

YOL AYRICINDA NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN LƏNGİMƏ VAXTININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ İMİTASIYA ÜSULLARININ EFFEKTİVLİYİ

Turan Şəmsi oğlu Verdiyev

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

EFFECTIVENESS OF IMITATION METHODS IN ESTIMATING THE DELAY TIME OF VEHICLES AT INTERSECTION

Turan Shamsi Verdiyev

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: turan.verdiyev@aztu.edu.az

<https://orcid.org/0000-0002-9520-5038>

Abstract: The article highlights the importance of simulation models in developing solutions for traffic management, and analyzes studies devoted to the use of simulation programs in solving transport problems. It is emphasized that despite the widespread application of simulation methods, their comparison with theoretical calculations is not carried out. In this work, the delay times of vehicles at an intersection with a 3-phase traffic light regulation in Baku city are evaluated and compared theoretically and through simulation experiments. The methodology for establishing the movement of vehicles and the operation of traffic lights at an intersection using the Anylogic program for conducting a simulation experiment is explained.

Keywords: *traffic delays, simulation modeling, intersection.*

© 2025 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

Giriş. Şəhərlərin son zamanlarda ortaya çıxan əsas nəqliyyat problemləri əsasən sıxlığın artması nəticəsində müşahidə edilən ciddi vaxt itkiləridir. Nəqliyyat ləngimələrinin yaranması nəqliyyat vasitələrinin sayının artması ilə yanaşı müxtəlif amillərin təsirləri nəticəsində də yaranı bilər. Bir çox hallarda hərəkətin təşkilinin lokal səviyyədə düzgün həll edilməsi nəqliyyat axınının daha sürətli sovrulmasına, sıxlığın aradan qaldırılmasına səbəb ola bilər. Nəqliyyat qovşaqlarında yol hərəkətinin təşkilinin təkmilləşdirilməsi üçün real şəraitdə axının parametrlərinin düzgün qiymətləndirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Nizamlanan və nizamlanmayan yol ayrıcılarında itirilən vaxtın nəzəri cəhətdən hesablanması üçün təklif edilən qaydalar bir çox hallarda effektiv olsa da dəyişən nəqliyyat şəraitini və göstərilən amilləri nəzərə ala bilmir. Digər tərəfdən müxtəlif amillərin dəyişməsi ilə yaranan vəziyyətdə nəqliyyat ləngimələrini nəzəri cəhətdən qiymətləndirmək olduqca mürəkkəb prosesdir.

Müasir informasiya texnologiyaları müxtəlif nəqliyyat problemlərinin, o cümlədən yol ayrıcılarında nəqliyyat vasitələrinin ləngimələrinin qiymətləndirilməsi üçün effektiv ola bilər. Yol ayrıcılarında hərəkətin təşkili üsullarını real şərait üçün dəyişib təklif edilən həllərin effektivliyini yoxlamaq həm vaxt, həm də maddi vəsait itkilərinə səbəb ola bilər. Ona görə nəqliyyat həllərinin hazırlanması və sınağında kompüter imitasiya modellərinin tətbiqi çox əlverişlidir. Bu həm resursların qorunmasına, həm də çoxlu sayda variantların asanlıqla yoxlanılmasına kömək edə bilər.

Ədəbiyyat icmalı. Son dövrlərdə şəhərlərdə nəqliyyat vasitələrinin, xüsusilə də minik avtomobillərinin sayının artması, yol hərəkətində idarəetməni çətinləşdirir. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, simulyasiya modelləşdirilməsi bu istiqamətdə istifadə edilə bilən effektiv vasitədir. Simulyasiya vasitəsi ilə tədqiq olunan obyektin optimal vəziyyətini müəyyən etmək mümkündür. Hal-hazırda nəqliyyat axınlarının tədqiqi, yol hərəkətinin təşkilinin optimallaşdırılması üçün mikromodellərin yaradılmasında bir sıra proqramlardan istifadə olunur. Agent əsaslı proqram təminatından istifadə edilməsi daha çox hərəkət iştirakçısına aid parametrlərin nəzərə alınmasını təmin edə bilər [1].

Bir çox tədqiqatlarda yol hərəkətinin təşkili üzrə həllərin yaradılması üçün Anylogic proqramından istifadə edilməsinin daha səmərəli olduğu göstərilir. Filippov və digərlərinin işində nəqliyyat axınlarının intensivliyinin araşdırılması və sınaqdan keçirilməsi üçün nəqliyyat axınlarının Anylogic proqramı vasitəsilə modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Bryansk şəhərinin yol

ayrıclarından birində yol hərəkətinin təşkilinin imitasiya edilməsi üçün optimallaşdırma eksperimentinin alqoritmi verilmişdir [2].

Yol ayrıcında hərəkətin təşkilinin eynisəviyyəli kəsişmədən müxtəlif səviyyəli kəsişməyə keçirilməsi üçün təklif olunan variantın əsaslandırılmasına həsr olunmuş işdə də Anylogic modelindən istifadə olunmasını təklif edilir [3].

Li və digərlərinin işində Anylogic proqramında agent əsaslı imitasiya modelinin köməyi ilə sistemin orta ləngimə vaxtı ilə yol ayrıcı qarşısında növbənin orta uzunluğu arasında asılılığını müəyyən etməyə çalışmışlar. Müəlliflər müəyyən etmişlər ki, gəlmə sürəti, fazanın uzunluğu və s. kimi parametrləri optimallaşdırmaqla sistemdə ləngimə vaxtını azaltmaq mümkündür [4].

Şəhərlərdə tıxacların və ətraf mühitə atılan tullantıların artması iqtisadiyyata, ətraf mühitə və yaşam keyfiyyətinə ciddi mənfi təsirlər göstərir. Ona görə də yol hərəkətinin təşkilinə intellektual həllər tapılması tələb olunur. Yol hərəkətinin təşkilində intellektual həllərin tətbiqinə maraq hələ 20-ci əsrin əvvəllərində yaranmışdı. Pop öz tədqiqatında yollarda nəqliyyat “tıxaclar”ının və yolu keçmə vaxtının qısaldılması üçün optimallaşdırılma alətlərindən istifadə təklif edir. İşdə Anylogic əsaslı modelləşdirmə metodikası təklif olunur [5].

Maksimova və Salmiyanov Blagoveşensk şəhərində Kalinin və Proletarskaya küçələrinin kəsişməsində tıxac problemini aradan qaldırmaq üçün Anylogic simulyasiya proqramından istifadə edərək optimallaşdırma etmişlər. Müəlliflər svetoforun fazalarında müəyyən dəyişiklik etdikdən sonra optimal variant təklif etmişlər. Təklif olunan variantda nəqliyyat vasitələrinin yol ayrıcına gəlməsi və oranı tərk etməsinin orta vaxtı qiymətləndirilmişdir [6].

Malim və digərləri yol kəsişməsində yaşıl işığın ən əlverişli yanma anını tətbiq etməklə yol ayrıcında orta dayanma vaxtını və “tıxaclar”ı minimuma endirmək üçün Anylogic vasitəsilə model hazırlamışlar. Müəlliflər baxılan yol ayrıcı üçün svetofor tsiklinin optimal uzunluqlarını müəyyən etmişlər. Bu rejimlərin tətbiqi yol ayrıcında ləngimə vaxtının orta qiymətini 55.65 saniyəyə endirməyə imkan vermişdir [7].

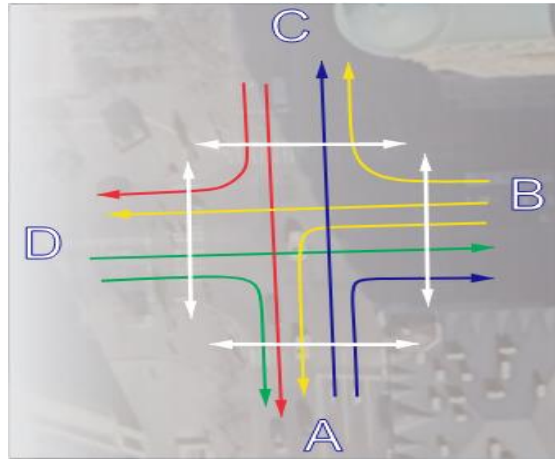
Beləliklə baxılan işlərdə simulyasiya eksperimentləri ilə yol ayrıcında hərəkətin təşkilinin yaxşılaşdırılması və ləngimə vaxtlarının azaldılması üçün həllər təklif olunsada bu nəticələr nəzəri tədqiqatlarla əldə edilən qiymətlərlə kifayət qədər müqayisə edilməmişdir.

Metodologiya. Tədqiqatın əsas məqsədi yol ayrıcında orta ləngimə vaxtlarını nəzəri yolla və simulyasiya modelləri vasitəsilə müəyyən etməklə nəticələrin real qiymətlərə uyğunluğunu öyrənməkdir. Əvvəlcə baxılan yol ayrıcında “pik” saatlarında nəqliyyat vasitələrinin hərəkət intensivliyi ölçülür və svetoforların tətbiq olunan real iş rejimləri müəyyən edilir. Mövcud riyazi model əsasında svetoforun iş rejiminə və nəqliyyat vasitələrinin intensivliklərinə uyğun hər bir istiqamət və ümumlikdə yol ayrıcı üzrə orta ləngimə vaxtı müəyyən edilir.

Simulyasiya proqramında (anylogic 8.7.7) yol ayrıcında avtomobillərin hərəkətinin məntiqi sxemi qurulmuşdur. Yol ayrıcında müşahidələr nəticəsində əldə edilmiş real qiymətlər əsasında istiqamətlər üzrə ləngimə vaxtları qiymətləndirilir və simulyasiya modelində aparılan sınaqlardan alınan ölçmələrlə müqayisə edilir. Simulyasiya modelinin istifadə olunmasının səmərəlilik səviyyəsi müəyyən edilir.

Seçilmiş yol ayrıcında hərəkətin mövcud təşkili variantının analizi. Bakı şəhərində Hüseyn Cavid prospekti ilə Əbdürrəhim Bəy Haqverdiyev küçəsinin kəsişməsində hərəkət istiqamətləri şəkil 1-də göstərilmişdir.

Yol ayrıcında mövcud vəziyyətdə 3 fazalı svetofor nizamlanması tətbiq olunmuşdur. Yol ayrıcında “pik” saatlarda nəqliyyat axınlarının intensivliyinin istiqamətlər üzrə canlı müşahidə ilə əldə olunmuş qiymətləri Cədvəl 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Yol ayrıcında hərəkət istiqamətləri

Cədvəl 1

Hərəkət istiqamətləri üzrə nəqliyyat vasitələrinin saatlıq intensivlikləri

Hüseyn Cavid prospekti nəqliyyat vasitələrinin saatlıq intensivliyi
(13:30-14:30)

İstiqamətlər	0-15 dəq	15-30 dəq	30-45 dəq	45-60 dəq	0-60 dəq
A-C	297	311	290	286	1184
A-B	68	70	74	77	289
C-A	38	36	42	40	156
C-D	21	19	24	20	84

Ədürəhim Bəy Haqverdiyev küçəsi nəqliyyat vasitələrinin saatlıq intensivliyi
(13:30-14:30)

İstiqamətlər	0-15 dəq	15-30 dəq	30-45 dəq	45-60 dəq	0-60 dəq
B-D	337	332	340	347	1356
B-C	132	135	129	137	533
B-A	171	168	173	178	690
D-B	547	538	543	537	2165
D-A	110	106	108	114	438

Mövcud vəziyyətdə yol ayrıcında nəzəri yolla nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtının müəyyən edilməsi. Nizamlanan yol ayrıcılarında nəqliyyat vasitələrinin ləngimə vaxtlarını müəyyən etmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edirik [8]:

$$D_i = \frac{c(1-\lambda_i)^2}{2(1-\lambda_i y_i)} + \frac{y_i^2}{2q_i(1-y_i)} \quad (1)$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n D_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (2)$$

Burada, D_i – i fazasında nəqliyyat vasitələrinin ləngimə vaxtı, T bir tsikl ərzində nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtı, C – tsiklin davamiyyət müddəti, λ_i – yaşıl işıq davamiyyət müddətini nəzərə alan əmsal, $\lambda = t_{\text{yaşıl}}/C_{\text{tskl}}$, q – baxılan istiqamətdə hərəkət intensivliyi, y_i – i fazasının doymasını nəzərə alan əmsaldır.

Yol ayrıcında bütün istiqamətlər üzrə ləngimələrin (1) düsturuna əsasən hesablanmış qiymətləri cədvəl 2-də göstərilmişdir.

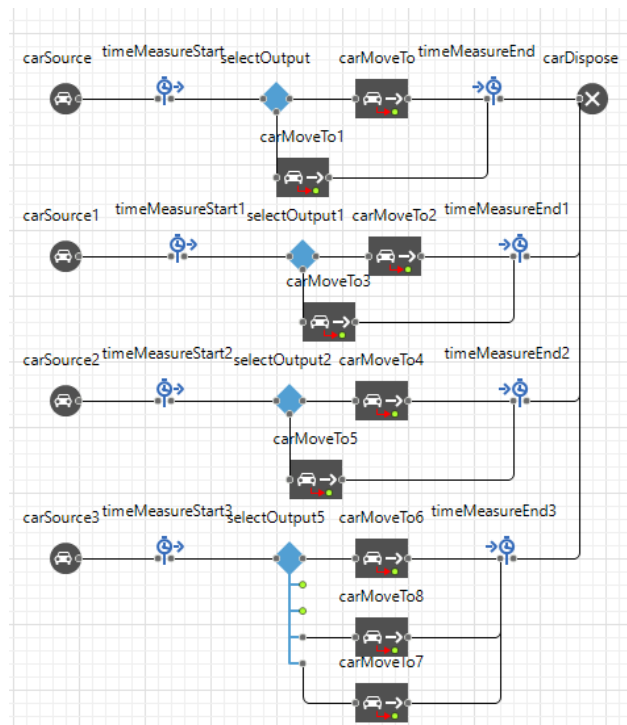
Cədvəl 2

Yol ayrıcında istiqamətlər üzrə nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtı

İstiqamətlər	A-C	A-B	C-A	C-D	B-C	B-D	D-B	D-A	B-A
Orta ləngimə vaxtları	26.4 san	25.5 san	23.3 san	23.4 san	33.5 san	33.3 san	36.3 san	32.5 san	34.3 san

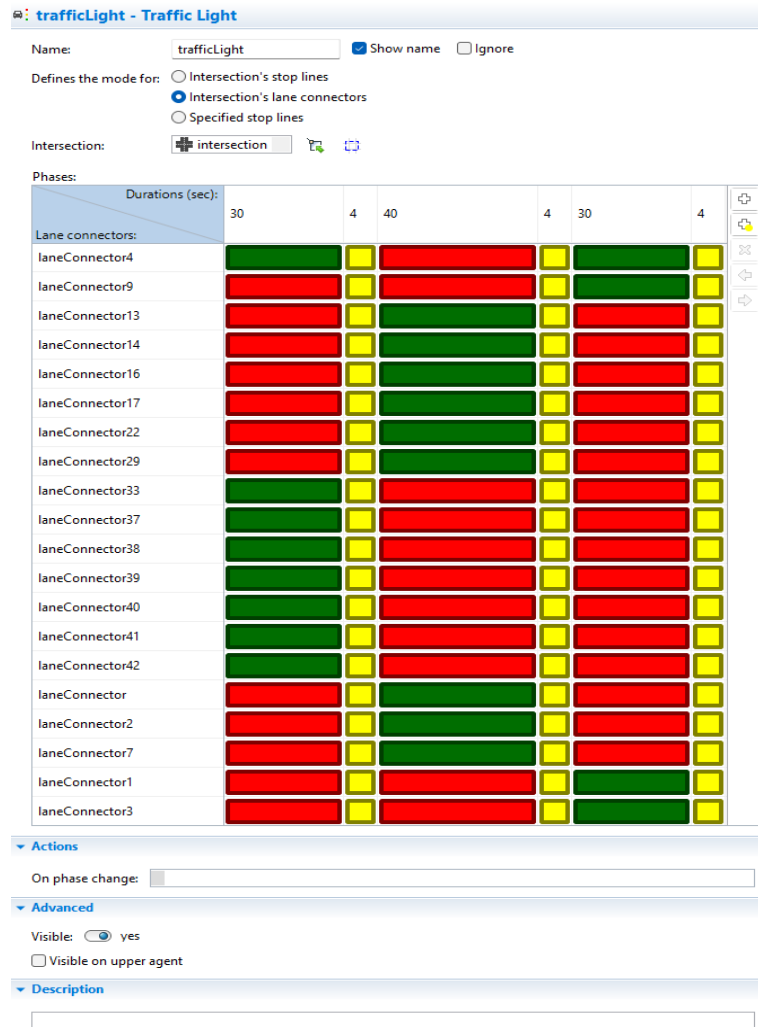
Tədqiq olunan yol ayrıcında svetoforun bir tsikli ərzində nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtının (2) düsturuna əsasən hesablanmış qiyməti 32.2 saniyə təşkil edir.

Anylogic proqramında tədqiq olunan yol ayrıcının simulyasiya modelinin hazırlanması. Anylogic proqramının işçi masasında **Road Traffic Library** kitabxanasından istifadə etməklə yol ayrıcının [9]. Məntiqi sxemin qurulması üçün **Traffic Library** [6] kitabxanasından **CarSource**, **CarMoveTo** və **CarDispose**, **Process Modeling Library** kitabxanasından isə **SelectOutput**, **SelectOutput5**, **TimeMeasureStart** və **TimeMeasureEnd** elementləri istifadə olunmaqla qurulan məntiqi sxem şəkil 2-də verilmişdir. TimeMeasureStart və TimeMeasureEnd bloklarından istifadə edərək nəqliyyat vasitələrinin yol ayrıcında ləngimə vaxtları ölçülür.



Şəkil 2. Yol ayrıcında nəqliyyat vasitələrinin istiqamətlər üzrə hərəkətinin məntiqi sxemi

Baxılan yol ayrıcında üç fazlı svetofor nizamlanması tətbiq olunmuşdur. Anylogic proqramında svetoforun iş rejimini imitasiya etmək üçün **Road Traffic Library** bölməsindən **TrafficLight** aləti istifadə edilir. **TrafficLight** ziddiyyətli nəqliyyat axınlarına nəzarət etmək üçün yol kəsişmələrində, piyada keçidlərində və digər yerlərdə yerləşdirilən svetoforları imitasiya edir. Şəkil 3-də baxılan yol ayrıcında mövcud vəziyyətdə svetoforun nizamlama rejiminin qrafiki verilmişdir.



Şəkil 3. Yol hərəkətinin təşkilinin mövcud vəziyyətində svetofor nizamlaşmasının qrafiki

Modelə svetofor əlavə edildikdən sonra onun iş rejimi kəsişmənin stop xətləri, kəsişmənin birləşdirən xətlər və stop xətlərinə görə müəyyən edilə bilər. Real yol ayrıcında üç fazalı svetofor nizamlaşması tətbiq edildiyinə görə biz svetoforun iş rejimini kəsişməni birləşdirən xətlərə görə müəyyən edirik.

Yol ayrıcında piyada fazası nəzərdə tutulduğuna görə proqramda nəzərə alınmışdır. Bu məqsədlə **TrafficLight** xüsusiyyətlər panelində actions bölməsinə aşağıdakı kodlar daxil edilmişdir:

```
crossingArea.setOpen(currentPhaseIndex == int );
crossingArea1.setOpen(currentPhaseIndex == int );
crossingArea2.setOpen(currentPhaseIndex == int );
crossingArea3.setOpen (currentPhase Index == int ).
```

Daxil etdiyimiz kodlar svetoforun siqnallarına uyğun piyadaların yol ayrıcına daxil olmasına icazə verir.

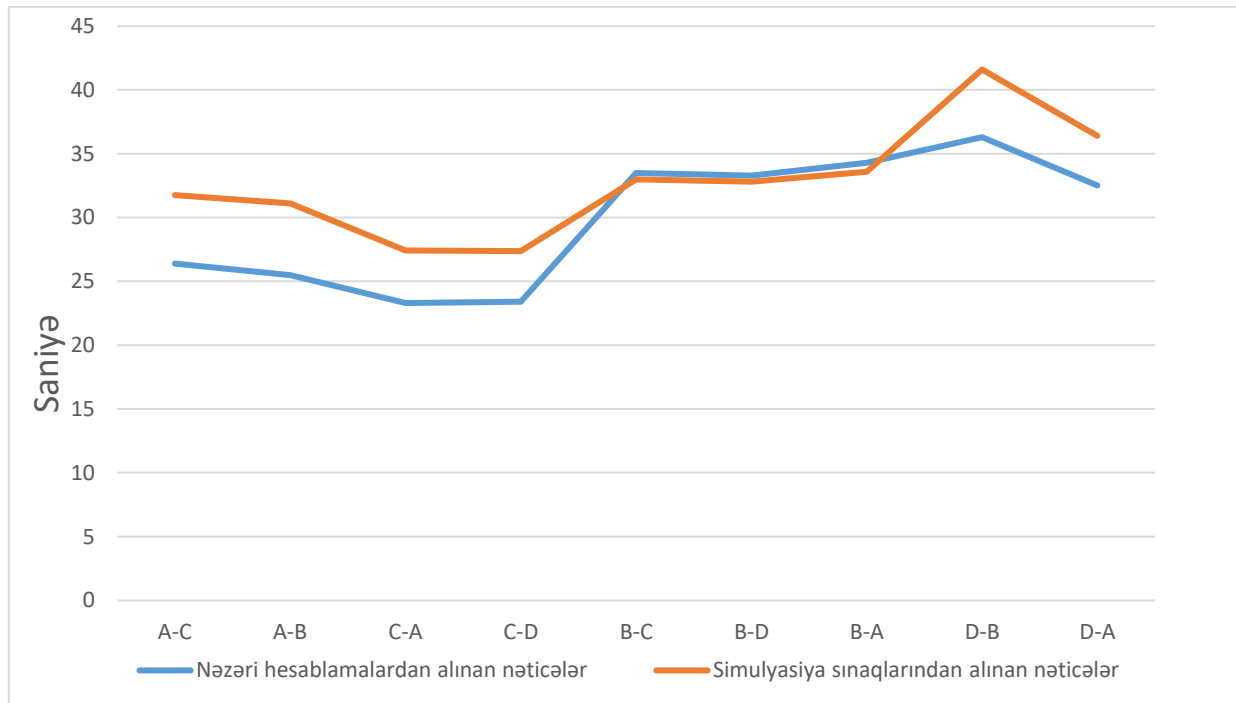
Anylogic proqramından istifadə edərək yol ayrıcında nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtının müəyyən olunması. Tədqiq olunan yol ayrıcında nəqliyyat vasitələrinin orta ləngimə vaxtını müəyyən etmək üçün modelə **Process modeling library** bölməsindən hər bir istiqamət üzrə (CarSource, CarSource1, CarSource2, CarSource3) Time measure start və Time measure end komandası əlavə edirik. Daha sonra **Database** bölməsindən alınan nəticələr götürülür. Modeldən hesablama nəticəsində götürülən qiymətlər cədvəl 3-də göstərilmişdir.

İstiqamətlər üzrə nv-lərin orta ləngimə vaxtları

İstiqamətlər	A-C	A-B	C-A	C-D	B-C	B-D	D-B	D-A	B-A
Orta ləngimə vaxtları	31.76 san	31.1 san	27.41 san	27.37 san	33 san	32.8 san	41.6 san	36.4 san	33.6 san

Nəzəri yolla alınmış ləngimə vaxtları ilə simulyasiya sınaqlarından alınan ləngimə vaxtlarının müqayisəsi. Yaradılan simulyasiya modeli vasitəsilə alınan nəticələr göstərir ki, yol ayrıcındakı orta ləngimə vaxtı $T = 33.4$ saniyə olmuşdur. Real qiymətlər əsasında düsturun köməyiylə alınmış qiymətlərə əsasən yol ayrıcında istiqamətlər üzrə orta ləngimə vaxtının minimal qiyməti 23.3saniyə, maksimal qiyməti isə 36.3 san olmuşdur. Simulyasiya sınaqlarından alınan nəticələrə əsasən ləngimə vaxtının orta qiymətinin minimal qiyməti 27.39 san, maksimal qiyməti isə 39.17 san olmuşdur.

Nəzəri yolla alınan nəticələrlə simulyasiya sınaqlarından alınan nəticələrin müqayisəsi şəkil 4-də verilmişdir.



Şəkil 4. Nəzəri analitik üsulla və simulyasiya eksperimenti nəticəsində alınan orta ləngimə vaxtlarının istiqamətlər üzrə paylanması

Şəkildən göründüyü kimi həm nəzəri hesablama düsturlarının köməyi ilə, həm də simulyasiya sınaqları nəticəsində proqramın hesabladığı qiymətlər arasında müəyyən fərqlər vardır. Lakin real şəraitdən götürülmüş ilkin göstəricilər əsasında svetoforların real iş rejimlərinə görə proqramın vasitəsilə əldə edilən nəticələr daha dürüstdür. Çünki yaradılan məntiqi modellər nəqliyyat axınlarının real hərəkət parametrlərini nəzərə almağa imkan verir. Modeldə yol ayrıcının həndəsi parametrləri, svetoforların iş rejimləri nəqliyyat axınının tərkibi nəzərə alınır.

Nəticə. Nizamlanan və nizamlanmayan yol ayrıcılarında nəqliyyat axınlarının hərəkət parametrlərinin tədqiq olunması zamanı simulyasiya metodlarından istifadə çox populyardır və get gedə daha geniş istifadə olunur. Simulyasiya proqramlarının köməyi ilə nəqliyyat axınlarının və yol kəsişmələrinin müxtəlif parametrlərini, nizamlama rejimlərini müqayisə etmək mümkündür.

Yol ayrıcılarında nəqliyyat vasitələrinin ləngimələri nəzəri yolla müəyyən edilə bilər, lakin bu yetərinə dəqiq deyil və bütün giriş parametrlərinin nəzərə alınmasına imkan vermir. Anylogic yol

ayrıcının mikromodelinin yaradılması və müxtəlif parametrlərin tədqiqi üçün effektivdir və agent əsaslı modellərin tətbiqinə imkan yaradır.

Yol ayrıcılarında nəqliyyat axınlarının ləngimə vaxtlarının qiymətləndirilməsinin nəzəri və simulyasiya eksperimenti vasitəsilə alınmış qiymətləri göstərir ki, yaradılan məntiqi sxemlər və simulyasiya modelləri çoxsaylı tədqiqatlar üçün effektiv şəkildə istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Dashdamirov F. Improving of interaction of routes at high density stops by adjusting bus arrival time // Transport and Telecommunication, 2023, 24(3), - p. 309-319.
2. Filippov R.A., Filippova L.B., Sazonova A.S., Kuzmenko A.A., Alekseeva E.V. Optimization of traffic stream using simulation tools. Advances in Economics, Business and Management Research, volume 139. International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020). P. 577-582.
3. Dashdamirov F., Aliyev A., Verdiyev T., Javadli U. (2023). Improving Intersection Traffic Management Solutions by Means of Simulation: Case Study. In: Shahbazova S.N., Abbasov A.M., Kreinovich V., Kacprzyk J., Batyrshin I.Z. (eds) Recent Developments and the New Directions of Research, Foundations, and Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 423. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23476-7>.
4. Xiaobing Li, Khattak A.J. and Kohls A.G. Signal phase timing impact on traffic delay and queue length-a intersection case study. 2016 Winter Simulation Conference (WSC), Washington, DC, USA, 2016, pp. 3722-3723, doi: 10.1109/WSC.2016.7822418.
5. Mădălin-Dorin Pop, Traffic Lights Management Using Optimization Tool. Procedia - Social and Behavioral Sciences. Volume 238, 2018, pp. 323-330, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.008>.
6. Maksimov N., Salmiyarov V. (2021). Optimization of the traffic flow simulation model at a regulated intersection. Messenger AmSU. 3-11. 10.22250/jasu.95.1.
7. Muhammad Rozi Malim, Sherey Sufreny Abd Rahman and Faridah Abdul Halim. Optimising traffic flow at a signalised intersection using simulation. Malaysian Journal of Computing, 4 (2): 261-269, 2019.
8. Fu X., Gao H., Cai H., Wang Z., & Chen W. (2021). How to Improve Urban Intelligent Traffic? A Case Study Using Traffic Signal Timing Optimization Model Based on Swarm Intelligence Algorithm. Sensors, 21(8), 2631. <https://doi.org/10.3390/s21082631>
9. AnyLogic Help, Road Traffic Library. <https://anylogic.help/tutorials/road-traffic/index.html>

YOL AYRICINDA NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN LƏNGİMƏ VAXTININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ İMİTASIYA ÜSULLARININ EFFEKTİVLİYİ

T.Ş.Verdiyev

Xülasə. Məqalədə yol hərəkətinin təşkili üzrə həllərin hazırlanmasında imitasiya modelinin əhəmiyyəti qeyd edilir, nəqliyyat məsələlərinin həllində simulyasiya proqramlarından istifadəyə həsr olunan tədqiqatlar analiz edilir. Simulyasiya metodlarının tətbiqinin geniş şəkildə aparılmasına baxmayaraq nəzəri hesablamalarla müqayisəsinin aparılmadığı vurğulanır. İşdə Bakı şəhərində 3 fazalı svetofor nizamlanması tətbiq edilmiş yol ayrıcında nəzəri yolla və simulyasiya eksperimentləri vasitəsilə nəqliyyat vasitələrinin ləngimə vaxtları qiymətləndirilir və müqayisə edilir. Simulyasiya eksperimentinin aparılması üçün Anylogic proqramı vasitəsilə yol ayrıcında nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin və svetoforların işinin qurulması metodikası izah edilir.

Açar sözlər: nəqliyyat ləngimələri, simulyasiya modelləşdirilməsi, yol ayrıcı.

Accepted: 22.05.2025