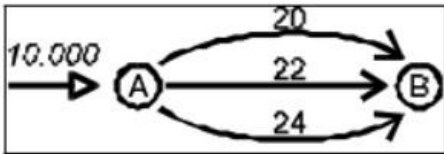


ფიგურა 7.8: სიმულაციის საშუალებით სტოქასტური განთავსების ალგორითმი

შეამოწმეთ, რომ (7.23) და (7.21) ექვივალენტურია. პრობიტ მოდელის ბმულით ფორმულირებაში უმოკლესი მარშრუტები განისაზღვრება ბმულის ალბათური განაწილებიდან მგზავრობის დროის შერჩევითი ნიმუშით. თითოეული ნიმუშის შემდეგ ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსება ხორციელდება აღმოჩენილ უმოკლეს მარშრუტებზე. ეს რამოდენიმეჯერ მეორდება. საბოლოოდ, მიღებული ნაკადი მარშრუტზე წარმოადგენს ყველა AON განთავსებათა შედეგების ჯამს გაყოფილს პროცესის იტერაციის რაოდენობაზე (იხ. ფიგურა 7.8). პრობიტ განთავსების უპირატესობას წარმოადგენს ის, რომ იგი გადაფარული მარშრუტების ალტერნატივებზე მოქმედებს ბუნებრივი გზით. ეს ხდება იმის გამო, რომ დამხმარე პარამეტრები მარშრუტის დონის ნაცვლად განსაზღვრულია ბმულის დონეზე.

მაგალითი 7.1: სიმულაციით პრობიტ განთავსების გადაწყვეტა

მოცემულია: სამი პარალელური მარშრუტი A და B – ს შორის, ობიექტური მგზავრობის დროებით 20, 22 და 24 წუთი, (7.9 ფიგურის) შესაბამისად. A – დან B – მდე 10 000 მგზავრობაა შესრულებული. დისპერსიის პარამეტრის მნიშვნელობაა 0.3 (მიღებული დაკვირვებებიდან). სუბიექტურ მგზავრობათა დრო ჩვეულებრივ ნაწილდება ობიექტური მგზავრობის დროის გარშემო თითოეული მარშრუტისათვის.



ფიგურა 7.9: სამი პარალელური მარშრუტი

კითხვა: რა სახით არიან მგზავრობები განაწილებული მოცემულ სამ მარშრუტზე?

გადაწყვეტილება: z – თვის შერჩევითი გენერატორის გამოყენებით (ხელმისაწვდომია ნებისმიერ კომპიუტერზე) თითოეული მარშრუტისთვის განისაზღვრება მარშრუტზე სუბიექტური მგზავრობის დრო (იხ. განტოლება (7.21)). შემდეგ ყველა მგზავრობა განთავსდება (ყველა-ან-არაფერი მეთოდით) უმოკლეს სუბიექტურ მარშრუტზე (რაც იწვევს დროებით $w_a^{(i)}$ მარშრუტის ნაკადს i იტერაციისათვის). შემდეგ ციკლში ეს პროცესი მეორდება და თითოეული იტერაციის შედეგად მიღებული მარშრუტის ნაკადები რეკურსიულად საშუალოვდება (რის შედეგადაც ვღებულობთ $T_r^{(i)}$). კონვერგენცია ფასდება საშუალო მარშრუტის ნაკადებში აბსოლუტური გადახრების ჯამით. ცხრილი 7.2 გვიჩვენებს ციკლების შედეგებს.

შეეცადეთ ამოხსნათ ეს ამოცანა თქვენს პერსონალურ კომპიუტერზე! შენიშვნა: შედეგები დამოკიდებულია გამოყენებულ შერჩევით გენერატორზე.

50 იტერაციის შემდეგ მგზავრობის განაწილებაა 7800; 1400; 800. ბოლო იტერაციის აბსოლუტური გადახრა 1% -ზე ნაკლებია (უფრო ზუსტად 90/10000). შედეგების უკეთესად გასაგებად რეკომენდებულია სუბიექტური მარშრუტის მგზავრობათა დროების ალბათური განაწილების ჩამოყალიბება.

ცხრილში გამოყენებულია შემდეგი განტოლებები:

$$(1) \quad t_r^{(i)} = t_r + \sqrt{\Theta L_r} z^{(i)} \quad \forall r \text{ (ამ მაგალითში აღებულია } L_r = t_r \text{)}$$

$$(2) \quad w_r^{(i)} = \begin{cases} T_{AB} & \text{თუ } t_r^{(i)} = \min(t_1^{(i)}, t_2^{(i)}, t_3^{(i)}) \\ 0 & \text{თუ } t_r^{(i)} > \min(t_1^{(i)}, t_2^{(i)}, t_3^{(i)}) \end{cases} \quad \forall r \text{ (ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსება)}$$

$$(3) \quad T_r^{(i)} = \left(1 - \frac{1}{i}\right) T_r^{(i-1)} + \frac{1}{i} w_r^{(i)} \quad \forall r$$

$$(4) \quad \Delta^{(i)} = \sum_r \left| T_r^{(i)} - T_r^{(i-1)} \right|$$

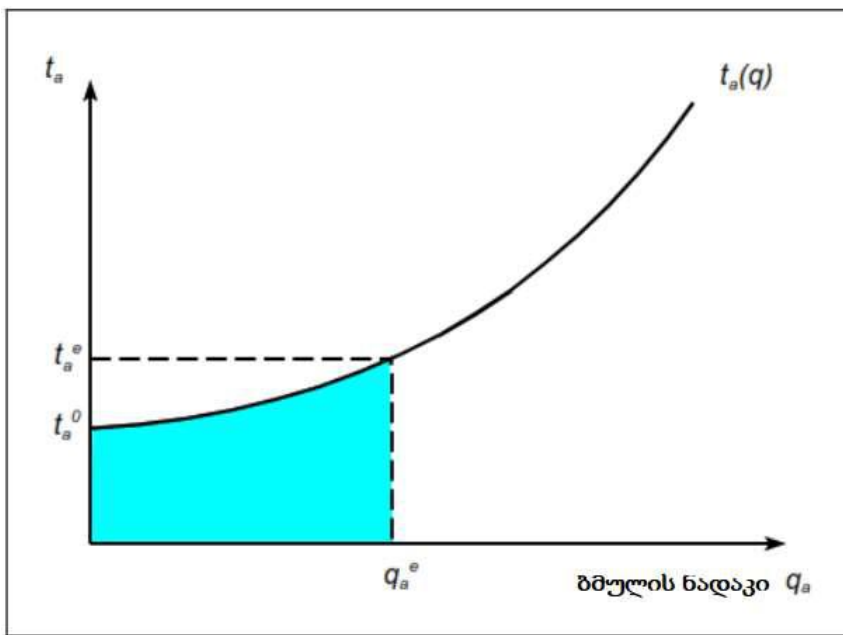
ობიექტური მგზავრობის დრო			θ			OD-ნაკადი			აბსოლ. გადახრის მიმდევრობა	
ციკლი	სუბიექტური მგზავრობის დრო t_r			დროებითი მარშრუტის ნაკადი w_r			მარშრუტის ნაკადი T_r			Δ
	20	22	24	0.3			10000			
i	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	
1	184	243	279	10000	0	0	10000	0	0	
2	211	229	251	10000	0	0	10000	0	0	0
3	182	222	271	10000	0	0	10000	0	0	0
4	214	182	205	0	10000	0	7500	2500	0	5000
5	204	208	222	10000	0	0	8000	2000	0	1000
6	203	221	197	0	0	10000	6667	1667	1667	3333
7	180	271	221	10000	0	0	7143	1429	1429	952
8	183	247	200	10000	0	0	7500	1250	1250	714
9	173	206	260	10000	0	0	7778	1111	1111	556
10	170	221	232	10000	0	0	8000	1000	1000	444
11	181	237	265	10000	0	0	8182	909	909	364
12	198	219	224	10000	0	0	8333	833	833	303
13	173	206	299	10000	0	0	8462	769	769	256
14	167	243	209	10000	0	0	8571	714	714	220
15	188	213	267	10000	0	0	8667	667	667	190
16	200	244	277	10000	0	0	8750	625	625	167
17	165	201	280	10000	0	0	8824	588	588	147
18	175	258	240	10000	0	0	8889	556	556	131
19	189	247	265	10000	0	0	8947	526	526	117
20	188	225	267	10000	0	0	9000	500	500	105
21	195	200	251	10000	0	0	9048	476	476	95
22	188	215	226	10000	0	0	9091	455	455	87
23	222	244	276	10000	0	0	9130	435	435	79
24	209	235	270	10000	0	0	9167	417	417	72
25	168	257	209	10000	0	0	9200	400	400	67
26	266	206	214	0	10000	0	8846	769	385	738
27	204	252	202	0	0	10000	8519	741	741	712
28	190	224	263	10000	0	0	8571	714	714	106
29	207	217	209	10000	0	0	8621	690	690	99
30	205	206	205	0	0	10000	8333	667	1000	621
31	236	197	208	0	10000	0	8065	968	968	602
32	224	225	246	10000	0	0	8125	938	938	121
33	236	220	219	0	0	10000	7879	909	1212	549
34	178	211	250	10000	0	0	7941	882	1176	125
35	158	237	199	10000	0	0	8000	857	1143	118
36	197	235	202	10000	0	0	8056	833	1111	111
37	204	266	274	10000	0	0	8108	811	1081	105
38	210	207	221	0	10000	0	7895	1053	1053	484
39	190	193	287	10000	0	0	7949	1026	1026	108
40	215	221	295	10000	0	0	8000	1000	1000	103
41	163	243	233	10000	0	0	8049	976	976	98
42	208	217	224	10000	0	0	8095	952	952	93
43	185	183	242	0	10000	0	7907	1163	930	421
44	183	256	218	10000	0	0	7955	1136	909	95
45	201	188	239	0	10000	0	7778	1333	889	394
46	197	266	250	10000	0	0	7826	1304	870	97
47	221	198	222	0	10000	0	7660	1489	851	370
48	212	254	224	10000	0	0	7708	1458	833	98
49	172	225	232	10000	0	0	7755	1429	816	94
50	240	291	250	10000	0	0	7800	1400	800	90

ცხრილი 7.2: (მაგალითი) სტოქასტური განთავსების ციკლი A და B – ს შორის სამი მარშრუტით, ბოუვის მეთოდის გამოყენებით (1990).

7.5. დეტერმინისტული წონასწორობის განთავსების მეთოდი

სტოქასტური განთავსების მოდელებისაგან განსხვავებით, დეტერმინისტული მოდელები არ ითვალისწინებენ ქცევით განსხვავებებს მგზავრებს შორის. მიუხედავად ამისა, ჯერ კიდევ შესაძლებელია მგზავრობათა განაწილება სხვადასხვა მარშრუტებზე, თუ ვივარაუდებთ, რომ მგზავრი ირჩევს უმოკლეს მარშრუტს მიზნის მისაღწევად, ხოლო ბმულების მომსახურების ატრიბუტების დონე დამოკიდებულია ბმულების დატვირთვებზე (იხ. ფიგურა 7.10). მოდელები, რომლებიც ამ პირობებს ითვალისწინებენ, ცნობილია როგორც წონასწორობის მოდელები.

წონასწორობის დეფინიციიდან გამომდინარე, შეიძლება განვასხვავოთ დეტერმინისტული წონასწორობის მოდელის ორი ტიპი; დეტერმინისტული მომხმარებლის წონასწორობის განთავსება (UE) და დეტერმინისტული სისტემური-წონასწორობის ან სისტემის ოპტიმალური (SO) განთავსება.



ფიგურა 7.10: ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქცია

7.5.1. მომხმარებლის - წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსება

7.5.1.1. UE განთავსების განმარტება

მომხმარებლის - წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსება შეიძლება განმარტებულ იქნას შემდეგი სახით.

მომხმარებლის - წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსება:

განთავსება, რომელსაც მივყავართ წონასწორობასთან და რომლის დროსაც მგზავრი ვერ შეძლებს მგზავრობის დროის გაუმჯობესებას მარშრუტების ცალმხრივად ცვლილებით.

UE – ს ფორმულირება ვორდროფის (1952) მიერ, რომელმაც აჩვენა, რომ დეტერმინისტული UE პირობები ექვივალენტურია:

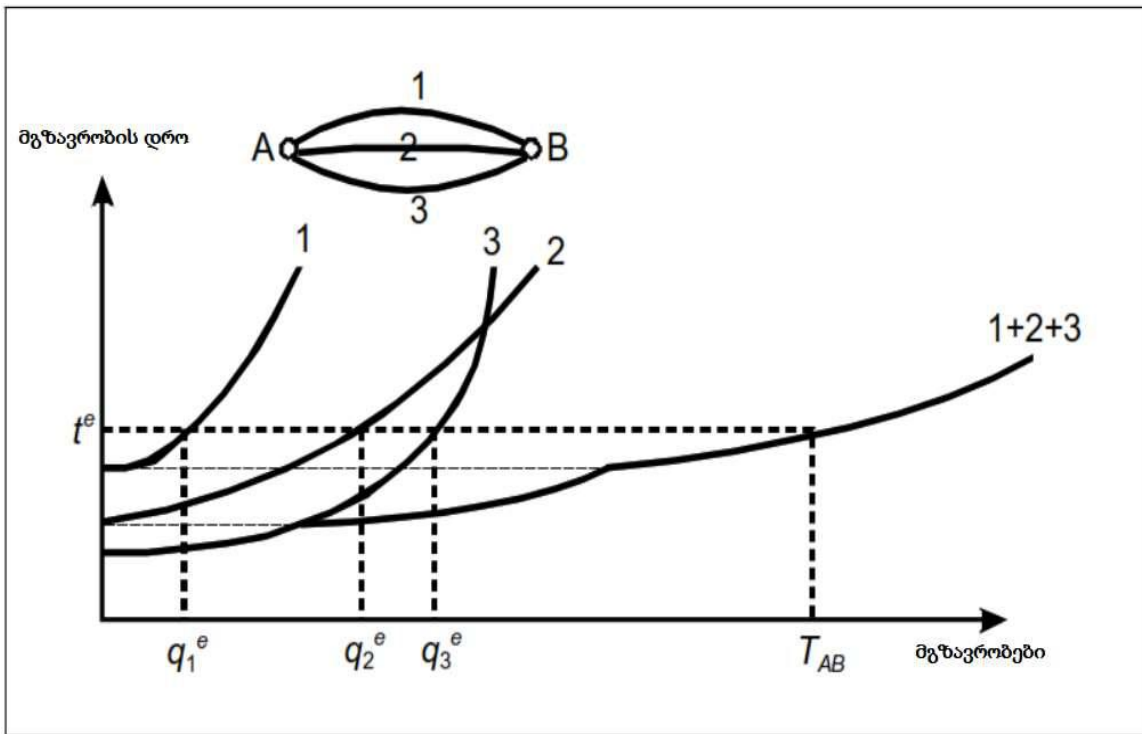
ნებისმიერი მარშრუტით მგზავრობის დრო თანაბარი უნდა იყოს იმავე წარმოებასა და დანიშნულების ადგილებს შორის სხვა დაშვებულ მარშრუტზე მგზავრობის დროისა და სხვა გამოუყენებელი მარშრუტით მგზავრობის დროზე არა უმეტესი.

ეს პრინციპი ცნობილია როგორც ვარდროფის (UE) პრინციპი.

მაგალითი 7.2: მომხმარებლის - წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსების გადაწყვეტა გრაფიკულად.

ამ შემთხვევაში, სამი მარშრუტია ილუსტრირებული. ვორდროფის თანახმად, მომხმარებლის - წონასწორობა უნდა შეიცავდეს შემდეგს:

$$t_a = t^e \text{ ყველა } q_a > 0, \text{ და } t_a > t^e \text{ თუ } q_a = 0 \quad (7.24)$$



ფიგურა 7.11: ვორდროპის პრინციპი

გარდა ამისა, მარშრუტზე მგზავრობათა ჯამი ტოლი უნდა იყოს A – დან B – ს მიმართულებით მგზავრობათა საერთო რაოდენობის:

$$q_1 + q_2 + q_3 = T_{AB} \quad (7.25)$$

ეს პრობლემა შეიძლება მოგვარდეს გრაფიკული გზით. განვიხილოთ 1, 2 და 3 ბმულზე $t_a(q_a)$ მგზავრობის დროის ფუნქციები (ფიგურა 7.11). ეხლა ჩავთვალოთ, რომ დაკმაყოფილებულია წონასწორობის ისეთი პირობები, როგორცაა ყოველ გამოყენებულ მარშრუტზე მგზავრობის დრო, ვთქვათ t^e -ს ტოლია. შემდეგში თითოეული წონასწორობისთვის t^e მგზავრობის დრო, შეიძლება ვიხილოთ 1, 2 და 3 ბმულებზე. უფრო მეტიც, შესაძლებელია 1, 2 და 3 ბმულებისათვის შემუშავდეს კომბინირებული $t(q_1 + q_2 + q_3)$ ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქცია, ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქციების ჰორიზონტალურად შეჯამებით (თითოეული წონასწორობის მგზავრობის დროისათვის, ემატება ბმულის მოცულობები). ამ კომბინირებული მგზავრობის დროის ფუნქციის შესადგენად, ჩვენ ვეძებთ T_{AB} მგზავრობებს ჰორიზონტალურ ღერძზე და t^e -ს კი ვერტიკალურ ღერძზე. წონასწორობის ბმულის დატვირთვები მოიპოვება ჰორიზონტალურ ღერძზე ბმულის დატვირთვის წაკითხვის გზით, სადაც ბმულის მგზავრობის დრო t^e -ს ტოლია, შედეგად ვღებულობთ q_1^e , q_2^e და q_3^e .

მიუხედავად იმისა, რომ ზემოთ მოყვანილი მაგალითი გვიჩვენებს წონასწორობის პრობლემების მოგვარების ეფექტურ გზას, რომელიც მოიცავს მხოლოდ ერთ OD - წყვილს, ასეთი მიდგომა არ გამოდგება უფრო რთული წონასწორობის პრობლემების გადასაჭრელად, რომლებიც მოიცავს ბევრ OD - წყვილებს და ბევრ ნაწილობრივ გადაფარულ მარშრუტებს. პრობლემა ამ შემთხვევაში მათემატიკურად უნდა მოგვარდეს.

7.5.1.2. მომხმარებლის-წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსების მათემატიკური აღწერა

7.3.1 და 7.4.1 ნაწილებში ჩატარებული სამუშაოების პარალელურად, ჩვენ უფრო დეტალურად დავახასიათებთ ზოგად განთავსების პრობლემას, როგორც ეს 7.2 ნაწილშია წარმოდგენილი.

დაშვებები:
 $t_a = t_a(q_a)$ (მგზავრობის დრო დამოკიდებულია ნაკადზე);
 $\theta = 0$ (ქცევითი განსხვავებების გამო მარშრუტები არ იყოფა);

განმსაზღვრელი შეზღუდვების მარტივდება:

$$(1) t_a = t_a(q_a) \tag{7.26}$$

$$(2) \beta_{ijr} = \beta_{ijr}(t_a(q_a)) \tag{7.27}$$

$$(3) t_{ijr} = \sum_a \alpha_{ijr}^a t_a(q_a) \tag{7.28}$$

$$(4) T_{ijr} = \beta_{ijr}(t_a(q_a)) T_{ij} \tag{7.29}$$

$$(5) q_a = \sum_i \sum_j \alpha_{ijr}^a \beta_{ijr}(t_a(q_a)) T_{ij} \tag{7.30}$$

ბექმანის წყალობით (1956) ხელმისაწვდომი გახდა რთული ქსელებისათვის წონასწორობის პრობლემების გადაჭრის ტექნიკა. ბექმანმა აჩვენა, რომ დეტერმინისტული UE პრობლემის გადაჭრა მსგავსია მოცემული მინიმიზაციის პრობლემის გადაჭრისა:

$$\min_{q_a} Z = \sum_a \int_0^{q_a} t_a(x) dx \quad (7.31)$$

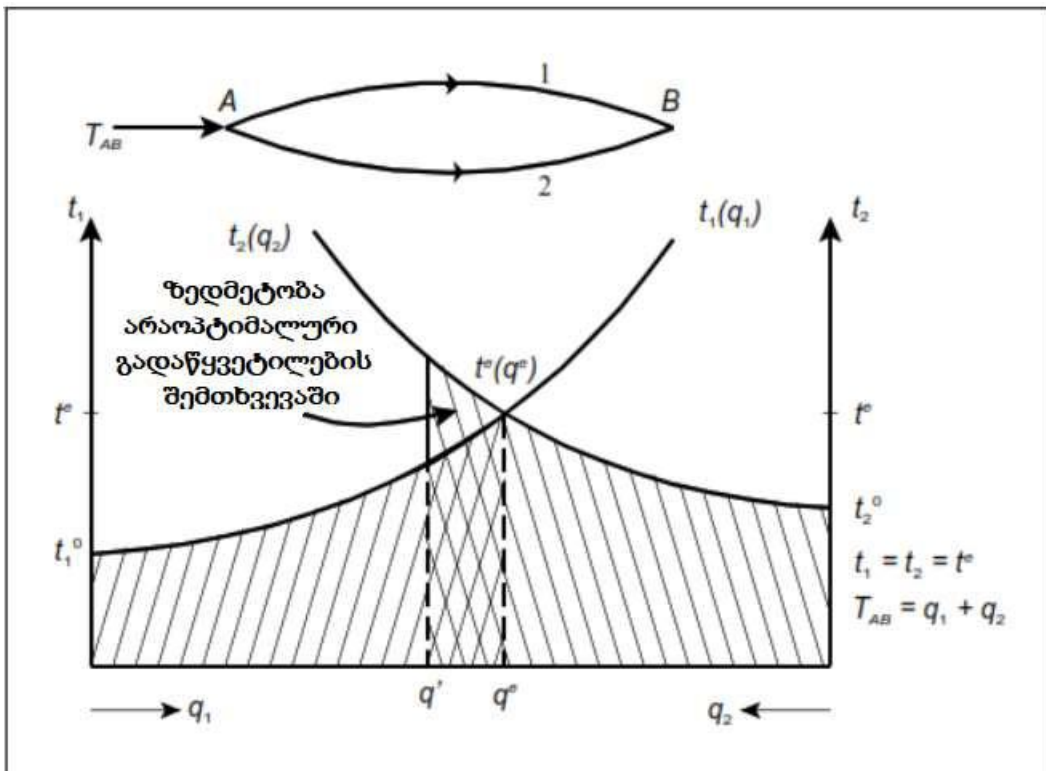
$$\text{s.t. } \sum_r T_{ijr} = T_{ij} \quad \forall i, j \quad (7.32)$$

$$T_{ijr} \geq 0 \quad \forall i, j, r \quad (7.33)$$

$$q_a = \sum_i \sum_j \sum_r \alpha_{ijr}^a T_{ijr} \quad \forall a \quad (7.34)$$

მინიმიზაციის ეს პრობლემა (ცნობილი, როგორც ბექმანის ფორმულირება) შეიძლება იქნას აღწერილი შემდეგი სახით: დაადგინეთ q_a ბმულის ნაკადები ისე, რომ შესაბამისი არეალის ბმულზე მგზავრობის დროის ფუნქციების ჯამი იყოს მინიმალური (იხ. ფიგურა 7.12), ნაკადის კონსერვაციის შეზღუდვების და არაუარყოფითობის გათვალისწინებით.

აქ წარმოდგენილია მათემატიკური მოსაზრება, რომ ბექმანის ოპტიმიზაციის პრობლემის მოგვარება და დეტერმინისტული UE პრობლემის გადაჭრა ეკვივალენტურია. ამის ნაცვლად, ჩვენ ამ მოსაზრებას გავხდით ინტუიციურად გასაგებს, ორ ბმულიანი ქსელისათვის გრაფიკულად გამოსახვით (იხ. ფიგურა 7.12).



ფიგურა 7.12: დეტერმინისტული მომხმარებლის-წონასწორობის გრაფიკული გამოსახულება

ჰორიზონტალური ღერძი ზუსტად ზომავს T_{AB} მგზავრობათა რაოდენობას. ეს მნიშვნელობა უნდა გადანაწილდეს 1 და 2 ბმულებს შორის ისე, რომ მგზავრობის დროები იყოს თანაბარი (ვორდროპის პირობა). ამ შედეგის გრაფიკული გამოსახულება წარმოადგენს ერთმანეთის საპირისპირო მგზავრობის დროის ორ მრუდს. ნაკადის წონასწორობის q წერტილი არის იქ, სადაც ფუნქციები თანაბარია. (7.31) ობიექტური ფუნქციის მინიმიზაცია იწვევს ბმულის მგზავრობის დროის ღერძზე 0 - სა q_a წერტილებს შორის მოქცეული მთლიანი ტერიტორიების მინიმუმამდე შემცირებას. ნებისმიერი სხვა q წერტილი წონასწორობის q^e წერტილის მარცხნივ ან მარჯვნივ (მაგ. წერტილი q') გამოიწვევს უფრო დიდ ფართობს მგზავრობის დროების მრუდებს შორის. ამრიგად, (7.31) და (7.34) მათემატიკურად გადაჭრა განაპირობებს დეტერმინისტულ მომხმარებლის-წონასწორობას.

როგორც ზემოთ მოყვანილი პროგრამის ალტერნატივა, ექვივალენტური მინიმიზაციის პროგრამა გამოხატულია მხოლოდ ბმულის დამახასიათებელი ცვლადებით:

$$\min_{q_a} Z = \sum_a \int_0^{q_a} t_a(x) dx \quad (\text{ობიექტური ფუნქცია}) \quad (7.35)$$

$$\text{s.t. } q_a = \sum_{s \in S} q_a^s \quad \forall a \in A \quad (\text{ნაკადის კონსერვაცია}) \quad (7.36)$$

$$T_{ms} + \sum_{a \in M^-} q_a^s = \sum_{a \in M^+} q_a^s \quad \forall s \in S \quad \forall m \in N \setminus \{s\} \quad (\text{ნაკადის კონსერვაცია ბმულზე}) \quad (7.37)$$

$$q_a^s \geq 0 \quad \forall a \in A \quad \forall s \in S \quad (\text{არა-უარყოფითობის შეზღუდვები}) \quad (7.38)$$

სიმბოლოების ახსნა იხილეთ 7.3.1 ქვეთავში

7.5.1.3. ბმულის წარმადობის ფუნქციები

წონასწორობის განთავსების ყველა პროცედურაში საკვანძო როლს ასრულებს ბმულის წარმადობა (მგზავრობის დრო). ეს ფუნქციები იძლევა მათემატიკურ წარმოდგენას მგზავრობის დროსა და ბმულის ნაკადს შორის დამოკიდებულებაზე. ამ ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება თავისუფალი ნაკადის მგზავრობის დროს, ხოლო ფუნქციის გრადიენტი დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალებებს შორის ურთიერთქმედების მაჩვენებელზე. ზოგადად, ურთიერთქმედების მაჩვენებელი და შესაბამისად მგზავრობის დროის ფუნქციის გრადიენტი იზრდება ნაკადთან ერთად, რასაც მივყავართ ამოზნექილ ფუნქციამდე. თეორიულად, მგზავრობის დრო უნდა უახლოვდებოდეს უსასრულობას, როდესაც

ნაკადი აღწევს სიმძლავრის მაქსიმუმს. ბმულის წარმადობის ფუნქციები უნდა იქნას განსაზღვრული სიმძლავრის გადამეტების შემთხვევაშიც, რადგან ასეთი ნაკადები პრაქტიკაში არ არსებობს. ამასთან, არსებობს გამოთვლის მხრივ უპირატესობები მგზავრობის დროის ფუნქციების გამოყენებისას, რომელიც ასევე გამოიყენება სიმძლავრეების გადამეტების შემთხვევაში, ვინაიდან მრავალი ალგორითმი ითვლის მომხმარებლის-წონასწორობას იტერაციული მეთოდით. შუალედურმა გადაწყვეტილებებმა შეიძლება დაარღვიოს ბმულის წარმადობის მიერ დაწესებული შეზღუდვები.

ბმულის-წარმადობის ფუნქციების მიღება

ბმულის ღირებულების ფუნქციები შეიძლება მიღებული იქნას სხვადასხვა გზით: ჰიდროდინამიკური თეორიის გამოყენებით (ე.ი. სითხეების ანალოგის გამოყენება) და რიგთა თეორიის გამოყენებით.

ფუნდამენტური დიაგრამა ემყარება ჰიდროდინამიკის თეორიას, როგორც თავდაპირველად იყო ჩამოყალიბებული 1995 წელს ლაითჰილისა და ვითჰემის მიერ. ფუნდამენტური დიაგრამა განსაზღვრავს კავშირს ავტომობილის სიჩქარესა და მოძრაობის სიმჭიდროვეს შორის (მოძრაობის სიმკვრივე არის ავტომობილების რაოდენობა კილომეტრ გზაზე), ანუ იგი განსაზღვრავს თუ რა სიჩქარით უნდა იმოძრაოს მძღოლმა არსებული გზიდან გამომდინარე. შეგახსენებთ, რომ სიჩქარე, ნაკადი და სიმკვრივე ურთიერთდამოკიდებულია: ნაკადი = სიჩქარე * სიმკვრივე. აქედან გამომდინარე, სიჩქარესა და სიმკვრივეს შორის ურთიერთობა აგრეთვე გულისხმობს ურთიერთობას სიჩქარესა და ნაკადს და ნაკადსა და სიმკვრივეს შორის.

რიგთა თეორია სხვაგვარად წარმოადგენს ბმულის წარმადობას: იგი განსაზღვრავს მგზავრობის დროს, როგორც სტოქასტურ, მგზავრობის გენერაციის პროცესსა და ფიქსირებულ ან სტოქასტურ მოცულობას შორის ურთიერთქმედების მოსალოდნელ შედეგს. მგზავრობის გენერირების ტემპის ზრდასთან ერთად იზრდება ალბათობა იმისა, რომ მოთხოვნა დროებით გადააჭარბებს სიმძლავრეებს, გაიზრდება საცობები და შესაბამისად მგზავრობის დროც.

BPR ფუნქცია

BPR (საზოგადოებრივი გზების ბიურო) ფორმულირება წარმოადგენს ყველაზე ხშირად გამოყენებად ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქციებს (იხ. ფიგურა 7.13). BPR ფუნქცია აკავშირებს ბმულის მგზავრობის დროს, როგორც ამ ბმულის ნაკადი/სიმძლავრე შეფარდების კოეფიციენტს, შემდეგი სახით:

$$t_a(q_a) = t_a^0 \left(1 + \alpha \left(\frac{q_a}{c_a} \right)^\beta \right) \tag{7.39}$$

სადაც:

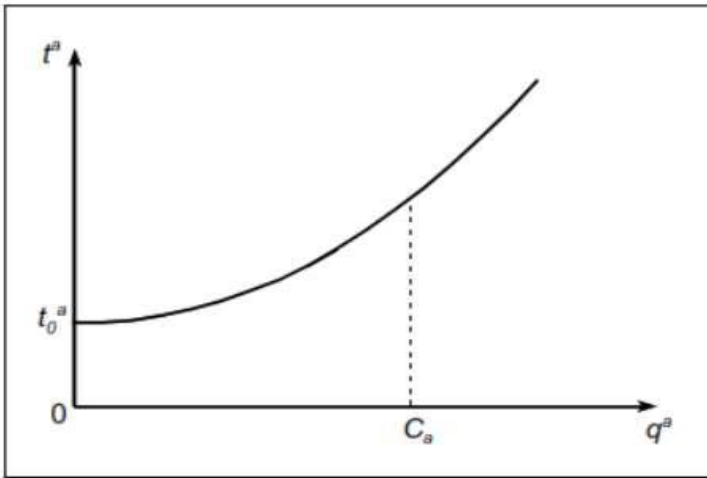
t_a = (გადატვირთული) მგზავრობის დრო a ბმულზე

q_a = ნაკადი a ბმულზე

t_a^0 = თავისუფალი-ნაკადის მგზავრობის დრო a ბმულზე

C_a = სიმძლავრე a ბმულზე

α, β წარმოადგენენ პარამეტრებს



ფიგურა 7.13: BPR - ფუნქცია

მიუხედავად იმისა, რომ წლების განმავლობაში ამგვარი ფუნქციების მრავალი სხვადასხვა ფორმულირება იქნა შემოთავაზებული, BPR ფუნქცია კარგადაა მორგებული მგზავრობის განთავსების მოდელებთან ერთად გამოსაყენებლად. შესაფერისი პარამეტრების არჩევანით, ეს ფუნქცია შეიძლება წარმოადგენდეს ნაკადის შეფერხების მრავალფეროვან დამოკიდებულებას (მათ შორის, სხვა მრავალი ნაკადის შეფერხების მოდელების ჩათვლით) და იგი გამოიყენება მგზავრობის განთავსების მოდელების მიერ TRANSCAD 3.0-ში.

ჩვეულებრივ, α და β - ას მნიშვნელობებია შესაბამისად 0.15 და 4.0. ამასთან, სხვა მნიშვნელობები შეიძლება და უნდა იქნას გამოყენებული სხვაგვარ გარემოებაში. მაგალითად, ეს პარამეტრები შეიძლება იქნას მოდიფიცირებული, რათა განვსაზღვროთ ბმულთან დაკავშირებული საცობის სავარაუდო ეფექტი კვეთაზე.

დევიდსონის ფუნქცია

სხვა, კარგად ცნობილ ბმულის წარმადობის ფუნქციას წარმოადგენს დევიდსონის ფუნქცია (დევიდსონი, 1966):

$$t_a(q_a) = t_a^0 \left(1 + J \frac{q_a}{C_a - q_a} \right) \quad (7.40)$$

სადაც J არის პარამეტრი, რომელიც ასახავს გზის ტიპს, დიზაინის სტანდარტს და ა.შ. დევიდსონის ფუნქცია არ არის განსაზღვრული q_a მნიშვნელობებისათვის, რომელიც აღემატება C_a გზის სიმძლავრეს. მიუხედავად იმისა, რომ პრაქტიკაში ასეთი ნაკადები არ გვხვდება, ისინი შეიძლება აღმოჩნდნენ, როგორც შუალედური გადაწყვეტილება წონასწორობის განთავსების პრობლემების გადაჭრისას იტერაციული მეთოდით (იხ. შემდეგი თავი). ამიტომ თანამედროვე მოდელები იყენებენ დევიდსონის ფუნქციის მოდიფიცირებულ ვერსიებს, ისეთივეს, როგორიც შემოთავაზებული იქნა 1991 წელს ტისატოს მიერ:

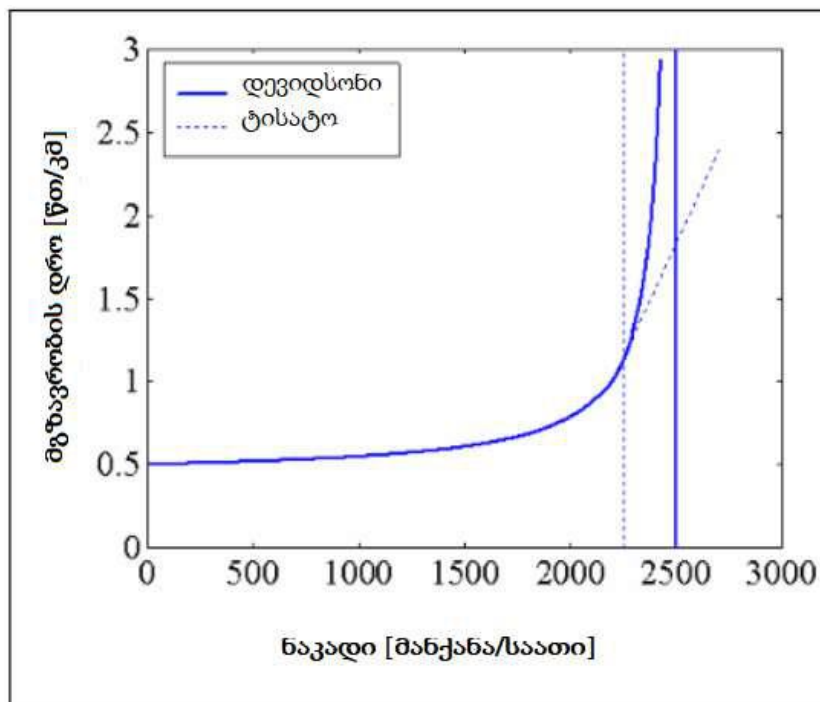
როცა $q_a \leq \beta C_a$, $\beta \approx 0.9$:

იხილეთ განტოლება (7.40)

სსხვაგვარად:

$$t_a(q_a) = t_a^0 \left(1 + J \frac{\beta C_a}{C_a - \beta C_a} + J C_a \frac{(q_a - \beta C_a)}{(C_a - \beta C_a)^2} \right) \quad (7.41)$$

დევიდსონის მოდიფიცირებული ფუნქცია ტოლია თავდაპირველი ფუნქციისა 90%-იანი ნაკადის სიმძლავრის ფარგლებში, მაგრამ ამ მნიშვნელობის ზევით კი წარმოადგენს დევიდსონის წრფივ ინტერპოლაციას.



ფიგურა 7.14: დევიდსონის და მოდიფიცირებული დევიდსონის ფუნქცია

შეფერხებები კვანძზე

ქსელი შედგება ბმულებისა და კვანძებისგან. ზემოთ მოყვანილი მგზავრობის დროის ფუნქციები განსაზღვრულია ბმულებისათვის. ამასთან, პრაქტიკაში კვანძები ხშირად საცობიდან გამომდინარე დატვირთვის მთავარ წყაროს წარმოადგენს. ამის მაგალითებია კვანძები ურბანულ ქსელებში და ავტომაგისტრალზე შერწყმის მონაკვეთები. ამ მიზეზით, ხშირად კვანძზე მოძრაობა მიმართულებების მიხედვით ცალ-ცალკე კოდირდება (იხ. თავი 3). გაითვალისწინეთ, რომ კონკრეტული მიმართულებით მგზავრობის დრო დამოკიდებულია არა მხოლოდ ამ მიმართულების ნაკადზე, არამედ ასევე კონფლიქტური მიმართულებების ნაკადებზე, ანუ მგზავრობის დროის ფუნქციები კვანძის სხვადასხვა მიმართულებებისათვის აღარ არის გაყოფადი.

7.5.1.4. მომხმარებლის-წონასწორობის დეტერმინისტული განთავსების პრობლემის გადაჭრა

ვორდროფმა წარმოადგინა მომხმარებლის წონასწორობის პრინციპი 1952 წელს და მხოლოდ 4 წლის შემდეგ ბექმანმა 1956 წელს შემოგვთავაზა მკაცრი მათემატიკური ჩარჩო, რათა გამოეხატა ეს პრინციპი, როგორც მათემატიკური პროგრამა. ამის მიღწევას მრავალი წელი დასჭირდა, ვიდრე პრაქტიკაში რეალიზაციის მიზნით არ იქნა შესაფერისი ალგორითმი შემოთავაზებული და ტესტირებული.

ბექმანმა წონასწორობის განთავსების პრობლემა შეადარა წონასწორობის პრობლემებს, რომლებიც გვხვდება თეორიულ მექანიკაში. ასეთი პრობლემების ერთერთი მახასიათებელია ის, რომ ისინი შეიძლება გამოხატული იქნენ, როგორც ექსტრემალური პრობლემები. მან აჩვენა, რომ, როდესაც ნებისმიერი a ბმულის t_a ღირებულება წარმოადგენს მხოლოდ a ბმულის q_a ნაკადის ფუნქციას, ხოლო ბმულის წარმადობის ფუნქციები იზრდება, მაშინ q_a ნაკადები, რომლებიც აკმაყოფილებენ ვორდროფის (პირველ) პრინციპს უნიკალურია და ტოლია იმის, რაც ახდენს (7.31) განტოლების მინიმიზაციას და ექვემდებარება (7.32) - (7.34) განტოლებებს.

ამ მინიმიზაციის პრობლემის გადასაჭრელად ჩვეულებრივ გამოყენებული არის ამოხსნეილი კომბინაციის ალგორითმი, რომელიც თავდაპირველად ფრენკმა და ვოლფმა შემოგვთავაზეს 1956 წელს, როგორც წრფივი შეზღუდვების მქონე კვადრატული პროგრამირების პრობლემების გადაჭრის პროცედურა; იგი ასევე ცნობილია როგორც FW მეთოდი.

ქსელებში ამ პრობლემის ეფექტურად გადასაჭრელად, შემდეგი ალგორითმი შეიძლება იქნას გამოყვანილი.

ფრანკ - ვოლფის ალგორითმი დეტერმინისტული UE განთავსების პრობლემის გადასაჭრელად:

1. [ინიციალიზაცია]
 ავიღოთ $i := 1$, და შევასრულოთ AON განთავსება დაფუძნებული $t_a = t_a(0)$.
 ეს იძლევა ნაკადის ვექტორს $\underline{q}_a^{(i)}$.

2. [განაახლეთ ბმულის მგზავრობის დრო]
 გამოთვალეთ $t_a = t_a(\underline{q}_a^{(i)}) \quad \forall a$.

3. [დაადგინეთ მიმართულება]
 შეასრულოთ AON განთავსება, რომელიც დაფუძნებულია t_a -ზე. ამას
 მივყავართ ნაკადის დამხმარე $w_a^{(i)}$ ვექტორთან

4. [ბიჯის ზომის განსაზღვრა]
 იპოვეთ $\alpha^{(i)}$, რომელიც აგვარებს:

$$\min_{0 \leq \alpha \leq 1} \sum_a q_a^{(i) + \alpha(w_a^{(i)} - q_a^{(i)})} \int_0^{q_a} t_a(x) dx \quad (7.42)$$

ამ ბიჯზე უფრო მარტივი მიდგომა $\alpha^{(i)} = 1/i$ არჩევია. ამ მიდგომას ეწოდება მიმდევრობითი გასაშუალების მეთოდი (MSA).

5. [გადადით]
 განსაზღვრეთ $q_a^{(i+1)} = q_a^{(i)} + \alpha^{(i)}(w_a^{(i)} - q_a^{(i)}) \quad \forall a$.

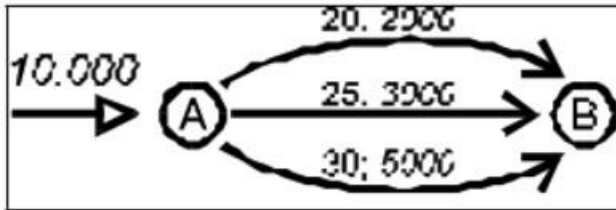
6. [კონვერგენციის ტესტი]

თუ გარკვეული, წინასწარ განსაზღვრული კონვერგენციის კრიტერიუმი დაკმაყოფილებულია, მაშინ შეჩერდით. წინააღმდეგ შემთხვევაში განსაზღვრეთ $i := i + 1$ და დაუბრუნდით მეორე (2) ბიჯს.

მდგრადი მდგომარეობის UE პრობლემა ჩამოყალიბებულია როგორც (7.31) - (7.34) ასევე (7.35) - (7.38) სახით. ლებლანკმა დაადასტურა, რომ ოპტიმიზაციის ეს პრობლემა ამოხსნეილია q_a ბმულის ნაკადებთან შესაბამისობაში. ამასთან, ეს პრობლემა არ არის ამოხსნეილი T_{ijr} მარშრუტის ნაკადებთან შესაბამისობაში. ეხლა ჩვენ გამოვიყვანთ ალგორითმს UE პრობლემის გადასაჭრელად.

მაგალითი 7.3: დეტერმინისტული მომხმარებლის-წონასწორობის განთავსების გადაწყვეტა

მოცემულია: სამი პარალელური მარშრუტი A და B – ს შორის, თავისუფალი ნაკადის მგზავრობის დროით 20, 25 და 30 წუთი, შესაბამისი 2000, 3000 და 5000 სატრანსპორტო საშუალება/საათში ნაკადით (იხ. ფიგურა 7.15).



ფიგურა 7.15: სამი პარალელური მარშრუტი

A – დან B – მდე 10 000 მარშრუტია. ყველა მგზავრობის დროის ფუნქციას აქვს ფორმა:

$$t_a = t_a^0 (1 + 0.15 (\frac{q_a}{c_a})^4) \tag{7.43}$$

შეკითხვა: როგორ არის განაწილებული ნაკადები მოცემულ სამ მარშრუტზე და მგზავრობის რა დროა საჭირო?

ამოხსნა:

ბიჯი 0: დაიწყეთ ცარიელი ქსელით ($q_a = 0$ ყველა a ბმულისთვის).

ბიჯი 1: გამოთვალეთ შესაბამისი მგზავრობის დროები თითოეულ მარშრუტზე, (გაითვალისწინეთ, რომ თითოეული მარშრუტი მხოლოდ ერთი ბმულისგან შედგება, ისე რომ ბმულის ნაკადი ტოლია მარშრუტის ნაკადის და ბმულის მგზავრობის დრო იგივეა რაც მარშრუტი მგზავრობის დრო). განათავსეთ ყველა მგზავრობა უმოკლეს მარშრუტზე (AON განთავსება). ეს იძლევა პირველ წონასწორობის ნაკადის ნიმუშს.

ბიჯი 2: გამოთვალეთ მგზავრობის დრო, რომელიც შეესაბამება წინა ეტაპზე აღმოჩენილ წონასწორობის ნაკადებს. შემდეგ შეასრულეთ AON განთავსება უმოკლეს მარშრუტზე, რაც გამოიწვევს დამხმარე ნაკადს. წონასწორობის ნაკადის ახალი სქემა განისაზღვრება წინა წონასწორობის ნაკადისა და დამხმარე ნაკადის საშუალო შეწონილით. ამ მაგალითში გამოიყენება თანმიმდევრული გასაშუალოების მეთოდი. გაიმეორეთ ეს პროცესი მანამ, სანამ წონასწორობის ნაკადის ან წონასწორობის მგზავრობის დრო აღარ შეიცვლება მნიშვნელოვნად (კონვერგენცია).

7.3 ცხრილში მოცემულია იტერაციების შედეგები. შეეცადეთ გამოიყვანოთ ეს მაგალითი თქვენს კომპიუტერზე!

50 იტერაციის შემდეგ მარშრუტის მგზავრობის დროები თითქმის თანაბარია (ვორდროფის მოთხოვნა) და მგზავრობის განთავსება 2800; 3400; 3800. საბოლოო ციკლის აბსოლუტური ცვლილება 3% -ზე ნაკლებია (253/10000 უფრო მეტი კონკრეტიკისათვის).

რა შეგვიძლია ვთქვათ მგზავრობის ხარისხზე (მაგალითად, გადატვირთულობა) თითოეულ მარშრუტზე მოცემული სამი მარშრუტიდან?

ცხრილში გამოიყენებულია შემდეგი განტოლებები:

1. წრფივი პროგრამა: $\min_{w_a} \sum_a t_a(q_a^{(i)}) w_a$
2. $\alpha^{(i)} = 1/i \times 100\%$
3. $T_r^{(i)} = (1 - \alpha^{(i)}) T_r^{(i-1)} + \alpha^{(i)} w_r^{(i)} \quad \forall r$
4. $\Delta^{(i)} = \sum_r |T_r^{(i)} - T_r^{(i-1)}|$

თავისუფალი ნაკადის მგზავრობის დრო			მოცულობა			OD-ნაკადი TAB			აბსოლ. გადახრის მიმდევრობა		
ციკლი	მარშრუტის მგზავრობის დრო L_r			დროებითი მარშრუტის ნაკადი W_r			α	მარშრუტის ნაკადი T_r			Δ
i	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	MSA	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2	მარშრუტი 3	
0				0	0	0		0	0	0	
1	20	25	30	10000	0	0	100	10000	0	0	
2	1895	25	30	0	10000	0	50	5000	5000	0	10000
3	137	54	30	0	0	10000	33	3333	3333	3333	6667
4	43	31	31	0	10000	0	25	2500	5000	2500	3333
5	27	54	30	10000	0	0	20	4000	4000	2000	3000
6	68	37	30	0	0	10000	17	3333	3333	3333	2667
7	43	31	31	0	10000	0	14	2857	4286	2857	1905
8	32	41	30	0	0	10000	13	2500	3750	3750	1786
9	27	34	31	10000	0	0	11	3333	3333	3333	1667
10	43	31	31	0	10000	0	10	3000	4000	3000	1333
11	35	37	31	0	0	10000	9	2727	3636	3636	1273
12	30	33	31	10000	0	0	8	3333	3333	3333	1212
13	43	31	31	0	10000	0	8	3077	3846	3077	1026
14	37	35	31	0	0	10000	7	2857	3571	3571	989
15	32	33	31	0	0	10000	7	2667	3333	4000	857
16	29	31	32	10000	0	0	6	3125	3125	3750	917
17	38	29	31	0	10000	0	6	2941	3529	3529	809
18	34	32	31	0	0	10000	6	2778	3333	3889	719
19	31	31	32	0	10000	0	5	2632	3684	3684	702
20	29	34	31	10000	0	0	5	3000	3500	3500	737
21	35	32	31	0	0	10000	5	2857	3333	3810	619
22	32	31	32	0	10000	0	5	2727	3636	3636	606
23	30	33	31	10000	0	0	4	3043	3478	3478	632
24	36	32	31	0	0	10000	4	2917	3333	3750	543
25	34	31	31	0	10000	0	4	2800	3600	3600	533
26	32	33	31	0	0	10000	4	2692	3462	3846	492
27	30	32	32	10000	0	0	4	2963	3333	3704	541
28	34	31	31	0	10000	0	4	2857	3571	3571	476
29	32	33	31	0	0	10000	3	2759	3448	3793	443
30	31	32	31	10000	0	0	3	3000	3333	3667	483
31	35	31	31	0	10000	0	3	2903	3548	3548	430
32	33	32	31	0	0	10000	3	2813	3438	3750	403
33	32	31	31	0	0	10000	3	2727	3333	3939	379
34	30	31	32	10000	0	0	3	2941	3235	3824	428
35	34	30	32	0	10000	0	3	2857	3429	3714	387
36	32	31	31	0	0	10000	3	2778	3333	3889	349
37	31	31	32	0	10000	0	3	2703	3514	3784	360
38	30	32	31	10000	0	0	3	2895	3421	3684	384
39	33	31	31	0	0	10000	3	2821	3333	3846	324
40	32	31	32	0	10000	0	3	2750	3500	3750	333
41	31	32	31	10000	0	0	2	2927	3415	3659	354
42	34	31	31	0	0	10000	2	2857	3333	3810	302
43	32	31	32	0	10000	0	2	2791	3488	3721	310
44	31	32	31	10000	0	0	2	2955	3409	3636	328
45	34	31	31	0	10000	0	2	2889	3556	3556	293
46	33	32	31	0	0	10000	2	2826	3478	3696	280
47	32	32	31	0	0	10000	2	2766	3404	3830	268
48	31	31	32	10000	0	0	2	2917	3333	3750	301
49	34	31	31	0	10000	0	2	2857	3469	3673	272
50	32	32	31	0	0	10000	2	2800	3400	3800	253

ცხრილი 7.3: (მაგალითი) A და B შორის განთავსებულ სამ მარშრუტზე დეტერმენტული მომხმარებლის-წონასწორობის განთავსების შესრულება.

- მაგალითის დასასრული -

7.5.2. დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსება

7.5.2.1. დეტერმინისტული SO განთავსების განმარტება

დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსება შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით:

დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსება:

განთავსება, რომელსაც მივყავართ სისტემის მდგომარეობამდე, რომელის ქსელშიც მგზავრობის საერთო ხარჯები მინიმუმამდე მცირდება.

SO განთავსებით, ვერცერთი მომხმარებელი ვერ შეცვლის მარშრუტებს სისტემაში მგზავრობის საერთო ხარჯების გაზრდის გარეშე, თუმცა შესაძლებელია, რომ მგზავრმა შეამციროს საკუთარი მგზავრობის ხარჯები. SO განთავსება შეიძლება ჩაითვალოს ისეთ მოდელად, რომელშიც გადატვირთულობა მინიმუმამდეა დაყვანილი, ხოლო მძღოლებს მიეთითებათ, რომელი მარშრუტები გამოიყენონ. SO განთავსება შეიძლება სასარგებლო იყოს (ITS) ინტელექტუალური სატრანსპორტო სისტემების სცენარების ანალიზის შემთხვევაში.

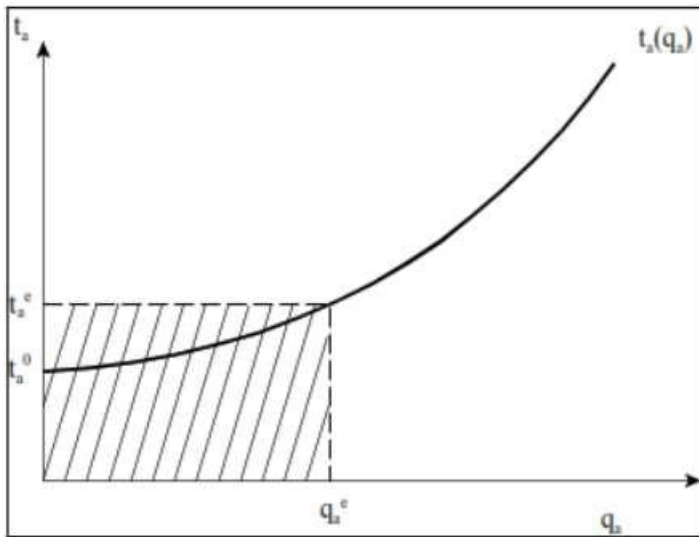
SO განთავსება გვიჩვენებს სატრანსპორტო სისტემის ყველაზე ეფექტურ შესრულებას. ამის გამო იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც საორიენტაციო მაჩვენებელი, რომლითაც შესაძლებელია შევადაროთ სხვა განთავსების მეთოდები ერთმანეთს. გარდა ამისა, SO განთავსების შედეგებმა შეიძლება მოგვცეს ინფორმაცია, თუ როგორ უნდა შევცვალოთ ქსელი ისეთი UE – ს მისაღებად, რომელიც ახლოსაა SO - სთან.

7.5.2.2. დეტერმინისტული სისტემის წონასწორობის მათემატიკური განმარტება

დეტერმინისტული SO მოდელის ფორმულირება და ვარაუდები UE - სთვის გაკეთებული ფორმულირებების და დაშვებების ექვივალენტურია, გარდა ობიექტური ფუნქციისა. SO განთავსების პრინციპიდან ირკვევა, რომ ობიექტური ფუნქცია, რომელიც უნდა იქნას მინიმიზირებული, მოცემულია შემდეგი სახით:

$$\min_{q_a} Z(q_a) = \sum_a t_a(q_a)q_a \quad (7.44)$$

გრაფიკულად, ეს ნიშნავს ოთხკუთხედების ფართობების ჯამის შემცირებას $t_a^e q_a^e$ (იხ. ფიგურა 7.16).



ფიგურა 7.16: SO - მინიმიზაციის ფორმულირება საშუალო მგზავრობის დროის ფუნქციის გამოყენებით

7.5.2.3. დეტერმინისტული სისტემის ოპტიმალური განთავსების პრობლემის გადაჭრა

მარტივად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ SO განთავსების პრობლემა შეიძლება მოგვარდეს UE -სთვის განმარტებული მიდგომის გამოყენებით (თავი 8.5.1.4).

დიფერენცირებად $f(x)$ ფუნქციისათვის სამართლიანია

$$f(x) = \int f'(x)dx \quad (7.45)$$

სადაც $f'(x)$ არის $f(x)$ -ის წარმოებული. ვინაიდან

$$\frac{d}{dq_a} [t_a(q_a)q_a] = t'_a(q_a)q_a + t_a(q_a) \quad (7.46)$$

ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ SO ობიექტური ფუნქცია (7.44) ფორმით:

$$\min_{\underline{q}_a} Z(\underline{q}_a) = \sum_a \int_0^{q_a} [t'_a(x)x + t_a(x)]dx \quad (7.47)$$

სადაც $t'_a(\cdot)$ არის ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქციის წარმოებული.

განვსაზღვროთ

$$t_a^*(x) = t'_a(x)x + t_a(x) \quad (7.48)$$

ფუნქცია $t_a^*(x)$ მოიხსენიება, როგორც ზღვრული ბმულის ღირებულების ფუნქცია. აქედან გამომდინარეობს, რომ SO შეიძლება წარმოვადინოთ:

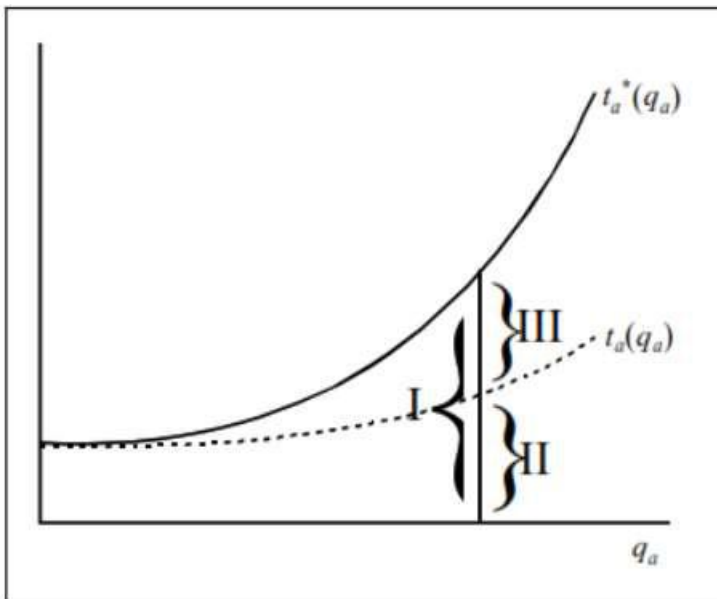
$$\min_{\underline{q}_a} Z(\underline{q}_a) = \sum_a \int_0^{q_a} t_a^*(x)dx \quad (7.49)$$

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, SO შეიძლება მოიძებნოს UE განთავსების გადაჭრით, ზღვრული ბმულის ღირებულების ფუნქციის გამოყენებით! UE განთავსების გადაჭრის მეთოდები განხილულია 7.5.1 თავში.

ზღვრული ბმულის ღირებულების ფუნქციის ინტერპრეტაცია არის ის, რომ იგი განსაზღვრავს დამატებითი სისტემის ჯამურ ღირებულებას ერთი დამატებითი მანქანისათვის x ნაკადის მოცულობაში. ზღვრული ღირებულება (I) შეიძლება გაიშალოს

- $t_a(x)$, მგზავრობის დრო, რომელსაც წარმოშობს დამატებითი მძღოლი a ბმულზე (II).
- $t'_a(x)x$, დამატებითი მგზავრობის დრო, რომელსაც სხვა მძღოლები წარმოშობენ ერთი დამატებითი მგზავრობით a ბმულზე (III).

იხილეთ ფიგურა 7.17.



ფიგურა 7.17: ზღვრული ბმულის ღირებულების ფუნქცია

მაგალითი 7.4: BPR ფუნქციის გამოყენება SO განთავსებაში

დავუშვათ, ჩვენ ვიყენებთ ცნობილ BPR ფუნქციას, როგორც ბმულის მგზავრობის დროის ფუნქციას:

$$t_a(q_a) = t_a^0 \left(1 + \alpha \left(\frac{q_a}{c_a} \right)^\beta \right) \tag{7.50}$$

SO განთავსების შესასრულებლად, ჩვენ უნდა გამოვიყენოთ შემდეგი (ზღვრული ბმულის) ღირებულების ფუნქცია:

$$t_a^*(q_a) = t_a^0 \frac{\alpha\beta}{c_a} q_a \left(\frac{q_a}{c_a}\right)^{\beta-1} + t_a^0 \left(1 + \alpha \left(\frac{q_a}{c_a}\right)^\beta\right) = t_a^0 \left(1 + \alpha(\beta + 1) \left(\frac{q_a}{c_a}\right)^\beta\right) \quad (7.51)$$

- მაგალითის დასასრული -

7.5.2.4. დატვირთვების ფასების დადგენა

წინა თავში ჩვენ ვნახეთ, რომ ბმულის ღირებულების რიგი ფუნქციების გათვალისწინებით, განთავსება, რომელიც მინიმუმამდე ამცირებს სისტემის მთლიან ხარჯებს, შეიძლება გამოითვალოს მომხმარებლის ოპტიმალური განთავსების შესრულებით, ზღვრული ბმულის ღირებულების ფუნქციების გამოყენებით. ამის შედეგები უფრო ფართოა, ვიდრე მხოლოდ გამოთვლითი ასპექტი. ეს ასევე ნიშნავს, რომ რეალური საგზაო სისტემის მდგომარეობა შეიძლება მიმართული იყოს სისტემის ოპტიმუმისაკენ, იმის მტკიცებით, რომ მისი მომხმარებლების მიერ გაწეული ხარჯები ტოლია მათი მგზავრობების ზღვრული ღირებულებისა (სადაც "ხარჯები" განისაზღვრება იმ ღირებულების ფუნქციის გათვალისწინებით, რომელსაც ახასიათებს მინიმუმამდე შემცირება). ასეთ სტრატეგიას მოიხსენიებენ, როგორც დატვირთვების ფასების დადგენას (სხვა დაკავშირებული ტერმინები არის საგზაო ფასები და თვითღირებულება).

მაგალითი 7.5: ოპტიმალური დატვირთვის ფასების დადგენა პრობლემა:

დავუშვათ, რომ საგზაო ოპერატორი პასუხისმგებელია სატრანსპორტო ქსელზე და მისი მიზანია ქსელში მთლიანი მგზავრობის დროის შემცირება. მიუხედავად იმისა, რომ მძღოლები იბეგრებიან ქსელის გამოყენებისათვის, საგზაო ოპერატორს მძღოლებზე გავლენის მოხდენის არანაირი საშუალება არ გააჩნია. ვარაუდობენ, რომ OD მოთხოვნა გავლენას არ ახდენს გზის ფასებსა ან დატვირთვის დონეზე. ასე რომ, ერთადერთი გადაწყვეტილება, რომელზეც შესაძლოა გავლენის მოხდენა არის მარშრუტის არჩევის გადაწყვეტილება. გზის მომხმარებლები სავარაუდოდ ირჩევენ იმ მარშრუტებს, რომლებიც ამცირებენ მგზავრობის განზოგადებულ დროებს. ისინი განისაზღვრებიან შემდეგი სახით:

$$c_r^g = c_r + VOT \cdot t_r \quad (7.52)$$

სადაც:

c_r^g საერთო მგზავრობის დრო r მარშრუტისთვის

VOT დროის მნიშვნელობა (მგზავრობის დროის დაგვიანების ერთი ერთეულის ფულადი ხარჯები)

t_r r მარშრუტის მგზავრობის დრო

c_r r მარშრუტის ფასი

რა დონეზე უნდა ხდებოდეს მძღოლების დაბეგვრა, რომ საგზაო ოპერატორმა მიაღწიოს თავის მიზანს?

პასუხი:

მძღოლები ირჩევენ თავიანთ მარშრუტებს საერთო მგზავრობის დროის მინიმუმამდე შემცირებით. მარშრუტისთვის საერთო მგზავრობის დრო მოცემულია:

$$\begin{aligned}c_r^g &= c_r + VOT \cdot t_r = \sum_{a \in A_r} (c_a(q_a) + VOT \cdot t_a(q_a)) = \\ &= \sum_{a \in A_r} c_a(q_a) + VOT \sum_{a \in A_r} t_a(q_a)\end{aligned}\quad (7.53)$$

სადაც:

A_r ბმულები, რომლებიც წარმოადგენს r მარშრუტს

გზის საფასური უნდა იყოს ისეთ დონეზე, რომ მომხმარებლის წონასწორობა იწვევდეს სისტემის მთლიანი მგზავრობის დროის მინიმუმამდე შემცირებას. ამრიგად, თითოეული ბმულის განზოგადებული მგზავრობის ხარჯები ტოლია მგზავრობის დროის მიკუთვნებული ღირებულების კომპონენტის მარგინალური ღირებულებისა, ე.ი. სისტემის ოპტიმალური პირობაა:

$$c_a(q_a) + VOT \cdot t_a(q_a) = VOT \cdot (t'_a(q_a)q_a + t_a(q_a))\quad (7.54)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ უნდა დაინერგოს ნაკადზე დამოკიდებული დაბეგვრის სისტემა, დაბეგვრის შემდეგი დონის გამოყენებით:

$$c_a(q_a) = VOT \cdot t'_a(q_a)q_a\quad (7.55)$$

- მაგალითის დასასრული -

პრაქტიკაში, ტოლინგის დანერგვის სტრატეგიის ტექნოლოგია, რომელიც ასახულია (7.55) განტოლებაში, ჯერჯერობით არ არის ხელმისაწვდომი. ამ დროისთვის გზის ფასების შესაძლო ალტერნატივებია:

- ბმულზე დაფუძნებული გადასახადები (ცვლადი ან ფიქსირებული),
- ზონებზე დაფუძნებული გადასახადები, ზონაში მყოფი ყველა მანქანა იხდის განსაზღვრულ ფასს,
- კორდონზე დაფუძნებული გადასახადები, ყველა მანქანას, რომელიც შედის ზონაში ეკისრება დაწესებული ფასი,

- მგზავრობის მანძილზე დაფუძნებული ფასები,
- დროზე დაფუძნებული გზის ფასები.

ამ კონტექსტებში საგზაო ფასების ოპტიმალური სტრატეგიების პოვნა მოითხოვს ეგრეთ წოდებულ ორმაგი დონის პრობლემის გადაჭრას: ზედა დონე შეესაბამება (სისტემის) ობიექტურ ფუნქციას, რომელიც საჭიროებს მინიმიზაციას, მაგ. მგზავრობის საერთო დრო, როდესაც ქვედა დონე შეესაბამება ტიპურ ობიექტურ ფუნქციას, რომელიც მინიმუმამდე დაყვანილი მომხმარებლის წონასწორობის პირობებით, იხ. (7.49) განტოლება.

$$\theta^{\text{optimum}} = \arg_{\theta} \min \sum_a q_a(\theta) t_a^{\text{system}}(q_a) \quad \text{<ზედა დონის პრობლემა>}$$

ქვე: (7.56)

$$q_a(\theta) = \arg_{q_a} \min \sum_a \int_0^{q_a} t_a^{\text{user}}(w, \theta) dw \quad \text{<ქვედა დონის პრობლემა>}$$

სადაც:

- θ მართვის პარამეტრების ვექტორი (მაგ., კოეფიციენტები საგზაო ფასთა ფუნქციებში)
- t_a^{system} სისტემური ფასთა ფუნქცია, თითო მანქანის შეტანილი წვლილი სისტემის მთლიან ობიექტურ ფუნქციაში (მაგ. გამონაბოლქვი, მგზავრობის დრო და სხვა)
- t_a^{user} იყენებს ფასთა ფუნქციას, რომლის მინიმუმამდე დაყვანა თითოეული მომხმარებლის მიზანია

კურსის ფარგლებში, ამ ტიპის პრობლემების გადაჭრის შესახებ განხილვაზე დამატებით არ შევჩერდებით.

7.5.2.5. ბმულის წარმადობის ფუნქციების გადასინჯვა: სტრატეგიული მიზნების ოპტიმიზაცია

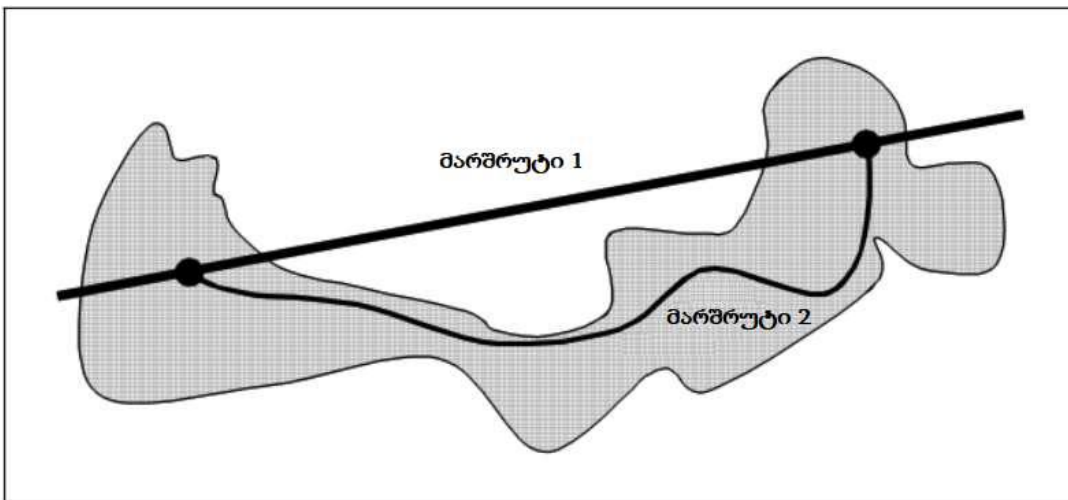
სისტემის ოპტიმალური განთავსება განისაზღვრება, როგორც მარშრუტებზე OD მოთხოვნის განაწილება, რასაც მინიმუმამდე დაჰყავს მგზავრობის მთლიანი ხარჯები. ინტუიციური ხარჯები ხშირად უკავშირდება მგზავრობის დროს, ფულად ხარჯებს ან მძღოლის მიერ გაღებულ სხვა დანახარჯებს. ამასთან, შესაძლოა, სხვა უარყოფითი და დადებითი მხარეები შევიდეს სისტემის ხარჯებში, მაგალითად:

- ენერჯის გამოყენება
- დამაბინძურებელი გამონაბოლქვი
- ხმაური
- ფეხით მოსიარულეთა რისკი
- წვდომა
- სატრანსპორტო სისტემის საიმედოობა

ბევრი მათგანი შეიძლება ჩართული იყოს ბმულის ღირებულების ფუნქციაში, ამა თუ იმ გზით. შემდგომში სისტემის ოპტიმალური განთავსების თანმიმდევრული გამოთვლებით, შეგვიძლია შევიცნოთ, რომ მარშრუტებზე მგზავრობათა გადანაწილება ყველაზე ხელსაყრელი იქნებოდა სოციალური ხედვის პერსპექტივიდან.

მაგალითი 7.6: ოპტიმალური დატვირთულობის ფასების დადგენა

განვიხილოთ ავტომაგისტრალი A - დან B - მდე (მარშრუტი 1), მის პარალელურად მარშრუტი მეორადი ქსელისკენ (მარშრუტი 2). პიკის დროს, გზა ჩვეულებრივ ზედმეტად არის გადატვირთული. ნაკადების მეორად ქსელზე გადამისამართება გარკვეულწილად შეამსუბუქებს არსებულ საცობს, მაგრამ ასევე თან ახლავს ბევრი ნაკლოვანება. დავუშვათ, რომ ჩვენ მხედველობაში ვიღებთ მხოლოდ მგზავრობის საერთო დროს და უსაფრთხოებას. ნათელია, რომ მე – 2 მარშრუტზე მგზავრობები იწვევს უფრო მაღალ რისკს ვიდრე 1 - ელ მარშრუტზე. ნაკადის რა ნაწილს უნდა მიეცეს მეორად ქსელზე გადამისამართების საშუალება, მთლიანი სისტემის ღირებულების მინიმალურამდე შესამცირებლად?



ფიგურა 7.18: მარშრუტის ალტერნატივები პირველადი და მეორადი ქსელის შესაბამისად

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად პირველ რიგში უნდა განვსაზღვროთ ობიექტური ფუნქცია. თუ გათვალისწინებულია მხოლოდ უსაფრთხოება და მგზავრობის დრო, მაშინ ობიექტური ფუნქცია წარმოადგენს:

$$c_r^{\text{TOTAL}} = c_r^{\text{TIME}} + c_r^{\text{RISK}} \quad (7.57)$$

სადაც:

c_r^{TOTAL} ასახავს r მარშრუტის ჯამურ ღირებულებას

c_r^{TIME} ასახავს r მარშრუტზე დროის დანაკარგების ღირებულებას

c_r^{RIS} ასახავს უსაფრთხოების დონეს

მგზავრობის დროის ხარჯების გამოსათვლელად, ჩვენ ვამრავლებთ მგზავრობის მთლიან დროს (წინა თავებში განხილული BPR ფუნქციით) (VOT) დროის ღირებულების მნიშვნელობაზე. უსაფრთხოების ხარჯების გამოსათვლელად, გავლილ მანძილს ვამრავლებთ რისკ-ფაქტორზე, რომელიც დამოკიდებულია გამოყენებული გზის სახეობაზე და თანხა, რომელიც ასახავს ფულის იმ რაოდენობას, რომელსაც იხდის მძღოლი, ინციდენტის თავიდან ასაცილებლად. ჩვენ ამ მნიშვნელობას ვუწოდებთ აცილებულ შემთხვევათა რაოდენობას (CAV). ამ ვარაუდებიდან გამომდინარეობს შემდეგი ხარჯების ფუნქციები:

$$c_r^{\text{TIME}}(q_r) = VOT \cdot t_r q_r = VOT \cdot q_r t_r^0 \left(1 + 0.15 \left(\frac{q_r}{c_r}\right)^4\right) \quad (7.58)$$

$$c_r^{\text{RISK}}(q_r) = CAV \cdot SL_r \cdot q_r l_r \quad (7.59)$$

ზღვრული ღირებულების ფუნქცია შეესაბამება (7.57) გამოსახულებას. აქედან გამომდინარეობს:

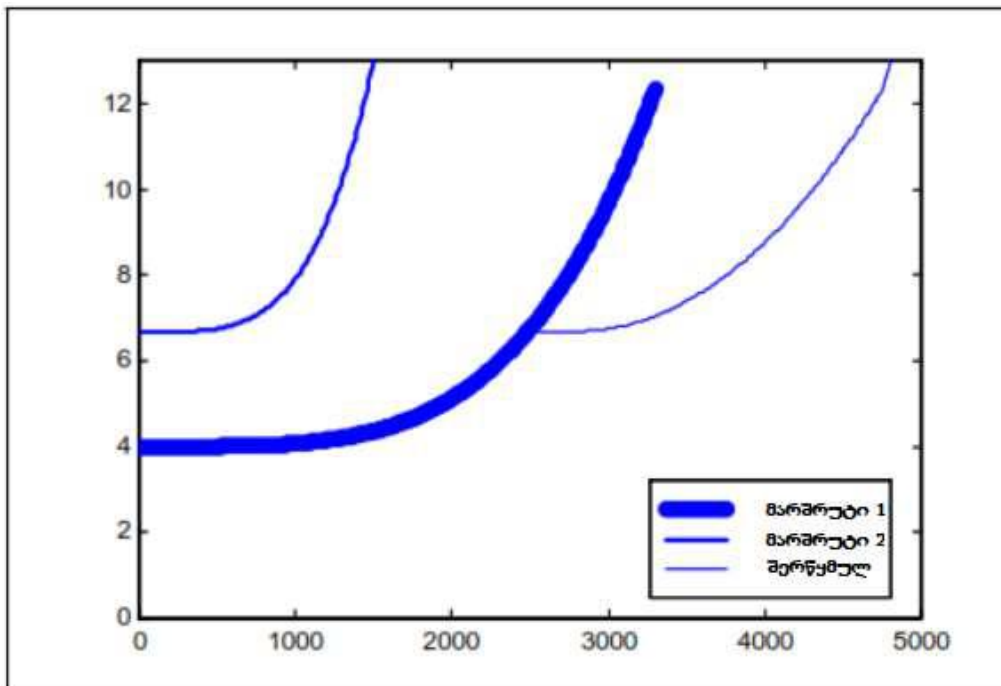
$$\begin{aligned} c_r^{\text{TOTAL,marginal}}(q_r) &= c_r^{\text{TIME,marginal}}(q_r) + c_r^{\text{RISK,marginal}}(q_r) = \\ &= VOT \cdot t_r^0 \left(1 + 0.75 \left(\frac{q_r}{c_r}\right)^4\right) + q_r VOT \cdot t_r^0 \left(\frac{4}{c_r} 0.75 \left(\frac{q_r}{c_r}\right)^3\right) + \\ &+ CAV \cdot SL_r \cdot q_r \cdot l_r + q_r \cdot CAV \cdot SL_r \cdot l_r = \\ &= VOT \cdot t_r^0 (1 + 5 \cdot 0.75 \left(\frac{q_r}{c_r}\right)^4) + 2CAV \cdot SL_r \cdot q_r \cdot l_r \end{aligned} \quad (7.60)$$

ქვემოთ მოცემულია კოეფიციენტები, რომლებიც გამოყენებულია ამ მაგალითში.

	მარშრუტი 1	მარშრუტი 2
t_r^0	9 წუთი	10 წუთი
C_r	2000 მანქ./სთ.	1000 მანქ./სთ.
SL_r	$0.5 \cdot 10^{-8}$ შემ./სთ.	$6.0 \cdot 10^{-8}$ შემ./სთ.
l_r	10 კმ	10 კმ
VOT	10 ნაკ./კმ.	
CAV	$5 \cdot 10^6$ ნაკ./შემ.	

სისტემის ოპტიმალური განთავსება

მიღებული ზღვრული ხარჯები წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ ფიგურაში:

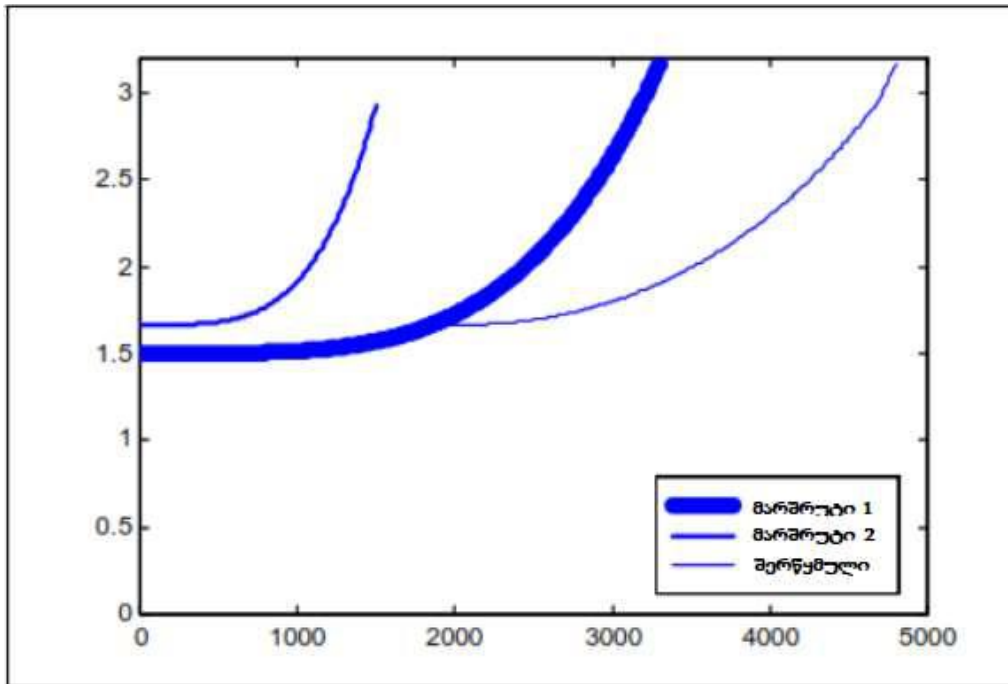


ფიგურა 7.19: მარშრუტი 1, მარშრუტი 2 და ორივე მარშრუტის კომბინაციის მარგინალური სისტემის ხარჯები, წარმოდგენილი მგზავრობის მოთხოვნის საპირისპიროდ.

ამ ფიგურიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ არ არის სასურველი ნაკადების გადატანა მე - 2 მარშრუტზე, თუ მთლიანი მგზავრობის მოთხოვნა აღემატება 2700 ავტ./სთ.

მომხმარებლის ოპტიმალური განთავსება

თუ არ მიიღება შემდეგი ზომები, მაშინ მძღოლები ირჩევენ თავიანთ ოპტიმალურ მარშრუტებს. თუ ვივარაუდებთ, რომ ისინი ამას აკეთებენ მგზავრობის დროის შემცირებით, მომხმარებლის წონასწორობის დადგენა შესაძლებელია მომხმარებლის ღირებულების ფუნქციის ანალიზით. შემდეგი ფიგურა გვიჩვენებს მომხმარებლის ხარჯებს:



ფიგურა 7.20: მარშრუტი 1, მარშრუტი 2 და ორივე მარშრუტის კომბინაციის შემთხვევაში მომხმარებელთა ხარჯები, წარმოდგენილი მგზავრობის მოთხოვნის საპირისპიროდ

ამ ფიგურიდან ჩანს, რომ თუ მგზავრობის მთლიანი მოთხოვნა აღემატება 2000 მანქანა/საათში, მგზავრობა მე -2 მარშრუტზე იქნება "ვირთხების რბოლა".

ეს მაგალითი კიდევ ერთხელ აჩვენებს, რომ მომხმარებლის ოპტიმალური გადაწყვეტილებები არ იქნება სისტემისათვის ოპტიმალური. თუ ამ მაგალითში საგზაო ოპერატორს სურს ქსელის სისტემის ოპტიმალურად გამოყენების მიღწევა, საჭიროა გარკვეული მოქმედებები, თუ მგზავრობის მოთხოვნა აღემატება 2000 მანქ./სთ.

- მაგალითის დასასრული -

7.6. მომხმარებლის წონასწორობის სტოქასტური განთავსება

მომხმარებლის-წონასწორობის სტოქასტური (SUE) განთავსების მოდელი წარმოადგენს მომხმარებლის წონასწორობის სტოქასტური და დეტერმისტული განთავსების მოდელების ერთობლიობას; იგი ითვალისწინებს, როგორც მგზავრებს შორის ქცევით განსხვავებებს, ასევე მხედველობაში იღებს გადატვირთულობის ეფექტებს.

მომხმარებლის წონასწორობის სტოქასტური განთავსება შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით.

მომხმარებლის - წონასწორობის სტოქსტური განთავსება:

განთავსება, რომელსაც მივყავართ წონასწორობასთან და რომლის დროსაც მგზავრი ვერ შეძლებს მგზავრობის დროის გაუმჯობესებას მარშრუტების ცალმხრივად ცვლილებით.

მგზავრთა შორის აღქმაში განსხვავებების გამო, SUE განთავსება იწვევს თითოეული OD ნაკადის განაწილებას სხვადასხვა მარშრუტებზე. მარშრუტის არჩევის პროპორციები დამოკიდებულია გამოცდილ მგზავრობის დროზე. მგზავრობის დრო თავის მხრივ, დამოკიდებულია ბმულის ნაკადებზე, ხოლო ბმულის ნაკადები დამოკიდებულია კვლავ მარშრუტის არჩევის პროპორციებზე. ამბობენ, რომ სისტემა არის SUE, თუ მარშრუტის არჩევის პროპორციები და მგზავრობის დრო ერთხვევა ერთმანეთს.

SUE განთავსებები წარმოქმნიან უფრო რეალისტურ შედეგებს, ვიდრე დეტერმინისტული UE მოდელი, რადგან SUE საშუალებას იძლევა მომხმარებელმა გამოიყენოს როგორც ნაკლებად, ასევე ყველაზე მიმზიდველი მარშრუტები. ნაკლებად მიმზიდველ მარშრუტებს ექნებათ დაბალი უტილიზაცია, მაგრამ არა ნულოვანი ნაკადი, როგორც ეს UE – ს შემთხვევაში ხდება.

7.6.1. სტოქტიკური მომხმარებლის წონასწორობის მათემატიკური აღწერა

სტოქსტური მომხმარებლების წონასწორობა შეიძლება დახასიათდეს შემდეგი სახით:

დაშვებები:

$t_a = t_a(q_a)$ (მგზავრობის დრო დამოკიდებულია ნაკადზე)

$\theta > 0$ (მარშრუტებს შორის ნაკადების გადამისამართება)

AON - ის, UE - ს და სტოქსტური განთავსებისგან განსხვავებით, SUE - ს განსაზღვრული შეზღუდვები ასახავს ქსელში განთავსების ზოგადი პრობლემისათვის ფორმულირებულ ყველა დამოკიდებულებას (იხ. თავი 7.2):

$$(1) t_a = t_a(q_a) \quad (7.61)$$

$$(2) \beta_{ijr} = \beta_{ijr}(\theta, \underline{t}_a(q_a)) \quad (7.62)$$

$$(3) t_{ijr} = \sum_a \alpha_{ijr}^a t_a(q_a) \quad (7.63)$$

$$(4) T_{ijr} = \beta_{ijr}(\theta, \underline{t}_a(q_a)) T_{ij} \quad (7.64)$$

$$(5) q_a = \sum_i \sum_j \sum_r \alpha_{ijr}^a \beta_{ijr}(\theta, \underline{t}_a(q_a)) T_{ij} \quad (7.65)$$

7.6.2. მომხმარებლის წონასწორობის სტოქასტური განთავსების პრობლემის გადაჭრა

SUE - ის პრობლემის გადაჭრის ალგორითმი მეტ-ნაკლებად იდენტურია დეტერმინისტული UE ალგორითმისა. იმის ნაცვლად, რომ გამოყენებულ იქნას დეტერმინისტული ბმულის მგზავრობის დრო, ისინი იყენებენ მგზავრობის დროის ალბათობის განაწილებას, როგორც სტოქასტური განთავსების შემთხვევაში. SUE გამოითვლება TRANSCAD- ში თანმიმდევრული გასაშუალოების მეთოდის გამოყენებით (MSA), რომელიც ერთადერთი ცნობილი კონვერგენციული მეთოდია. ამ მეთოდის ბუნებიდან გამომდინარე მაღალი რიგირს იტერავია უნდა იქნას გამოყენებული.

7.7. მულტი კლასის მომხმარებელთა ნაკადის განთავსება

აქამდე ჩვენ პირდაპირ არ განვიხილავდით ტრანსპორტის მომხმარებელთა სხვადასხვა ჯგუფებს შორის განსხვავებას ქსელში ნაკადის განთავსებისას. შესაძლოა ასეთი მიდგომა მაღალ პრაქტიკულ საჭიროებას წარმოადგენდეს, მაგალითად, როდესაც კვლევა წარმოებულია შემდეგ კითხვებზე პასუხის გასაცემად:

- რა გავლენა აქვს გადასახადების (ტოლი) დაწესებას, თუ ვივარაუდებთ, რომ მძღოლები განსხვავებულად რეაგირებენ ამ თემაზე?
- რა გავლენა აქვს ზოლების გამოყენების შეზღუდვებს სპეციალური ჯგუფის მანქანებისათვის (მაგ., სატვირთოების, მაღალი დატვირთვის მანქანების, კომერციული სატრანსპორტო საშუალებების)?
- რა ეფექტს ახდენს ნაწილი სატრანსპორტო საშუალებების მარშრუტის მაჩვენებელი დანადგარებით აღჭურვა?

ამ და მსგავსი კითხვებისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ მულტი კლასის მომხმარებელთა განთავსების მოდელები.

მულტი კლასის მოდელი განსხვავდება ერთი კლასის განთავსების მოდელისაგან ერთი ან რამოდენიმე ვარიანტით:

- მარშრუტის არჩევანის მოდელირება. მულტი კლასის განთავსებაში შეიძლება ითქვას, რომ მარშრუტის არჩევანს სხვადასხვა ვარაუდები შეიძლება იქნას გამოყენებული მგზავრთა სხვადასხვა ჯგუფისათვის
- მიწოდების მოთხოვნის ინტერაქციის მოდელირება. მულტიკლასურ განთავსებაში შეიძლება გამოვიყენოთ მულტიკლასური ბმულის ღირებულების ფუნქციები, მაგ. ფუნქციები, რომლებიც დამოკიდებულია როგორც სატვირთო ასევე მსუბუქი მანქანების მოცულობაზე, ვიდრე მანქანების საერთო რაოდენობაზე

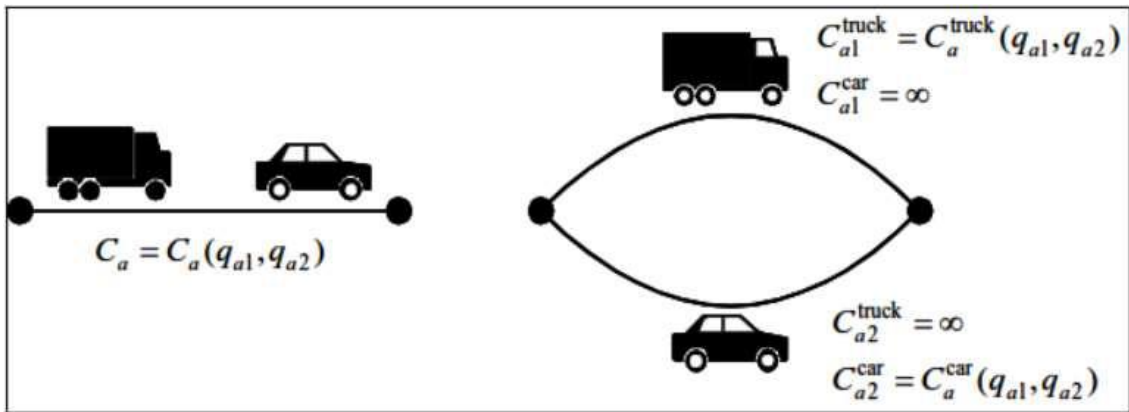
- განსხვავებები მოძრაობის სიჩქარეში. ეს ეხება მხოლოდ დინამიურ მოდელებს, რომლებიც ცალსახად მოდელირებენ მანქანების (ჯგუფების) დროის ტრაექტორიებს. თუ მანქანების სხვადასხვა ჯგუფი მნიშვნელოვნად განსხვავებული სიჩქარით მოძრაობს, ამან შეიძლება გავლენა იქონიოს განთავსების შედეგებზე.

იმის გამო, რომ ეს კურსი არ მოიცავს დინამიურ მოდელებს, ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ პირველ ორ შესაძლებლობას.

თუ მხოლოდ მარშრუტის არჩევანი განსხვავდება მომხმარებლის კლასების მიხედვით, ერთი კლასის მომხმარებლის განთავსების მოდელი შეიძლება გადაიზარდოს მულტი კლასის განთავსებაში, რამდენიმე ტრივიალური მოდიფიკაციით. მაგალითად, მულტი მომხმარებლის კლასის ყველაფერი-ან-არაფერი (MUC-AON) განთავსება ან სტოქასტური მულტი მომხმარებლის კლასის (SMUC) განთავსება მიიღება სხვადასხვა მომხმარებლის კლასისათვის განთავსების მიკუთვნებით. ანალოგიურად MUC-DUE და MUC-SUE განთავსებების გამოთვლა შესაძლებელია MUC-AON- ის, როგორც კომპონენტის გამოყენებით, ციკლურ პროცედურაში.

როგორც სავარჯიშო, ჩამოაყალიბეთ მინიმუმაციის პრობლემა, რომელიც შეესაბამება MUC-DUE განთავსებას და მიუთითეთ ალგორითმი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ამ განთავსების გამოსათვლელად. განვიხილოთ განსხვავებები მარშრუტის არჩევისას ქცევაში მომხმარებლის კლასების მიხედვით.

ამასთან, თუ მიწოდების მოთხოვნის ინტერაქციის განსხვავებები ხვადასხვა მომხმარებელთა კლასების მიხედვით უნდა იქნას გათვალისწინებული, უფრო რთული პრობლემა წარმოიშვება. თუმცა, შესაძლებელია განთავსების პრობლემის, MUC მიწოდებისა და მოთხოვნის ურთიერთქმედებით, გადაქცევა პრობლემად მხოლოდ MUC მარშრუტის არჩევის ქცევით. ეს ხორციელდება ქსელში თითოეული ბმულის, რომელზედაც MUC მიწოდების მოთხოვნის ინტერაქცია ვრცელდება, ორი (პარალელურ) ბმულით შეცვლით, რომელთაგან თითოეული ხელმისაწვდომია მხოლოდ ერთი მომხმარებლის კლასისათვის. ამ შემთხვევაში, ბმულის ღირებულების ფუნქციები, რომლებიც ასახავენ ამ ბმულებს, აღარ არიან გაყოფადი: ბმულის ღირებულება ერთ ბმულზე დამოკიდებულია ბმულის მოცულობებზე ორივე ბმულზე. ეს ილუსტრირებულია 7.21 ფიგურაში.



სურათი 7.21: MUC მიწოდების მოთხოვნის ინტერაქციის მქონე ბმულის შეცვლა ორი პარალელური ბმულით არაგაყოფადი ბმულის ღირებულების ფუნქციით მას შემდეგ, რაც პრობლემა გადაიქცევა ისეთ ფორმად, რომელშიც მხოლოდ MUC-მარშრუტის არჩევანი ვრცელდება, იგი შეიძლება გადაიჭრას ამ თავში განხილული ტექნიკის გამოყენებით. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ბმულის ღირებულების ფუნქციების გაყოფადობა არის ვარაუდი, რომელიც გამოიყენებოდა DUE და SUE განთავსებების პრობლემების უნიკალური გადაწყვეტილებების დასადგენად. ეს ნიშნავს, რომ მრავალი მარშრუტის არჩევის ნიმუში შეიძლება აკმაყოფილებდეს MUC წონასწორობის მოთხოვნებს. შედეგად, MUC წონასწორობის გამოსათვლელად გამოყენებული ალგორითმები ყოველთვის არ არის საჭირო ემთხვეოდნენ ერთმანეთს.

7.8. საზოგადოებრივ სატრანზიტო ქსელებში განთავსება

7.8.1. შესავალი

აქამდე ვთვლიდით, რომ განთავსების პრობლემები, რომლებთანაც გვექონია შეხება, ვრცელდება მხოლოდ საკუთარ სატრანსპორტო საშუალებებზე. თუმცა, განთავსების პრობლემების მნიშვნელოვანი ნაწილი დაკავშირებულია OD მოთხოვნის განთავსებაზე საზოგადოებრივ სატრანზიტო ქსელებში (ავტობუსების, მატარებლების მომსახურება). საზოგადოებრივი ტრანზიტის (PT) განთავსებისათვის, შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა საშუალებები, რომლებიც ადრე გამოიყენებოდა მანქანით მგზავრობათა განსათავსებლად. ამ თავში გავაანალიზებთ, თუ რომელ კონკრეტულ მანქანისა და მგზავრის განთავსებებს შორის განსხვავებები უნდა იქნას გათვალისწინებული, სანამ ამ თავში აღწერილი საშუალებები იქნება გამოყენებული საზოგადოებრივი ტრანზიტის განთავსებისათვის.

როგორც ამ ანალიზის საფუძველს, განვასხვავებთ ნაკადის განთავსების ორ ქცევით კომპონენტს:

- ნაკადის მოცულობასა და მომსახურების დონეს შორის ურთიერთქმედების მოდელირება

- მარშრუტის არჩევის პროპორციების მოდელირება

ნაკადის მოცულობასა და მომსახურების დონეს შორის ურთიერთქმედება
საგზაო მოძრაობისგან განსხვავებით, საზოგადოებრივ ტრანზიტში საცობები, როგორც წესი არ წარმოადგენს პრობლემას. გასათვალისწინებელია, რომ გამონაკლისს წარმოადგენს განთავსება მეტროპოლიტენის სისტემებში დიდი ქალაქებისათვის (მაგ. ლონდონის მეტროპოლიტენი) და მატარებლის სადგურებში ფეხით მოსიარულეთა განთავსების მოდელირების ზოგიერთი აპლიკაცია.

მარშრუტის არჩევანის პროპორციები

ჩვეულებრივ მარშრუტის არჩევანის მოდელირება ხორციელდება, როგორც სარგებლიანობის მაქსიმიზაციის შედეგი. ავტომობილების ნაკადში, მგზავრობის დრო და მგზავრობის საფასური, ზოგადად, ითვლება მარშრუტის არჩევანის გადამწყვეტ ატრიბუტებად. ეს მარშრუტის ატრიბუტები შეიძლება მოხერხებულად იქნას მიღებული ბმულის ატრიბუტებიდან, ყველა ბმულზე დამატებით, რომლებიც შეადგენენ მარშრუტს. ამ მიზეზით, მარშრუტის არჩევის პროპორციები შეიძლება გამოთვლილ იქნას ეფექტური უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმების გამოყენებით. საზოგადოებრივი სატრანზიტო (PT) განთავსებისათვის მარშრუტის არჩევანი ასევე მოდელირებულია სარგებლიანობის მაქსიმიზაციის გამოყენების გამოყენებით. ამასთან, მგზავრობის დროის და ღირებულების ატრიბუტები არასაკმარისი ახსნაა მარშრუტის არჩევანის ქცევა-ჩვევების შესახებ. უპირველეს ყოვლისა, PT მგზავრობა მოიცავს სხვადასხვა სახის მოქმედებებს/პერიოდებს, როგორცაა "ფარული" სახლში ლოდინის დრო, PT გაჩერების ადგილამდე (ფეხით) მისვლა, მგზავრობა ავტობუსით მატარებლის სადგურამდე და ა.შ. შესაბამისად, სხვადასხვა მარშრუტის ატრიბუტები, როგორცაა ხარჯები, სიხშირე, ლოდინის დრო, ავტომობილში გატარებული დრო და ა.შ., გავლენას ახდენს მარშრუტის არჩევანზე. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ატრიბუტთა უმეტესობა დროის ელემენტებად შეიძლება იქნას გააზრებული, მაგრამ ყველა დროის ეს ელემენტი არ ფასდება მგზავრების მიერ თანაბრად, როგორც ეს მოცემულია ქვემოთ მაგალითში.

გარდა ამისა, მარშრუტების წარმოდგენის გზა განსხვავდება ტრადიციულისაგან. ზემოთ მოყვანილი PT მგზავრობის სხვადასხვა ტიპის მოქმედებები/პერიოდები შეიძლება წარმოვიდგინოთ ცალკე ბმულებად, მაგ. წვდომის ბმულები, ტრანსფერის ბმულები, ტრანსპორტში ბმულები და ა.შ. ასე რომ, არა ფიზიკური ქსელი, არამედ მომსახურების ქსელი მოიხსენიება PT განთავსების მოდელში.

მაგალითი 7.7: სატრანზიტო მარშრუტების დროის ელემენტები

ვან დერ ვაარდმა, 1988 წელს გამოიკვლია სხვადასხვა მარშრუტის ატრიბუტების გავლენა საზოგადოებრივი ტრანზიტის მომხმარებელთა მარშრუტის არჩევის პროპორციებზე. ეს განხორციელდა მულტინომინალური ლოგიტ-მოდელის სარგებლიანობის ფუნქციებში თითოეული ატრიბუტის კოეფიციენტების შეფასებით. გამოყენებულია შემდეგი სარგებლიანობის ფუნქცია:

$$\text{მოდელი A: } U = a_1T_1 + a_2T_2 + a_3T_3 + a_4T_4 + a_5T_5 + a_6T_6 + a_7NRC \quad (7.66)$$

სადაც, U აღნიშნავს მარშრუტის სარგებლიანობას, T_1 განსაზღვრავს დროსთან დაკავშირებულ ატრიბუტებს, NRC აღნიშნავს ტრანსფერების რაოდენობას და a_i აღნიშნავს კოეფიციენტებს. შემდეგ ცხრილში მოცემულია კოეფიციენტები, რომლებიც აღმოაჩინა ვან დერ ვაარდმა, 1988 წელს, საზოგადოებრივი ტრანზიტული მგზავრობების 1095 ნიმუშის საფუძველზე. ცხრილის მესამე სვეტი გვიჩვენებს კოეფიციენტებს A მოდელისათვის, როდესაც მეოთხე სვეტი აღწერს კოეფიციენტებს უფრო დეტალური B მოდელისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ცხრილში, მარშრუტის საფასური არ არის ნახსენები.

მარშრუტის ატრიბუტები	სიმბოლო	მოდელი A	მოდელი B
მისაწვდომობის დრო (მგზავრობის წარმოების ადგილიდან PT სადგურამდე ფეხით სიარულის დრო)	$T1$	2.2	2.3
პირველ გაჩერებაზე მოცდის დრო	$T2$	1.5	1.4
ტრანსპორტში ყოფნის დრო (ყველა სახის)	$T3$	1	
ავტობუსში ყოფნის დრო			1
ტრამვაიში ყოფნის დრო			1
სწრაფ ტრანზიტში ყოფნის დრო			0.9
ჩამოსვლის დრო (PT სადგურიდან დანიშნულების ადგილამდე მგზავრობის დრო)	$T4$	1.1	1.2
საკვანძო სადგურზე ფეხით სიარულის დრო	$T5$	2.3	2.2
საკვანძო სადგურზე მოცდის დრო	$T6$	1.3	1.2
ტრანსფერების რაოდენობა	NRC	5.7	5.9

წყარო: ვან დერ ვაარდი (1988)

მიუხედავად იმისა, რომ ხარჯები შეიძლება მნიშვნელოვანი ფაქტორი იყოს, PT ტარიფის სტრუქტურების სირთულის გამო, უბრალო მგზავრისათვის ხარჯებზე დაკვირვება საკმაოდ რთულია. უფრო მეტიც, ხშირ შემთხვევაში, მარშრუტს მცირე ან ნულოვანი გავლენა აქვს ხარჯებზე (მაგ., თუ გადასახადი დაფუძნებულია ზონალურ სისტემაზე).

ახლა განვიხილოთ მარშრუტის არჩევისას ქცევები, როგორც მარშრუტის ატრიბუტების ფუნქცია. სანამ ამ ცოდნას გამოვიყენებთ არჩევის პროპორციების გამოსათვლელად უნდა შესრულდეს ორი ეტაპი:

- შესაძლო მარშრუტების დადგენა, ანუ იმის განსაზღვრა, თუ რომელი მარშრუტები უნდა განიხილებოდეს განთავსებაში.
- მარშრუტის ატრიბუტების გამოთვლა

ეს განთავსებები მჭიდროდ არიან დაკავშირებული ერთმანეთთან. მაგალითად, უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმი, შემოთავაზებული დიჯკსტრას მიერ 1959 წელს, იხ. თავი 3, მარშრუტი და მისი მგზავრობის ჯამური ღირებულებები განისაზღვრება ერთდროულად. ეს შესაძლებელია მხოლოდ ღირებულების ფუნქციის დამატებითი სტრუქტურით, რომელიც ადაპტირებულია. ყველა განთავსების ტექნიკა, რომლებიც აღწერილია ამ თავში, ლოგიკ მოდელის გარდა, შეიძლება განხორციელდეს შესაძლებელი მარშრუტების ცალკეული იდენტიფიკაციის გარეშე: ისინი შეიძლება დაფუძნდნენ უმოკლესი მარშრუტის გამოთვლებზე ერთი ან მეორე გზით.

თუ ასეთი დამატებითი ღირებულების სტრუქტურა არ არსებობს, მაშინ პირველ რიგში მარშრუტის არჩევანის პროპორციების გამოთვლამდე, აუცილებელია მარშრუტების ჩამოთვლა. ზოგიერთ ატრიბუტს, რომელიც დომინანტია PT მარშრუტის არჩევაში, როგორცაა სიხშირე, მოცდის დრო და ხარჯები არ გააჩნია ასეთი დამატებითი თვისება. აქედან გამომდინარე, მოდელირების თვალსაზრისით, PT ქსელებისათვის მარშრუტების იდენტიფიკაცია უფრო რთულია, ვიდრე მისი შესაბამისი პრობლემა ჩვეულებრივი ბმულის ქსელებში.

მარშრუტების ამოცნობის შემდეგ, უნდა გამოითვალოს მარშრუტის ატრიბუტები. ეს არც თუ ისე იოლია. განსაკუთრებით ეხება ატრიბუტებს, როგორცაა სიხშირე, მოცდაში გატარებული დრო და ხარჯები.

- თუ $f1$ და $f2$ სიხშირეები ორი პარალელური ხაზია, ისინი შეიძლება შეიცვალოს f სიხშირის ჰიპოთეტური ხაზით, $\max [f1, f2] \leq f \leq f1 + f2$. ეს მაგალითი ჯერ კიდევ მარტივი სახისაა: რა ხდება მაშინ, როდესაც ორი ხაზი პარალელურია, მაგრამ ხასიათდება (ოდნავ) განსხვავებული მგზავრობის დროით (მაგ. ადგილობრივი და ქალაქთაშორისო მატარებელით)?.
- თუ ორი ხაზი, $f1$ და $f2$ სიხშირით თანმიმდევრულია, ისინი შეიძლება შეიცვალოს f სიხშირის ჰიპოთეტური ხაზით, $f \leq \min [f1, f2]$
- თუ მარშრუტი მოიცავს სხვადასხვა ხაზზე გადასვლას, სადგურებში მოცდის დრო შეიძლება მოდელირებული იქნას დეტალების სხვადასხვა დონეზე:
- მხოლოდ სიხშირის გათვალისწინებით, ანუ ლოდინის დრო დამოკიდებულია მხოლოდ შემდეგი ხაზის სიხშირეზე,

- თუ ვივარაუდებთ, რომ ორი ხაზი სინქრონიზებულია (მაგ., ჯვრისებრი - პლატფორმის გადასასვლელი), ერთი ხაზიდან სინქრონიზებულ სხვა ხაზთან გადასვლის მოცდის დრო ნაკლებია, ვიდრე ამ ხაზის სიხშირიდან გამომდინარე მოცდის დრო.
- დროის ცხრილის გამოყენებით მოცდის დროის გამოანგარიშება (იხ. მაგალითად, "Reisplanner", რომელიც ქვეყნდება ჰოლანდიის რკინიგზის მიერ ყოველწლიურად). ეს არის ყველაზე ზუსტი, მაგრამ ასევე მონაცემებისადმი მკაცრი მოთხოვნის გზა მარშრუტის ატრიბუტების გამოსათვლელად.
- საზოგადოებრივ ტრანზიტში მგზავრობის საფასური დამოკიდებულია რთულ სატარიფო სტრუქტურაზე. ზუსტი მოდელის შესაქმნელად, მგზავრობა სხვადასხვა კლასი უნდა გამოირჩეს იმის მიხედვით, თუ როგორ აფასებენ ისინი მგზავრობის ღირებულებას (მაგალითები არის ერთი მიმართულებით მგზავრობა, ორივე მიმართულებით მგზავრობა, კომბინირებული ბილეთი, სეზონური ბილეთი, ზონალური ბილეთი და სხვა).

7.8.2. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელის წარმოდგენა

PT ქსელებისათვის, მნიშვნელოვანი განსხვავებაა ქსელების ადმინისტრაციულ კოდირებასა და ქსელების გამოთვლით კოდირებას შორის.

ადმინისტრაციული კოდირება ფიზიკურ ქსელზეა ორიენტირებული და ამასთანავე აკონტროლებს PT ხაზებს მათი ატრიბუტებით, მაგალითად, ავტომობილის ტიპი, მგზავრობის სიჩქარე, გაჩერებები და ა.შ., ტრანსფერების ჯარიმები განისაზღვრება გლობალურად, ანუ ეს ჯარიმები ვრცელდება ყველა კვანძის ტრანსფერებზე. ადმინისტრაციული კოდირების მიზანია ქსელის განსაზღვრა უნიკალური და კომპაქტური ფორმით.

გამოთვლითი კოდირება ორიენტირებულია საანგარიშო პროცესებზე, როგორცაა ნაკადების განთავსება. ეს შეიძლება ნიშნავდეს, რომ მარშრუტის (პოტენციური) ელემენტების კოდირება ხორციელდება, როგორც ბმულთა სეგმენტების კოდირება (იხ. მაგალითი 7.8). ყველა მონაცემები, რომლებიც გამოთვლებისათვის არ არის მნიშვნელოვანი, ამოღებულია.

თანამედროვე სატრანსპორტო დაგეგმვის პროგრამებში, როგორცაა Omnitrans ან TransCAD, მომხმარებელი დაცულია ადმინისტრაციულიდან გამოთვლით კოდირებაზე გადასვლისაგან, უფრო მარტივი ექსპლუატაციისათვის.

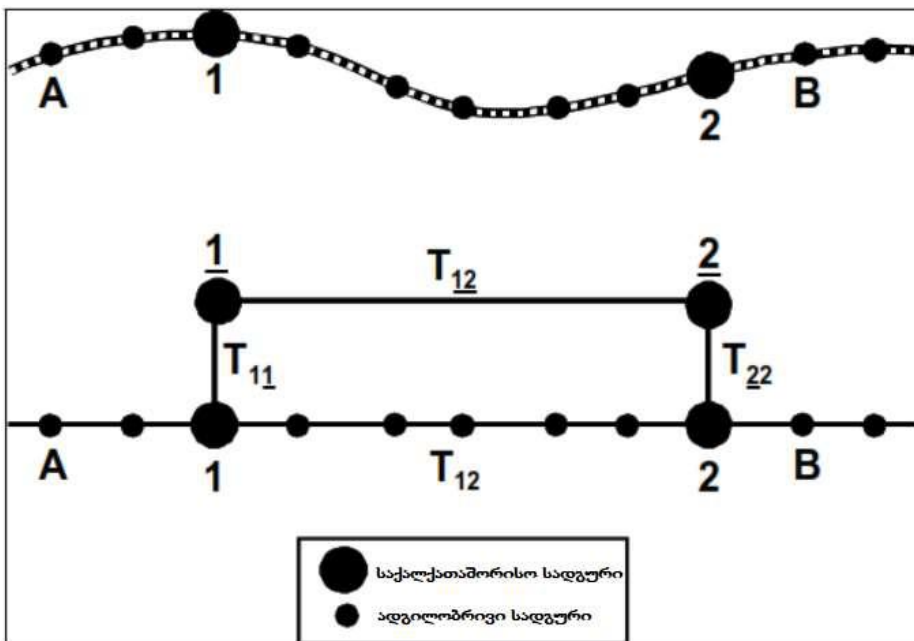
მაგალითი 7.8: PT ქსელების კოდირება

დავუშვათ, რომ A – დან B – ს მიმართულებით სრულდება მგზავრობა და შესაძლებელია არჩევა ორ მარშრუტს შორის:

- ა. მგზავრობა ადგილობრივი მატარებლით A - დან B - მდე
- ბ. მგზავრობა ადგილობრივი მატარებლით A – დან 1 – მდე, საქალაქთაშორისო მატარებლზე გადასვლა და 2 – მდე ჩასვლა და 2 – დან B – მდე ისევ ადგილობრივი მატარებლით მგზავრობა

ეს პრობლემა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს, როგორც მარშრუტის არჩევის პრობლემა. ადგილობრივიდან საქალაქთაშორისო მომსახურებაზე გადასასვლელი კვანძის მოდელირდება ხორციელდება ჰიპოთეტური ბმულით, რომელზეც განთავსდება ღირებულება, რომელიც შეესაბამება გადასვლისთვის დახარჯულ დროს. შესაბამისად უმოკლესი მარშრუტი აკმაყოფილებს:

$$T_{AB} = T_{A1} + T_{2B} + \min[T_{12}, T_{11} + T_{12} + T_{22}]$$



ფიგურა 7.22: PT ხაზების კოდირება, რომლებიც გამოიყენება ინფრასტრუქტურაში, როგორც ცალკეული ბმულები

საზოგადოებრივ სატრანსპორტო ან სატრანზიტო ქსელს გააჩნიათ ორი მახასიათებელი, რაც საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მოდელირებას უფრო რთულს ხდის, ვიდრე პირადი სატრანსპორტო საშუალებების მოდელირება, როგორცაა მანქანა: დროის განზომილება, ე.ი. სიხშირეები და განრიგები, ხაზობრივი კონცეფცია და შესაბამისად ტრანსფერების საჭიროება. მიღებული ქსელი წარმოადგენს ბალანსს ქსელის ზომას, ქსელის სირთულესა და ალგორითმულ სირთულეს შორის. გარდა ამისა, თავად კვლევის მიზანს მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ქსელის მოდელირების პროცესზე. მოკლევადიანი კვლევებისათვის დეტალების უფრო მაღალ დონეზე დამუშავება შეიძლება უფრო საჭირო იყოს, ვიდრე გრძელვადიანი კვლევებისათვის. კვლევისათვის, რომელიც ფოკუსირდება მოდალურ დაყოფაზე, შეიძლება საჭირო გახდეს დეტალების განსხვავებულ დონეზე დამუშავება, ვიდრე კვლევისათვის, რომელიც იკვლევს ITS-ის გავლენას ავტომობილის შევსებაზე.

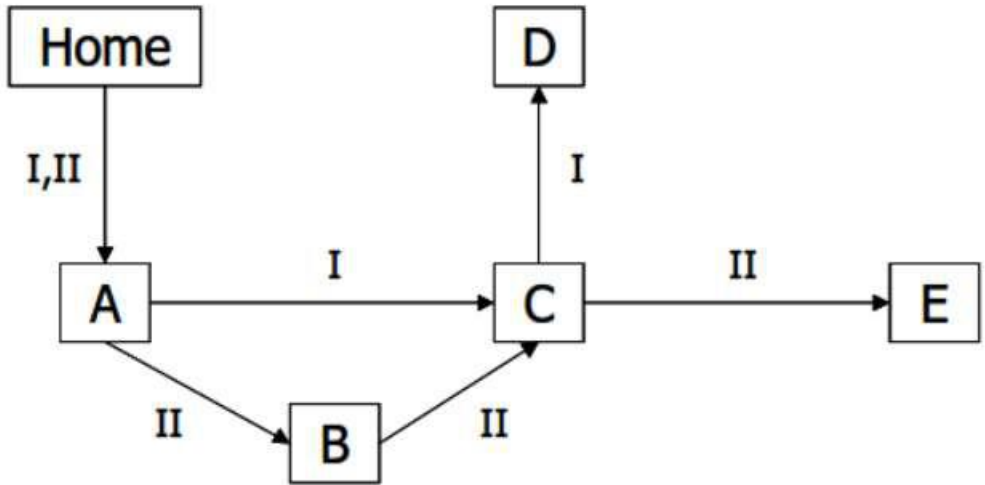
ძველად, ქსელის ზომა მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენდა. გარდა ამისა, ძლიერი უპირატესობა ჰქონდა უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმების გამოყენებას, რაც ხელმისაწვდომი იყო საკუთარი ავტოსაშუალებების მოდელირებისათვის, მაგალითად დიჯკსტრა (1959), მური (1959) ან თუნდაც ფლოიდი (1962).

დაილმა (1967) შემოგვთავაზა ქსელის სტრუქტურა, რომელშიც საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელი წარმოდგენილია "მაგისტრალური ხაზების ბმულებით" (ფიგურა 7.23). ამ ბმულებს, ატრიბუტებად აქვთ მგზავრობის დრო და ხაზის ნომრები ბმულის გამოყენებით. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მოდელირების ტიპიური პრობლემა შეიძლება გამოიხატოს იმ ფაქტით, რომ C – მდე უმოკლესი გზა დამოკიდებულია საბოლოო დანიშნულების ადგილზე. C ხაზზე მგზავრობა შეიძლება იყოს საინტერესო, ხოლო D ხაზზე მგზავრობა აშკარა არჩევანი. E - სკენ გამგზავრებისათვის, II ხაზი საუკეთესო არჩევანია. ტრანსფერების აღსარიცხავად, მან გამოიყენა მურის უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმი. ტრანსფერის ჯარიმა დამოკიდებულია გამოსაყენებელი ხაზის მოსალოდნელ მოცდენის დროზე. ჩვეულებრივ, მოცდენის დრო განისაზღვრება, როგორც რეისებს შორის დროის ნახევარი.

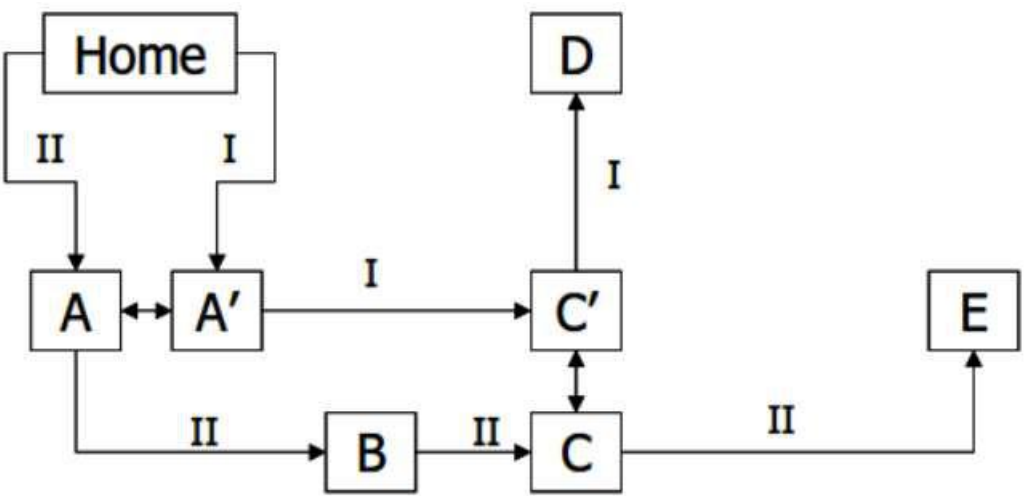
ალტერნატიული მიდგომა წარმოდგენილია ფერნსაიდის და დრაპერის მიერ (1971), რომელშიც ხაზის სპეციფიური კვანძები და ბმულებია წარმოდგენილი (ფიგურა 7.24). ეს მიდგომა მოითხოვს სატრანსფერო ბმულებს, ფიზიკურ მდებარეობასთან დაკავშირებულ გაჩერებებს შორის. პრობლემა, რომელიც არ არის გადაჭრილი, არის ე.წ. საერთო ხაზების პრობლემა: როდესაც მგზავრმა, რომელიც გაჩერებაზე იცდის, შეიძლება გამოიყენოს სხვადასხვა ხაზები დანიშნულების ადგილამდე მისასვლელად, უნდა გადაწყვიტოს რომელი ხაზი გამოიყენოს. ეს შეიძლება იყოს კონკრეტული ხაზი, რომელიც შედეგად იძლევა უმოკლეს დროს გაჩერებიდან დანიშნულების ადგილამდე ან შეიძლება იყოს პირველივე მოსული ტრანსპორტი. მაგალითად, A - ში ან C – ში მგზავრობისას მომხმარებელმა შეიძლება აირჩიოს I და

II ხაზები. მიდგომები საერთო ხაზების პრობლემის გადაჭრასთან დაკავშირებით განხილულია შემდეგ თავში.

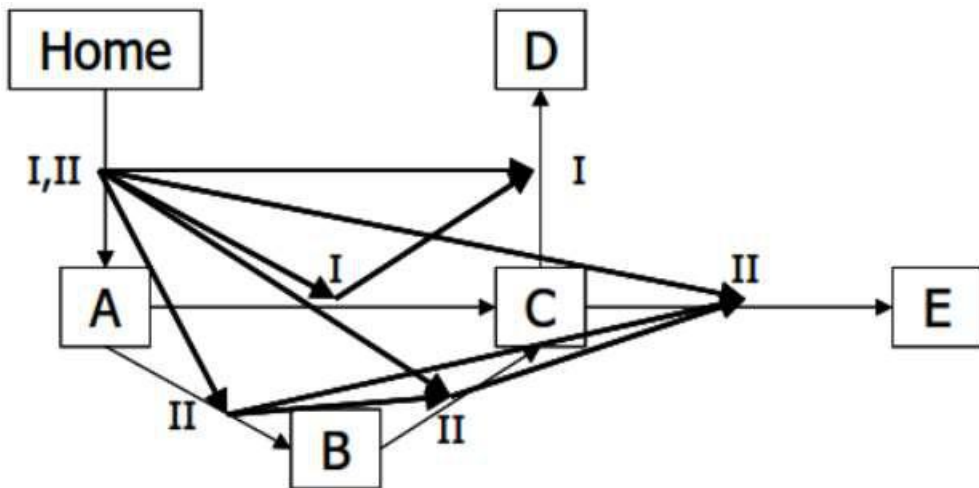
საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელების წარმოსადგენლად საინტერესო მიდგომა იქნა შემოთავაზებული ლასტის და ლიკის მიერ (1976). მოდელში მათ წარმოადგინეს "პირდაპირი ბმულები", რომლებიც აკავშირებენ ბმულებს, რომლებიც შეიძლება იქნან მიღწეულნი, ტრანსფერებით ან უტრანსფეროდ. 7.25 ფიგურაზე მოცემულია ქსელის მაგალითი პირდაპირი ბმულებით, ტრანსფერების გამორიცხვით.



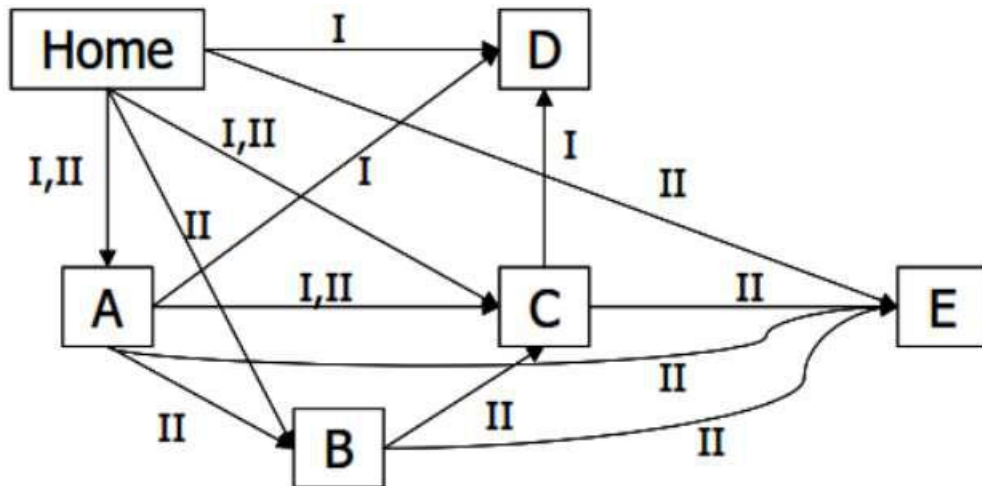
ფიგურა 7.23: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელი მაგისტრალური ხაზების გამოყენებით, რომელიც შედგება 2 PT ხაზისაგან (I, II)



ფიგურა 7.24: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელი, სპეციფიკური კვანძებითა და ბმულებით



ფიგურა 7.25: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელი მიმართულებიანი ბმულებით



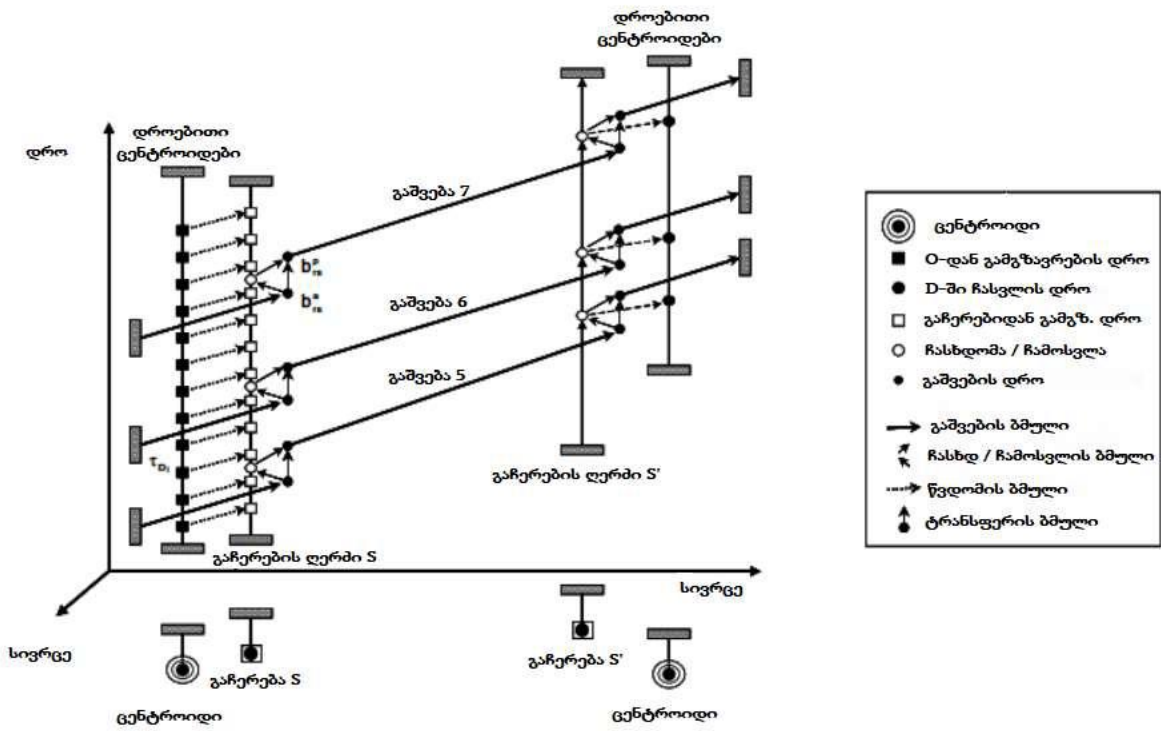
ფიგურა 7.26: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელი მარშრუტის სექციებით

ცხადია, შესაძლებელია გამოვიყენოთ ერთი და იგივე მიდგომა ყველა გაჩერებისათვის, რომლებიც ემსახურებიან იმავე ხაზს, როგორც ეს შემოთავაზებულ იქნა დე კეას და ფერნანდუზის მიერ 1993 წელს (ფიგურა. 7.26). რამოდენიმე ხაზის შემთხვევაში, რომლებიც ემსახურებიან ერთსა და იმავე წყვილ გაჩერებებს, შესაძლებელია შეიქმნას საერთო პირდაპირი ბმული. ამ მიდგომის შედეგი ქსელის ზომის საგრძნობლად ზრდაა.

აქამდე განხილული ყველა მიდგომა კვლავ განიხილავს ხაზებს, რომლებსაც გააჩნიათ სიხშირე. უფრო დეტალური მიდგომა შემოთავაზებულია ნუცოლოსა და რუსოს მიერ 1994 წელს, რომელშიც ინდივიდუალური გარბენები ძირითადი კომპონენტებია. ისინი ითვალისწინებენ დროის განზომილებას, როგორც

მოცემულია 7.27 ფიგურაში. მთავარი უპირატესობა ის არის, რომ ეს მიდგომა შესაძლებელს ხდის ტრანსფერების სწორად მოდელირებას, რაც რა თქმა უნდა მნიშვნელოვანია დაბალ სიხშირიანი ქსელებისათვის.

საკითხი, რომელიც ჯერ არ განხილულა არის მოცულობა. გადატვირთვა გახდა ისეთივე მნიშვნელოვანი საკითხი საზოგადოებრივ ტრანსპორტში, როგორც სხვა ავტოტრანსპორტის ნაკადში. მოცულობების შეზღუდვების გასატარებლად არსებობს სხვადასხვა ვარიანტი. სატრანსპორტო საშუალებაში ყოფნის დრო შეიძლება გახდეს ნაკლებად მიმზიდველი გადატვირთულობის გამო, რაც იწვევს ადგილების ნაკლებობას და მომხმარებლის ფეხზე დგომას, რომელიც შეიძლება წარმოდგენილ იქნას უფრო მეტად სუბიექტური ტრანსპორტში ყოფნის დროით, მაგალითად BPR-ფუნქციის მსგავსი ფუნქციის გამოყენებით. გარდა ამისა, სატრანსპორტო საშუალებები შესაძლებელია შეფერხდნენ, რაც გამოიწვევს ჯგუფურ ჩასვლებს და შესაბამისად არარეგულარულ მომსახურებებსა და უფრო ხანგრძლივ მოცდენებს. საბოლოო ჯამში, შესაძლებელია მგზავრებმა ვერ მოახერხონ სატრანსპორტო საშუალებაში ჩასხდომა, იძულებული არიან დაელოდონ მორიგი სატრანსპორტო საშუალების მოსვლას.



ფიგურა 7.27: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მომსახურებების დიაქრონიკულ გაშვებაზე დაფუძნებული წარმოდგენა

7.8.3. საზოგადოებრივი ტრანსპორტის განთავსების მეთოდები

ძველი მოდელები იყენებენ მხოლოდ მოკლე მარშრუტის ალგორითმებს, რაც საკმაოდ გამარტივებულია. პირველი გაფართოება განიხილავს პარალელურ ხაზების შესაძლებლობას იმავე ბმულზე, რომელიც ასევე შეიძლება გავრცელდეს პარალელურ სერვისებზე იმავე გაჩერებებს შორის. ყველაზე რეალურია, რამოდენიმე მარშრუტის განხილვის სიტუაცია.

უმოკლესი მარშრუტის ალგორითმის მაგალითი ადაპტირებული ფლოიდის ალგორითმია. იგი დაფუძნებულია მარშრუტის მონაკვეთის წარმოდგენაზე (დე კეა და ფერნანდესი (1993)), რომელიც ინახება მატრიცაში, რომელშიც აღწერილია გაჩერებებს შორის ყველა კავშირები. საწყის ეტაპზე განისაზღვრება ყველა კავშირი ტრანსფერების გარეშე: მგზავრობის დრო, ჩასხდომის კვანძი (ან უკანა კვანძი) და სიხშირე (ფიგურა 7.28). გასათვალისწინებელია რომ, როდესაც რამოდენიმე სერვისი ემსახურება ერთი და იგივე წყვილ გაჩერებებს, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას საერთო მნიშვნელობები.

	1	2	3	4	5	6
1	X	5 / 1	10 / 1	-	-	-
2	5 / 2	X	5 / 2	5 / 2	10 / 2	-
3	10 / 3	5 / 3	X	-	-	10 / 3
4	-	5 / 4	-	X	5 / 4	-
5	-	10 / 5	-	5 / 5	X	-
6	-	-	10 / 3	-	-	X

ფიგურა 7.28: ფლოიდის ალგორითმში გამოყენებული მატრიცის გრაფიკული წარმოდგენა: თითოეული უჯრის შემადგენლობაში შედის მგზავრობის დრო და უკანა კვანძი

ალგორითმი მარტივია. გაჩერებების ყველა კომბინაციისათვის გადამოწმებულია, შეიძლება თუ არა სხვა გაჩერებათა კომბინაციამ გამოიწვიოს უფრო მოკლე მგზავრობის დრო, ვიდრე ამჟამინდელ ვარიანტში. ეს პროცედურა მეორდება რამოდენიმე ციკლად. ფორმულით იგი გამოისახება შემდეგი სახით:

$n = 1$ - თვის n_i - მდე

$i = 1$ - თვის n_{stops} - მდე

$j = 1$ - თვის n_{stops} - მდე

$k = 1$ - თვის n_{stops} - მდე

თუ $Z_{ij} > Z_{ikj} = Z_{ik} + P_k + Z_{jk}$

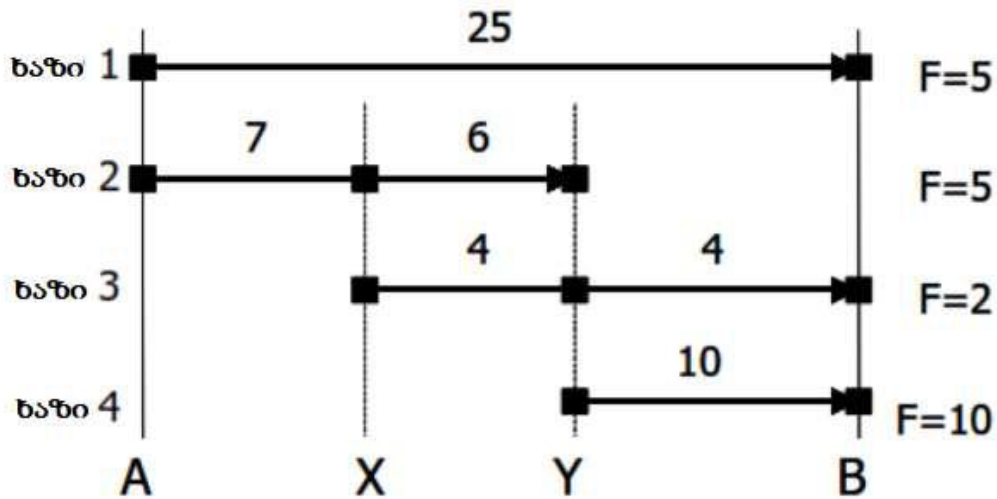
$Z_{ij} = Z_{ikj}$

დასასრული

სადაც Z არის მგზავრობის დრო ან განზოგადებული ხარჯები, P არის ტრანსფერის ჯარიმა. ამ პროცედურის საინტერესო დამახასიათებელია ის, რომ გამეორების ციკლის რაოდენობა დაკავშირებულია თითოეულ მგზავრობაში ტრანსფერების რაოდენობასთან. რა თქმა უნდა უარყოფითი მხარეა, რომ ალგორითმი არაეფექტურია ფართო ქსელებისათვის.

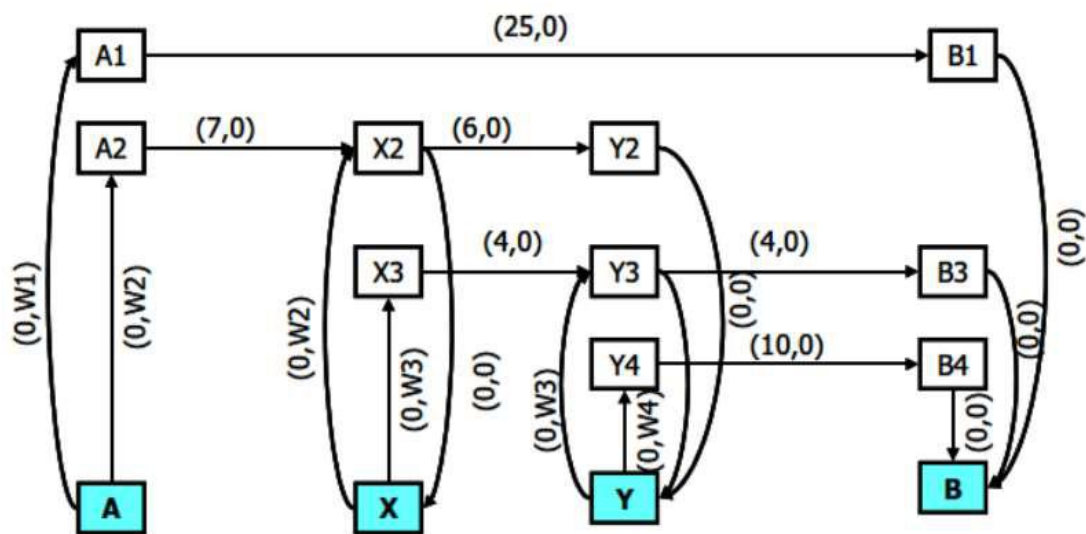
განთავსების მიდგომა, რომელიც აცნობიერებს, რომ მგზავრებს აქვთ სხვადასხვა მარშრუტის არჩევანი დანიშნულების ადგილამდე მისაღწევად, წარმოდგენილია სპაისის და ფლორიანის მიერ 1989 წელს. 7.29 ფიგურაზე მოცემულ ქსელში, A – დან B – მდე უმოკლესი მარშრუტი იქნება მე -2 ხაზზე ჩასხდომა და X – კვანძზე მე - 3 ხაზზე გადასვლა, რომელიც მხოლოდ სატრანსპორტო საშუალებაში ყოფნის დროს განიხილავს. ალტერნატიული მიდგომა მდგომარეობს შემდეგში, რომ მგზავრები ჩასხდებიან პირველივე სატრანსპორტო საშუალებაში, რაც უზრუნველყოფს მათ დანიშნულების ადგილისკენ მიახლოვებას. ამრიგად, მგზავრები შეიძლება ჩასხდნენ, როგორც 1, ასევე მე - 2 ხაზებზე. მე - 2 ხაზის მგზავრებმა შესაძლოა X – კვანძზე შეიცვალონ ხაზი, თუმცა Y - კვანძი უკეთეს შესაძლებლობებს თავაზობს. კვლავ პირველივე სატრანსპორტო საშუალებაში ჩასხდომის სტრატეგიის გამოყენება, აიძულებს მგზავრებს მე - 3 და მე - 4 ხაზებზე ჩასხდომას. ნეთ შედეგი არის მარშრუტების მთელი ნაკრები:

- ხაზი 1
- ხაზი 2 და ხაზი 3 Y კვანძის გამოყენებით
- ხაზი 2 და ხაზი 4 Y კვანძის გამოყენებით

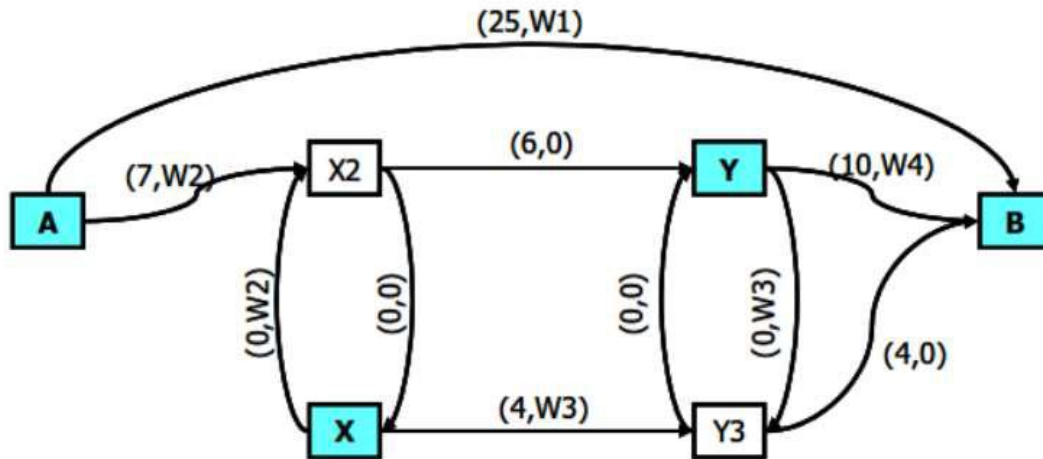


ფიგურა 7.29: საზოგადოებრივი ტრანსპორტის ქსელის მაგალითი

სპაისი და ფლორიანი იყენებენ ქსელის რეპრეზენტაციას, რომელიც შედარებულია ფერნსაიდის და დრაპერის მიდგომასთან. თითოეულ ხაზს აქვს საკუთარი ჩასხდომის და ჩამოსვლის კვანძები. ბმულებს აქვთ ორი ატრიბუტი, ეს არის ბმულის მგზავრობის დრო (ჩასხდომის დრო, ტრანსპორტში ყოფნის დრო) და ლოდინის დრო (დაკავშირებული სიხშირესთან). მიღებული ქსელის გამარტივება შესაძლებელია ყველა იმ კვანძის ამოღებით, რომელსაც მხოლოდ ორი ბმული აქვს. ფიგურა 7.30 და 7.31 იძლევა მიღებული ქსელის სტრუქტურების მაგალითს. ამ რეპრეზენტაციის გამოყენებით ისინი ახორციელებენ უკუ მიებას (დანიშნულების ადგილიდან ყველა წარმოების ადგილებისაკენ), წრფივი პროგრამირების ჩარჩოებიდან გამომდინარე, პირველ ეტაპზე განსაზღვრავენ სტრატეგიებს, ხოლო ნაკადების განთავსებას მეორე ეტაპზე (წარმოებიდან დანიშნულებამდე).



ფიგურა 7.30: ქსელის გაფართოებული წარმომადგენლობა



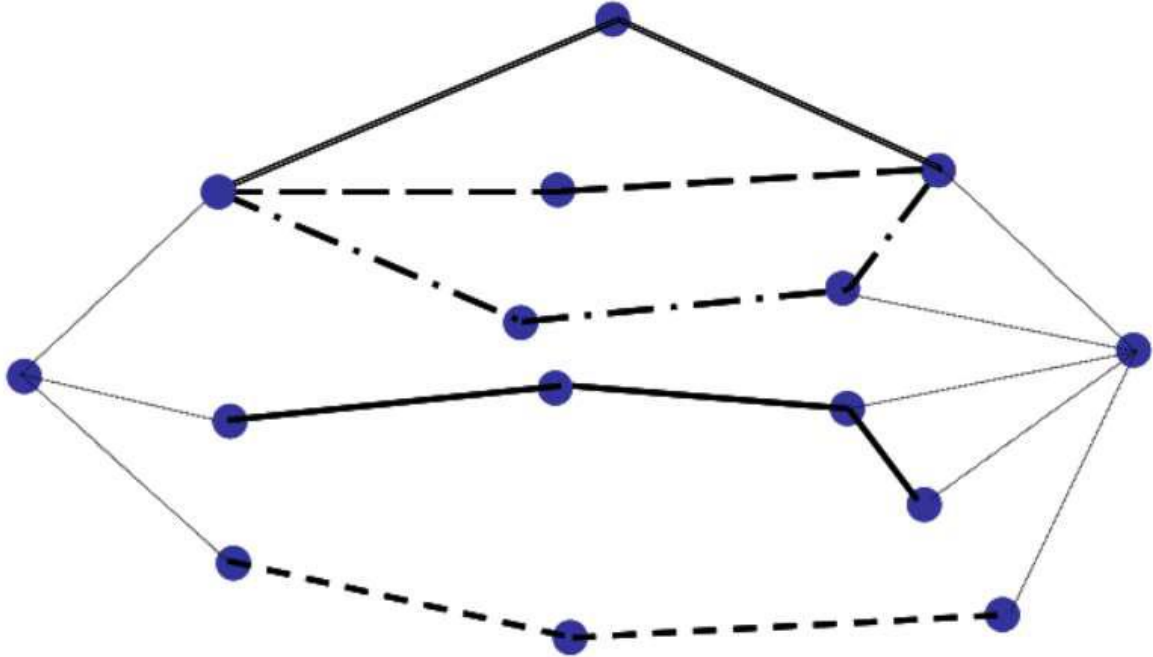
სურათი 7.31: გაფართოებული ქსელის შემცირებული ვერსია

მარშრუტების ან სტრატეგიების ნაკრებს ასევე ჰიპერმარშრუტებს უწოდებენ. ჰიპერმარშრუტი ნიშნავს, რომ არსებობს სხვადასხვა მარშრუტები და რომ ამ მარშრუტების მიმზიდველობა იცვლება დროსთან ერთად. მაშ ასე, მარშრუტის ნამდვილი არჩევანი დამოკიდებულია იმ მომენტზე, როდესაც მგზავრები მივლენ ჰიპერმარშრუტის საწყის წერტილში. სპაისისა და ფლორიანის მიხედვით ეს კონცეფცია ითარგმნება "პირველივე სატრანსპორტო საშუალებაში ჩასხდომა", რომელიც მგზავრებს განათავსებს გაჩერებებიდან გამომავალი ხაზების სიხშირის მიხედვით. გთხოვთ გაითვალისწინოთ, რომ ეს ვარაუდი უგულებელყოფს ყველა სხვა მარშრუტის მახასიათებელს, როგორცაა ავტომობილში ყოფნის დრო და ტრანსფერების რაოდენობა.

რა თქმა უნდა, შესაძლებელია უფრო რთული არჩევანის მოდელის გამოყენებაც მგზავრთა მარშრუტების ნაკრებზე განსათავსებლად. ეს შეიძლება შესრულდეს თითოეული მარშრუტის ინდივიდუალურად განხილვით ან თანმიმდევრული არჩევანების სისტემის გათვალისწინებით. ეს უკანასკნელი მიდგომა შეიძლება ილუსტრირებული იყოს 7.32 ფიგურაზე გამოსახული ქსელის გამოყენებით.

პირველ საკითხს წარმოადგენს იმის განსაზღვრა, თუ რომელი მარშრუტები შედის არჩევანის ნაკრებში. შესაძლო მიდგომაა იმ მარშრუტების გამორიცხვა, რომლებიც არ იწვევენ წარმოებისა და დანიშნულების ადგილებს შორის მთლიანი მგზავრობის დროის შემცირებას. შემდეგში, თანმიმდევრული არჩევანის ნაკრები შეიძლება განისაზღვროს:

- რომელი გაჩერება გამოვიყენოთ?
- რომელ ხაზზე ჩავსხდეთ?
- რომელ გაჩერებაზე ჩამოვიდეთ?



ფიგურა 7.32: ქსელის მაგალითში ილუსტრირებულია სხვადასხვა მარშრუტის არჩევანის პრობლემები: შესაბამისი მარშრუტები, ჩასხდომის გაჩერებები, ხელმისაწვდომი საზოგადოებრივი სატრანსპორტო მომსახურებები, ჩამოსვლის გაჩერებები

თითოეული ვარიანტისათვის შეიძლება განისაზღვროს მარშრუტის ან მარშრუტების მახასიათებლებისაგან შემდგარი სარგებლიანობა, დაკავშირებული კონკრეტულ ვარიანტთან. აქ, კიდევ ერთხელ ლოგისტიკური მიდგომა შეიძლება გამოყენებულ იქნას მარშრუტის დარჩენილი ვარიანტების სპეციფიკაციების მოდელის შესაქმნელად. კონკრეტული სიტუაცია შეიძლება იყოს აქტუალური, როდესაც მგზავრები ირჩევენ სატრანსპორტო საშუალებებს შორის, მაგალითად, მგზავრებმა პირველ რიგში აირჩიონ მატარებელს და ავტობუსს შორის, მატარებლის და ავტობუსის ხაზების რაოდენობათა გათვალისწინებამდე. ამ შემთხვევაში, დამატებითი არჩევანის მოდელი უნდა იქნას გათვალისწინებული.

დასკვნითი შენიშვნები

- საზოგადოებრივი ტრანზიტის განთავსება შეუძლებელია წარმოდგენილ იქნას მგზავრობის განაწილებისა და მოდალური არჩევანისაგან ცალკე. OD მოთხოვნა საზოგადოებრივ ტრანსპორტზე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ხარისხზე, რომელიც არის შემოთავაზებული. თუ ხარისხი ცუდია, მგზავრები გადადიან სხვა მოდალობაზე, ან არჩევენ სხვადასხვა მიმართულებებს. ფიქსირებულ OD ცხრილთან მუშაობა, რომელიც პირდაპირ გამომდინარეობს სოციალურ - ეკონომიკური მონაცემებისაგან, სხვა მოდალობის მიუხედავად, იწვევს დაბალი ხარისხის შედეგებს.

- ტრადიციულ ოთხ ბიჯიან მიდგომაში PT – განთავსება წარმოადგენს ბიჯს, რომელსაც წინ უძღვის მგზავრობათა წარმოება, მგზავრობის განაწილება და მოდალური დაყოფა. მოდალური დაყოფის ბიჯის შედეგია მატრიცა, რომელიც ითვლება, რომ წარმოადგენს საზოგადოებრივი ტრანსპორტით მგზავრობებს, ანუ PT – ის გამოყენებით, როგორც ძირითადი მოდალობა. თუმცა, ამ მგზავრობათა რეალისტურად ქსელში განთავსების მიზნით, ასევე უნდა დაპროექტდეს მარშრუტების ასასვლელი და ჩამოსასვლელი ნაწილები. მარშრუტის ამ ნაწილში შეიძლება ფეხით, PT (ავტობუსებით), ველოსიპედით ან თუნდაც მანქანებით გადაადგილება. უფრო მეტი რეალიზმისათვის, სასურველია ამ მოდალობის ქსელის PT ასასვლელი და ჩამოსასვლელი წერტილების მითითება. თუმცა, ეს მიგვიყვანს ახალ პრობლემასთან: თუ ქსელი სხვა მოდალობისათვის არის განსაზღვრული, PT OD მოთხოვნის ნაწილი, როგორც მოდალური დაყოფის მოდულით იქნა პროგნოზირებული, შესაძლოა მთლიანად იქნას მარშრუტიზებული ამ ქსელში და საერთოდ არ გამოვიყენოთ საზოგადოებრივი ტრანსპორტი, რაც ეწინააღმდეგება წინა ვარაუდს.

- სხვა მოდალობასთან შედარებით, ქსელის კონკრეტულ ბმულებზე საზოგადოებრივი ტრანზიტის გამოყენებით მგზავრების რაოდენობა უმნიშვნელოა. დაგეგმვის მიზნებისათვის, მხოლოდ მცირე ფარდობითობის შეცდომაა დასაშვები, ვთქვათ სტანდარტული გადახრა, რომლის ნამდვილი მოცულობა 20% -ს შეადგენს მისაღებია. ამ სიზუსტით PT მოცულობის პროგნოზირება გაცილებით რთულია, ვიდრე ამავე სიზუსტით ბევრად უფრო მაღალი მონაცემების მანქანების რაოდენობების პროგნოზირება. ეს თანაფარდობა ასეთია: ბევრი პრაქტიკული ფენომენი, როგორცაა ხმაური ან შეცდომები, აჩვენებენ ცვალებადობას, რომელიც პროპორციულია იმ რაოდენობების, რომლებთანაც ისინი დაკავშირებულია. ამ შემთხვევებში, ნაკადის მოცულობის სტანდარტული გადახრა მცირდება, თუ ფაქტობრივი ნაკადის მოცულობა იზრდება.

7.9. მგზავრობის მოთხოვნის ელასტიურობა

აქამდე ვარაუდობდით, რომ მთლიანი მგზავრობის მოთხოვნა, რომელიც უნდა განთავსდეს ქსელში, ფიქსირებულია. თუმცა, პრაქტიკაში მთლიან OD მოთხოვნაზე გავლენას ახდენს ის ხარისხი, რომელსაც ერთობლივად გვთავაზობენ ხელმისაწვდომი მარშრუტები. თუ ეს ხარისხი გაუმჯობესდება კონკრეტული OD წყვილისათვის, საერთო OD მოთხოვნა გაიზრდება, შემდეგის ხარჯზე:

- სხვა მოდალობის მგზავრობათა გადმომისამართება
- საქმიანობის ლოკაციის შეცვლა
- საქმიანობის გრაფიკის შეცვლა
- ახალი საქმიანობის წარმოება.

დამატებითი მოთხოვნა, რომელიც რეალიზდება სატრანსპორტო სისტემის გაუმჯობესების დროს, ცნობილია როგორც ლატენტური მოთხოვნა. თუ OD მოთხოვნა განიხილება, როგორც სამომხმარებლო საქონელი, ფასების ელასტიურობა განისაზღვრება როგორც მგზავრობის მოთხოვნის პროპორციული ცვლილება, რომელიც წარმოიშობა მგზავრობის ღირებულების ერთ პროცენტიანი ცვლილების შედეგად. თუ მგზავრობაზე მოთხოვნა c ღირებულების დონეზე მოცემულია $q(c)$ - თი, მაშინ ღირებულების ელასტიურობა უდრის $(dq(c) / dc) \cdot (c / q(c))$.

მოთხოვნის მრუდი შეიძლება შედგენილი იყოს იმავე ფიგურაში, რომელშიც მოყვანილია ღირებულების ფუნქციები, იხილეთ ფიგურა 7.33. მგზავრობის მოთხოვნასა და მიწოდებას შორის წონასწორობა შეიძლება განისაზღვროს მიწოდების და მოთხოვნის მრუდების კვეთიდან.

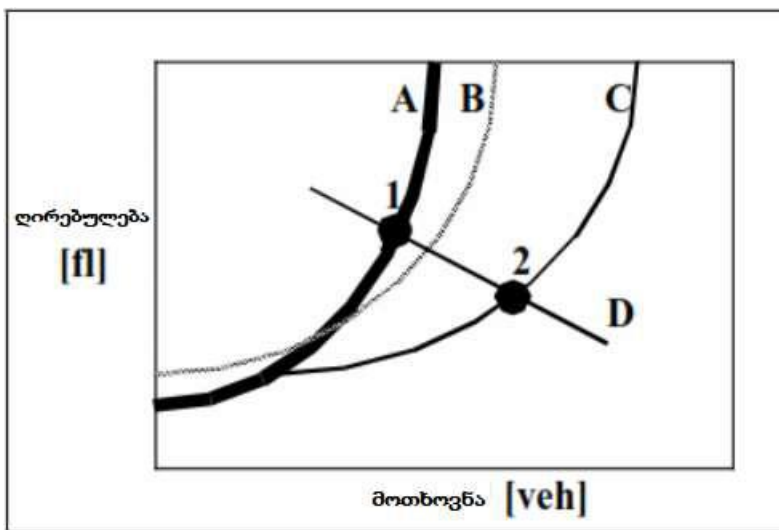
ლატენტური მოთხოვნის გათვალისწინების ერთერთი შედეგი ისაა, რომ ახალი ინფრასტრუქტურის სარგებლის გამოთვლა ნაკლებად მარტივია, ვიდრე ეს ადრე იყო, რადგან ორი ეფექტი ერთდროულად უნდა იქნას გათვალისწინებული:

1. მგზავრობის საფასური იცვლება ახალი ინფრასტრუქტურის შედეგად
2. მგზავრობის მოთხოვნა იცვლება მგზავრობის ღირებულების ცვლილების შედეგად.

თუ მთლიანი მგზავრობა დარჩებოდა მუდმივი, სარგებელი უზრალოდ შესაძლებელია გამოანგარიშებულიყო მარშრუტის ხარჯების ცვლილების გამრავლებით მთლიანი მგზავრობის მოთხოვნაზე. ვინაიდან ეს ასე არ არის, ახალი ინფრასტრუქტურის სარგებლის ანალიზი უფრო რთული სახისაა.

მაგალითი 7.9: სამომხმარებლო ზედმეტობა

განვიხილოთ 7.33 ფიგურაზე გამოსახული მაგალითი, რა არის B მარშრუტის დამატების მთლიანი სარგებელი? როდესაც მხოლოდ არსებული მარშრუტია ხელმისაწვდომი, წონასწორობა მიწოდებასა და მოთხოვნას შორის არის 1 წერტილში. როდესაც ემატება მეორე მარშრუტი (ღირებულების ფუნქცია B), A და B მარშრუტის კომბინაციის ღირებულება შეიძლება შეიქმნას ისე, როგორც ეს განმარტებულია 7.2 მაგალითში. ახალი წონასწორობა მიწოდებასა და მოთხოვნას შორის არის 2 წერტილში (შეეცადეთ განსაზღვროთ ამ მთლიანი მოთხოვნის რა ნაწილს გამოიყენებს მარშრუტი A და რომელს მარშრუტი B).



ფიგურა 7.33: წონასწორობა მიწოდებასა და მოთხოვნას შორის:

A: ღირებულების ფუნქცია

D: მოთხოვნის ფუნქცია

1: მიწოდება - მოთხოვნა

B: ღირებულების ფუნქცია ახალი ალტერნატიული მარშრუტისათვის

C: ღირებულების ფუნქცია კომბინირებული მარშრუტის სისტემისათვის A + B

2: მიწოდება - მოთხოვნის წონასწორობა ახალი სიტუაციისათვის (მარშრუტი A და მარშრუტი B ხელმისაწვდომია)

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ახალი მარშრუტის დამატების სარგებელი, საჭიროა შემოვიტანოთ ცნება სამომხმარებლო ზედმეტობა.

მოცემული c ღირებულებით, $q(c)$ ხალხს სურთ მგზავრობა. ამასთან, ამ მგზავრთა ნაწილი მზად იქნებოდა უფრო მეტი თანხის გადახდაზე, ვიდრე c . სხვაობა მთლიან შემოსავალს, რომელიც მიიღწევა, თუ თითოეულ მგზავრს დაეკისრება მაქსიმალური გადასახადი, რომლის გადახდაზეც იგი მზად არის და ფაქტობრივ საერთო თანხას შორის, რომელიც მგზავრებს ამჟამად ეკისრებათ, მოიხსენიება, როგორც სამომხმარებლო ზედმეტობა.

მისი ნახვის კიდევ ერთი გზა მოცემულია შემდეგში. თუ ჩვენ ინტერპრეტირებთ განსხვავებას იმ ღირებულებათა შორის, რომელიც მგზავრს სურს გადაიხადოს ამა თუ იმ სერვისით სარგებლობისათვის და საფასური, რომელიც მძღოლმა უნდა გადაიხადოს ამ მომსახურებისათვის მოგების სახით, სამომხმარებლო ზედმეტობა შეესაბამება კონკრეტული მომსახურების მთლიან ეკონომიკურ ღირებულებას, რომელიც მიეწოდება ნებისმიერ მომხმარებელს.

თუ მოცემულია $q(c)$ მოთხოვნის ფუნქცია და \tilde{c} ღირებულების დონე, მაქსიმალური ჯამური შემოსავალი (MTY) გამოითვლება შემდეგი სახით (იხ. ფიგურა 7.34):

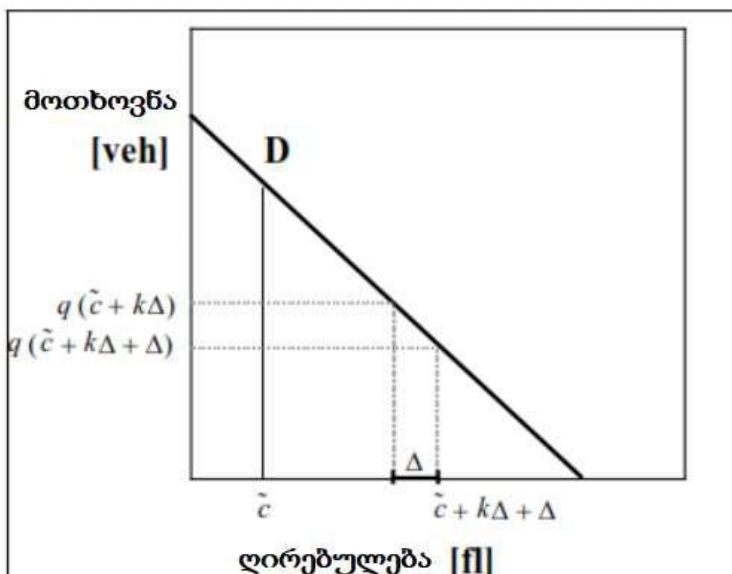
$$\begin{aligned} MTY(\tilde{c}) &= \lim_{\Delta \downarrow 0} \sum_{k=0}^{\infty} (q(\tilde{c} + k\Delta) - q(\tilde{c} + (k+1)\Delta)) \left(k + \frac{1}{2}\right) \Delta = \\ &= \lim_{\Delta \downarrow 0} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{q(\tilde{c} + k\Delta) - q(\tilde{c} + (k+1)\Delta)}{\Delta} \left(k + \frac{1}{2}\right) \Delta \cdot \Delta = \\ &= -\int_{\tilde{c}}^{\infty} q'(c) c dc = q(\tilde{c})\tilde{c} + \int_{\tilde{c}}^{\infty} q(c) dc \end{aligned}$$

სამომხმარებლო ზედმეტობა (CS) შესაბამისად მოცემულია:

$$CS(\tilde{c}) = MTY(\tilde{c}) - q(\tilde{c})\tilde{c} = \int_{\tilde{c}}^{\infty} q(c) dc$$

B მარშრუტის შემოღების საზოგადოებრივი სარგებელი უდრის სამომხმარებლო ზედმეტობის ზრდას:

$$CS(\tilde{c}_1) - CS(\tilde{c}_2)$$



ფიგურა 7.34: მგზავრობის მოთხოვნა, ღირებულებასთან დამოკიდებულებაში

კითხვა: შეგიძლიათ გრაფიკულად წარმოადგინოთ სამომხმარებლო ზედმეტობის ზრდა 7.33 ფიგურაზე?

- მაგალითის დასასრული -

7.10. ნაკადების განთავსების ზოგიერთი პარადოქსული მაგალითები

ნაკადების განთავსება მიზნად ისახავს მგზავრობის მოთხოვნის რთული რეალობის სიმულაციას, არსებულ ინფრასტრუქტურასთან ურთიერთდამოკიდებულებაში. ზოგჯერ, ეს იწვევს პარადოქსებს: შედეგები, რომელიც ერთი შეხედვით მოულოდნელია, მაგრამ აქვს ლოგიკური ახსნა. ამ თავში განვიხილავთ რამოდენიმე ცნობილ პარადოქსს. მაგალითები ამოღებულ იქნა [არნოტ და სმოლი, 1994] სტატიიდან.

ნაკადი, რომელსაც ვხედავთ, არ წარმოადგენს პიკური პერიოდის მგზავრობის სრულ მოთხოვნას გავრცელებული განზოგადებული ღირებულებით, რადგან გადატვირთვა თავად იწვევს პიკურ-პერიოდში უამრავი პოტენციური მგზავრობის გაუქმებას, გადართვას (მაგალითად, საზოგადოებრივ ტრანზიტზე, მანქანების გაქირავებასა და ნაკლებად დატვირთულ მარშრუტებზე და დანიშნულების ადგილებზე) ან გრაფიკის შეცვლას. საცობების შემცირება, გამოწვეული მოცულობის გაფართოებით წახალისებს მძღოლებს ისეთი დროის პერიოდში ან ისეთ მარშრუტებზე იმგზავრონ, რომელსაც ჩვეულებრივ არ იყენებდნენ. კიდევ ერთი მიზეზი, რომ მარტო მოცულობის გაზრდა არაა საკმარისი არის ის, რომ ინფრასტრუქტურის გამოყენება მხოლოდ გადატვირთული პერიოდების განმავლობაში, არასწორი მიდგომაა. იმის გამო, რომ მძღოლები არ ანაზღაურებენ საცობში ყოფნით გამოწვეულ ზარალს, რომელსაც თავად აკისრებენ დამქირავებლებს, ისინი აკეთებენ სოციალურად არაეფექტურ არჩევანს თუ რამდენი იმგზავრონ და რომელი მარშრუტი გამოიყენონ.

ლატენტური მოთხოვნისა და არასწორად შეფასებული გადატვირთულობის კომბინაცია შეიძლება იყოს იმდენად შეცვლილი, რომ მოცულობის გაფართოება არ იწვევდეს გადატვირთულობაში ცვლილებებს, ან კიდევ უფრო უარესდებოდეს, როგორც ეს მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ მაგალითებში.

მაგალითი 7.10: პიგოუ-ნაით-დაუნსის პარადოქსი

განვიხილოთ 7.35 ფიგურაში მოცემული ორი სამარშრუტო სისტემა და შევაფასოთ ღირებულების და მოთხოვნის ფუნქციები:

$$T_1 = 10 + 10 F_1/C_1, \quad T_2 = 15, \quad F_1 + F_2 = 1000$$

სცენარი ა: დავუშვათ $C_1 < 2000$

$$\text{და } T_1 = 10 + 10 F_1/C_1 = 15 = T_2$$

$$\text{მაშინ: } F_1 = \frac{1}{2} C_1, T_1 = T_2 = 15$$

სცენარი ბ: როცა $C_1 > 2000$

$$F_1 = 1000, F_2 = 0, T_1 = 10 + 10000/C_1$$

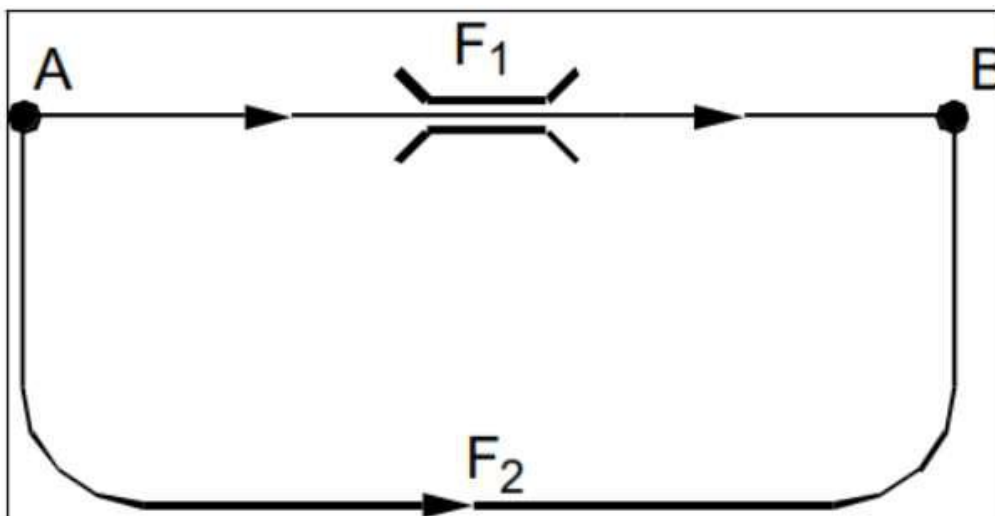
მაგალითი:

$$\text{დავუშვათ } C_1 = 2500$$

$$\text{მაშინ: } F_1 = 1000, F_2 = 0, T_1 = 10 + 10000/2500 = 14$$

ყველა იყენებს ხიდს.

ხიდის ტევადობის ნებისმიერი მნიშვნელობით გაზრდა, რომელიც არანაკლებ ორჯერ ნაკლებია მოძრაობის ნაკადზე, არ ახდენს გავლენას (T_1) მგზავრობის დროზე. დავუშვათ, რომ მარშრუტი 1, გადასასვლელი მარშრუტი (მაგ. ხიდი), რომელსაც 10 წუთი სჭირდება გასავლელად თავისუფალი მოძრაობის პირობებში, მაშინ მგზავრობის დრო იზრდება წრფივად (F_1) მოძრაობის ნაკადის და (C_1) ხიდის მოცულობის თანაფარდობასთან მიმართებაში. მე-2 მარშრუტს ყოველთვის 15 წუთი სჭირდება (T_2). 1000 მგზავრი დგას მარშრუტი 1 ან 2 არჩევანის წინაშე. ა სცენარში ხიდის მოცულობა განსაზღვრულია, როგორც 2000-ზე ნაკლები. ხიდზე მოძრაობის ნაკადი განისაზღვრება $\frac{1}{2}C_1$, ასე რომ, მგზავრობის დრო 1 და 2 მარშრუტებზე თანაბარია და 15 წუთი გრძელდება. ბ სცენარში, ხიდის მოცულობა 2000-ზე მეტია. ამ შემთხვევაში ყველა იყენებს მარშრუტს ხიდზე, მაგრამ მგზავრობის დრო მცირდება, როგორც ეს ჩანს მაგალითში, სადაც ხიდის მოცულობა 2500 უტოლდება.



ფიგურა 7.35: გზის მოცულობის გაფართოება ქმნის მის საკუთარ მოთხოვნას, ფენომენი, რომელიც ცნობილია როგორც პიგოლუ-ნაით-დაუნსის პარადოქსი.

ვინაიდან მარშრუტი 1, ხიდის გამოყენებით არის ყველაზე პირდაპირი მარშრუტი A წერტილიდან B წერტილამდე, ბევრ ადამიანი სურს გამოიყენოს იგი და რის შედეგადაც გამოწვეული საცობი 1 მარშრუტს ხდის წრიული 2 მარშრუტის იდენტურს მგზავრობის დროის კუთხით. მგზავრობის დრო თითოეულ მარშრუტზე არის 15 წუთი. 1 მარშრუტზე ხიდის მოცულობის გაფართოება მხოლოდ უფრო მეტ მომხმარებელს იზიდავს, ხოლო მგზავრობის დრო უცვლელი რჩება. პარადოქსი ქრება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ხიდის მოცულობა ორჯერ აღემატება მთლიან ნაკადს.

- მაგალითის დასასრული -

ზემოხსენებული მაგალითი ცნობილია როგორც პიგოუ-ნაით-დაუნსის პარადოქსი. პარადოქსი ხდება მაშინ, როდესაც მთლიანი მგზავრობის მოთხოვნა 1000-ზე მეტია, ხოლო C_1 ხიდის მოცულობა 2000-ზე ნაკლები. ამ შემთხვევაში მგზავრები ნაწილდებიან ორ მარშრუტზე ისე, რომ თითოეულ მარშრუტზე მგზავრობის დრო 15 წუთია, რაც ნიშნავს, რომ ნაკადი ხიდზე ზუსტად მისი შესაძლებლობის ნახევარია. ამრიგად, ხიდის შესაძლებლობების გაფართოება ნებისმიერ წერტილში, 0 – დან 2000 – მდე დიაპაზონში, გავლენას არ ახდენს მგზავრობის დროზე. ამის ნაცვლად, იგი იზიდავს მეტ ადამიანს სარეზერვო მოცულობის მქონე მარშრუტიდან, ხიდზე გადასასვლელი მარშრუტისაკენ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ახალი ხიდის მოცულობა წარმოქმნის საკუთარ მოთხოვნას.

ხიდზე საცობის შემცირების მცდელობები, ნაცვლად იმისა, რომ ხელი შეუწყონ მანქანების გაზიარებას, საზოგადოებრივი ტრანზიტის გაფართოებას ან სატელეკომუნიკაციო ობიექტების გაუმჯობესებას, უშედეგო იქნება იმ შემთხვევაში, თუ ტრანსპორტირების მთლიანი მოცულობა შემცირდება ხიდის მოცულობის ნახევარზე მეტად. სანამ რაიმე ნაკადი რჩება მეორე მარშრუტზე, ლატენტური მოთხოვნილება შეარყევს ამ მცდელობებს ხიდის საცობის განტვირთვის მიზნით.

პარადოქსის შინაარსი მდგომარეობს მგზავრობის პირად და ზღვრულ ხარჯებს (მას ასევე უწოდებენ სოციალურ ხარჯებს) შორის განსხვავებაში. პირადი ხარჯები არის ის ხარჯები, რომელიც მძღოლს ახლავს. ზღვრული ხარჯები უდრის პირად ხარჯებს დამატებული გარე ხარჯი, ეს არის ის ხარჯი, რომელსაც მძღოლი სხვა მძღოლებს აკისრებს მათი შენელებით. მაგალითში, ხიდზე მგზავრობის სოციალური ხარჯი აღემატება კერძო ხარჯს, რადგან ის გადატვირთულია. როგორც წესი, მძღოლები ირჩევენ მარშრუტს მათთვის დაბალი ღირებულებით - დაბალი პირადი ხარჯით. ეს იწვევს წონასწორობას, რომლის დროსაც ორ მარშრუტზე კერძო ხარჯები გათანაბრდება. ამის ნაცვლად, თუ მძღოლები იქნებიან ორ მარშრუტზე გადანაწილებული ისე, რომ გაათანაბრონ სოციალური ხარჯები, პარადოქსი გაქრება; ხიდის გაფართოება იწვევს საცობების შემცირებას. ეს მიგვითითებს იმაზე, რომ ჩვეულებრივი პოლიტიკა საცობების თავიდან ასაცილებლად უკეთესად

იმუშავებდა, თუ თითოეულ მძღოლს ექნებოდა საქმე მისი მგზავრობის სოციალურ ხარჯთან.

მაგალითი 7.11: დაუნს-ტომსონის პარადოქსი

განვიხილოთ ორი სამარშრუტო სისტემა 7.36 ფიგურაზე და შევაფასოთ ღირებულების და მოთხოვნის ფუნქციები:

სცენარი ა: როცა $C_1 < 1000$

$$T_1 = 10 + 10 F_1 / C_1 = 20 - (1000 - F_1) / 300$$

$$\text{მაშინ: } F_1 = C_1 / (1.5 - C_1 / 2000), \quad T_1 = 10 + 10(1.5 - C_1 / 2000) = T_2$$

წონასწორობის გადაწყვეტილებათა მაგალითები:

$$\text{თუ } C_1 = 250 \text{ მაშინ } F_1 = 182 \text{ და } T_1 = T_2 = 17.27$$

$$\text{თუ } C_1 = 750 \text{ მაშინ } F_1 = 667 \text{ და } T_1 = T_2 = 18.89$$

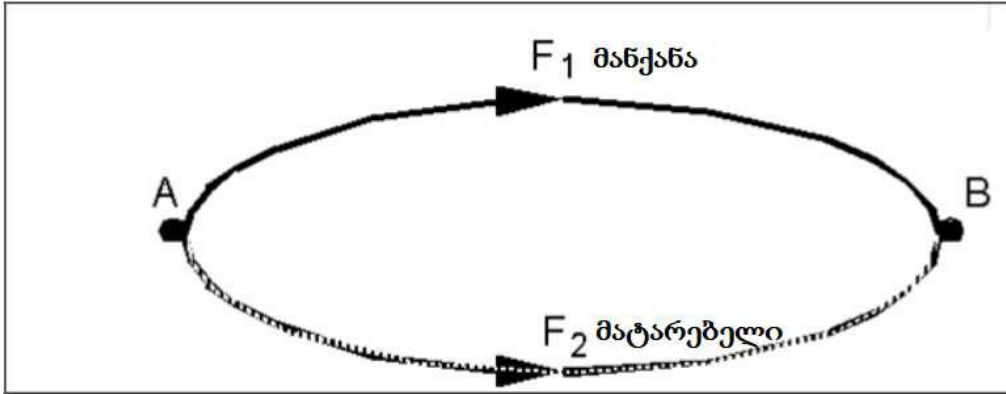
$$\text{თუ } C_1 \rightarrow 1000 \text{ მაშინ } F_1 \rightarrow 1000 \text{ და } T_1 = T_2 \rightarrow 20$$

სცენარი ბ: როცა $C_1 > 1000$

$$F_1 = 1000, F_2 = 0, \quad T_1 = 10 + 10000 / C_1$$

მაგალითი: დაუშვათ $C_1 = 2000$ მაშინ: $T_1 = 15$

მათემატიკურად გამოსახული დაუნს-ტომსონის პარადოქსი გვიჩვენებს 7.36 ფიგურაში გზის მოცულობის გაზრდას, რეალურად რამდენად ზრდის მგზავრობის დროს, თუ გზის მოცულობა (C_1) მგზავრთა რაოდენობაზე ნაკლებია. დავუშვათ, რომ მგზავრობის დროის განტოლება გადატვირთულ (T_1) მარშრუტზე იგივეა, რაც წინა მაგალითში; რომ მატარებლით მგზავრობის მაქსიმალური დრო (T_2) არის 20 წუთი; და ყოველი 3000 მგზავრისათვის მატარებლით მგზავრობის დრო შემცირდება 10 წუთით. ვინაიდან საერთო მგზავრთა რაოდენობა წარმოადგენს 1000 მგზავრს, (F_1) მარშრუტის და (F_2) მატარებლის მომხმარებელთა ჯამი უდრის 1000-ს. ა სცენარში, წონასწორობისას, ზოგი მგზავრი იყენებს სამანქანო გზას, ზოგიც სარგებლობს მატარებლით. ამ პირობებში, როცა გზის მოცულობა უახლოვდება 1000-ს, თითოეული მარშრუტისათვის მგზავრობის დრო, T_1 და T_2 უახლოვდება 20 წუთს. ბ სცენარში, გზის ტევადობა გაფართოვდა და 1000 მიუახლოვდა. ყველა მგზავრი იყენებს გზას ასე, რომ ნაკადი გზაზე უდრის 1000, ხოლო მატარებლით მგზავრობა ნულის ტოლია. მაგალითად, გზის მოცულობის გაფართოება 2000-მდე, შეამცირებს მგზავრობის დროს 15 წუთამდე.



ფიგურა 7.36: გაზრდილი მოცულობა, შემცირების მაგივრად, იწვევს უფრო მეტ საცობს დაუნს-ტომსონის პარადოქსით. მეორე მარშრუტი, სამგზავრო მატარებელი, გვიჩვენებს მზარდ დამატებით ნაკადს, რადგან მომსახურების ხარისხი უმჯობესდება და რადგან მას უფრო მეტი მგზავრი იყენებს. გზის ტევადობის გაფართოებას მგზავრები გადმოჰყავს მატარებლიდან გზაზე, რაც იწვევს მატარებლების მომსახურების გაუარესებას. ორ მარშრუტს შორის წონასწორობა გვკარნახობს, რომ საგზაო მგზავრობა ასევე გაუარესდება, ამიტომ გზის გამტარუნარიანობის ზრდა ფაქტობრივად იწვევს ორივე მარშრუტზე მგზავრობის დროის ზრდას.

- მაგალითის დასასრული -

ზემოხსენებული პარადოქსი, რომელსაც დაუნს-ტომსონის პარადოქსი ჰქვია, პიგოუ-ნაით-დაუნსის პარადოქსს ჰგავს, გარდა გადატვირთული 1 მარშრუტის ალტერნატივისა, რომელიც ეხლა უკვე კერძო ექსპლუატაციის მატარებელია. მატარებლის ოპერატორი ფინანსური დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად უზრუნველყოფს, რომ მატარებელი მაქსიმალურად იყოს დატვირთული. თუ მატარებლით მეტი ადამიანი მგზავრობს, მაშინ მატარებლები უფრო ხშირად დადიან, რაც მომხმარებელს უზოგავს სადგურებზე ლოდინის დროს. ამ შემთხვევაში, მოდით ვთქვათ, რომ მატარებლით მგზავრობის მაქსიმალური დრო 20 წუთია და ის, რომ მგზავრობის დრო 10 წუთით შემცირდება ნებისმიერი 3000 მგზავრის შემთხვევაში. ამ სიტუაციის დამაინტრიგებელი თვისება ის არის, რომ მგზავრობის დრო გაიზრდება ხიდის სიმძლავრის გაზრდით 0-დან 1000-მდე დიაპაზონში. მიზეზი ის არის, რომ, ისევე, როგორც წინა მაგალითში, მოცულობების გაზრდა იზიდავს მომხმარებელს გადატვირთული მარშრუტიდან. მაგრამ ეს ცვლილება იწვევს მატარებლების სერვისის გაუარესებას, ასე რომ წონასწორობა შეიძლება დადგეს მხოლოდ მაშინ, როდესაც საცობი გაუარესდება. აქ ახალი მოცულობა გენერირებს უფრო მეტ ნაკადს, ვიდრე საკუთარი მოთხოვნა.

მიზეზი იმისა, რომ ეს პარადოქსი უფრო მედეგია ვიდრე წინა, არის ის, რომ არა მხოლოდ თითოეული ავტომობილის მომხმარებლის მიერ გაწეული გარე ხარჯია

წარმოდგენილი, როგორც ადრე, არამედ ამჟამად არსებობს თითოეული მომხმარებლის, ასევე მატარებლის მგზავრთა მიერ მიღებული გარე ბენეფიტები. ეს ხდება იმის გამო, რომ მატარებლის მაღალი მოხმარება იწვევს მომსახურების სიხშირის ზრდას და შესაბამისად ამცირებს სხვა მგზავრთა ლოდინის დროს. ეს არის ყველა სახის საზოგადოებრივი ტრანზიტის ტექნოლოგიური საკუთრება, მათ შორის ავტობუსისა და ასევე ტაქსის მომსახურებები. იგივე შედეგი შეიძლება მივიღოთ, თუ გზის გაფართოების ნაცვლად, მოაზროვნე დამგეგმავები ორივე მარშრუტის მგზავრების გარკვეულ ნაწილს შესთავაზებენ მესამე ვარიანტს, როგორცაა სუბსიდირებული სამარშრუტო ტაქსები, სატელეკომუნიკაციო ცენტრები ან თუნდაც ახალი მატარებლის მომსახურება. თუ ზემოთ მოყვანილ მაგალითში, ხიდის მოცულობა გაიზრდება 1000-მდე ან გადაამეტებს, სხვადასხვა საინტერესი ცვლილებებს ექნება ადგილი. მოცულობა აღემატება მოთხოვნას და ყველა იწყებს ამ გზის გამოყენებას. მატარებლის მომხმარებელთა რიცხვი F_2 , ნულამდე დადის. ხიდის მოცულობის კიდევ უფრო მეტი ზრდა ამცირებს მგზავრობის დროს. მაგალითად 1500-მდე გამტარობის ზრდა ამცირებს მგზავრობის დროს 16.67 წუთამდე, იგივე დროს დასჭირდება მატარებლით მგზავრობას, თუ ყველა მგზავრი აირჩევს მატარებლით მგზავრობას. გზის გამტარუნარიანობის კიდევ უფრო ზრდა კიდევ უფრო ამცირებს მგზავრობის დროს, ამიტომ პარადოქსი ქრება.

მაგალითი 7.12: ბრეისის პარადოქსი

განვიხილოთ 7.37 ფიგურაზე ნაჩვენები სამი სამარშრუტო სისტემა A - დან B - მდე. შეადარეთ სცენარი, სადაც დიაგონალური ბმული არ არის წარმოდგენილი, ანუ $F_3 = 0$ (ა სცენარი) იმ სცენარს, სადაც წარმოდგენილია დიაგონალური ბმული (ბ სცენარი). გავანალიზოთ შემდეგი ღირებულებების ფუნქციები:

$$\text{ნაკადი ხიდზე ა: } F_A = F_1 + F_3, \quad T_A = F_A/100$$

$$\text{ნაკადი ხიდზე ბ: } F_B = F_2 + F_3, \quad T_B = F_B/100$$

$$T_1 = 15 + T_A, \quad T_2 = 15 + T_B, \quad T_3 = 7.5 + T_A + T_B, \quad F_1 + F_2 + F_3 = 1000$$

სცენარი ა: წონასწორობა დიაგონალური ბმულის გარეშე

$$F_1 + F_2 = 1000, \quad F_3 = 0$$

$$T_1 = T_2 = 15 + F_1/100 = 15 + (1000 - F_1)/100$$

$$\text{მაშინ: } F_1 = F_2 = 500, \quad T_1 = T_2 = 20$$

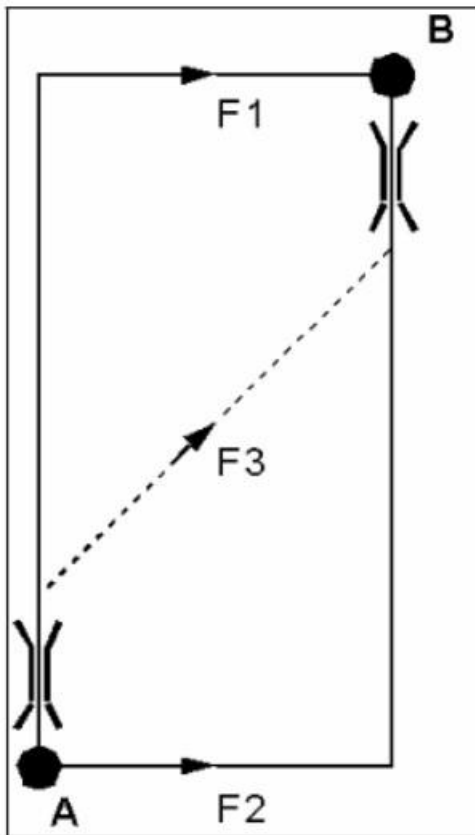
სცენარი ბ: წონასწორობა დიაგონალური ბმულით

$$F_1 + F_2 + F_3 = 1000, \quad = 0$$

$$T_1 = T_2 = T_3 = 15 + (F_1 + F_3)/100 = 15 + (F_2 + F_3)/100 = 7.5 + (F_1 + F_2 + 2F_3)/100$$

$$\text{მაშინ: } F_1 = F_2 = 250, \quad F_3 = 500, \quad T_1 = T_2 = T_3 = 22.5$$

მაგალითი გვიჩვენებს, თუ როგორ იზრდება მგზავრობის დრო დიაგონალური კავშირის დამატებისას. ორივე ხიდი არის გადატვირთული წერტილები. (დრო, რომელიც საჭიროა ა ხიდზე მგზავრობისათვის გამოხატულია, როგორც T_1 , ბ ხიდი, როგორც T_2 ; ხიდებზე ნაკადები, შესაბამისად გამოხატულია როგორც F_1 და F_2) ა სცენარში, დამატებით ბმულამდე, წონასწორობა მიიღწეოდა, როდესაც 1 მარშრუტზე მგზავრობის მთლიანი (T_1) დრო, ა ხიდზე, ტოლია 2 მარშრუტზე მგზავრობის (T_2) დროის, რომელიც საჭიროა ბ ხიდზე მგზავრობისათვის. ამ პირობებიდან გამომდინარე 1 მარშრუტზე ნაკადი (F_1) და 2 მარშრუტზე ნაკადი (F_2), თითოეული ტოლია 500 მგზავრის (1000 მგზავრის ნახევარი); თითოეულ მარშრუტზე მგზავრობის საერთო დრო 20 წუთია. ბ სცენარში ემატება დიაგონალური ბმული, ამიტომ მგზავრებს აქვთ საშუალება აირჩიონ ეს დამატებითი მარშრუტი, რომელსაც ჩვენ მე-3 მარშრუტს ვუწოდებთ. 3 მარშრუტი იღებს ნაკადებს ორივე ა და ბ ხიდების გავლით, ამიტომ ხიდები კიდევ უფრო გადატვირთულია, ვიდრე ადრე. წონასწორობა მიიღწევა მაშინ, როდესაც სამივე მარშრუტზე მგზავრობის დროები უტოლდება ერთმანეთს, T_1 , T_2 და T_3 ტოლებია. როცა ეს ხდება, 3 მარშრუტზე ნაკადი (F_3) 500 მანქანაა და სამივე მარშრუტზე თითოეულის მგზავრობის დრო 22.5 წუთია.



ფიგურა 7.37: ბრეისის პარადოქსის ქსელის მაგალითი; დიაგონალური (წერტილოვანი) ბმულის დამატებით იზრდება UE მგზავრობის დრო

ზემოთ მოყვანილი მაგალითი ცნობილია ბრეისის პარადოქსის სახელით, რომელსაც დაერქვა გერმანელი მკვლევარის პატივისცემით, რომელმაც 1968 წელს აღწერა აბსტრაქტული საგზაო ქსელი, რომელშიც რამდენიმე ბმულის დამატება იწვევდა მგზავრობის მთლიანი დროის ზრდას. პარადოქსი აიხსნება ხიდზე საცობის გარე ეფექტებით; იმიტომ, რომ თითოეული მგზავრი უგულებელყოფს იმ გარე ხარჯს, რომელსაც იგი წარმოშობს ხიდის გადაკვეთით, ძალიან ბევრი ადამიანი ირჩევს მე-3 მარშრუტს, რომელიც კვეთს ორივე ხიდს. რაც უფრო სწრაფია დიაგონალური ბმული, უფრო მეტ ადამიანს იზიდავს იგი და მით უფრო უარესი ხდება მათი მგზავრობა. თუ დიაგონალურ ბმულზე მგზავრობის დრო მხოლოდ 5 წუთი იყო, მაშინ 1000 - ივე მგზავრი აირჩევდა ამ მარშრუტს, ხოლო მგზავრობის დრო 25 წუთამდე გაიზრდებოდა. მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დიაგონალურ ბმულზე სიჩქარე იქნება უსასრულო, გაწონასწორებული მგზავრობის დრო დაუბრუნდებოდა თავის საწყის 20 წუთს.

8. (OD) წარმოება - დანიშნულების ადგილების მგზავრობათა ცხრილების და განაწილების ფუნქციების შეფასება

8.1. მიზანი

ამ კურსის წინა თავებში მოდელები წარმოდგენილია ნაკადების წარმოებისათვის, განაწილებისათვის, მოდალური და მარშრუტის არჩევისათვის. ტრანსპორტის დაგეგმვის ფარგლებში ამ მოდელების გამოყენება შესაძლებელია ორი გზით:

- არსებული მგზავრობის მოთხოვნის განსაზღვრა. არსებული მგზავრობის მოთხოვნა შეჯამებულია საბაზისო წლის მატრიცაში. უჯრედების მნიშვნელობები ამ მატრიცაში შეიძლება პირდაპირი დაკვირვებებიდან ან დაკვირვებათა მონაცემებიდან გამომდინარეობდნენ. თუმცა, ზოგადად არსებობს რამოდენიმე სახის მატრიცა, რომლებიც შეეფერება მოცემულ დაკვირვებათა ნაკრებს. ამრიგად, საბაზისო წლის მატრიცა არ შეიძლება განისაზღვროს ცალსახად. ამ ფენომენს ვუწოდებთ არასათანადო სპეციფიკაციას. ასეთ შემთხვევაში მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას შესაძლო გადაწყვეტილებათა ნაკრებიდან უნიკალური "საუკეთესო" ვარიანტის მისაღებად. ამას უწოდებთ OD - მგზავრობის მატრიცის შეფასებას.

- მეორე შესაძლებლობა არის სამომავლო მგზავრობის მოთხოვნის წინასწარ განსაზღვრა. ჩვეულებრივ, ეს ხდება მოდელის პარამეტრების ექსტრაპოლაციით, რომლებიც კალიბრირდება მიმდინარე მდგომარეობისათვის. მაგალითია სამომავლო მგზავრობათა წარმოების პროგნოზირება, მაგ., ახალი სამშენებლო ადგილისათვის, იმ დროს როცა ქცევითი მონაცემები, როგორცაა განაწილების ფუნქციის პარამეტრები, რჩება მუდმივი.

ყველა მოდელის გამოყენება შეუძლებელია ორივე გზით. მაგალითად, თუ მოდელი შეიცავს ბევრ პარამეტრს, რომლებიც არ გადადიან მომავალ თარიღზე ან მდგომარეობაზე, ასეთი მოდელი ნაკლებად შესაფერისია სამომავლო მგზავრობის მოთხოვნის წინასწარ განსაზღვრისათვის.

ეს თავი პირველ რიგში განიხილავს მოდელის პარამეტრების შეფასების პრობლემას, კერძოდ:

- პარამეტრების შეფასება განაწილების ფუნქციებში;
- საბაზისო წლის მატრიცების შეფასება.

სამომავლო ქსელის გაანალიზება შესაძლებელია, საბაზისო წლის მატრიცის გამოყენებით, გაფართოებული ზრდის ფაქტორების გამოყენებით, ან მოდელის გამოყენებით, რომლის ქცევითი პარამეტრები დაკალიბრებულია.

მოდელის აბსტრაქტული წარმოდგენა შემდეგია:

$$y = f(\theta, x) \tag{8.1}$$

სადაც:

- y დამოკიდებული ცვლადების ვექტორი (გამომავალი)
- x დამოუკიდებელი ცვლადების ვექტორი
- θ მოდელის პარამეტრები.

მოდელის შეფასება ნიშნავს, რომ პარამეტრების დადგენა ხდება სტატისტიკური თეორიისა და x და y – ზე დაკვირვებების გამოყენებით.

საბაზისო წლის მატრიცის $\{T_{ij}^0\}$ შეფასება მოიცავს შემდეგს:

- წინასწარი მატრიცა (არსებობის შემთხვევაში),
- მგზავრობის განაწილების მოდელი,
- განაწილების ფუნქცია F_{ij} (არსებობის შემთხვევაში)
- გამგზავრების და ჩამოსვლების დაკვირვებით ან გამოთვლებით მიღებული რაოდენობა (შემომავალი ან გამავალი მგზავრობა)
- სხვა დაკვირვებები, მაგ. ნაკადების დათვლა

სამომავლო OD ცხრილის პროგნოზირება მოიცავს შემდეგს:

- საბაზისო წლის მატრიცა (არსებობის შემთხვევაში),
- მგზავრობის განაწილების მოდელი,
- განაწილების ფუნქცია F_{ij} (არსებობის შემთხვევაში)
- პროგნოზირებული გამგზავრების და ჩამოსვლების რაოდენობა (შემომავალი ან გამავალი მგზავრობა)

8.2. მონაცემების სახეობები, რომლებიც გამოიყენება ტრანსპორტის დაგეგმვისას

შესაყვანი მონაცემების სხვადასხვა სახეობათა გამოყენება შესაძლებელია ტრანსპორტის დაგეგმვისას. ქვემოთ განხილულია მონაცემთა ყველაზე მნიშვნელოვანი წყაროები. მონაცემები გამომდინარეობენ დაკვირვებებისაგან, მაგალითად, მანქანების დათვლით, ან შეიძლება იქნას იმპორტირებული სხვა კვლევებიდან, მაგალითად, ადრე გამოთვლილი მოდელის პარამეტრების გამოყენებით.

- მგზავრობის წარმოება. მგზავრობის წარმოება (ასევე მოიხსენიება როგორც შემომავალი ან გამავალი მგზავრობები) არის მგზავრობათა რაოდენობა, რომელიც წარმოიქმნება ზონაში ან მისთვისაა განკუთვნილი. მგზავრობის წარმოების შესაფასებლად სხვადასხვა გზა არსებობს (იხ. თავი 4).

- სოციო-ეკონომიკურ მონაცემებზე დაფუძნებით. ამ მიზნით გროვდება ზონების სოციო-ეკონომიკური შინაარსის მქონე მონაცემები, მაგ. ზონაში მცხოვრები ადამიანების რაოდენობა, სამუშაო ადგილების რაოდენობა, ღამით ქუჩაში გაჩერებული მანქანების რაოდენობა და ა.შ. შემდეგი ნაბიჯი არის ადრე დაკალიბრებული მოდელის გამოყენება მგზავრობათა დასრულების პროგნოზირებისათვის ამ მონაცემების საფუძველზე. გამონაკლისი დაიშვება სპეციფიური შემთხვევებისათვის, მაგალითად, საავადმყოფოები და აეროპორტები. ამ ობიექტების მიერ გენერირებული ნაკადის მოცულობა ცალკე უნდა შეფასდეს.
- ზონაში შემომავალი ან გამავალი მგზავრობის შეფასების კიდევ ერთი გზა, ყოველ შემთხვევაში, ნიდერლანდებში, არის ეროვნულ მგზავრობათა კვლევის გამოყენება (ჰოლანდიურად: Onderzoek Verplaatsings Gedrag, OVG, CBS მიერ მომზადებული). რადგან საიმედო პროგნოზის მისაღებად საჭიროა ნიმუშის მინიმალური ზომა, OVG – ს გამოყენება შემომავალი ან გამავალი მგზავრობის პირდაპირი შეფასებისათვის, შემოიფარგლება აგრეგაციის მაღალი დონით.
- წინასწარი OD მგზავრობის ცხრილი(ები). წინასწარი მგზავრობის ცხრილი არის მგზავრობის ცხრილი / მატრიცა, რომელიც საჭიროებს (შემდგომ) განახლებას ახალი მონაცემებით. წინასწარი მატრიცის მოპოვების გზებია:
 - ძველი კვლევის შედეგების გამოყენება
 - კვლევის მონაცემების გამოყენება
 - მგზავრობის განაწილების მოდელის გამოყენება
- განაწილების ფუნქცია. განაწილების ფუნქცია განსაზღვრავს მგზავრობის განხორციელების გადაწყვეტილებას, როგორც განზოგადებული მგზავრობის ხარჯების ფუნქციას. ეს ფუნქცია განისაზღვრება ფუნქციური ფორმის გამოყენებით (რომელიც შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული, იხ. თავი 5). ეს ფუნქციური ფორმა განსაზღვრავს ფუნქციას რამოდენიმე პარამეტრის გამოკლებით. განაწილების ფუნქციაში მოცემული პარამეტრების შეფასებები ხშირად ხდება მგზავრობის მოთხოვნის გამოთვლის პროდუქტი. ამასთან, ჩვეულებრივი პრაქტიკაა, რომ გამანაწილებელი ფუნქცია დაფიქსირდეს მგზავრობის მოთხოვნის გამოთვლის დროს. ასეთ შემთხვევებში განაწილების ფუნქციის პარამეტრების შემოტანა ხდება სხვა კვლევებიდან. OVG (ზემოთ ნახსენები) მონაცემების კარგი წყაროა განაწილების ფუნქციებში პარამეტრების შეფასების მიზნით. ჩვეულებრივ, განაწილების ფუნქციების შეფასებები განსხვავებულია ცალკეულად მგზავრობის მიზნებისათვის (მაგ. სამუშაო, ბიზნესი, სხვა), მოგზაურობის კატეგორიებისათვის (მაგ., მანქანის მფლობელები, შემოსავლის კატეგორიები, ურბანიზაციის დონე) და

მოდლობისათვის (მაგ. მანქანა, საზოგადოებრივი ტრანზიტი, ციკლი / გასეირნება).

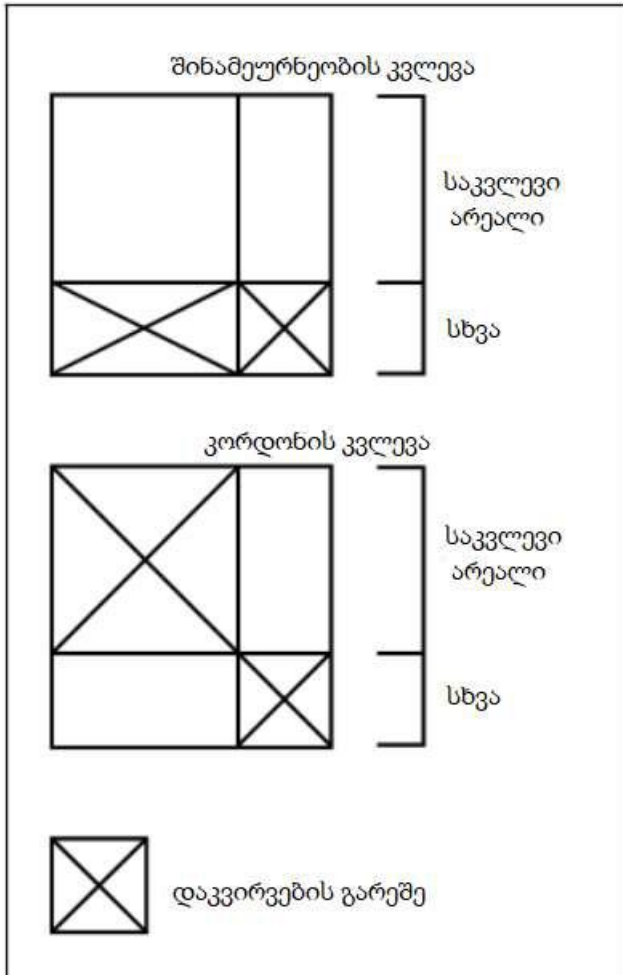
- ავტომობილების ან მგზავრების დათვლები. ავტომობილებისა და მგზავრების რაოდენობა ირიბი დაკვირვებებია: OD - უჯრედები არ შეინიშნება, მათგან მხოლოდ წრფივი კომბინაციებია. ნაკადების დათვლა შეიძლება შესრულდეს ავტომატიზირებული გზით ინდუქციური მარყუჟების ან პნევმატური მილების გამოყენებით. სხვათა შორის, ვიდეო მონაცემების ანალიზით შესაძლებელია მანქანების რაოდენობის რეკონსტრუქცია. საზოგადოებრივ ტრანსპორტში მგზავრების დათვლა შესაძლებელია მთვლელი მოწყობილობის დამონტაჟებით სამგზავრო მანქანის ასასვლელებში. მოთხოვნა, OD ცხრილების შეფასებისათვის დათვლების გამოყენება ნიშნავს, რომ მარშრუტის არჩევანის შესახებ ინფორმაცია ხელმისაწვდომია. რადგან ეს ინფორმაცია ყოველთვის არ არის ხელმისაწვდომი, ხშირად გამოიყენება ეკრანის ხაზის ან კორდონის დათვლები. ეს მოიცავს დათვლის წერტილთა კომბინაციას, რომელიც შერჩეულია ისე, რომ საკვლევი არეალი იყოფა ორ ნაწილად.
- კვლევები. მგზავრობის კვლევები გამოიყენება OD – მგზავრობათა რაოდენობის შესახებ პირდაპირი ინფორმაციის მისაღებად. კვლევის მონაცემების გამოყენებისას უნდა განასხვავოთ დაკვირვებადი ნულოვანი მნიშვნელობები და არადაკვირვებადი უჯრედები. პირველ შემთხვევაში, გარშემო პოპულაციის მიერ მგზავრობები არ განხორციელებულა ამ OD-უჯრედებისათვის, ხოლო მეორე შემთხვევაში არ გაკეთებულა არცერთი მგზავრობის შეკვეთა სპეციფიკური OD - წყვილისათვის. ეს შეიძლება განპირობებული იყოს იმ ადგილმდებარეობით, რომელზედაც ტარდება კვლევა. პრაქტიკაში გამოყენებული გამოკითხვის ძირითადი სახეობები არის შინამეურნეობის გამოკითხვები, კორდონის კვლევები და ეკრანის ხაზის კვლევები. თუ კვლევა ტარდება ისე, რომ უჯრედების გარკვეული ჯგუფები არ აღინიშნება, ასეთ გამოკითხვას არასრულს ვუწოდებთ.
- რეგისტრაციის ნომრით კვლევები. ეს არის სპეციალური კატეგორიის კვლევები, რომლებშიც ავტოსატრანსპორტო საშუალებების რეგისტრაციის ნომერი აღირიცხება ქსელში არსებულ სხვადასხვა ადგილას. როგორც წესი, ეს კეთდება ხელით. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში დამუშავდა ტექნიკა ამ ამოცანის ავტომატიზაციისათვის. იდეალში დაკვირვებების ყველა წერტილები ერთობლივად შეადგენს სრულ კვლევას, როგორც ეს ადრე განვიხილეთ. სინამდვილეში ეს ჩვეულებრივ ასე არ არის. იმის გამო, რომ ბევრი შეცდომაა დაშვებული რეგისტრაციის ჩაწერის დროს, ის ფაქტი, რომ რეგისტრაციის ნომრების კვლევები, როგორც წესი, არასრულია, შეიძლება გამოიწვიოს მონაცემთა ნაკრებში მნიშვნელოვანი აცდენა, რასაც სჭირდება

გასწორება. მაგალითად, როდესაც კვლევის კორდონის ერთ ბოლოში შეცდომაა დაშვებული რეგისტრაციის ჩანიშვნისას, ამან შეიძლება იმ დასკვნამდე მიგვიყვანოს, რომ ერთი მგზავრობის ნაცვლად, ორი მგზავრობა დაფიქსირდა: ერთი მგზავრობა, რომელიც დასრულდა საკვლევ ზონაში, და მეორე მგზავრობა გენერირებული საკვლევ ზონაში. ეს მექანიზმი, შესაბამისად, მიგვიყვანს ვიზიტების მთლიანი რაოდენობის გადაჭარბებულ და საკვლევ არეალში მგზავრობის რაოდენობის არაშესაბამის შეფასებასთან. უბრალო შეცდომების კორექტირების გარდა, როგორცაა ორი ასოს გადაადგილება, ექსპერიმენტულ გარემოში ორი მოდიფიკაცია მოიძებნება, რომლებიც იღვწიან არასწორი ინტერპრეტაციების გავლენათა შემცირებისაკენ:

- შერჩევა ფერის ან სახეობის მიხედვით. ამ ექსპერიმენტში მხოლოდ გარკვეული ფერის ან სახეობის მანქანები მონაწილეობენ. ეს პროცესი უმსუბუქებს დამკვირვებელს შრომას და შესაბამისად ამცირებს შეცდომების ალბათობას. მეორეს მხრივ, ამგვარმა სტრატეგიამ შესაძლოა წარმოქმნას ახალი შეცდომები, თუ შერჩევის კრიტერიუმები განსხვავებულად არის განმარტებული სხვადასხვა დამკვირვებლის მიერ. ამრიგად, ავტომობილის ფერზე დაფუძნებული შერჩევა არ არის რეკომენდებული OD კვლევებისათვის.
- მანქანის რეგისტრაციის ნომრით ნაწილობრივი აღრიცხვა. ამ შემთხვევაში მხოლოდ რეგისტრაციის ნომრის რამდენიმე ციფრი აღირიცხება, მაგალითად, ბოლო ორი ნომერი/ციფრი. ეს ამცირებს არასწორი ჩანაწერების ალბათობას. მანქანის რეგისტრაციის ნომრით ნაწილობრივი აღრიცხვა ასევე აჩენს ახალ პრობლემას: ცრუ დამთხვევებიდან გამომდინარე, ორი განსხვავებული მანქანა იდენტური ნაწილობრივი რეგისტრაციით. სპეციალური სტატისტიკური პროცედურები იქნა შემუშავებული ამ შეცდომების გამოსასწორებლად.

- დაკვირვებული მგზავრობის ხანგძლივობის განაწილება, OTLD, (ჰოლანდიურად: Ritlengte frequencyie verdelling). ეს არის დისტანციის თითოეულ კატეგორიაში დაფიქსირებულ მგზავრობათა რაოდენობა. OTLD არ უნდა იყოს არეული განაწილების ფუნქციასთან. ეს უკანასკნელი თავის მხრივ ადასტურებს მზაობას იმგზავროს გარკვეულ ფასად. პირველი დაკავშირებულია მგზავრობის ფაქტიური შესრულების ქცევებთან. მათ შორის განსხვავება წარმოიშობა, ვინაიდან წარმოების ზონებში მგზავრობათა გენერირება და დანიშნულების ზონებში მგზავრობათა მიზიდულობა გავლენას ახდენს კონკრეტული დისტანციის კატეგორიაში განხორციელებულ მგზავრობათა რაოდენობაზე. რაოდენობა, რომელიც მიღებულია OTLD – დან, არის მგზავრობის საშუალო მიმდინარეობა (MTL). ეს რაოდენობა ასევე ხშირად გამოიყენება მგზავრობის განაწილების მოდელებში პარამეტრების შეფასების დროს.

მგზავრობის მოთხოვნის შეფასებისას მონაცემთა გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა კომბინაციებით. არსებული მონაცემებით და შესაფასებელი პარამეტრებით (განაწილების ფუნქციის პარამეტრების და საბაზისო წლის მატრიცის შეფასება), შესაძლებელია შეფასების სხვადასხვა მეთოდის გამოყენება. ამ თავში განხილული მეთოდები მოცემულია 8.1 ცხრილში.

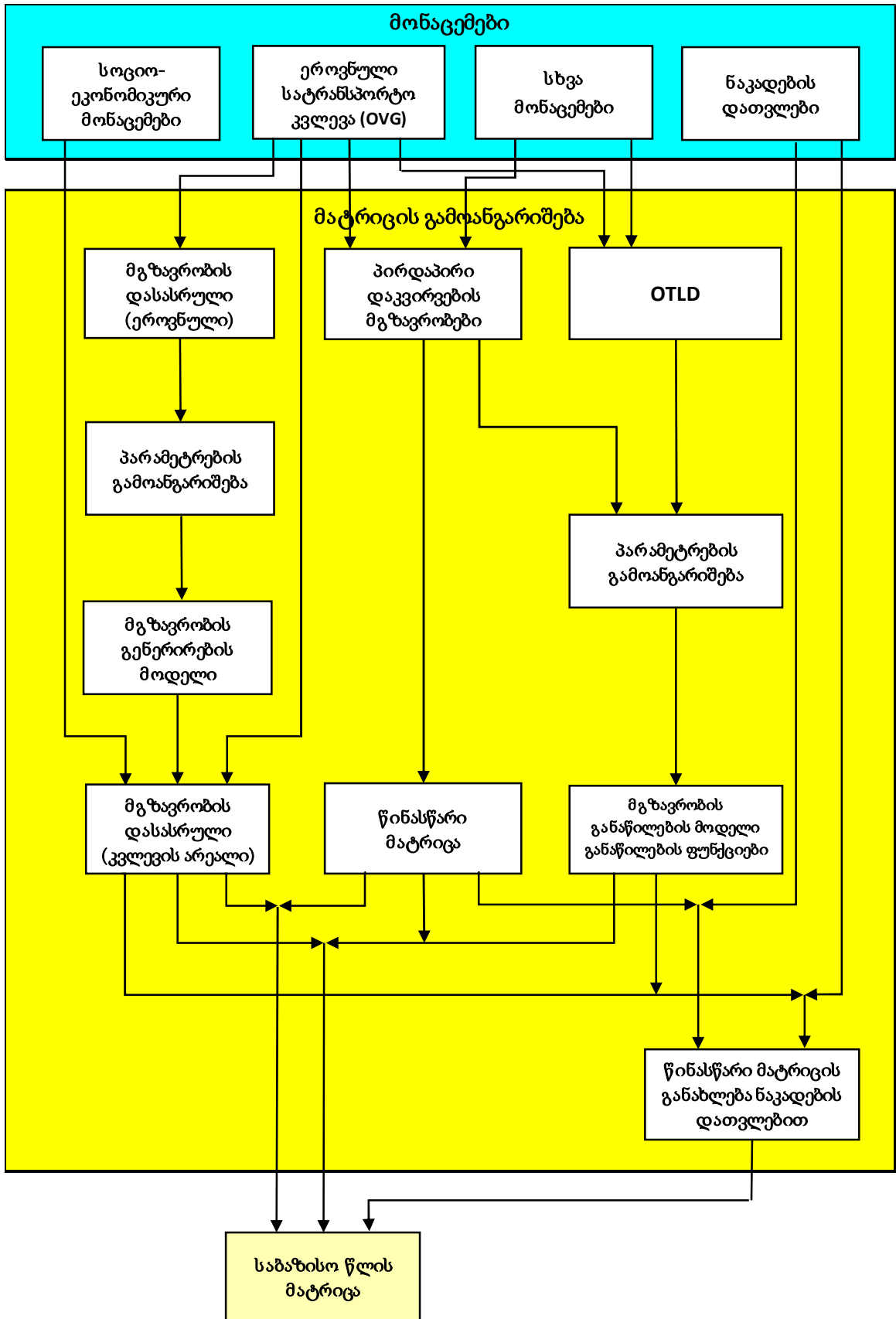


ფიგურა 8.1: OD წყვილზე დაკვირვება, შინამეურნეობათა ინტერვიუებით და კორდონის კვლევებით

შედეგი	გამოყენებული მოდელი	მონაცემები	გამოყენებული შეფასების მეთოდოლოგიები	იხილეთ
OD მატრიცა, განაწილების ფუნქციის პარამეტრები	გრავიტ. მოდელი + დისკრეტული განაწილების ფუნქცია	სრული ან არასრული კვლევა	ML/პუასონის უტოლობა	თავი 8.4
OD მატრიცა, განაწილების ფუნქციის პარამეტრები	გრავიტ. მოდელი + დისკრეტული განაწილების ფუნქცია	მგზავრობის დასასრული OTLD	ML/პუასონის უტოლობა	თავი 8.4
OD მატრიცა	გრავიტ. მოდელი	მგზავრობის დასასრული, განაწილების ფუნქცია	დაბალანსება	თავი 8.5
OD მატრიცა, განაწილების ფუნქციის პარამეტრები	გრავიტ. მოდელი + დისკრეტული განაწილების ფუნქცია	მგზავრობის დასასრული, MTL	დაბალანსება + იტერაცია	თავი 8.6
OD მატრიცა	–	მგზავრობის დასასრული, წინასწარი OD მატრიცა	დაბალანსება	თავი 8.7
OD მატრიცა	–	წინასწარი OD მატრიცა, ნაკადების დათვლა	დაბალანსება/ ბინარული კალიბრაცია	თავი 8.8

ცხრილი 8.1: შეფასების პრობლემების მიმოხილვა

არსებული მონაცემებიდან გამომდინარე შესაძლებელია სხვადასხვა მიდგომების გამოყენება. 8.1 ცხრილის გამოყენების კიდევ ერთი გზა ნაჩვენებია 8.2 ფიგურაში. ეს ფიგურა გვიჩვენებს, რომ ცხრილში მოყვანილი სხვადასხვა პროცედურები შეიძლება კომბინირებული იქნას ახალში.



ფიგურა 8.2: საბაზისო წლის მატრიცებისა და განაწილების ფუნქციებში პარამეტრების შეფასების მიდგომები

მაგალითი 8.1:

განვიხილოთ საკვლევი არეალი, რომლისათვისაც უნდა შეფასდეს საბაზისო წლის მატრიცა (გარე ზონები არ განიხილება). შემდეგი მონაცემები ხელმისაწვდომია:

- ქსელი და მისი შესაბამისი ზონები;
- OVG ნაკადების კვლევა;
- საკვლევი არეალის დეტალური სოციალურ-ეკონომიკური მონაცემები;
- რამოდენიმე სტრატეგიულად შერჩეულ ბმულებზე ნაკადების დათვლები.

საბაზისო წლის მატრიცის გამოსათვლელად, მაგალითად, შეგვიძლია მივყვეთ შემდეგ სტრატეგიას (იხ. ფიგურა 8.2):

ბიჯი 1. OVG კვლევის მონაცემების საფუძველზე, შეფასებულია მგზავრობის წარმოების მოდელის პარამეტრები. (მგზავრობის წარმოების მოდელები განხილულია მე – 4 თავში). გაითვალისწინეთ, რომ ამ კონტექსტში გამოყენებული OVG მონაცემები შეიძლება ასევე შეეფერება საკვლევი ტერიტორიის მიღმა მდებარე ტერიტორიებს, რამდენადაც იმ არეალში მგზავრობა ქცევები წარმომადგენლობითია საკვლევ არეალში მგზავრობის ქცევების. ამ დამატებითი მონაცემების გამოყენება ხელს უწყობს შეფასებისას საკმარისი დაკვირვებების არსებობას.

ბიჯი 2. საკვლევი არეალის შესაბამისი სოციალურ-ეკონომიკური მონაცემების და პირველ ეტაპზე დაკალიბრებული მგზავრობის წარმოების მოდელის გამოყენებით, კეთდება შეფასება მგზავრობა გამგზავრების და ჩამოსვლის რაოდენობათა შესახებ საკვლევი არეალის ზონებში.

ბიჯი 3. OVG კვლევაში დაკვირვებების საფუძველზე, განაწილების ფუნქციების პარამეტრების შეფასება. ზოგჯერ ეს კეთდება ცალკე პიროვნების თითოეული კატეგორიისათვის და მგზავრობის თითოეული მიზნისათვის (მულტი მომხმარებელთა კლასი) (იხ. თავი 8.4).

ბიჯი 4. მგზავრობის დასრულების შეფასება მე -2 ეტაპზე და 3-ე ეტაპზე შეფასებული განაწილების ფუნქცია გაერთიანებულია OD მატრიცის შესაფასებლად, რომელიც გამოიყენება როგორც საბაზისო წლის მატრიცის პირველი ვარიანტი (იხ. თავი 8.5)

ბიჯი 5. მე – 4 ეტაპზე შეფასებული OD მატრიცა ადაპტირებული ნაკადების დათვლებით, რომლებიც ხელმისაწვდომია (იხ. თავი 8.8). შედეგად მიღებული მატრიცა არის საბაზისო წლის მატრიცა.

- მაგალითის დასასრული -

8.3. მოდელების შეფასება და კალიბრაცია

მოდელი წარმოადგენს სხვადასხვა დაშვებებს, რომლებიც ერთობლივად განსაზღვრავენ სისტემის ცვლადებს შორის კავშირს,

$$y = f(\theta, x) \tag{8.2}$$

სისტემის ცვლადები y და x არიან "რეალური სამყაროს" სიმრავლეები, მაგალითად, მგზავრობის წარმოება, OD - ნაკადები. ჩვეულებრივ, ნაწილი სისტემის ცვლადების შესაძლოა მოპოვებულ იქნას პირდაპირი დაკვირვების გზით (მაგალითად, ნაკადი ბმულზე), ხოლო სისტემის ცვლადების სხვა ნაწილი (მაგალითად, OD - ნაკადები) არ მოიპოვება პირდაპირი დაკვირვებით და საჭიროა შეფასდეს მოდელის გამოყენებით. მოდელში y ვექტორს ავლნიშნავთ, როგორც დამოკიდებულ ცვლადს და x ვექტორს, როგორც დამოუკიდებელ ცვლადს. დაკალიბრირებული მოდელის გამოყენებისას, x ცვლადი არის მოდელის შემავალი, ხოლო y ცვლადი არის მოდელის გამომავალი.

მოდელების უმეტესობა შეიცავს ერთ ან მეტ პარამეტრს, რომელიც წარმოადგენილია θ ვექტორით. პარამეტრებს ყოველთვის არ აქვთ „რეალური სამყაროს“ ინტერპრეტაცია - მაგალითად, განვიხილოთ პარამეტრები მარშრუტის არჩევის ლოგიკა მოდელში ან განაწილების ფუნქციაში. როდესაც კარგი მოდელის სპეციფიკაცია გამოიყენება, მოდელის θ პარამეტრები შესაძლოა გამოყენებულ იქნას სხვა სფეროებში ან პერიოდში. ეს ნიშნავს, რომ კონკრეტული პარამეტრების დადგენის შემდეგ, მათი გამოყენება სხვა კვლევებშიც შესაძლებელია. იმისათვის, რომ მივიღოთ y დამოკიდებული ცვლადების დადებითი გამომავალი, უნდა შეფასდეს მოდელის ის პარამეტრები, რომელთა გადმოტანა შეუძლებელია სხვა კვლევებიდან.

დეტერმინისტული და სტოქასტური მოდელები

დეტერმინისტული მოდელი განსაზღვრულია წონასწორობით, მაგ. ყველაფერი-ან-არაფერი განთავსების მოდელი. სტოქასტური მოდელი განსაზღვრულია ალბათობითი განაწილებით. მოდელში განტოლებები ახლა შეიცავს ცდომილების კომპონენტებს:

$$y = f(\theta, x) + \varepsilon \tag{8.3}$$

ε ცდომილების კომპონენტების პარამეტრების ალბათობითი განაწილება მითითებულია მოდელში.

მოდელის პარამეტრების შეფასება მანძილის კრიტერიუმის გამოყენებით

ის, რომ მოდელი დეტერმინისტული გზით არის განსაზღვრული, არ ნიშნავს რომ მოდელში მითითებული დამოკიდებულებები ზუსტია, არამედ მოდელის ცდომილების პარამეტრების სტატისტიკური მონაცემები განაწილების შესახებ არ მოიპოვება. ჩვეულებრივ, θ პარამეტრების დაკალიბრება დეტერმინისტულ მოდელში, ეფუძნება y დაკვირვებებსა და \hat{y} მოდელის პროგნოზირებულ მნიშვნელობებს შორის განსხვავების მინიმიზაციას, სადაც მაგალითად y არის ნაკადების დათვლების ნაკრები. ეს განსხვავება რაოდენობრივად განისაზღვრება $D(y, \hat{y})$ მანძილის კრიტერიუმის გამოყენებით:

$$D(y, \hat{y}(\theta, x)) \tag{8.4}$$

სადაც:

- $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$: დაკვირვებებით მოპოვებული მონაცემები
- $\hat{y}(\theta, x) = [y_1(\theta, x), y_2(\theta, x), \dots, y_n(\theta, x)]$: პროგნოზირებული მონაცემები მოდელის გამოყენებით
- $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k]$: მოდელის პარამეტრები
- k : (უცნობი) პარამეტრების რაოდენობა
- n : დაკვირვებების რაოდენობა

θ – სთვის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც ჩვენ ვეძებთ (რომელიც იწვევს D მინიმიზაციას) გამოსახულია $\hat{\theta}(y, x)$ - თი:

$$\hat{\theta}(y, x) = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} D(y, \hat{y}(\theta, x)) \tag{8.5}$$

ამ გამოსახულებაში "argmin θ " წარმოადგენს θ -ას მნიშვნელობას, რომელიც ახდენს მისი მომდევნო გამოსახულების ($D(y, \hat{y}(\theta, x))$) მინიმიზაციას. მანძილის კრიტერიუმის გამოყენება ჩვეულებრივ განპირობებულია პრაქტიკული მიზეზების გამო, მაგალითად კომპიუტერულ პროგრამაში განხორციელების სიმარტივე. მანძილის ზომები არ არის უარყოფითი და ნულია, მხოლოდ და მხოლოდ თუ ორი ელემენტი ტოლია:

$$D(a, b) \geq 0, \quad \forall a, b \tag{8.6}$$

$$D(a, b) = 0, \Leftrightarrow a = b$$

მანძილის საზომის რამოდენიმე მაგალითი მოცემულია ქვემოთ:

უმცირესი კვადრატი: $D(a, b) = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2 \tag{8.7}$

შეწონილი უმცირესი კვადრადი: $D(a, b) = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - b_i)^2}{w_i} \tag{8.8}$

ენტროპია

(ორი ალბათობის ფუნქციისათვის): $D(a, b) = \sum_{i=1}^n a_i \log(a_i / b_i) - a_i + b_i$ (8.9)

4.4 თავში მოცემული მგზავრობის წარმოების მოდელები არიან რეგრესული მოდელები, რომელთა პარამეტრები შეფასებულია შეწონილი უმცირესი კვადრატების გამოყენებით. ენტროპიის მანძილის ზომა გამოყენებულია 8.7 თავში.

შეფასება მაქსიმალური ერთგვაროვნების გამოყენებით

გარკვეულწილად, სტოქასტური მოდელები უფრო ზუსტად არიან განმარტებულნი, ვიდრე დეტერმინისტული მოდელები: სისტემურ ცვლადებს შორის კავშირის გარდა, მოდელირების ალბათობის ფუნქცია და დაკვირვების შეცდომები ასევე დაზუსტებულია. ეს იძლევა მოდელის პარამეტრების შეფასების გამყარების საშუალებას სტატისტიკური გზით. ყველაზე გავრცელებული მეთოდი მაქსიმალური ერთგვაროვნების (ML) მეთოდია. ML - მეთოდის გამოყენებისას, დაკვირვებებით მოპოვებული მონაცემები განიხილება, როგორც შერჩევითი ცვლადების (RV's) რეალიზაცია. შედეგებზე (y_1, y_2, \dots, y_n) დაკვირვების ალბათობა განისაზღვრება ალბათობის ფუნქციით. ეს ალბათობის ფუნქცია შეიძლება გამომდინარეობდეს მოდელიდან, გარდა მოდელის რიგი პარამეტრებისა ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$):

$$\text{დაკვირვების ალბათობა } y = p(y_1, y_2, \dots, y_n | \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (8.10)$$

ამოცანაა განვსაზღვროთ პარამეტრები $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$, რომლებიც ახდენენ y_1, y_2, \dots, y_n დაკვირვების ალბათობის მაქსიმიზაციას. ვინაიდან დაკვირვებები მოცემულია ჯერ კიდევ მაშინ, როდესაც პარამეტრები საჭიროებენ გამოთვლას, გამოსახულება, რომლიც საჭიროებს მაქსიმიზაციას, შეიძლება ჩაითვალოს $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ მოდელის პარამეტრების ფუნქციად. ჩვენ ამ ფუნქციას ვუწოდებთ ერთგვაროვნების ფუნქციას, აღნიშნულს $L(\theta; y)$ -ით. მოდელის პარამეტრების შეფასების მიზანი უკვე ეკვივალენტურია:

$$\text{maximize } L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k; y_1, y_2, \dots, y_n) = p(y | \theta) \quad (8.11)$$

როდესაც დაკვირვება y_1, y_2, \dots, y_n შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც (*iid*) იდენტური ალბათობითი განაწილების დამოუკიდებელი რეალიზაცია, y_1, y_2, \dots, y_n ერთობლივად დაკვირვების ალბათობა, შესაბამისად ტოლია y_1, y_2, \dots, y_n ინდივიდუალურად დაკვირვების ალბათობისა. ამ შემთხვევაში ითვლება, რომ:

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k; y_1, y_2, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n p(y_i | \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (8.12)$$

დამოუკიდებელი დაკვირვებების შემთხვევაში, ჩვეულებრივ გამოიყენება ერთგვაროვნების ფუნქციის ლოგარითმი, ერთგვაროვნება. ერთგვაროვნებაში ჩვეულებრივ მარტივია მათემატიკური მანიპულაციები:

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k; y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n \log[p(y_i | \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)] \quad (8.13)$$

ლოგ ერთგვაროვნების მაქსიმიზაცია ეკვივალენტურია ერთგვაროვნების მაქსიმიზაციის; θ – ს ოპტიმალური მნიშვნელობა აღინიშნება $\hat{\theta}$ – თი.

$$\hat{\theta} = \operatorname{argmax}_{\theta} L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k; y_1, y_2, \dots, y_n) =$$

$$= \operatorname{argmax}_{\theta} \log L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k; y_1, y_2, \dots, y_n)$$
(8.14)

ხშირად გამოყენებული ალბათობითი განაწილებები

ერთგვაროვნების ფუნქციის მათემატიკური ფორმა მკაცრად არის დამოკიდებული ალბათობითი განაწილების არჩევანზე, რომელიც წარმოდგენილია მოდელში. მიმოხილვის ქვემოთ მოცემულია რამოდენიმე ხშირად გამოყენებადი ალბათობის ფუნქციები ტრანსპორტის მოდელირებაში:

დასახელება	სახეობა	ფუნქცია	პარამეტრები	საშუალო	გადახრა
ერთიანი	უწყვეტი	$p(x) = \frac{1}{b-a} I_{[a,b]}(x)$	$-\infty < a < b < \infty$	$\frac{a+2}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$
ნორმალური	უწყვეტი	$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}]$	$-\infty < \mu < \infty$ $\sigma^2 > 0$	μ	σ^2
პუასონი	დისკრეტული	$p(x) = \frac{\exp[-\lambda]\lambda^x}{x!}$	$\lambda > 0$	λ	λ
მულტინომინალური	დისკრეტული	$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{N!}{x_1! x_2! \dots x_n!} p_1^{x_1} p_2^{x_2} \dots p_n^{x_n}$	$0 \leq p_i \leq 1$ $\sum_i p_i = 1$	$E[x_i] = Np_i$	$\operatorname{var}[x_i] = Np_i(1-p_i)$ $\operatorname{cov}[x_i, x_j] = -Np_i p_j$
		სადაც $N = \sum_i x_i$			

დასახელება	მაგალითები	თვისებები
ერთიანი	გამგზავრების დრო	
ნორმალური	მარშრუტის სიგრძე, მგზავრობის დრო	ჯამი ორი ნორმალურად განაწილებული RV-ები არის ნორმალურად განაწილებული RV
პუასონი	მგზავრობის წარმოება, ნაკადების დათვლები, ავარიების რაოდენობა, კვლევების მონაცემები	ჯამი ორი პუასონის მეთოდით განაწილებული RV-ები არის პუასონის მეთოდით განაწილებული RV
მულტინომინალური	კვლევების მონაცემები	ეს განაწილება აღწერს xi წარმატებების ალბათობას N ექსპერიმენტების შესრულებისას იდენტური წარმატების ალბათობით

ცხრილი 8.2: ხშირად გამოყენებული ალბათობითი ფუნქციები სატრანსპორტო მოდელირებაში

უნდა აღინიშნოს, რომ პუასონისა და ნორმალური განაწილებები თითქმის იდენტურებია, თუ მათი მოსალოდნელი მნიშვნელობები მეტია 12 ($E[x] > 12$) და მათი დისპერსიები ტოლია ($\lambda = \sigma^2$). ამ მიზეზით, პრაქტიკულ მოდელში გამოყენებული განაწილების არჩევანი ხშირად დამოკიდებულია პრაქტიკულ მოსაზრებებზე, მაგალითად, ისეთი, როგორცაა მათემატიკური განტოლების მანიპულირების სიმარტივე, რომელიც წარმოიშობა ალბათური განაწილების არჩევანისაგან.

OD - კვლევის მონაცემებისათვის, $E[x] > 12$ პირობა სავარაუდოდ ვერ იქნება შესრულებული. ჩვეულებრივ, OD უჯრედში დაფიქსირებული მგზავრობათა რაოდენობა მცირეა. ამ შემთხვევებში ნორმალური განაწილება არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც უფრო რეალისტური პუასონის და მულტინომინალურ განაწილებათა შემცვლელი.

8.4. პუასონის უტოლობა

პუასონის უტოლობა განკუთვნილია საბაზისო წლის მატრიცების და განაწილების ფუნქციის პარამეტრების შესაფასებლად OD კვლევის მონაცემების ან დაკვირვებით მიღებულ მგზავრობათა გამოყენებით. მეთოდი დაფუძნებულია გრავიტაციის მოდელზე და შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სტატისტიკურად გამყარებული მეთოდი ამ მოდელში პარამეტრების განსასაზღვრად.

გრავიტაციული მგზავრობის განაწილების მოდელის სტოქასტური სპეციფიკაცია მგზავრობის განაწილების მოდელი, რომელიც გამოიყენება გამგზავრების წერტილად არის:

$$\widehat{T}_{ij}(Q_i, X_j, F(c_{ij})) = Q_i X_j F(c_{ij}) \tag{8.15}$$

სადაც:

$\widehat{T}_{ij}(Q_i, X_j, F(c_{ij}))$	მოდელით პროგნოზირებული OD უჯრედების მნიშვნელობები
Q_i	გენერირების უნარი
X_j	მიზიდულობის უნარი
$F(c_{ij})$	დისკრეტირებული განაწილების ფუნქცია
c_{ij}	საერთო მგზავრობის ხარჯები

დისკრეტიზირებული განაწილების ფუნქცია შეიძლება ჩაითვალოს ნაწილობრივ მუდმივ ფუნქციად; მგზავრობის ღირებულების ღერძი იყოფა ლიმიტირებულ ღირებულებათა შუალედებად (ბინებად), ხოლო თითოეულ ღირებულების ბინს ენიჭება განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობა. განაწილების ფუნქციის ეს მნიშვნელობები წარმოადგენენ განაწილების ფუნქციის პარამეტრებს.

მათემატიკურად ეს გამოსახება შემდეგი სახით:

$$F(c_{ij}) = \sum_k F_k \Delta_{ij}^k, \quad \Delta_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (8.16)$$

სადაც:

F_k განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობა k ღირებულების ბინისათვის

Δ_{ij}^k ტოლია 1, როდესაც c_{ij} საერთო მგზავრობის ხარჯები არის k ღირებულების ბინში და 0 სხვა

მგზავრობის განაწილების მოდელი არ აღწერს ზუსტ რეალობას. აქედან გამომდინარე, ვარაუდობენ, რომ OD უჯრედები T_{ij} არიან პუასონის მეთოდით განაწილებულნი, როგორც მოდელით პროგნოზირებული უჯრედების საშუალო მნიშვნელობები:

$$T_{ij} \sim \text{პუასონი}[Q_i X_j F^k] \quad (8.17)$$

სხვა სიტყვებით:

$$P[T_{ij}] = \frac{\exp[-Q_i X_j F^k] \cdot (Q_i X_j F^k)^{T_{ij}}}{T_{ij}!} \quad (8.18)$$

რომელშიც F^k მცირეა $\sum_k F_k \Delta_{ij}^k$ - სათვის.

ტრანსპორტის დაგეგმვაში T_{ij} ინტერპრეტაციის გათვალისწინებით, პუასონის განაწილების არჩევანი შეიძლება მოტივირებული იყოს შემდეგი სახით:

- პუასონის განაწილება არ უშვებს უარყოფით მნიშვნელობებს;
- პუასონის განაწილებით შერჩევითი ორი ცვლადის ჯამი კვლავ პუასონის განაწილებას წარმოადგენს.

ამრიგად, მოდელის აგრეგაციის დონის შეცვლა, მაგალითად ორი ზონის ან მგზავრობის მიზნების გაერთიანება, არ იწვევს შეუსაბამოებებს. ამის გარდა, პუასონის განაწილებას მივყავართ მათემატიკურად გამართულ გამოსახულებებთან.

არსებული სიტუაციის გამოსახვა კვლევითი მონაცემებით

კვლევის მონაცემები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მიღებულ მგზავრობათა ნაკრებიდან შერჩევითი ნიმუში. კვლევის შედეგი გამოსახულია $\{n_{ij}\}$, სადაც:

n_{ij} OD უჯრედში $i - j$ დაკვირვებულ მგზავრობათა რაოდენობა

N დაკვირვებულ მგზავრობათა ჯამური რაოდენობა, $N = \sum_{i,j} n_{ij}$

ყველა OD უჯრედი არაა აუცილებელი იყოს წარმოდგენილი კვლევაში, იხილეთ მაგ. ფიგურა 8.2. აქედან ჩანს, რომ არსებობს მნიშვნელოვანი განსხვავება დაუფიქსირებელ უჯრედებსა და დაფიქსირებულ ნულებს შორის ($n_{ij} = 0$). თუ

გარკვეული OD - წყვილი არ არის წარმოდგენილი კვლევაში, ამ კვლევას არასრულს ვუწოდებთ. იმის მოსანიშნად, თუ რომელი OD წყვილია კვლევის ნაწილი, ჩვენ ვიყენებთ S ინდიკატორის მატრიცას. S მატრიცას გააჩნია OD მატრიცის იდენტური განზომილება საკვლევი არეალისათვის. მატრიცის უჯრედები განსაზღვრულია შემდეგი სახით:

$S_{ij} = 1$ თუ OD წყვილი $i-j$ წარმოდგენილია კვლევაში

$S_{ij} = 0$ თუ OD წყვილი $i-j$ არ არის წარმოდგენილია კვლევაში.

როდესაც სისრულეში მოდის მდგომარეობა, რომ N მთლიან დაკვირვებათა რაოდენობა ნაკლებია შესრულებულ მგზავრობათა მთლიან რაოდენობაზე, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ სანიმუშო მონაცემები არიან დამოუკიდებლად პუასონის მეთოდით განაწილებული:

$$n_{ij} \sim \text{პუასონი}[c Q_i X_j F(c_{ij})] \quad (8.19)$$

სადაც:

$$c = \frac{N}{T} \quad (8.20)$$

და

$$\hat{T} = \sum_{i,j} \hat{T}_{ij} \quad (8.21)$$

იმის გამო, რომ კვლევის შედეგები შეიძლება ჩაითვალოს დამოუკიდებლად, შედეგების ალბათობა $\{n_{ij}\}$ მოდელის მოცემული პარამეტრებით $\{Q_i\}$, $\{X_j\}$ და $\{F^k\}$ წარმოდგენილია:

$$P[n_{ij}|Q_i, X_j, F^k] = \prod_{i,j|S_{ij}=1} \frac{\exp[-cQ_i X_j F^k] \cdot (cQ_i X_j F^k)^{n_{ij}}}{n_{ij}!} \quad (8.22)$$

მსაგვსი ლოგ ფუნქციის შესაბამისი ფუნქცია შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} \log L[Q_i, X_j, F^k; n_{ij}] &= \\ &= \sum_i \sum_j S_{ij} \cdot [-cQ_i X_j F^k + n_{ij} \cdot \log(cQ_i X_j F^k) - \log(n_{ij})!] \end{aligned} \quad (8.23)$$

პირობა, რომელიც ვრცელდება არის ის, რომ მოდელის ყველა პარამეტრი არაუარყოფითია:

$$\begin{aligned} Q_i &\geq 0 \quad \forall i \\ X_j &\geq 0 \quad \forall j \\ F^k &\geq 0 \quad \forall k \end{aligned} \quad (8.24)$$

მსგავსი ლოგ ფუნქციის მაქსიმიზაცია

მსგავსი ლოგ ფუნქცია, რომელიც ზემოთ იქნა აღწერილი, შეიძლება ჩაითვალოს Q_i , X_j და F^k მოდელის პარამეტრების უწყვეტ ფუნქციად. მაქსიმუმისათვის უნდა შესრულდეს შემდეგი:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \log L}{\partial Q_i} &= 0 \quad \forall i \\ \frac{\partial \log L}{\partial X_j} &= 0 \quad \forall j \\ \frac{\partial \log L}{\partial F^k} &= 0 \quad \forall k \end{aligned} \tag{8.25}$$

შესაბამისად, Q_i , X_j და F^k მოდელის პარამეტრები უნდა აკმაყოფილებდნენ:

$$\begin{aligned} \sum_j (-c X_j F^k + \frac{n_{ij}}{Q_i}) S_{ij} &= 0, \quad \forall i \\ \sum_i (-c Q_i F^k + \frac{n_{ij}}{X_j}) S_{ij} &= 0, \quad \forall j \\ \sum_i \sum_j (-c Q_i X_j + \frac{n_{ij}}{F^k}) S_{ij} \Delta_{ij}^k &= 0, \quad \forall k \end{aligned} \tag{8.26}$$

რაც ექვივალენტურია:

$$\begin{aligned} Q_i &= \sum_j S_{ij} n_{ij} / \sum_j S_{ij} c X_j F^k, \quad \forall i \\ X_j &= \sum_i S_{ij} n_{ij} / \sum_i S_{ij} c Q_i F^k, \quad \forall j \\ F^k &= \sum_i \sum_j S_{ij} \Delta_{ij}^k n_{ij} / \sum_i \sum_j S_{ij} \Delta_{ij}^k c Q_i X_j, \quad \forall k \end{aligned} \tag{8.27}$$

შესაბამისად, განტოლებების რაოდენობა უტოლდება უცნობების რაოდენობას. ამასთან, Q_i , X_j და F^k მოდელის პარამეტრები შეუძლებელია პირდაპირ გამომდინარეობდეს ამ განტოლებებისაგან: სამაგიეროდ, ისინი პირდაპირ განსაზღვრულია ამ განტოლებებით. განტოლების გადასაჭრელად საჭიროა იტერაციული პროცედურები.

ამოხსნის ალგორითმი

მოდელის პარამეტრების გადაჭრის მეთოდი ცნობილია, როგორც გაუს-სიედელის იტერაცია. ამ მეთოდში ჩვენ ვწყვეტთ პარამეტრების ერთ ჯგუფს, ხოლო პარამეტრების სხვა ჯგუფი რჩება მუდმივი. როდესაც მიმართავენ ზემოთ მოყვანილი მსგავსი ლოგ ფუნქციის მაქსიმიზაციის პრობლემას, მეთოდი მცირდება ოთხ ბიჯამდე:

ბიჯი 1. პარამეტრების ინიციალიზაცია:

$$Q_i^{(0)} = 1, \quad \forall i, \quad X_j^{(0)} = 1, \quad \forall j, \quad F_k^{(0)} = 1, \quad \forall k \quad (8.28)$$

ეს გულისხმობს, რომ მატრიცის ყველა უჯრედზე 1-ია მითითებული.

ბიჯი 2. ახალი მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა:

$$\begin{aligned} Q_i^{(n+1)} &= \sum_j S_{ij} n_{ij} / \sum_j S_{ij} X_j^{(n)} \Delta_{ij}^k F_k^{(n)}, & \forall i \\ X_j^{(n+1)} &= \sum_i S_{ij} n_{ij} / \sum_i S_{ij} Q_i^{(n+1)} \Delta_{ij}^k F_k^{(n)}, & \forall j \\ F_k^{(n+1)} &= \sum_i \sum_j S_{ij} \Delta_{ij}^k n_{ij} / \sum_i \sum_j S_{ij} \Delta_{ij}^k Q_i^{(n+1)} X_j^{(n+1)}, & \forall i \end{aligned} \quad (8.29)$$

ბიჯი 3. შეამოწმეთ განსხვავება ბოლო იტერაციით გამოთვლილ პარამეტრებსა და წინა იტერაციით გამოთვლილ პარამეტრებს შორის. თუ მნიშვნელოვანი განსხვავებაა: გაიმეორეთ ბიჯი 2.

ბიჯი 4. დასასრული

დასკვნები

ყურადღებას იპყრობს ის, რომ კვლევის შედეგები n_{ij} გამოიყენება მხოლოდ აგრეგირებულ ფორმატში. მას გააჩნია საინტერესო შედეგი, როდესაც ყველა OD უჯრედი წარმოადგენს კვლევის მიზანს ($S_{ij} = 1$ ყველა i და j - სათვის). ამ შემთხვევაში მხოლოდ შემომავალ-გამავალი მგზავრობები და დაკვირვებითი მარშრუტის სიგრძის განაწილება (OTLD) გამოიყენება მოდელის პარამეტრების შესაფასებლად! აქედან გამომდინარეობს სამი შენიშვნა:

- პუასონის უტოლობის ეფექტურად გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ დაკვირვებითი შემომავალ-გამავალი მგზავრობების და OTLD-ს გამოყენებით. პრაქტიკაში, ამ მონაცემების შეგროვება უფრო ადვილი იქნება, ვიდრე სრული OD მგზავრობის კვლევა.
- ამ შემთხვევაში პრობლემა შეიძლება იყოს ის, რომ შემომავალ-გამავალი მგზავრობები ყოველთვის არ არიან ურთიერთ შესაბამისობაში. როდესაც კორექტირება არ გამოიყენება, ამან შეიძლება გამოიწვიოს ალგორითმის შეუსაბამობა. თუმცა, მარტივი წამალია ალგორითმის გამოყენებამდე მგზავრობათა დაბალანსება (ბიჯი 0).
- კვლევის ხარჯები მცირდება, როდესაც კვლევის სამიზნე უჯრედები გარკვეულ ჯგუფებამდე მცირდება. ამ შემთხვევაში ჯერ კიდევ შესაძლებელია შეფასდეს ყველა მოდელის პარამეტრი. ამის მაგალითია, როდესაც გამოიყენება ნაკადის დათვლები. იმაზე დამოკიდებულებით, თუ როგორ მოხდება დათვლის წერტილების მდებარეობათა შერჩევა, ნაკადების დათვლები შეიძლება იყოს საკმაოდ კორელაციური, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს

არაზუსტი შესაბამისობა და შესაძლებელია მიგვიყვანოს არაეფექტურ გადაწყვეტილებამდე.

ზემოთ აღწერილ გაანგარიშების მეთოდს ბევრი მსგავსება აქვს ბალანსირების მეთოდებთან, ორმაგად შეზღუდული მგზავრობის წარმოების მოდელებისათვის.

ბოლოს, შეიძლება დავასკვნათ, რომ პუასონის უტოლობას აქვს ორი ძირითადი გამოყენება: პირველ რიგში, განაწილების ფუნქციის პარამეტრების დადგენა შესაძლებელია ამ მეთოდის გამოყენებით. მეორეც, OD მატრიცები შეიძლება იქნას შეფასებული ირიბი დაკვირვებებით, როგორცაა შემომავალი ან გამავალი მგზავრობები და OTLD.

მაგალითი 8.2:

განვიხილოთ მაგალითი, სადაც ჩვენ ვაწარმოებთ გამოთვლებს პუასონის უტოლობით. მოცემულია შემდეგი:

- მოდელის სპეციფიკაცია, რომელიც შედგება გრავიტაციის მოდელისაგან, დისკრეტული განაწილების ფუნქციით:

$$T_{ij} = Q_i X_j \sum_{k=1}^6 \Delta_{ij}^k F_k \quad (8.30)$$

- ღირებულების ბინები განაწილების ფუნქციის შესაბამისად (იხ. ცხრილი ქვემოთ)
- თითოეულ OD წყვილს შორის მგზავრობის ღირებულება
- გამგზავრება და ჩამოსვლის რაოდენობები თითოეული ზონისათვის

გაითვალისწინეთ, რომ ყველა მონაცემი შეთანხმებულია. ამიტომ არ არის აუცილებელი შემომავალ და გამავალ მგზავრობათა დაბალანსება და OTLD.

მიზანია შეფასდეს საბაზისო წლის OD მატრიცა და განაწილების ფუნქციაში მოცემული პარამეტრები.

მანძილის დიაპაზონი (წუთები) განაწილების ფუნქციის პარამეტრები	OTLD
1.0-4.0	F_1 365
4.1-8.0	F_2 962
8.1-12.0	F_3 160
12.1-16.0	F_4 150
16.1-20.0	F_5 230
20.1-24.0	F_6 95

ცხრილი 8.3: განაწილების ფუნქციის ღირებულების ბინების შესაბამისი დიაპაზონები

	1	2	3	4	P_i
1	3 (F_1)	11 (F_3)	18 (F_5)	22 (F_6)	400
2	12 (F_3)	3 (F_1)	13 (F_4)	19 (F_5)	460
3	15.5 (F_4)	13 (F_4)	5 (F_2)	7 (F_2)	460
4	24 (F_6)	18 (F_5)	8 (F_2)	5 (F_2)	702
A_j	260	400	500	802	1962

ცხრილი 8.4: მგზავრობის ღირებულება წუთებში, შესაბამისი პარამეტრით განაწილების ფუნქციაში

გამოთვლა

ჩვენ ვიწყებთ საწყისი გადაწყვეტილებით:

$$Q_i = 1, \quad X_j = 1, \quad F^k = 1, \quad \forall i, j, k \quad (8.31)$$

აქედან გამომდინარეობს საწყისი ცხრილი, მათ შორის წარმოების შესაძლებლობების შეფასების Q_i ფაქტორების ჩათვლით:

	1	2	3	4	Σj	P_i	ფაქტორი Q_i
1	1	1	1	1	4	400	100
2	1	1	1	1	4	460	115
3	1	1	1	1	4	460	100
4	1	1	1	1	4	702	175.5
X_i							
A_j	260	400	500	802		1962	

Q_i წარმოების შესაძლებლობების შეფასების შემდეგ მომდევნო ცხრილი მოდის, საიდანაც შეიძლება განვსაზღვროთ X_j მიზიდულობის შესაძლებლობების ფაქტორები:

	1	2	3	4	Σj	P_i	Q_i
1	100	100	100	100	400	400	100
2	115	115	115	115	460	460	115
3	100	100	100	100	460	460	100
4	175.5	175.5	175.5	175.5	702	702	175.5
Σi	490.5	490.5	490.5	490.5			
A_j	260	400	500	802		1962	
ფაქტორი X_i	0.53	0.82	1.01	1.63			

X_j მიზიდულობის შესაძლებლობების შეფასების შემდეგ მომდევნო ცხრილი მოდის:

	1	2	3	4	Σj	P_i	Q_i
1	53	81.5	1019	163.5	400	400	100
2	61	93.8	117.2	188	460	460	115
3	53	81.5	1019	163.5	460	460	100
4	93	143.1	1789	287	702	702	175.5
Σi	260	400	500	802			
A_j	260	400	500	802		1962	
X_i	0.53	0.82	1.01	1.63			

ამ ცხრილიდან შესაძლოა გამომდინარეობდეს მოდელირებული მგზავრობის სიგრძის განაწილება (MTLD). მისი შედარებით, დაკვირვებით მოპოვებულ მგზავრობის სიგრძის განაწილებასთან (OTLD) გვეხმარება განაწილების ფუნქციის პარამეტრების შეფასების ფაქტორების დადგენაში:

მანძილის დიაპაზონი (წუთები)	წინა მონაცემი F_k	MTLD	OTLD	წონითი ფაქტორი F_k	ახალი მონაცემი F_k
1.0-4.0	1	146.79	365	2.49	2.49
4.1-8.0	1	731.3	962	1.32	1.32
8.1-12.0	1	142.51	160	1.12	1.12
12.1-16.0	1	251.78	150	0.6	0.6
16.1-20.0	1	433.09	230	0.53	0.53
20.1-24.0	1	256.53	95	0.37	0.37

განაწილების ფუნქციის პარამეტრების შეფასების შემდეგ პირველი იტერაცია დასრულებულია, მომდევნო შედეგით:

	1	2	3	4	Q_i
1	131.8	91.6	54.1	60.5	100
2	68.4	233.2	70	99.9	115
3	31.6	48.6	134.1	215.1	100
4	34.5	76	235.3	377.5	175.5
X_j	0.53	0.82	1.01	1.63	

ეს პროცესი შეიძლება განმეორდეს, მაგალითად სულ 10 იტერაციით. მე - 10 იტერაციის შემდეგ საბოლოო შედეგია:

	1	2	3	4	Q_i
1	156.2	101.4	69	74.3	128.1
2	58.6	208.8	85.1	108.6	112.6
3	25.7	39.2	119.9	214.5	89
4	20.7	52.4	225	402.6	167
X_j	0.417	0.634	1.089	1.948	

მანძილის დიაპაზონი (წუთები)	განაწილების ფუნქციის პარამეტრები	პარამეტრის მნიშვნელობა
1.0-4.0	F_1	2.9254
4.1-8.0	F_2	1.2374
8.1-12.0	F_3	1.2487
12.1-16.0	F_4	0.6942
16.1-20.0	F_5	0.4949
20.1-24.0	F_6	0.2976

საბოლოო ცხრილში Q_i პარამეტრების მნიშვნელობა დიდია სხვა პარამეტრებთან შედარებით. ეს განპირობებულია იმ წესით, რომლითაც ხდება პარამეტრების ჯგუფების შეფასება. ვინაიდან საწყისი ცხრილი შედგება მხოლოდ ერთიანებისაგან, მაშინ როდესაც ველები არანაკლებ რამდენიმე ასეულისაა, დაბალანსების პირველი ოპერაცია უმნიშვნელოვანეს გავლენას ახდენს პარამეტრის მნიშვნელობებზე. თუ მიზიდულობის შესაძლებლობები იქნებოდა პარამეტრების პირველ ჯგუფში შეფასებული, ეს იქნებოდა ყველაზე დიდი მნიშვნელობის პარამეტრები. უნიკალურადაა განსაზღვრული OD უჯრედების მნიშვნელობები. თუმცა, მოდელის პარამეტრებს, რომლებსაც აქვთ გავლენა ამ მნიშვნელობებზე, გააჩნიათ თავისუფლების ორი ხარისხი. მაგალითად, Q_i წარმოების შესაძლებლობების გაორმაგება X_j მიზიდულობის შესაძლებლობების ან F^k განაწილების ფუნქციის პარამეტრების განახევრებით, არ ახდენს გავლენას პროგნოზირებულ OD მნიშვნელობებზე. პრაქტიკაში მიიღება სხვადასხვა ზომები პარამეტრების ერთი ჯგუფი ძალიან დიდი, ხოლო მეორე ჯგუფის პარამეტრების ძალიან მცირე მნიშვნელობების თავიდან ასაცილებლად. ამან შეიძლება გამოიწვიოს არსებული ციფრების კომპიუტერში წარმოდგენასთან დაკავშირებული პრობლემები (ქვენაკადი ან ზენაკადი).

ზემოთ მოყვანილი მაგალითისა და მსგავსი გამოთვლების დაპროგრამება მარტივი გზით შეიძლება ცხრილების ან სხვა გამოთვლითი საშუალებების გამოყენებით. როგორც ილუსტრაცია, ქვემოთ მოცემულია Matlab © კოდი, რომელიც საჭიროა ზემოთ მოყვანილ მაგალითში პარამეტრების შესაფასებლად:

```

% Matlab source code for the calibration of distribution functions
% INPUT DATA
departures=[400 460 400 702]'
arrivals=[260 400 500 802]'
OTLD=[365 962 160 150 230 95]%' Vector with Observed Trip Length Distribution
dist_cat=[
1 3 5 6
3 1 4 5
4 4 2 2
6 5 2 2
]; %Distance category

% INITIALIZATION
Q=ones(size(departures)); % Vector of production abilities
X=ones(size(arrivals)); % Vector of attraction abilities
F=ones(size(OTLD)); % Vector of deterrence function values
MTLD=zeros(size(OTLD)); % Vector with modeled Trip Length Distribution

% Evaluate values for distribution function (note: the command 'reshape' converts a
vector into a matrix)
Fmat=reshape(F(dist_cat),size(dist_cat,1),size(dist_cat,2));
matrix = ones( size(dist_cat) );

% MAIN COMPUTATION
for iterate=1:10
    Q=Q.*departures./sum(matrix)'; % Modify Q & compute new matrix
    matrix=((Q*X').*Fmat);

    X=X.*arrivals./sum(matrix)'; % Modify X & compute new matrix
    matrix=((Q*X').*Fmat);

    for k=1:length(OTLD); % Compute Modeled Trip Length Distribution
        MTLD(k)=sum(matrix(dist_cat==k));
    end

    F=F.*OTLD./MTLD; % Modify F

    Fmat=reshape(F(dist_cat),size(dist_cat,1),size(dist_cat,2));
    % Evaluate values for distribution function

    matrix=((Q*X').*Fmat); % Compute new matrix
end

disp('end result:'); % Plot end results
disp([[matrix Q];[X',0]])
disp(F)

```

- მაგალითის დასასრული -

8.5. საბაზისო წლის მატრიცის შეფასება ფიქსირებული განაწილების ფუნქციის გამოყენებით

8.4 თავში აღწერილი მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მგზავრობის განაწილებასთან დაკავშირებულ მრავალი სახის გამოთვლებში. წინა თავში გამოთვლების ერთ-ერთი შედეგი იყო (დისკრეტული) განაწილების ფუნქციის პარამეტრების სიმრავლე. ამასთან, ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება საჭირო გახდეს OD მატრიცის შეფასება ყველაზე დაბალი ფასით მონაცემების შეგროვების ხარჯზე. ამ შემთხვევაში არ არის აუცილებელი განაწილების ფუნქციის პარამეტრების კიდევ ერთხელ შეფასება, იმ პირობით, რომ შესაძლებელია სხვა კვლევებიდან მონაცემების იმპორტი. ეს შესაძლებელია იმის გამო, რომ განაწილების ფუნქცია წარმოადგენს

ქცევით პარამეტრებს, რომლების გადატანა ერთი კვლევიდან მეორეში შესაძლებელია. ამიტომ, თუ ხელმისაწვდომია განაწილების ფუნქციის შეფასება, რომელიც ხდება „(OVG)” მონაცემებზე დაყრდნობით, საკმარისია საკვლევი არეალის შემომავალი ან/და გამავალი მგზავრობების ცოდნა, რათა შევაფასოთ OD მატრიცა. მგზავრობათა დასრულებები შესაძლოა შეფასდეს, წინა თავებში აღწერილი, მგზავრობათა წარმოების მოდელების გამოყენებით.

OD მატრიცის შესაფასებლად ვიწყებთ იმპორტირებული განაწილების გამოყენებით მგზავრობათა წარმოების მოდელის ფორმულირებას:

$$T_{ij} = Q_i X_j F(c_{ij}) \quad (8.32)$$

სადაც, $F(c_{ij})$ მოცემული განაწილების ფუნქციაა. შესაძლოა მას ჰქონდეს განაწილების ფუნქციის ექსპონენციალური, დისკრეტული ან სხვა ფორმა. სხვა შემზღუდავი პირობებია:

$$\sum_j T_{ij} = P_i \quad (8.33)$$

$$\sum_i T_{ij} = A_j$$

Q_i და X_j განსასაზღვრად ვიყენებთ წინა თავში გამოყენებული სქემის იდენტურ სქემას, იმ მოდიფიკაციით, რომ პირველი ბიჯი იცვალება იმ ბიჯით, რომელშიც ხდება მატრიცის უჯრედების ინიცირება მოცემული განაწილების ფუნქციის შესაბამისი მნიშვნელობებით (ნაცვლად ერთეული მნიშვნელობებისა) და ის რომ მეორე ბიჯზე განაწილების ფუნქციის პარამეტრების მოდიფიცირება არ ხდება;

ბიჯი 0. დააბალანსეთ მგზავრობათა გამგზავრებები და ჩამოსვლები. ეს შესაძლებელია გამგზავრებების შეცვლით, ან ჩამოსვლების ან ორივეს ერთად ცვლილებით. ეს ბიჯი საჭიროა ალგორითმის თანხვედრის უზრუნველსაყოფად.

ბიჯი 1. პარამეტრების ინიციალიზაცია შემდეგის გამოყენებით:

$$Q_i^{(0)} = 1, \quad \forall i, \quad X_j^{(0)} = 1, \quad \forall j, \quad F_k^{(0)} = F(c_{ij}), \quad \forall k \quad (8.34)$$

ეს გულისხმობს, რომ მატრიცის ყველა უჯრედი ინიცირებულია განაწილების მნიშვნელობებით, რომლებიც ვრცელდება ამ უჯრედებზე.

ბიჯი 2. ახალი მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა შემდეგის გამოყენებით:

$$Q_i^{(n+1)} = P_i / \sum_j X_j^{(n)} F(c_{ij}), \quad \forall i$$

$$X_j^{(n+1)} = A_j / \sum_i Q_i^{(n+1)} F(c_{ij}), \quad \forall j \quad (8.35)$$

ბიჯი 3. შეამოწმეთ არსებითად განსხვავდება თუ არა მიმდინარე იტერაციით გამოთვლილი პარამეტრი წინა იტერაციით გამოთვლილი პარამეტრებისაგან. ასეთ შემთხვევაში, გაიმეორეთ ბიჯი 2.

ბიჯი 4. დასასრული

ვინაიდან იტერაცია შედგება რიგების და მწკრივების ალტერნატიული განლაგებისაგან, იტერაციის საბოლოო შედეგი შეიძლება ჩაიწეროს როგორც:

$$T_{ij}^{(n)} = [\prod_{p=1}^n \alpha_i^{(p)}] [\prod_{q=1}^n \beta_j^{(q)}] F(c_{ij}) \quad (8.36)$$

სადაც:

$$\alpha_i^{(p)} = [\text{ზომის ფაქტორი } p \text{ იტერაციის } i \text{ რიგისათვის}] = P_i / \sum_j T_{ij}^{(p)}$$

$$\beta_j^{(q)} = [\text{ზომის ფაქტორი } q \text{ იტერაციის } j \text{ რიგისათვის}] = A_j / \sum_i T_{ij}^{(q)} \quad (8.37)$$

$T_{ij}^{(p)}$ და $T_{ij}^{(q)}$ მატრიცის უჯრედები, რომლებიც გამოიყენება შეფასების მომენტში

იტერაციების დასრულების შემდეგ, სხვაობა მოდელის პროგნოზირებულ მგზავრობათა და დაკისრებულ შეზღუდვების პირობებს შორის მინიმუმამდეა დაყვანილი. ასევე, ჩანს, რომ შედეგად მიღებული გადაწყვეტილება კვლავ აკმაყოფილებს ზოგადი მგზავრობის განაწილების მოდელს. ეს მოხდება, თუ ჩავსვამთ:

$$Q_i = [\prod_{p=1}^n \alpha_i^{(p)}]$$

$$X_j = [\prod_{q=1}^n \beta_j^{(q)}] \quad (8.38)$$

8.6. პარამეტრების შეფასება ექსპონენციური განაწილების ფუნქციაში

8.4 თავში ნაჩვენებია, თუ როგორ შეიძლება პარამეტრების დადგენა დისკრეტული განაწილების ფუნქციისათვის, როდესაც შემომავალ-გამავალი მგზავრობები და OTLD ხელმისაწვდომია. მსგავსი პროცედურა არსებობს ამ მონაცემების საფუძველზე ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციაში პარამეტრის

შეფასებისათვის. ეს მეთოდი ცნობილია, როგორც ჰიმანის მეთოდი. მსგავსი პროცედურების ჩატარება ასევე შესაძლებელია სხვა უწყვეტი განაწილების ფუნქციებში პარამეტრების შეფასებისათვის.

ექსპონენციალური განაწილების ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$F(c_{ij}) = \exp[-\alpha c_{ij}] \quad (8.39)$$

სადაც α არის პარამეტრი, რომელიც უნდა შეფასდეს. α - ს არჩევანი დიდ გავლენას ახდენს გამოსაანგარიშებელ OD მატრიცაზე, როდესაც გამოიყენება მე - 8 თავში აღწერილი პროცედურა. ვინაიდან განაწილების ფუნქცია წარმოადგენს მგზავრობის შესრულების სურვილს, როგორც მგზავრობის ხარჯების ფუნქცია, α - ს დიდი მნიშვნელობა გულისხმობს მოკლე მარშრუტების დიდ რაოდენობას და პირიქით.

პარამეტრი α უნდა შეირჩეს ისე, რომ დაკვირვებითი მგზავრობის სიგრძის განაწილება წარმოდგენილ იქნას, რამდენადაც ეს შესაძლებელია OD მატრიცის პროგნოზირების მოდელით. პრაქტიკაში ეს მხოლოდ გარკვეულ შემთხვევაში არის შესაძლებელი, იმის გათვალისწინებით, რომ მხოლოდ ერთი პარამეტრის ცვალებადობაა დაშვებული. ჩვენ ვიყენებთ მიზანს, რომ სავარაუდო OD მატრიცისათვის მგზავრობის საშუალო ღირებულება უნდა შეესაბამებოდეს დაკვირვებით მგზავრობის საშუალო ღირებულებას. შეიძლება ნაჩვენები იყოს, რომ ეს ასევე არის მაქსიმალური გამოსავალის მსგავსი. α -ს ოპტიმალური მნიშვნელობა შეიძლება მოპოვებულ იქნას შემდეგი იტერაციული სქემის გამოყენებით:

ბიჯი 1. შეარჩიეთ, როგორც საწყისი გადაწყვეტილება $\alpha^{(0)} = 1/\bar{c}$ მნიშვნელობისათვის, სადაც \bar{c} წარმოადგენს დაკვირვებითი მგზავრობის სირგძეს.

ბიჯი 2. დათვალეთ მგზავრობის განაწილება 8.5 თავში აღწერილი მეთოდის გამოყენებით, დაკვირვებითი შემომავალ-გამავალი მგზავრობების და $\alpha^{(n)}$ გამოთვლილი მნიშვნელობის გამოყენებით. ამას მივყავართ გამოთვლილ OD მატრიცასთან, საიდანაც შეიძლება მიღებული იქნას $c^{(n)}$ მოდელირებული მგზავრობის საშუალო სიგრძე. თუ დაკვირვებითი \bar{c} მგზავრობის საშუალო სიგრძეები უახლოვდებიან ერთმანეთს საკმაოდ ახლოს, იტერაციები ჩერდება.

ბიჯი 3. როდესაც $n = 1$, α - ს საუკეთესო მნიშვნელობა შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი მიდგომის გამოყენებით:

$$\alpha^{(1)} = (c^{(1)}/c^{(0)}) \alpha^{(0)} \quad (8.40)$$

როდესაც იტერაციის აღმრიცხველი $n > 1$, α გამოითვლება შემდეგი ფორმით:

$$\alpha^{(n+1)} = \frac{(\bar{c}-c^{(n-1)})\alpha^{(n-1)} - (\bar{c}-c^{(n)})\alpha^{(n)}}{c^{(n)} - c^{(n-1)}} \quad (8.41)$$

ბიჯი 4. გაიმეორეთ ბიჯები 2 და 3, სანამ არ მიიღწევა მსგავსება.

8.7. OD მატრიცების განახლება შემომავალი და გამავალი მგზავრობების ჯამებით (ზრდის ფაქტორის მოდელები)

როდესაც ხელმისაწვდომია t ისტორიული მატრიცები, ეს მატრიცა შესაძლოა განახლდეს, რათა შეეფერებოდეს მიმდინარე და პროგნოზირებულ მგზავრობებს, მაგალითად, როგორც ეს არის ზრდის ფაქტორის მოდელების შემთხვევაში. პროცედურა, რომელიც ამ შემთხვევაში გამოიყენება, ჰგავს იმას, რომელიც გამოიყენება OD მატრიცების გამოსათვლელად შემომავალ-გამავალი მგზავრობების და მოცემული განაწილების ფუნქციის გამოყენებით. ყველაზე მნიშვნელოვანი განსხვავება ისაა, რომ იტერაციები ინიცირდება ისტორიული მატრიცით, როგორც T - ს პირველი მიახლოება. მაშასადამე, პირველი ბიჯი იცვლება შემდეგით:

ბიჯი 0. გენერირებული და მიზიდული მგზავრობების ბალანსირება A_j, P_i ან ორივეს მოდიფიცირება

ბიჯი 1. ინიციალიზაცია:

$$T_{ij}^{(0)} = t_{ij}, \quad \forall i, j \quad (8.42)$$

$$Q_i^{(0)} = 1, \quad \forall i, \quad X_j^{(0)} = 1, \quad \forall j$$

ეს გულისხმობს, რომ OD უჯრედები დამოკიდებულია წინა მატრიცის მნიშვნელობებზე.

ბიჯი 2. განსაზღვრეთ Q_i და X_j ახალი ფაქტორები:

$\forall i$ -სთვის

$$Q_i^{(n+1)} = \frac{P_i}{\sum_j X_j^{(n)} t_{ij}} = Q_i^{(n)} \frac{P_i}{\sum_j T_{ij}^{(n)}}, \quad \text{სადაც: } T_{ij}^{(n)} = Q_i^{(n)} X_j^{(n)} t_{ij} \quad (8.43)$$

$\forall j$ -სთვის

$$X_j^{(n+1)} = \frac{A_j}{\sum_i Q_i^{(n+1)} t_{ij}} = X_j^{(n)} \frac{A_j}{\sum_i T_{ij}^{(n)}}, \quad \text{სადაც: } T_{ij}^{(n)} = Q_i^{(n+1)} X_j^{(n)} t_{ij} \quad (8.44)$$

ბიჯი 3. შეამოწმეთ რამდენად განსხვავდება მიმდინარე იტერაციაში გამოთვლილი პარამეტრები წინა იტერაციაში გამოთვლილი პარამეტრებისაგან. თუ ეს ასეა, გაიმეორეთ ბიჯი 2.

ბიჯი 4. დასასრული

ეს პროცედურა ცნობილია სხვადასხვა სახელწოდებით, მაგალითად, ფურნეს ბალანსირება და ბიპროპორციული ფიტინგები. ადვილი დასანახია, რომ რიგებისა და სვეტების განმეორებით შეფასების შემდეგ, ზღვრულ მნიშვნელობათა შესაბამისად მიიღება მატრიცა, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას:

$$T_{ij} = Q_i X_j t_{ij}, \quad \forall i, j \quad (8.45)$$

მაშ ასე, ვინაიდან საბოლოო შედეგი აკმაყოფილებს მხოლოდ მგზავრობის განაწილების ზოგად მოდელს განაწილების ფუნქციით, თუ ისტორიული მატრიცა, რომელიც ამ პროცედურისათვის საწყისად იქნა გამოყენებული, ასევე აკმაყოფილებს მას. ეს არ ნიშნავს, რომ მეთოდს საფუძველი არ გააჩნია. ყველაზე გავრცელებული ინტერპრეტაცია არის ენტროპიის მაქსიმიზაცია.

ამონახსნი, რომელიც ახორციელებს გამოსახულების მინიმიზაციას, ცნობილია როგორც ენტროპია:

$$S[T|t] = - \sum_{i,j} (T_{ij} \log T_{ij} / t_{ij} - T_{ij} + t_{ij}) \quad (8.46)$$

ენტროპიის მაქსიმიზაცია ექვივალენტურია ენტროპიის მანძილის ზომის მინიმიზაციის (იხ. თავი 8.3). შეიძლება იქნას ნაჩვენები, რომ $S[T|t]$ -ს მაქსიმიზაცია ექვივალენტურია მომდევნო გამოსახულების მინიმიზაციისა:

$$S_2[T|t] = \sum_{i,j} \frac{0.5(T_{ij}+t_{ij})^2}{T_{ij}} \quad (8.47)$$

ეს არის შეწონილი კვადრატული სხვაობა ისტორიულ და მოდიფიცირებულ მატრიცებს შორის. ამრიგად, მეთოდი შეიძლება იქნას განმარტებული, როგორც მატრიცის პოვნა, რომელიც აკმაყოფილებს შეზღუდვის პირობებს და ამავდროულად რაც შეიძლება ახლოს არის ისტორიულ მატრიცასთან, კონკრეტული დისტანციური ზომების შესაბამისად.

8.8. OD მატრიცის განახლება ნაკადების დათვლებით

OD ცხრილების შეფასებასთან დაკავშირებული მნიშვნელოვანი თემაა OD მატრიცების განახლება ნაკადების დათვლებით. კვლევის მონაცემების შეგროვების ნაცვლად, ნაკადების დათვლები შეიძლება მოპოვებულ იქნას დაბალი ღირებულებით, ხოლო ისინი შეიცავენ მნიშვნელოვან (ირიბ) ინფორმაციას OD ცხრილების შესახებ.

OD ცხრილებსა და ნაკადების დათვლებს შორის დამოკიდებულება

იმისათვის, რომ გამოვიყენოთ ნაკადების დათვლები OD ცხრილების გამოსათვლელად, უნდა ვიცოდეთ, თუ რომელი OD უჯრედები მონაწილეობენ ნაკადების დათვლებში. რუქა **B**, რომელიც OD უჯრედებს განათავსებს მარშრუტთა ნაკადებზე (მარშრუტის არჩევანის რუქა), მოცემულია შემდეგი სახით:

$$\beta_{ij}^r = \text{პროპორცია OD ნაკადის } i - j, \text{ რომელიც იყენებს } r \text{ მარშრუტს}$$
$$0 \leq \beta_{ij}^r \leq 1 \quad (8.48)$$

რუქა, რომელიც განსაზღვრავს მარშრუტის დინებასა და ბმულის დინებას შორის დამოკიდებულებას (მარშრუტის - ბმულის ინციდენტების რუქა), აღნიშნულია **A** სიმბოლოთი და მოცემულია შემდეგნაირად:

$$\alpha_r^a = 1 \text{ როდესაც } a \text{ ბმული } r \text{ მარშრუტზეა}$$
$$\alpha_r^a = 0 \text{ როდესაც } a \text{ ბმული არაა } r \text{ მარშრუტზე}$$
(8.49)

OD მატრიცასა და q_a ბმულის ნაკადებს შორის დამოკიდებულება მოცემულია შემდეგი სახით:

$$q_a = \sum_i \sum_j \sum_r \beta_{ij}^r \alpha_r^a T_{ij} = \sum_i \sum_j T_{ij} [\sum_r \beta_{ij}^r \alpha_r^a] \quad (8.50)$$

ხშირად მარშრუტის არჩევანის **B** რუქა და მარშრუტის ბმულის ინციდენტთა **A** რუქა გაერთიანებულია განთავსების რუქაში, რომელიც აღნიშნული **P** სიმბოლოთი:

$$\pi_{ij}^a = \text{პროპორცია OD ნაკადის } i - j, \text{ რომელიც იყენებს } a \text{ ბმულს}$$
$$0 \leq \pi_{ij}^a \leq 1$$
$$\pi_{ij}^a = \sum_r \beta_{ij}^r \alpha_r^a \quad (8.51)$$

OD მატრიცების განახლება AON განთავსების გამოთვლების საფუძველზე

როდესაც ვიყენებთ ყველაფერ-ან-არაფერ განთავსებას გამგზავრების წერტილად, **P** განთავსების რუქა დაიყვანება ერთიანებისა და ნულების სიმრავლეზე. ეს ხდება იმის გამო, რომ მთლიანი OD ნაკადები განთავსდება ცალკეულ მარშრუტზე.

პროცედურა, რომელიც გამოიყენება არსებული მატრიცის განახლებისათვის სატრანსპორტო ნაკადების დათვლებით, წინა თავებში განხილულ მეთოდებს წააგავს; ის შედგება მასშტაბირების ოპერაციების თანმიმდევრობისაგან. ამ შემთხვევაში დაწესებული შეზღუდვის პირობები არ ვრცელდება შემომავალ და გამავალ მგზავრობებზე (მატრიცის სვეტები ან რიგები), არამედ ვრცელდება მატრიცის უჯრედთა ბლოკებზე.

ბიჯი 1. მატრიცის ინიციალიზაცია წინა მატრიცის უჯრედებიდან:

$$T_{ij} = t_{ij}, \quad \forall i, j \quad (8.52)$$

ბიჯი 2. განახლეთ OD მატრიცები უჯრედების ჯგუფების მასშტაბირებით, სანამ ისინი არ შეეფერებიან q_a ნაკადების დათვლების რაოდენობებს. გაიმეორეთ ეს ყველა ხელმისაწვდომი ნაკადების დათვლებისათვის (A-ში a):

დამხმარე ამონახსნის ინიციალიზაცია $T = [T_{ij}]$

$$T_{ij} = T_{ij}^n, \quad \forall i, j \quad (8.53)$$

განახლება ნაკადების დათვლებით:

ყველა a -სათვის (განსაზღვრეთ მასშტაბირების ფაქტორი)

$$c(a, n) = \frac{q_a}{\sum_{i,j} T_{ij} \pi_{ij}^a} \quad (8.54)$$

(შეაფასეთ ყველა უჯრედი, რომლებიც მონაწილეობენ a ბმულში)

ყველა i და j - სათვის, $\pi_{ij}^a = 1$ - ით:

$$T_{ij} := c(a, n) T_{ij} \quad (8.55)$$

მითითებული $T^{(n+1)}$ ტოლია დამხმარე გადაწყვეტილების

$$T_{ij}^{(n+1)} = T_{ij}, \quad \forall i, j \quad (8.56)$$

ბიჯი 3. შეამოწმეთ რამდენად განსხვავდება მიმდინარე იტერაციაში გამოთვლილი პარამეტრები წინა იტერაციაში გამოთვლილი პარამეტრებისაგან. თუ ეს ასეა, გაიმეორეთ ბიჯი 2.

ბიჯი 4. დასასრული

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ საბოლოო გადაწყვეტილება აკმაყოფილებს:

$$T_{ij} = t_{ij} \prod_a X_a^{\pi_{ij}^a} \quad (8.57)$$

ისევე როგორც იმ შემთხვევაში, როდესაც მატრიცა განახლებულია გენერირებული და მიზიდული მგზავრობების გამოყენებით, შეიძლება ნაჩვენები იყოს, რომ შედეგად მიღებული T_{ij} მგზავრობის მატრიცა მაქსიმუმირებს ენტროპიას.

ზემოთ აღწერილი პროცედურა შეიძლება თანხვედრაში იყოს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ხელმისაწვდომი ნაკადების დათვლები თანმიმდევრულია.

პრაქტიკაში ეს ნიშნავს, რომ აუცილებელია ნაკადების დათვლები უნდა იყოს თანმიმდევრული, სანამ მოხდება მათი გამოყენება.

მეთოდის თეორიული სისუსტე არის ის, რომ ნაკადების დათვლები არ ითვალისწინებენ შეცდომებს, ხოლო პრაქტიკაში ნაკადის დათვლებში გათვალისწინებულია შეცდომები:

- შეცდომები ფიზიკური დათვლისას;
- განსხვავებები პერიოდებში, რომელთა განმავლობაშიც ხდება სხვადასხვა წერტილებზე მონაცემების შეგროვება (ეს ეხება განსაკუთრებით იმ შემთხვევებს, სადაც მონაცემები გამოიყენება სხვადასხვა წყაროებიდან);
- ზოგჯერ ნაკადების მიახლოებით მონაცემებს იყენებენ ფაქტობრივი ნაკადების დათვლების ნაცვლად.

შეცდომების კიდევ ერთ წყაროს წარმოადგენს განთავსების რუქა. ეს რუქა შეიძლება გულისხმობდეს იმ მარშრუტების გამოყენებას, რომლებიც სინამდვილეში არ გამოიყენება ან ექსკლუზიურად არ არის გამოყენებული.

8.9. დისკუსია

ამ წიგნში წარმოდგენილია მრავალი ალგორითმი, რომლებიც გამოიყენება OD მატრიცებისა და განაწილების ფუნქციის პარამეტრების გამოსათვლელად. თეორიული მასალა, რომელიც ეხება პუასონის უტოლობას. ანალოგიურად, სხვა მეთოდების გამოყენებაც შესაძლებელია. იმის გამო, რომ ყველა მეთოდი შედგება მასშტაბირების ოპერაციების თანმიმდევრობისაგან, OD უჯრედები, რომლებიც არ შედიან დათვლაში და (A_j ან P_i) საზღვრებში, უცვლელი რჩება. ეს შეიძლება იყოს არასასურველი ეფექტი, მაგალითად, როდესაც ძველი მატრიცა განახლდება ახალი საბაზისო წლის მატრიცით. ამ შემთხვევაში, გვსურს გამოვხატოთ ნაკადის ზოგადი ზრდა მასშტაბირების ფაქტორით, რომელიც ეხება ყველა უჯრედს და გამოვიყენოთ ეს მასშტაბირება უჯრედების უფრო მცირე ჯგუფების მასშტაბირებამდე. ამ თავში აღწერილი მოდიფიკაციის მეთოდების მსგავსი მეთოდები პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა მიზეზების გამო.