AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ŞƏHƏR AVTOBUS MARŞRUT ŞƏBƏKƏSİNİN EFFEKTİVLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ ÜSULLARININ VƏ MODELLƏRİNİN İŞLƏNİLMƏSİ

İxtisas: 3350.01- Daşınma proseslərinin idarə edilməsi

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Fuad Səmid oğlu Daşdəmirov**

Texnika elmləri doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKI – 2024

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Azərbaycan Respublikasının şəhərlərində, xüsusilə də Bakı şəhərində avtobus nəqliyyatı ümumi sərnişin axınının böyük bir hissəsini öz üzərinə götürür. Avtobus nəqliyyatı həm birbaşa çatdırma vasitəsi kimi, həm də metropoliten və şəhərətrafı dəmiryolu xətlərinə çatdıran vasitə kimi çıxış edir. Mövcud orta və iri şəhərlərin demək olar ki hamısında avtobus ictimai nəqliyyat kimi əh əmiyyətli yerə malikdir. Hal hazırda avtobus nəqliyyatı ilə xidmət göstərilən şəhər əhalisinin sayı digər nəqliyyat növləri ilə xidmət olunan əhalinin sayını xeyli qabaqlayır. Şəhər ərazisində istifadə olunan avtobus marşrutlarının çoxluğu və istifadə olunan küçələrin sayının məhdudluğu avtobus marşrutlarının və ümumilikdə nəqliyyat şəbəkəsinin işinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün yeni üsul və modellərin işlənilməsini tələb edir. Avtobus nəqliyyatının işinin yaxşılaşdırılması onun işinin müxtəlif meyarlara əsasən optimallaşdırılması və modelləşdirilməsi ilə mümkün ola bilər. Müxtəlif parametrlərin, o cümlədən avtobusların xətdə iş rejimlərinin təsiri nəzərə alınmaqla tərtib edilmiş model şəbəkənin işinin yaxşılaşdırılmasına və nəzarətin artırılmasına imkan verəcək.

Avtobuslar çox vaxt ümumi axında hərəkət edir, yollarda ümumi hərəkət intensivliyinin, nizamlama vasitələrinin və s. təsiri altında hərəkət qrafikindən meyllənmələr müşahidə olunur. Bundan əlavə digər marşrutlarla üst üstə düşən sahələrdə dayanacaq məntəqələrində əlavə vaxt itkiləri əmələ gəldiyini nəzərə alsaq avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin bu təsirlərin nəzərə alınması ilə modelləşdirilməsinin vacibliyi daha aydın ortaya çıxar.

Şəhər ictimai nəqliyyatında sərnişinlərin vaxt itkilərinin, nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin modelləşdirilməsi istiqamətində V.A. Qudkov, A.V.Velmojin, M.E.Koryagin, İ.V.Spirin, Y.S. Liqum, A.P. Lopatin, M.E.Antoşvili, V.P.Fyodorov, A.O.Arrak, A.N.Novikov, N.N.Danilov tərəfindən faydalı tədqiqat işləri aparılmışdır. Yerinə yetirilən işlərdə göstərilir ki, şəhər ictimai nəqliyyat sisteminin işinin optimallaşdırılması və marşrutların modelləşdirilməsi zamanı əsasən

sərnişinlərin və nəqliyyat vasitəsi sahiblərinin maraqları əsas götürülməlidir.

Avtobus dayanacaqlarında avtobusların işinin modelləşdirilməsinə W,Gu, C.Wang, J.Weng, B.Alonso, J.M.Bunker, S.Chien, I.Dakic, S.Mozzoni, Z.Ning, B.Bian, J.Gibson, W.Sun, J.Zhao, G.R. Bivinanın işlərində baxılmışdır. Bu işlərdə əsasən avtobus dayanacağının buraxma qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi, avtobusların dayanacaqlarda ləngiməsi, dayanacaqda konfliktlərin yaranması, dayanacaq qarşısında növbə modellərinin yaradılması məsələlərinə baxılır.

Avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin modelinin yaradılması şəhərlərdə avtobus marşrut şəbəkəsinə vahid yanaşmanın təmin edilməsinə və dəyişikliyə məruz qaldıqda operativ idarə olunmasına şərait yarada bilər.

"Azərbaycan Respublikasında yol hərəkətinin təhlükəsizliyinə dair 2019-2023-cü illər üçün Dövlət Proqramı"nda mövcud ictimai nəqliyyat infrastrukturunun inkişaf etdirilməsi, ictimai nəqliyyatın işinin təkmilləşdirilməsi, ictimai nəqliyyatda xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi və ictimai nəqliyyata etimadın artırılması istiqamətində tədbirlərin həyata keçirilməsi nəzərdə tutulur.

Beləliklə avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin mövcud məhdudiyyətlərə uyğun olan işlək üsul və modellərinin işlənilməsi aktual elmi-praktiki məsələdir və xalq təsərrüfatı əhəmiyyətinə malikdir. Bu məsələlərin həlli elmi tədqiqatlara və yeniliklərə əsaslanan vacib şərtlər tələb edir.

Tədqiqat obyekti və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyekti şəhər avtobus marşrut şəbəkəsi, çoxlu sayda avtobus marşrutunun keçdiyi dayanacaqlar, avtobus marşrutlarıdır.

Dissertasiya işinin predmeti avtobus marşrut şəbəkəsində xidmət keyfiyyəti, avtobus marşrutlarında vaxt itkiləri, dayanacaq məntəqələrində yaranan növbələrdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin effektivliyinin artırılması üçün sərnişinlərə xidmət keyfiyyətinə və marşrutlarda işləyən avtobusların işinə təsir edən parametrlərin öyrənilməsi və qiymətləndirilməsi, marşrut şəbəkəsinin sahələrində və dayanacaq məntəqələrində

avtobusların və sərnişinlərin vaxt itkilərinin qiymətləndirilməsi və azaldılması üsullarının, marşrut şəbəkəsinin işinin səmərəliliyinin qiymətləndirmə metodologiyasının işlənib hazırlanmasıdır.

Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulur:

1.Sərnişinlərin vaxt itkilərinin qiymətləndirilməsi modelinin hazırlanması.

2.Avtobus marşrutlarında vaxt itkilərinə təsir edən əsas göstəricilərin müəyyən edilməsi.

3.Müxtəlif şəkildə təşkil edilmiş avtobus dayanacaqlarında avtobusların iş rejiminin ümumi nəqliyyat axınına təsirinin qiymətləndirilməsi.

4.Marşrut sahələrində avtobusların vaxt itkilərinin qiymətləndirilməsi.

5.Avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin imitasiya modelləşdirilməsi.

6.Sahələri və dayanacaqları üst-üstə düşən avtobus marşrutlarının işinin əlaqələndirilməsi üzrə modelin hazırlanması və sınağı.

7.Marşrut şəbəkəsinin işinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi metodikasının işlənib hazırlanması.

Tədqiqat metodları. İşdə qarşıya qoyulan problemlərin həlli üçün nəzəri tədqiqatlar və simulyasiya eksperimentlərindən istifadə edilmişdir. Tədqiqatların aparılması üçün ehtimallar nəzəriyyəsi və riyazi statistikanın metodlarından, Markov modeli və Kolmoqorov tənliklərindən istifadə olunmuşdur. Simulyasiya eksperimentləri üçün Anylogic və PTV VİSSİM simulyasiya proqramları istifadə edilmişdir. Tədqiqatlar kompleks şəkildə aparılmış, canlı eksperiment, imitasiya eksperimenti və texniki analizlərdən istifadə olunmuşdur.

Müdafiəyə təqdim olunan elmi müddəalar:

1.Hərəkət intervalı çərçivəsində sərnişinlərin, o cümlədən dayanacağa gələn birinci avtobusa minə bilməyən sərnişinlərin vaxt itkilərinin qiymətləndirilməsi prinsipi.

2.Şəhər avtobus marşrut şəbəkəsi üçün sahələr üzrə svetoforlar qarşısında vaxt itkilərinə səbəb olan təsadüfi dayanmaların qiymətləndirilməsi üçün riyazi modelin işlənməsi.

3.Avtobus dayanacaq məntəqələrində avtobusların itirdiyi vaxtın azaldılması üçün hərəkət intervallarının qruplaşdırılması ilə marşrutların işinin əlaqələndilirlməsi modelinin işlənməsi.

4.Marşrutlar üçün avtobusların seçilməsində çoxkriteriyalı qərarvermə metodlarından istifadə olunması metodikasının işlənib hazırlanması.

5.Çoxlu sayda avtobus marşrutunun keçdiyi dayanacaqlarda dayanacaq qarşısında avtobusların növbələrinin və ləngimələrinin azaldılması üçün marşrutların hərəkət qrafiklərinin həmin dayanacağa gəlmə vaxtına görə nizamlanmasının riyazi iterasiya modelinin işlənməsi.

6.Marşrutlarda avtobusların işinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün marşrut sahələri üzrə daşınan sərnişinlərin sayı nəzərə alınmaqla yerli şəraitə uyğun riyazi hesablanma üsulunun işlənməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

- Marşrut boyunca sərnişinlərin vaxt itkilərinin avtobusların iş rejiminə və sərnişinlərin avtobusa minmə seçiminə əsaslanan qiymətləndirilmə metodikası işlənib hazırlanmışdır.
- Avtobus dayanacağında avtobusların hərəkət rejiminin nəqliyyat axınının hərəkətinə təsir və əks təsirləri öyrənilmişdir.
- Marşrut sahəsində təsadüfi ləngimələr nəzərə alınmaqla itirilən vaxtın proqnozlaşdırılması metodikası işlənib hazırlanmışdır.
- Ortaq sahələrə və dayanacaqlara malik avtobus marşrutlarının işinin əlaqələndirilməsi metodikası işlənib hazırlanmışdır.
- Avtobus marşrutlarının dayanacaq zonasında avtobusların gəlmə ardıcıllığının simulyasiya edilməsi üçün Anylogic proqramında simulyasiya modelinin yaradılması metodikası işlənib hazırlanmışdır.
- Çox intensiv istifadə olunan və çoxlu sayda avtobusa xidmət edən avtobus dayanacaqlarında müxtəlif marşrutların avtobuslarının dayanacağa gəlmə ardıcıllığının təşkili üçün iterasiya metodu təklif olunmuş və imitasiya modeli vasitəsilə əsaslandırılmışdır.
- Avtobus marşrutlarında avtobusların iş effektivliyinin qiymətləndirilmsi üçün avtobusların daşıma həcminə və küçə şəbəkəsin-

də real vaxt itkilərinin nəzərə alınmasına əsaslanan qiymətləndirmə metodikası təklif olunmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

- Avtobus marşrutlarında avtobusların vaxt itkilərinə təsir edən parametrlərin və onların ləngiməyə təsir səviyyəsinin müəyyən edilməsi marşrutda işin planlaşdırılması zamanı hərəkət cədvəllərinin dəqiqliyini artırmağa imkan verir.
- Çoxlu sayda avtobus marşrutunun keçdiyi intensiv istifadəli dayanacaqlarda avtobusların gəlmə ardıcıllığının planlaşdırılması dayanacaqlar üzrə avtobusların gözləmə vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salır.
- Şəhər avtobus marşrutunun işinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan metodika müxtəlif periodlar üçün şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin fəaliyyətinin inkişaf tendensiyasını müəyyən etməyə imkan verir.
- Tədqiqatın avtobus marşrutlarında alınan nəticələri avtobus daşımaları ilə məşğul olan şirkətlərə, Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyinə təqdim olunmşdur.

Tədqiqatın nəticələrinin tətbiqindən seçilmiş avtobus dayanacağı üçün vaxt itkilərinin azaldılması nəticəsində avtobusların işinin yaxşılaşdırılmasından gözlənilən illik iqtisadi səmərə 446285 manat, sərnişinlərin vaxt itkilərinin azaldılmasından əldə edilməsi gözlənilən illik iqtisadi səmərə isə 2735286 manat olmuşdur.

İşdə şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin fəaliyyət modelinin yaradılması üzrə nəzəri əsaslar hazırlanmasıdır. Eyni zamanda müəllif tərəfindən işin ideyası, məqsədi, əsas elmi müddəalar, elmi yeniliklər, işin nəticələrinin tətbiqi üzrə təkliflər formalaşdırılmışdır. Müəllif tərəfindən avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin qiymətləndirilməsi, dayanacaqlarda avtobusların işinin əlaqələndirilməsi və intensiv istifadə olunan dayanacaqlarda avtobusların dayanacağa gəlmə ardıcıllığının yaradılması metodikası işlənib hazırlanmışdır. Təklif edilən riyazi və imitasiya modelləri Logistika və Nəqliyyat İnstitutunun virtual laboratoriyasında, Bakı şəhərinin avtobus marşrutlarında yoxlanılmışdır. Dissertasiya işinin mətni iddiaçı tərəfindən şəxsən təqdim edilmişdir.

Tədqiqatın aprobasiysı və tətbiqi. Dissertasiya işində əldə edilmiş əsas elmi-nəzəri və praktiki nəticələr beynəlxalq və respublika səviyyəli konfranslarda, simpoziumlarda və seminarlarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

Azərbaycan Texniki Universitetində keçirilən konfransda (Bakı, 2013), Azərbaycan Texniki Universitetində keçirilən "Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar"mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfransda (Bakı 28-30 sentyabr, 2016), Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində keçirilən "Azərbaycan Respublikasının nəqliyyat-yol kompleksinin inkişaf perspektivləri" mövzusunda Respublika Elmi-praktik Konfransında (Bakı, 14-15-dekabr, 2017-ci il), Bakı Mühəndislik Universitetində keçirilən "Azərbaycan beynəlxalq nəqliyyat sistemində: hədəflər və perspektivlər" Elmi-praktik konfransında (Bakı, 2-5 oktyabr, 2018), "Azərbaycan nəqliyyatı: nəaliyyətlər, problemlər və perspektivlər" mövzusunda Respublika konfransında (Bakı, 16-17 aprel, 2019), Azərbaycan Texniki Universitetinin (AzTU) 70 illik yubileyinə həsr olunmuş "Dördüncü sənaye inqilabının texnoloji perspektivləri: sənaye interneti, kiberfiziki sistemləri və intellektual texnologiyalar" mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransında (Bakı, 26-27 noyabr, 2020), Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetində keçirilən "Azərbaycan Respublikasında nəqliyyat, yol və logistika kompleksinin inkişaf perspektivləri" mövzusunda Respublika Elmi-praktik Konfransında (Bakı, 02 dekabr, 2022-ci il), «Cəmiyyətin Elmi Potensialının İnkişafı Konsepsiyası» 3-cü beynəlxalq elmi-praktiki konfransda (Praqa, 19-20 noyabr 2022), "Tikinti Mexanikası, Hidravlika və Su Təsərrüfatı Mühəndisliyi" V Beynəlxalq Elmi Konfransında (CONMECHYDRO) (Daşkənd, aprel, 2023), "Elmi trendlər və qloballaşma kontekstində trendlər" 6-cı beynəlxalq elmi-praktiki konfransında (Ümea, İsveç 19-20 sentyabr 2023) məruzə edilmişdir.

Dissertasiyanın nəticələri tədris prosesində, elmi-tədqiqat işlərində və praktikada tətbiq oluna bilər. Dissertasiya işinin praktiki nəticələri Bakı şəhərində avtobus sərnişin daşımaları ilə məşğul olan Bakubus MMC və MENLOQQ MMC şirkətlərində tətbiq olunmuş və müvafiq aktlarla təsdiq edilmiş, avtobus sərnişin daşımalarını həyata keçirən digər şirkətlər üçün tövsiyələr hazırlanmışdır.

Dərc olunmuş əsərlər. Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 24 elmi əsər, o cümlədən Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında AAK-ın siyahısına daxil olan 13 məqalə (onlardan 7-si xarici ölkələrdə dərc olunan jurnallarda, o cümlədən 4-ü Web of science indeksinə malik jurnallarda olmaqla) çap olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, 7 bölmə, nəticələrdən ibarət 282 səhifə kompüter yazısından, o cümlədən 33 səhifə istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından, 26 səhifəlik əlavələrdən və 1 səhifə ixtisarlardan ibarətdir. Dissertasiyanın giriş hissəsinin həcmi 22132, I fəslin həcmi 51389, II fəslin həcmi 63501, III fəslin həcmi 53411, IV fəslin həcmi 70477, V fəslin həcmi 57184, VI fəslin həcmi 29411, VII fəslin həcmi 29238 işarədən, ümumi həcmi isə 376743 işarədən ibarətdir. Dissertasiya özündə 58 şəkil, 38 cədvəl, 293 adda ədəbiyyat siyahısı və 21 əlavəni birləşdirir.

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi, tədqiqatın məqsədi, məsələlərin həlli üçün yeni üsul və metodlar, müdafiəyə təqdim olunan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti, elmi nəticələri, həmçinin işin strukturu, aprobasiyası və tədqiqatların nəticələrinin tətbiqi haqqında məlumatlar verilmişdir.

Dissertasiya işinin birinci fəslində şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin modelləşdirilməsi və optimallaşdırlması, avtobusların xətdə işi, şəhər avtobus marşrutlarının işinin imitasiya modelləşdirilməsi, dayanacaq şəbəkəsinin işinin modelləşdirilməsi, şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin sərnişinlərə xidmət səviyyəsinin araşdırılması və yaxşılaşdırılması ilə əlaqədar mövcud olan tədqiqatların və istifadə olunan müasir metodların icmalı verilmişdir.

Şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin modelləşdirilməsi ilə əlaqədar aparılan ədəbiyyat analizi belə nəticəyə gəlməyə əsas verir ki, bu sahədə kifayət qədər çox tədqiqat aparılsa da hərəkət tərkiblərinin seçilməsi zamanı konkret marşrutun sərnişinlərinin tələbinin nəzərə alınması, dayanacaq məntəqələri qarşısında avtobusların növ-

bələrinin yaranmasının qarşısının alınması üçün avtobusların işinin əlaqələndirilməsi, marşrut sahəsinin keçilməsi zamanı svetofor obyektlərində ləngimələrin nəzərə alınması istiqamətində tədqiqatlar yetərli deyil. Avtobusların hərəkət qrafiklərinin nəzərə alınması ilə dayanacaqlarda sıxlığın azaldılmasına həsr edilmiş az sayda tədqiqat kifayət qədər əsaslandırılmamış və tətbiq olunmamışdır. Bundan əlavə marşrut sahələrinin keçilməsi zamanı avtobusların itirdiyi vaxtın hesablanması yalnız empirik düsturlara əsaslanır və hər zaman effektiv olmaya bilər.

Araşdırmalar göstərir ki, hər bir şəhərin nəqliyyat şəbəkəsinin sıxlığından, göstərilən xidmətlərin xüsiyyətlərindən, əhalinin mental xüsusiyyətlərindən və s. asılı olaraq ictimai nəqliyyatın fəaliyyətindən məmnunluq səviyyəsi spesifik xarakter daşıyır, regiondan, əhalinin sayı və yaşından asılı olaraq fərqli ola bilər, ona görə də hər bir şəhər üçün ictimai nəqliyyat istifadəçilərinin onun fəaliyyətinə münasibəti öyrənilməli, marşrut şəbəkəsinin işinin modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması bu istiqamətdə həyata keçirilməlidir.

Beləliklə avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin sərnişinlərin vaxt itkilərinin azaldılması, dayanacaqlarda avtobusların ləngimələrinin azaldılması, avtobusların marşrut sahələrində hərəkət vaxtının proqnozlaşdırılması nöqteyi nəzərindən modelləşdrilməsi zəruridir.

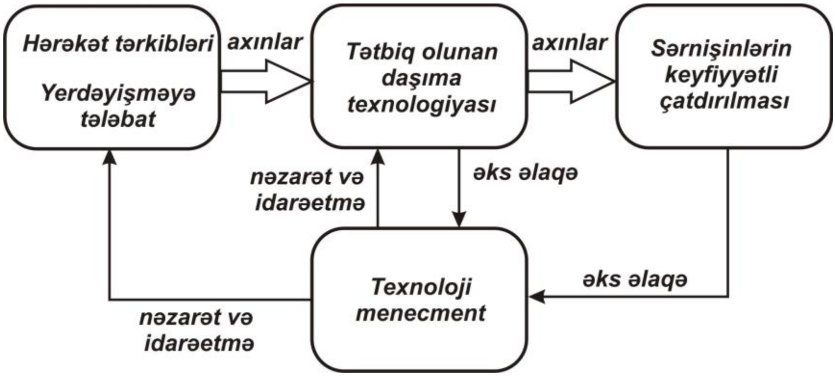
İkinci fəsil iri şəhərlərin ictimai nəqliyyat problemlərinin logistik yanaşma vasitəsilə həlli istiqamətlərinin müəyyən edilməsinə, şəhər ictimai sərnişin daşımalarının logistik idarə edilməsinin və şəhər ictimai nəqliyyatının işində ortaya çıxan əsas problemlərin analizinə, marşrutlarda xidmət keyfiyyətinin əsas göstəricilərinin və onların qiymətləndirilməsi yollarının müəyyən edilməsinə həsr olunmuşdur.

Şəhərlərdə ictimai nəqliyyatın xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi şəhərin nəqliyyat şəbəkəsinin logistik baxımdan normal fəaliyyətinin təmin olunmasında başlıca həllərdən biridir. Bu sahədə görülməli olan tədbirlərə ictimai nəqliyyatda mövcud standartlara və sərnişinlərin tələblərinə cavab verən hərəkət tərkiblərinin seçilməsi və istifadəsini, ictimai nəqliyyat növlərinin şəbəkəsinin iş rejiminin əlaqələndirilməsini, avtobus marşrutlarının işinin nəqliyyat axınından asılılğının azaldımasını aid etmək olar.

Şəhər əhalisinə marşrut nəqliyyatı ilə nəqliyyat xidmətinin göstərilməsinə logistik yanaşma "nəqliyyat müəssisəsi (park) - sərnişin (istehlakçı)" zəncirinin qurulmasını tələb edir. Bu prosesdə istehlakçı qismində əsasən sərnişinlər və müəyyən mənada iş yeri sahibləri çıxış edirlər. Şəhər sərnişin daşımalarına logistik yanaşma sərnişinlərin (istehlakçıların) tələblərinin tam şəkildə ödənilməsini nəzərdə tutur.

Sərnişin daşımalarında logistikanın tətbiqinin mahiyyəti nəqliyyat operatorlarının və nəqliyyat infrastrukturunun fəaliyyətinin optimallaşdırılmasıdır. Dayanacağa vaxtında gələn nəqliyyat vasitələri, yüksək səviyyəli məlumatlandırma sistemi, bir marşrutdan digərinə keçmənin asanlığı marşrut nəqliyyatının sərnişin daşımalarının logistik sisteminin iş keyfiyyətlərinin göstəriciləridir.

Şəhərlərdə sərnişin daşıma bazarında logistikanın başlıca vəzifəsi bazarın potensial imkanlarının sərnişinlərin tələbatına maksimum uyğunlaşdırılmasıdır. Şəhər sərnişin nəqliyyatının logistik sisteminin qarşısında dayanan məsələləri əsas dörd yerə bölmək olar: idarəetmə, nəqliyyat, informasiya, təşkilati. Şəkil 1-də şəhər sərnişin daşımaları prosesinin texnoloji sxemi verilmişdir[1].



Şəkil 1. Şəhər sərnişin daşımalarının texnoloji sxemi

Avtobus marşrutunda hərəkətin əsas xüsusiyyətlərindən biri onun hərəkət vaxtının və marşrut böyunca ləngimə vaxtlarının əvvəlcədən

---

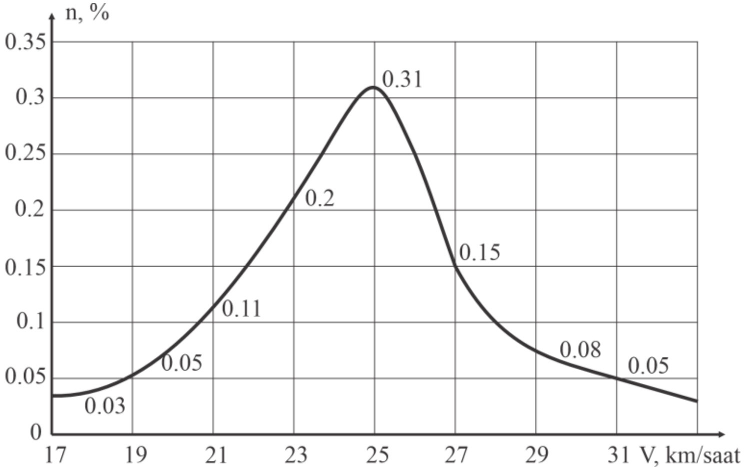
[1] Пассажирские автомобильные перевозки: Учеб ник для вузов / Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В. [и др.] - М.: Горячая линия-Телеком, - 2006. - 448 с.

hərəkət qrafiki ilə planlaşdırılmasına baxmayaraq nominal qiymətlərdən demək olar ki, həmişə meyllənməsidir. Bu üzdən bu parametrlər müəyyən paylanma qanununa tabedir. Eksperimental araşdırmalar göstərir ki, avtobusun dayanacaq məntəqələri arasındakı sahədə hərəkət sürəti normal qanuna tabedir:

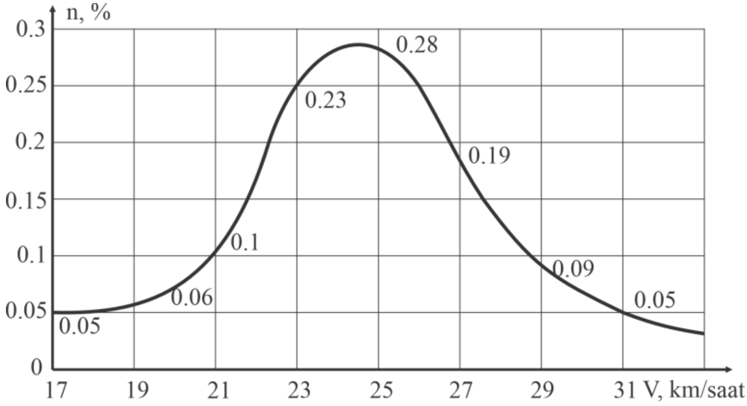
$$f(v) = \frac{1}{\sigma(v) \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-M(v))^2}{2\sigma^2}} \qquad (1)$$

Burada $M(v)$ - riyazi gözləmə; $\sigma(v)$ - orta kvadratik meyllənmədir.

Marşrutun sahəsinin uzunluğu nə qədər çox olarsa avtobusun həmin sahəni keçmə sürəti bir o qədər çox olur. Müxtəlif parametrlərin təsiri nəticəsində eyni avtobus marşrutunun eyni sahəsində düz və əks istiqamətdə texniki sürətin qiyməti bir-birindən nəzərəçarpacaq dərəcədə fərqlənə bilər. Bu da marşrut sahəsinin keçilmə vaxtının dəyişməsi deməkdir. Bakı şəhərində 62 saylı avtobus marşrutunda metronun X.Dostluğu və Əhmədli stansiyaları arasındakı sahədə Qara Qarayev prospekti və Məhəmməd Hadi küçələri istiqamətində avtobusların texniki sürətinin qiymətlərinin paylanması şəkil 2-də (a,b) göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 2. 62 saylı marşrutun baxılan sahəsində avtobusların texniki sürətinin paylanması (düz və əks istiqamət üzrə)

Şəkil 2-dən göründüyü kimi marşrutun baxılan sahəsində avtobusların düz və əks istiqamət üzrə texniki sürətləri müxtəlif cür paylanır.

Nəqliyyat xidmətlərinin keyfiyyətinin kompleks qiymətləndirilməsi iki üsulla yerinə yetirilə bilər: additiv və multiplikativ[2]. Additiv qiymətləndirmə aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$K_{um} = \sum_{i=1}^{n} K_i \alpha_i = K_1\alpha_1 + K_2\alpha_2 + ... + K_n\alpha_n \qquad (2)$$

Burada α_i - Ayrı ayrı göstəriciləri ümumi sistemdə xüsusi çəkisidir, $\sum \alpha_i = 1$.

Multiplikativ qiymətləndirmə aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$K_{um} = \prod_{i=1}^{n} K_i^{\alpha_i} = K_1^{\alpha_1} K_2^{\alpha_2} ....K_n^{\alpha_n} \qquad (3)$$

Multiplikativ qiymətləndirməyə görə bir göstəricinin çəkisi sıfır olarsa bütün xidmətin keyfiyyəti sıfır olacaqdır, yəni xidmət göstərilməmişdir.

---

[2] Галабурда, В.Г., Управление транспортной системой: учебник / В.Г.Галабурда, Соколов Ю.И., Королькова Н.В. - Москва, ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», - 2016. - 343 с.

Avtobus marşrutlarında ənənəvi yanaşmaya görə xidmət keyfiyyəti səviyyəsinin əsas göstəriciləri avtobusların marşrut üzrə hərəkət müntəzəmliyi və qrafikə uyğun olaraq hərəkət dəqiqliyi hesab olunur. Bu göstəriciləri kəmiyyətcə qiymətləndirmək daha asandır. Lakin bir çox hallarda avtobus marşrutlarının sərnişinləri vaxt itkilərindən əlavə rahatlıq və təhlükəsizlik parametrlərinə də üstünlük verirlər.

Sərnişinlərə göstərilən xidmət keyfiyyətinin dəqiq qiymətləndirilməsi məqsədi ilə avtobusun dolma dərəcəsi, gedişə sərf edilən vaxt, xətdə hərəkət müntəzəmliyi, gediş ərzində sərnişinləri hərəkət təhlükəsizliyi biri-biri ilə qarşılıqlı əlaqəli şəkildə öyrənilməlidir.

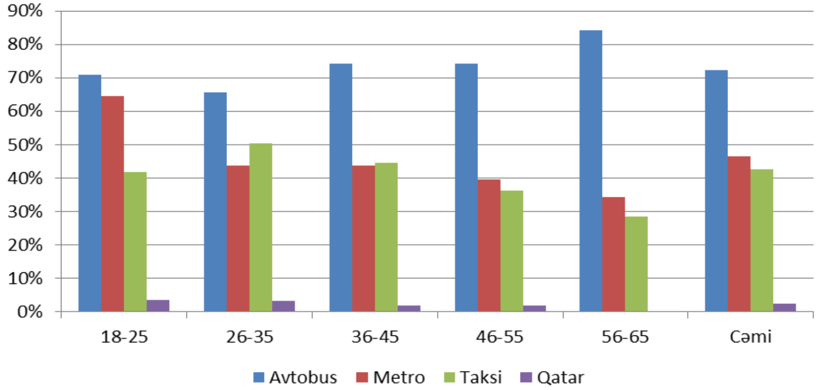
Qeyd olunmalıdır ki, sərnişinlərə xidmətlərin keyfiyyəti ilə əlaqədar tələbatın ödənilmə səviyyəsini müəyyən etmək üçün istehlakçının özünün, yəni sərnişinlərin xidmətin keyfiyyətinə münasibətinin öyrənilməsi daha effektiv ola bilər. Müasir dövrdə sərnişinlərin iradlarının müəyyənləşdirilməsi üçün elektron vasitələrdən istifadə edilməsi geniş yayılmışdır və az resurs tələb edir.

Dissertasiya işinin ***üçüncü fəsli*** sərnişinlərin Bakı şəhərində avtobus marşrutlarından istifadəsi səviyyəsinin müəyyən edilməsinə, avtobus marşrutlarının xidmətlərindən istifadə edənlərin həmin xidmətlərə münasibətinin öyrənilməsinə, şəhərdə sürətli marşrut şəbəkəsinin yaradılması imkanlarının analizinə, şəhər marşrutlarında sərnişinlərin tələbatına uyğun hərəkət tərkibinin seçilməsi metodikasının işlənib hazırlanmasına həsr olunmuşdur.

Bakı şəhərində əhalinin avtobus marşrutlarının xidmətlərinə münasibətini digər ictimai nəqliyyat növləri ilə müqayisəli şəkildə qiymətləndirmək üçün 2022-ci ilin sentyabr-oktyabr aylarında şəhərin bütün rayonlarını (13 rayon) əhatə edən sorğular keçirilib. 506 respondent arasında keçirilən sorğuda anketlərə 40 sual daxil edilib. Avtobus marşrut şəbəkəsinin əhatəliliyi, alternativ sürətli ictimai nəqliyyat şəbəkəsinin yaradılması ilə əlaqədar respondentlərin fikirləri öyrənilmişdir.

Respondentlər 5 yaş qrupuna (18-25, 26-35, 36-45, 46-55, 56-65 yaş) bölünüb. Respondentlərin 67,8%-i kişilər (343 anket), 32,2%-i qadınlar (163 anket) olub.

Bakı şəhərinin əhalisi əsasən dörd nəqliyyat növündən istifadə edir. Bunlar avtobus, metro, taksi və şəhərətrafı qatarlardır. İctimai nəqliyyat növlərindən istifadə edən əhalinin nisbəti Şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. İctimai nəqliyyatdan istifadə edən əhalinin nisbəti

Şəkil 3-dən göründüyü kimi, sərnişinlərin 72%-i müntəzəm avtobus marşrutlarından, 46%-i metrodan, 42%-i taksidən və cəmi 2%-i qatarlardan istifadə edir.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, sərnişinlər müxtəlif səbəblərdən konkret nəqliyyat növünə üstünlük verirlər (cədvəl 1).

Cədvəl 1.

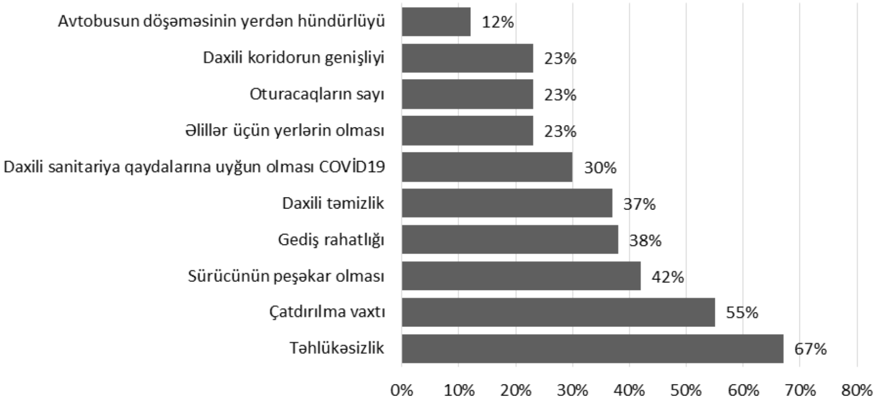
Sərnişinlərin konkret nəqliyyat növünə üstünlük vermə səbəbləri

Üstünlük vermə səbəbi	Avtobus	Metro	Taksi
Sərfəli olması	18%	13%	10%
Yüksək çatdırma sürəti	6%	36%	17%
Qiyməti	10%	5%	4%
Rahatlığı	15%	21%	37%
İş yerinə yaxınlığı	17%	6%	4%
Təhlükəsizliyi	1%	0%	1%
COVID 19 pandemiyası	1%	0%	10%
Yaşayış yerinə yaxınlığı	31%	14%	2%
Vaxta qənaət	1%	5%	6%
Digər nəqliyyat növlərində sıxlıq	0%	0%	9%

Bakı şəhərində gediş üçün müntəzəm avtobus marşrutlarını seçməsinin əsas səbəbi avtobus dayanacaqlarının onların yaşayış yerinə (31%) və iş yerinə (17%) yaxın olmasıdır.

Respondentlərin 37%-i avtobus nəqliyyatını təhlükəli nəqliyyat növü adlandırıb. Sərnişinlərin 47%-i ümumilikdə avtobus nəqliyyatından narazıdır. Sərnişinlər avtobus nəqliyyatının işindən narazılıqlarının ən mühüm səbəbləri kimi sıxlığı (37%), avtobusların dayanacağa gecikməsini və intervalın çox olmasını (21%), marşrutlarda köhnə və yararsız avtobuslardan istifadə edilməsini (16%), sürücülərin qeyri-peşəkar davarışlarını (12%) göstəriblər.

Respondentlər mövcud avtobus marşrutlarında hərəkətin təhlükəli olduğunu hesab etməsələr də onların böyük əksəriyyəti (67%) təhlükəsizliyi daşıma keyfiyyətinin əsas göstəricisi hesab edir (şəkil 4). Rəyi soruşulanların 55%-i çatdırma vaxtını, 42%-i sürücülərin peşəkarlıq səviyyəsini, 38%-i gedişin rahatlığını, 37 %-i nəqliyyat vasitəsinin daxili təmizliyini xidmət keyfiyyətinin göstəricisi hesab edir.

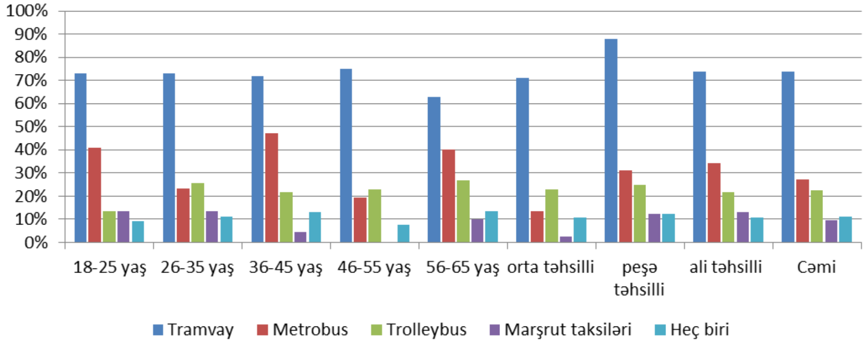


Şəkil 4. Avtobus daşımalarının keyfiyyətinin üstünlük verilən göstəriciləri

Sorğuda iştirak edən sərnişinlərin 76%-nin fikrincə Bakı şəhərinin avtobus sərnişin daşımalarında ən nəzərə çarpan çatışmazlıq köhnə avtobuslardan istifadə edilməsidir. Respondentlərin 37%-i Bakıda xüsusi zolaqlardan istifadə etdikdən sonra təyinat yerinə daha tez

çatdıqlarını, 33%-i isə ixtisaslaşdırılmış avtobus zolaqlarının yaradılmasının marşrutların fəaliyyətinə təsir göstərmədiyini düşünür.

Sorğuların nəticələrinə görə, əhalinin 62%-i üçün yaşayış yerindən avtobus dayanacağına qədər olan məsafə 50-200 m, 24%-i üçün 200–400 m, 8% üçün isə 400–500 m-dir.



Şəkil 5. Bakıda alternativ ictimai nəqliyyat növündən istifadənin məqsədəuyğunluğu ilə əlaqədar fikirlərin paylanması

Şəkil 5-dən göründüyü kimi, respondentlərin böyük əksəriyyəti Bakıda alternativ ictimai nəqliyyatdan istifadəni məqsədəuyğun hesab edir. Sorğunun nəticələrinə görə, şəhər əhalisinin 27 faizi metrobusdan (sürətli avtobus nəqliyyatı) istifadəni məqsədəuyğun hesab edir.

İstənilən ictimai nəqliyyat növünün marşrut xətlərinin yaradılması əsaslandırılarkən tələbat qiymətləndirilməlidir. Sürətli avtobus sərnişin daşıma sistemi xüsusiləşdirilmiş zolaqda infrastrukturun yaradılması, sərnişinlərə yüksək standartlara uyğun xidmətin təşkili və müntəzəm reyslərin təmin edilməsi nəticəsində formalaşdırılan müasir və yüksək keyfiyyətli şəhər ictimai nəqliyyat sistemidir. Sürətli avtobus daşımalarına əsaslı vəsait qoyuluşu relsli nəqliyyatla müqayisədə xeyli azdır. Hesablamalara əsasən müəyyən edilmişdir ki, sürətli avtobus daşımalarının infrastrukturunun yaradılması şəhərlərdə tramvay və yungül relsli nəqliyyatla müqayisədə 4-20, metro ilə müqayisədə 10-100 dəfə az vasait tələb edir[3].

[3] Скоростные автобусные перевозки. Руководство по планированию / Институт политики транспорта и развития. Нью Йорк. - 2007. - 279 с.

Bakı şəhərində əsas magistral küçələrdən keçməklə sürətli avtobus daşıma sisteminin şəbəkəsini formalaşdırmaq mümkündür. Bakı şəhərində əsas sərnişin və nəqliyyat axınlarının müşahisə edildiyi yollar Nobel prospekti, Heydər Əliyev prospekti, Babək prospekti, Dərnəgül yoludur. Bakı şəhəri üçün sürətli avtobus daşıma marşrutları hərəkət zolaqlarının sayı 3-dən çox olan aşağıdakı marşrutlar üzrə yaratmaq mümkündür:

-I variant: Nobel prospektindən keçməklə Zığ qəsəbəsi - 20-ci sahə marşrutu, Dərnəgül yolu üzrə Suraxanı qəsəbəsi - Xırdalan marşrutu;

-II variant:Babək prospekti üzrə Yeni Günəşli - 20-ci sahə marşrutu, Dərnəgül yolu üzrə Suraxanı qəsəbəsi - Xırdalan marşrutu.

Marşrut nəqliyyatı üçün hərəkət tərkibinin seçilməsi əsasən onun tutumunun düzgün müəyyən edilməsi ilə əlaqədardır. Hərəkət tərkibinin seçilməsi zamanı tərəflərin maraqlarını əks etdirən variantın müəyyən edilməsi çox əhəmiyyətlidir və bu baxımdan daşıyıcıların bazarda rəqabətədavamlılığını təm edən və istehlakçıların tələblərini nəzərə alan seçim metodologiyasının işlənib hazırlanması vacibdir. Çoxkriteriyalı qərarvermə metodlarından AHP (Analitik İerarxiya Prosesi) və TOPSİS (İdeal həllə öxşarlığa görə üstünlüyün müəyyən edilməsi) metodlarının kombinasiyasından istifadə olunması isə avtobus marşrutları üçün daha əlverişli hərəkət tərkibinin seçilməsində əlverişli ola bilər.

AHP metodu ardıcıllıq indeksinin yoxlanmasına əsaslanır. Müqayisə edilən n element varsa əvvəlcə $n \times n$ ölçülü A matrisi yaradılır.

Ardıcıllıq nisbəti aşağıdakı kimi hesablanır[4]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{3}$$

Burada CI A matrisinin ardıcıllıq (n) indeksidir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \tag{4}$$

[4] Teknomo K. Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial / K.Teknomo. - Revoledu, - 2006. - 20 p.

(3) düsturunda RI A matrisinin təsadüfi ardıcıllıq indexsidir və cədvəl 2-dən götürülür.

Cədvəl 2. A matrisinin təsadüfi ardıcıllıq indeksinin qiymətləri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Əgər $CI \leq 0.1$ olarsa ardıcıllıq indeksi qəbul ediləndir. Əks halda ardıcıllıq indeksi çox yüksəkdir və qərar verən daha yaxşı ardıcıllıq tapmaq üçün A matrisinin a_{ij} elementlərini yenidən qiymətləndirmə-lidir. $\lambda_{\max}$ -ın qiyməti $A\overline{w} = \lambda_{\max}\overline{w}$ -dan tapılır.

TOPSİS metodu ən yaxşı həllin ideal müsbətə ən yaxın, ideal mənfiyə ən uzaqda yerləşməsi məntiqinə əsaslanır. Seçimlər ideal həldən məsafəyə görə hesablanmış indekslər əsasında ranqlaşdırılır.

Bakı şəhərində 140,156,551,567 saylı marşrut xəttlərində avtobus seçilməsi üçün AHP VƏ TOPSİS çox kriteriyalı metodlarından istifadə edilmişdir. Nəzərdən keçirilən marşrutlarda avtobusların müəyyən olunmuş tutum (45-60) tələbinə cavab verən 4 avtobus (İSUZU HC-40 (tutumu 45 nəfər) DAEWOO 090 NEW (tutumu 60 nəfər) Karsan Atak (tutumu 59 nəfər) Otokar Doruk LE (tutumu 49 nəfər)) arasından ən uyğun olanı seçilmişdir.

Təklif edilən kriteriyalar və onların bir-birinə nəzərən üstünlük dərəcəsi göstərilən qarşılaşdırma matrisi cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3.Müqayisə kriteriyaları əsasında qarşılaşdırma matrisi

	Avtobu-sun qiyməti	Yanacaq sərfi	Modelin yeniliyi	Döşəmənin yerdən hündürlüyü
Avtobusun qiyməti	1	1	3	5
Yanacaq sərfi	1	1	3	3
Modelin yeniliyi	0.33	0.33	1	1
Döşəmənin hündürlüyü	0.2	0.33	1	1
Cəm:	2.53	2.66	8	10

Hesablamalar nəticəsində tutarlılıq indeksinin (consistency index) alınmış qiyməti Cİ=0.009<10 tələbini ödədiyi üçün meyarların ağırlıq dərəcələrinin qiymətlətini TOPSİS metodunda istifadə edə bilər. Əvvəlcə normallaşdırılmış ranqlar matrisi qurulur, sonra çəkilər ranqlarla inteqrasiya edilir, çəki və normalaşdırma matrisi qurulur, müsbət və mənfi ideal həll tapılır. Hesabat nəticəsində yaxşıya ən yaxın, pisə ən uzaq olan seçimlər cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4.

Yaxşıya ən yaxın, pisə ən uzaq olan seçimlərin müəyyən edilməsi

	SI+	**SI-**
Karsan Atak	0.03763586	0.343710068
Otokar Doruk LE	0.342786747	0.04541839
Daewoo	0.070689516	0.308156588
İsuzu HC-40	0.056973833	0.296523527

Son olaraq göstərici dəyərləri əsasında ranqlar müəyyən edilir və səmərəli avtobus seçilir (Cədvəl 5).

Cədvəl 5.

Göstərici dəyərlərinə görə ən uyğun avtobusun seçilməsi

Göstərici dəyəri	Ranq
0.901307823	1
0.116995851	5
0.813408359	3
0.854460975	2

Hesabat nəticəsində sərnişin daşıma xidmətləri göstərən 140, 156, 551, 567 nömrəli marşrut xəttlərində nəzərdən keçirilənlər arasından istifadə olunması ən məqsədəuyğun hərəkət tərkibinin Karsan Atak avtobusu olduğu müəyyən olunmuşdur.

Dissertasiya işinin ***dördüncü fəsli*** avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin sərnişinlərin, nəqliyyat axınlarının vaxt itkilərinə təsirinə, marşrutlarda avtobusların vaxt itkilərinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Bu fəsildə marşrut sahələri üzrə avtobusların ləngimələrinə səbəb olan amillər və marşrut sahələrində svetoforların iş rejimlərinin təsiri ilə yaranan ləngimələrin proqnozlaşdırma modeli verilmişdir.

Sərnişinlərin ləngimələri şəbəkənin elementlərindən və hərəkət intervallarından asılı olaraq kəskin fərqlənə bilər. k saylı avtobus marşrutunun sərnşinlərinin z dayanacağına gəldiyi anda avtobusa minmə ehtimalı aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$p_z = \frac{t_{day,k}}{\dot{I}_k} \tag{5}$$

Burada $t_{day,k}$ - k saylı marşrutda avtobusun dayanacaqda dayanma vaxtı; $\dot{I}_k$ - k saylı marşrutda avtobusların hərəkət intervalıdır.

Bernulli düsturuna əsasən k saylı marşrutun S sayda sərnişini içərisindən s sayda sərnişinin dayanacağa gəldiyi anda minmə ehtimalı:

$$P_{s,S} = C_S^s p_z^s q^{S-s} \tag{6}$$

S-in ən çox ehtimal olunan qiyməti $Sp + p - 1 \le s \le Sp + p$ intervalındakı tam ədəd olacaqdır.

Konkret dayanacaq üçün keçən bütün marşrutlar üzrə t anında dayanacağa m sayda avtobusun gəlməsindən sonra dayanacaqda qalan sərnişinlərin sayı aşağıdakı kimi müəyyən oluna bilər:

$$A_t = A_{t-1} + C_{t-1;t} - (\sum_{j=1}^{m} b_j - \sum_{j=1}^{m} s_j) \tag{7}$$

Burada A_{t-1} - $t-1$ anından dayanacaqda gözləyən, $C_{t-1;t}$ - isə $t-1;t$ aralığında dayanacağa gələn sərnişinlərin sayı; $\sum_{j=1}^{m} b_j$ - isə t anında j saylı marşrutun avtobusuna minən sərnişinlərin sayı; $\sum_{j=1}^{m} s_j$ - t anında dayanacağa gələn və j saylı marşrutun avtobusuna minən sərnişinlərin sayıdır. $j = 1...m$ - t anında dayanacağa gələn avtobusların sayıdır. n sayda maşrutun keçdiyi dayanacaq üçün yaza bilərik:

$$A_t = \sum_{i=1}^{n} a_{i,(t)} \tag{8}$$

$$A_{t-1} = \sum_{i=1}^{n} a_{i,(t-1)} \qquad (9)$$

$$C_{t-1;t} = \sum_{i=1}^{n} c_{i,(t-1;t)} \qquad (10)$$

Burada $a_{i,(t)}$ - t anında , $a_{i,(t-1)}$ - isə $t-1$ anında i saylı marşrutu gözləyən, $c_{i,(t-1;t)}$ - $t-1;t$ aralığında i saylı marşrutun avtobusuna minmək üçün gələn sərnişinlərin sayıdır.

z dayanacağında sərnişinin avtobusu orta gözləmə vaxtının aşağıdaklı kimi hesablanması təklif olunur[5]:

$$\overline{T}_{göz} = \frac{\dot{I}}{2} + \frac{\sigma_z^2}{2\dot{I}} + P_{meyl,z}\dot{I} \qquad (11)$$

Burada σ - hərəkət intervalından orta kvadratik meyllənmədir.

Lakin sərnişinlərin vaxt itkilərinin hər bir $t-1;t$ aralığında müəyyən olunması məqsədəuyğundur:

$$T_{itki(t-1;t)} = t \cdot \sum_{i=1}^{n} a_{i,(t-1)} + \frac{t}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} c_{i,(t-1;t)} \rightarrow \min \qquad (12)$$

Dayanacaqda avtobusların manevrləri nəticəsində nəqliyyat axınlarının ləngimələrinin PTV VISSIM-də qurulan simulyasiya modelinin köməyi ilə aparılan sınaqlarda uzunluğu 2600 metr olan yol sahəsində qiymətləri müəyyən edilmişdir. Avtobusların dayanacağa müxtəlif gəlmə tezliklərində 2,3 və 4 zolaqlı yolda nəqliyyat axınının ləngimə vaxtları dayanacağın yola nəzərən müxtəlif təşkili formaları üçün qiymətləndirilmişdir.

Nəqliyyat axınının icazə verilən sürəti şəhərlərdəki sürət məhdudiyyətinə uyğun olaraq 50 km/saat qəbul edilmişdir. Nəqliyyat cibində yaradılmış dayanacaq zonasında itirilən vaxtın qiymətləndirilməsi göstərir ki, avtobusların dayanacağa gəlmə tezliyi sabit olduqda nəqliyyat axınının intensivliyinin 800 avt/saat-dan 1400 avt/saata qədər artanda baxılan məsafənin qət edilmə vaxtında ciddi dəyişiklik ol-

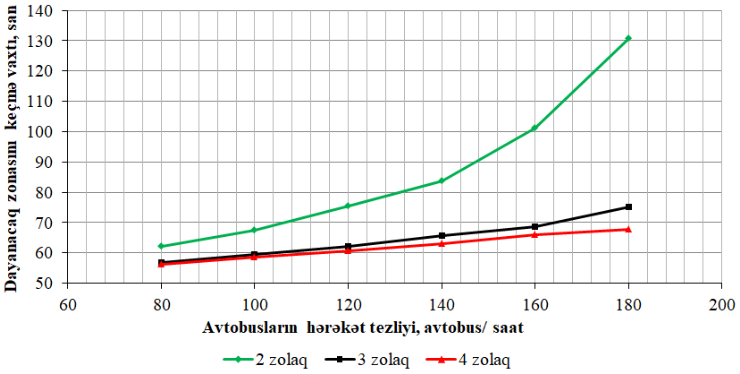
---

[5] Антошвили, М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю.Либерман, И.В.Спирин. - М.: Транспорт, 1985. - 102 с.

mur. Nəqliyyat axınının intensivliyinin sabit qiymətlərində avtobusların dayanacağa gəlmə tezliyi 80 avtobus/saat-dan 180 avtobus/saata qədər artdıqda isə qət etmə vaxtı nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişir.

Səki kənarında avtobus dayanacaqları üçün nəqliyyat axınlarının ləngimələri daha böyük qiymətlər alır. Ləngimədəki artım hərəkət zolaqlarının sayı az olduqda daha kəskin şəkildə ortaya çıxır. "Cib"-də təşkil olunan avtobus dayanacağına avtobusların gəlmə tezliyinin arması da nəqliyyat axınının ləngimələrini artırır. Lakin nəqliyyat axınının intensivliyinin artması bu artıma ciddi təsir göstərmir. Həm cibdə, həm də səki kənarında avtobus dayanacağı tətbiq edildiyi variantlar üçün nəqliyyat axınının intensivliyinin bütün qiymətlərində dayanacaq zonasını keçmə vaxtı avtobusların dayanacağa gəlmə tezliyinin artması ilə artır.

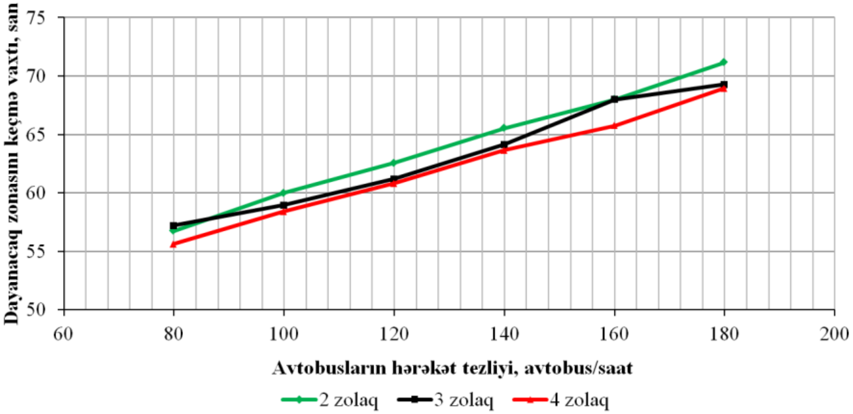
Şəkil 6-da nəqliyyat axınının intensivliyi 800 avt/saat olduqda avtobusların səki kənarında təşkil olunmuş dayanacağa gəlmə tezliyinin nəqliyyat axınının baxılan sahəni keçmə vaxtına təsiri göstərilmişdir.



Şəkil 6. Nəqliyyat axının intensivliyi 800 avt/saat olduqda səki kənarındakı avtobus dayanacağına avtobusların gəlmə tezliyinin yolu qət etmə vaxtına təsiri

Şəkil 6-dan göründüyü kimi səki kənarındakı dayanacaq zonasından keçən nəqliyyat axınları üçün hərəkət zolaqlarının sayının artması məsafənin qət olunması vaxtına ciddi təsir göstərir. 2 hərəkət zolağına malik yolda nəqliyyat axınlaranın ləngimələri avtobusların dayanacağa gəlmə tezliyinin artması ilə kəskin çoxalır.

“Cib”də təşkil olunmuş avtobus dayanacağı zonasından keçən nəqliyyat axını üçün hərəkət zolaqlarının sayının artması müxtəlif intensivliklərdə baxılan məsafənin qət olunması vaxtına əhəmiyyətli təsir göstərmir (Şəkil 7).



Şəkil 7. Nəqliyyat axının intensivliyi 800 avt/saat olduqda “cib”dəki avtobus dayanacağına avtobusların gəlmə tezliyinin yolu qət etmə vaxtına təsiri

PTV VİSSİM-də yaradılan simulyasiya modelinin vasitəsilə alınan nəticələr göstərir ki, avtobuslar ümumi axında hərəkət edərkən avtobusların hərəkət tezliyinin artması nəqliyyat axınının ləngimə vaxtlarını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Lakin hərəkət zolaqlarının sayı artdıqca bu təsir bir qədər azalır.

Bakı şəhərinin avtobus marşrutlarında aparılan ölçmələrlə avtobusların dolma dərəcəsinin, marşrut keçən küçələrdə nəqliyyat axınlarının intensivliyinin, avtobusların texniki vəziyyətinin, yolun vəziyyətinin, sürücü-avtomobil sisteminin avtobusların marşrut boyunca hərəkət sürəti və vaxtına təsiri qiymətləndirilmişdir.

Avtobusların dolma dərəcəsinin avtobusun hərəkət vaxtına təsiri müəyyən edilərkən avtobusun dolma dərəcəsinin minimal ($\gamma = 0$) və maksimal ($\gamma = 1$) qiymətləri nəzərə alınmışdır. Ölçmənin nəticələri göstərir ki, avtobusun dolma dərəcəsinin yüksəlməsi avtobusun dövr vaxtını artırır. Avtobuslar kiçik sürətlə hərəkət etdikdə avtobusun dolma dərəcəsinin armasının avtobusun dövr vaxtına təsiri daha çox olur.

Marşrut keçən küçələrdə hərəkət intensivliyinin qiymətləri yolun yüklənmə dərəcəsinə əsasən nəzərə alınmışdır ($z = 0...0,25$, $z = 0,25...0,5$, $z = 0,5...0,75$, $z = 0,75...1,0$). Xüsusi avtobus zolağı tətbiq edilmədiyi hallarda avtobus ümumi nəqliyyat axınında hərəkət edir və beləliklə də axından asılı vəziyyətə düşür.

Yeni avtobusların texniki vəziyyəti çox yaxşı, köhnə avtobusların texniki vəziyyəti isə kafi olaraq qiymətləndirilmiş və dartı keyfiyyətləri əsas götürülmüşdür. Ölçmə nəticəsində alınan qiymətlər əsasında demək olar ki, avtobusların markasından və konstruksiyasından asılı olmayaraq onların texniki vəziyyəti pis olduqda dövrə sərf olunan vaxtın artması müşahidə olunur.

Yol şəraiti nəzərə alınarkən yolun quru ($\varphi = 0,75$) və yaş asfalt ($\varphi = 0,35$) örtüyə malik olduğu hallar müqayisə edilmişdir. Avtobuslarda hərəkət təhlükəsizliyi təkərlə yol arasında ilişmə əmsalından da əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Ölçmələr göstərir ki, sürüşkən yol şəraitində avtobusun gedişə sərf etdiyi vaxtın qiyməti quru yol şəraitindəkinə nisbətən çoxdur.

Yolun uzunluq mailliyinin marşrut üzrə hətrəkət edən avtobusun itirdiyi vaxta təsirini əks etdirən qiymətlər cədvəl 6-da verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi yolun uzununa mailliyi 5 dərəcə dəyişdikdə DAEWOO BS 212 avtobusunun gediş vaxtı 40%-ə, 15 dərəcə dəyişdikdə isə 99%-ə qədər artır.

Cədvəl 6.

Yolun uzunluq mailliyinin avtobusun hərəkət vaxtına təsiri

№	Avtobusun tipi	Gediş vaxtı, dəq			Gediş vaxtının artım faizi	
		Yolun uzunluq mailliyi			Maillik $\alpha = 0 \rightarrow 5^0$	Maillik $\alpha = 0 \rightarrow 15^0$
		$\alpha = 0$	$\alpha = 5$	$\alpha = 15$		
1	DAEWOO BS 212	41.8	60.6	83.2	45	99

Marşrut sahəsinin uzunluğu 0,35 km-dən 2,65 km-ə qədər artdıqda bərabərsürətli hərəkətə sərf olunan vaxt minimal hərəkət sürəti ilə hərəkətdə ümumi hərəkət vaxtının təxminən 37, maksimal sürətilə hərəkətdə 29 və orta hərəkət sürəti ilə hərəkətdə 31%-ni təşkil edir.

Müəyyən edilmişdir ki, avtobusun marşrut üzrə hərəkətinə sürücülərin iş təcrübəsi, yaşı, işıqlandıma şəraiti də təsir göstərir.

Avtobusların marşrut boyunca hərəkətinin düzgün planlaşdırılması üçün onların mümkün vaxt itkilərinin əvvəlcədən müəyyən edilməsi əhəmiyyətlidir. Marşrut boyunca hərəkət zamanı vaxt itkilərinin qiymətləndirilməsi sərnişinlərə xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından da səmərəlidir.

M saylı marşrutda A saylı avtobusun itirdiyi vaxt aşağıdakı kimi hesablana bilər:

$$Lt_{AM} = \sum_{i=1}^{n} t_{bsi} + \sum_{j=1}^{m} t_{tlj} + \sum_{k=1}^{r} t_{nki} \qquad (13)$$

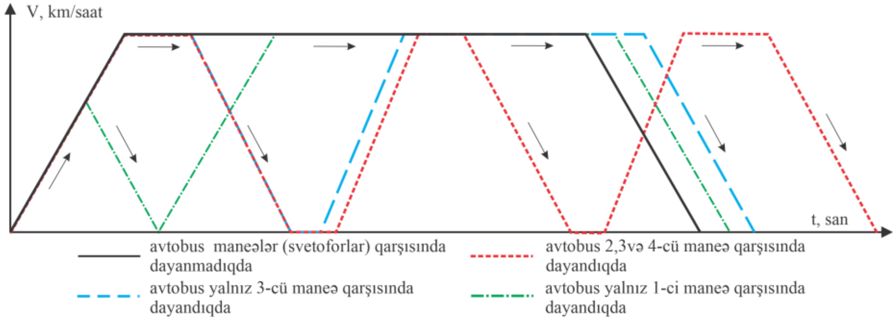
Burada t_{bsi} - i saylı dayanacaqda avtobusun dayanma vaxtı; t_{tlj} - j saylı nizamlanan yol ayrıcında avtobusun dayanma vaxtı; t_{nk} - k saylı bənddə hərəkətə sərf olunan vaxtdır.

Avtobusların konkret svetofor obyektində ləngiməsi təsadüfi xarakterlidir və konkret yol ayrıcında svetoforun iş rejimindən asılıdır. Svetofor tətbiq olunmuş yol ayrıcında avtobusun ləngimə ehtimalı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$p_{dbi} = \frac{t_{gi}}{T_{trci}} \qquad (14)$$

Burada t_{gri} - i saylı svetoforun baxılan istiqamət üzrə qadağanedici siqnalının yanma müddəti, san; T_{trci} - saylı svetoforun bir iş tsiklinin uzunluğudur, san.

Baxılan yol ayrıcında bir avtobusun orta ləngimə vaxtını avtobusun ləngimə ehtimalının (14) düsturuna əsasən qadağanedici siqnalın yanma müddətinə görə müəyyən etmək olar. Lakin avtobusların hərəkət cədvəllərinin hazırlanması zamanı nizamlanan yol ayrıclarında itirilən vaxtın nəzərə alınması üçün proqnozlaşdırma modelinin yaradılması məqsədəuyğundur. Avtobusun marşrut sahələri üzrə hərəkətini sürətlənmə, sabit sürətlə hərəkət və yavaşıma vaxtlarına ayırmaq olar. Şəkil 8-də 4 svetofor obyektinin yerləşdiyi marşrut sahəsində avtobusların keçmə vaxtının bir neçə mümkün ssenarisi verilmişdir.



Şəkil 8. 4 svetofor obyekti olan marşrut sahəsində avtobusların hərəkət ssenariləri

Əgər A ilə avtobusun svetoforda ləngimə hadisəsini işarə etsək avtobusun marşrut sahəsində yerləşən svetofor obyektlərindən heç olmasa birində ləngimə ehtimalı aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$P(A) = 1 - \frac{t_{y1}}{T_{trc1}} \cdot \frac{t_{y2}}{T_{trc2}} \cdot \frac{t_{y3}}{T_{trc3}} \cdot \ldots \cdot \frac{t_{yn}}{T_{trcn}} \qquad (15)$$

Burada t_{yi} - i saylı svetofor obyektində yaşıl işığın yanma müddətidir.

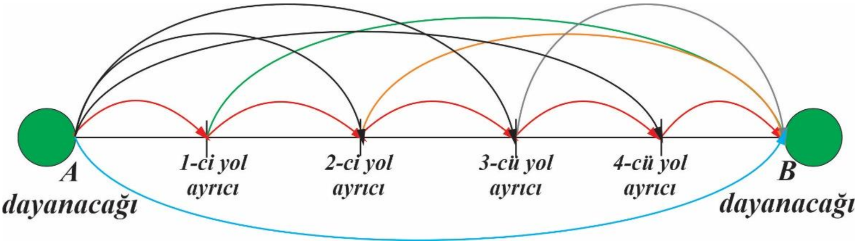
Əgər marşrut sahəsi eyni küçəyə aiddirsə və həmin küçədə yaşıl dalğa rejimi tətbiq olunmuşdursa onda avtobusların yol ayrıclarında ləngimə ehtimalı həmin sahədəki birinci svetoforda ləngimə ehtimalına bərabər olacaqdır:

$$P(A) = 1 - \frac{t_{y1}}{T_{trc1}} \qquad (16)$$

Avtobus marşrutlarında hərəkət qrafiklərindən kənara çıxmalarının müəyyən həddən çox olması məqsədəuyğun hesab olunmur. Ona görə də hərəkət qrafikləri tərtib olunmazdan əvvəl real vaxt itkilərinin proqnozlaşdırılması əhəmiyyətlidir.

Bakı şəhərində 10 saylı marşrutun Rəşid Behbudov prospekti ilə bir sahəsində 3, 88 saylı marşrutun həmin prospekt üzrə bir sahəsində 4, 18 saylı marşrutun Bülbül prospekti üzrə bir sahəsində 4 svetofor obyekti yerləşir. Marşrut şəbəkəsində hərəkət edən avtobusların konkret marşrut sahəsini keçməsi svetofor obyektlərində avtobusların ləngimələrinin baş verməsi prosesini Markov prosesi kimi nəzərdən

keçirmək olar. 4 svetofor obyektinin yerləşdiyi marşrut sahəsində avtobusların mümkün ləngimə variantlarını sxematik olaraq şəkil 9-dakı kimi göstərmək olar.



Şəkil 9. Avtobusların marşrut sahəsini keçməsi zamanı svetoforlarda mümkün ləngimə variantlarının sxemi

Baxılan marşrut sahəsində avtobusların svetofor siqnalında ləngiməsi variantlarını kombinatorika vasitəsilə aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \qquad (17)$$

Vəziyyətlər arasında keçid ehtimalları matrisi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$P = \begin{vmatrix} P_{1-1} & P_{1-2} & \dots & P_{1-16} \\ P_{2-1} & P_{2-2} & \dots & P_{1-16} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{16-1} & P_{16-2} & \dots & P_{16-16} \end{vmatrix} \qquad (18)$$

Avtobusların ləngimə vaxtının minimum olması nöqteyi-nəzərindən ideal hal avtobusların heç bir svetofor obyektində ləngiməməsi (S_1) halıdır. Adi nizamlama qaydası tətbiq edilərkən bu halın yaranması ehtimalını aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$p_{d0} = \left(1 - \frac{t_{g1}}{T_{trc1}}\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{g2}}{T_{trc2}}\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{g3}}{T_{trc3}}\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{g4}}{T_{trc4}}\right) \qquad (19)$$

Yalnız 1-ci svetoforda ləngimə (S_2 vəziyyəti) ehtimalı isə aşağıdakı kimi müəyyən ediləcəkdir:

$$p_{d1} = \frac{t_{g1}}{T_{trc1}} \cdot \left(1 - \frac{t_{g2}}{T_{trc2}}\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{g3}}{T_{trc3}}\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{g4}}{T_{trc4}}\right) \qquad (20)$$

Nəqliyyat vasitələri marşrut sahəsində S_2 halından yalnız $S_6, S_7, S_8, S_{12}, S_{13}, S_{14}$ və S_{16} hallarına keçə bilər. Ona görə keçid matrisi tərtib olunarkən aşağıdakı şərti qəbul edirik:

$$P_{ij} = \Pr\{A_{n+1} = j \mid A_n = i\} = \begin{cases} 0 & i \ge j \\ p_{i,j} & i < j \end{cases} \qquad (21)$$

Burada A_{n+1}- j vəziyyətində, A_n -isə i vəziyyətində olan avtobusların sayıdır.

Əgər marşrut sahəsindəki bütün yol ayrıcları svetoforlar vasitəsilə nizamlanırsa onda svetoforların iş rejimləri əsasında avtobusların göstərilən vəziyyətlər arasında keçid ehtimallarını aşağıdakı şəkildə hesablamaq olar:

$$P_{di \to dj} = \begin{cases} \prod\limits_{j+1}^{n} \left(1 - \frac{t_{qj}}{T_{trcj}}\right) & i = j,\ i = 0,1,\dots,n \\ \frac{t_{qj}}{T_{trcj}} \prod\limits_{j+1}^{n} \left(1 - \frac{t_{qj}}{T_{trcj}}\right) \Big/ \left(1 - \frac{t_{qj}}{T_{trcj}}\right) & i = 0,\ j = 1,\dots,n \\ 0 & i \ne j, i \ne 0 \end{cases} \qquad (22)$$

$$P_{di \to dj,\dots,dn} = \begin{cases} 0 & i \ne j, i \ne 0 \\ \prod \frac{t_{qj}}{T_{trcj}} \prod \left(1 - \frac{t_{qj}}{T_{trcj}}\right) & i = 0\ veya\ i = j \end{cases} \qquad (23)$$

Marşrut sahəsində svetofor tətbiq olunan yol ayrıclarında ləngimələr avtobusların svetorofun qadağanedici işığına düşməsi nəticəsində yaranır və biz bu prosesə diskret hadisələrin Markov zənciri kimi baxırıq. Burada təsadüfi kəmiyyət kimi sistemin diskret vəziyyətini götürürük. Diskret hallar kimi avtobusların svetoforda ləngimələrini qəbul edirik. Vaxta görə fasiləsiz diskret Markov prosesi

üçün sistemin r-ci addımda hər hansı S_i vəziyyətində olmasının ehtimalı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$p_i(r) = P[S(r) = S_i]; \; r = 1,2,...,n; \; i = 1,2,...,n \qquad (24)$$

Avtobusun marşrut sahəsi üzrə svetofor obyektlərində ləngimə hallarını göstərən keçid matrisi ölçüsü n olan kvadrat matrislə ifadə olunur. Matrisin dioqanalları üzrə r addımında S_i vəziyyətində qalma ehtimalları ($p_{ii}(r)$), digər xanalar üzrə S_i halından S_j halına keçmə ehtimalları ($p_{ij}(r)$) göstərilir. Matrisin bütün sətirləri üzrə ehtimalların cəmi 1-ə bərabər olacaqdır:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{ij}(t) = 1 \qquad (25)$$

İlkin şərtsiz matrislər əsasında sistemin S_i halında olması üçün digər şərtsiz matrislər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$p_j(r) = \sum_{i=1}^{n} p_i(r-1) p_{ij}, \quad r = 1,2,...,n, \; j = 1,2,...,n \qquad (26)$$

Avtobusların marşrut boyu bütün dayandıqları məntəqələrə gəlməsi puasson qanununa tabedir və bu müəyyən t zamanı daxilində λ_{ij} intensivliyi ilə baş verir. Markov zəncirinin axtarılan $p_i(t)$ ehtimalları (zaman funksiyaları) sistemin t anında S_i halında olduğunu göstərir və onları Kolmoqorovun differensial tənliklər sistemindən tapırıq. Matris şəklində tənliyi aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{dP(i,t)}{dt} = P(i,t) \cdot L \qquad (27)$$

Burada L Puasson axınının sürət vektorudur. (27) tənliyi üçün başlanğıc şərtlər aşağıdakı kimi olacaqdır:

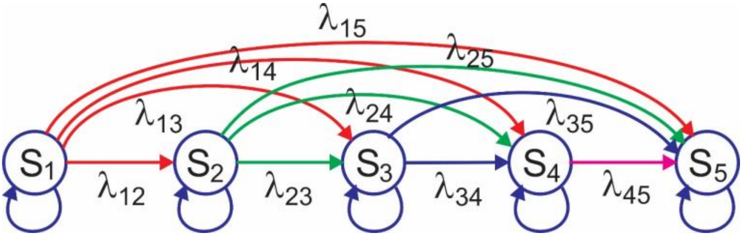
$$t = 0; \; p_1(t) = 1; \; p_2(t) = p_3(t) = ... = p_n(t) = 0 \qquad (28)$$

Tənlikər sisteminin həlli zamanı normalaşdırma şərti qəbul edilir:

$$\sum_{j=1}^{n} p_i(t) = 1 \qquad (29\ )$$

Bakı şəhərində Rəşid Behbudov küçəsində avtobusların ardıcıl 4 svetofor obyektində dayanma hallarının sayı canlı müşahidələr əsa-

sında müəyyən edilmişdir. 4 nizamlanan yol ayrıcı olan marşrut sahəsi üçün avtobusların ləngimə vəziyyətləri və keçidləri əks etdirən sxem şəkil 10-da verilmişdir.



Şəkil 10. Ləngimə prosesinin qrafı

S_1 - avtobusların marşrut sahəsində svetofora düşmədən keçməsini, S_2, S_3, S_3, S_4 - isə uyğun olaraq 1-ci, 2-ci, 3-cü və 4-cü svetofor obyektində ləngiməsini göstərir. Göründüyü kimi marşrut sahəsi üzrə hərəkət edən avtobusun yol ayrıcında ləngimələri zamana görə kəsilməyən diskret Markov prosesidir. Bu model üçün Kolmoqorov tənliklərini tərtib edək:

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = -p_1(t)(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15}) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} == -p_2(t)(\lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25}) + p_1(t)\lambda_{12} \\ \frac{dp_3(t)}{dt} == -p_3(t)(\lambda_{34} + \lambda_{35}) + p_1(t)\lambda_{13} + p_2(t)\lambda_{23} \\ \frac{dp_4(t)}{dt} == -p_4(t)\lambda_{45} + p_1(t)\lambda_{14} + p_2(t)\lambda_{24} + p_3(t)\lambda_{34} \\ \frac{dp_5(t)}{dt} == p_1(t)\lambda_{15} + p_2(t)\lambda_{25} + p_3(t)\lambda_{35} + p_4(t)\lambda_{45} \end{cases} \quad (30)$$

və ya

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \begin{bmatrix} -p_1\lambda_{12} & -p_1\lambda_{13} & -p_1\lambda_{14} & -p_1\lambda_{15} \\ -p_2\lambda_{23} & -p_2\lambda_{24} & -p_2\lambda_{25} & p_1\lambda_{12} \\ -p_3\lambda_{34} & -p_3\lambda_{35} & p_1\lambda_{13} & p_2\lambda_{23} \\ -p_4\lambda_{45} & p_1\lambda_{14} & p_2\lambda_{24} & p_3\lambda_{34} \\ p_1\lambda_{15} & p_2\lambda_{25} & p_3\lambda_{35} & p_4\lambda_{45} \end{bmatrix} \quad (31)$$

(31) tənliyini həll etməklə avtobusların svetofor obyektlərində dayanma ehtimallarının hüdud qiymətlərini real marşrut sahəsi üçün qiymətləndirə bilərik. Normalaşdırma şərti:

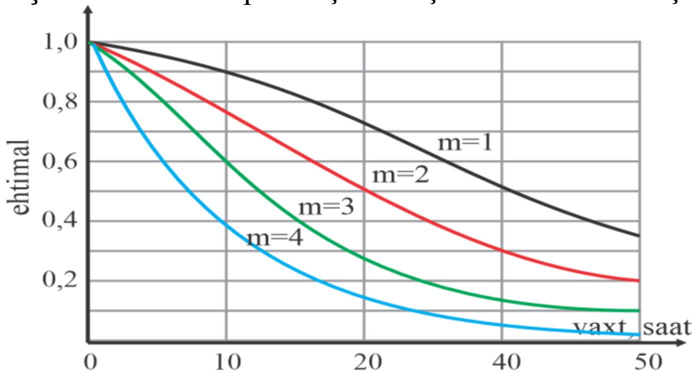
$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 1 \qquad (32)$$

Ümumi şəkildə marşrut sahəsində 4 svetofor obyekti olduğu halda avtobusun marşrut sahəsində orta ləngimə vaxtı müəyyən edilmiş sərhəd ehtimalları əsasında aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$t_{len} = \frac{t_{q1}}{2} p_1 + \frac{t_{q2}}{2} p_2 + \frac{t_{q3}}{2} p_3 + \frac{t_{q4}}{2} p_4 \qquad (33)$$

Burada: t_{qi} - i saylı svetofor obyektində qadağanedici siqnalın davametmə müddətidir, san.

Tənliklər sisteminin həlli nəticəsində marşrut sahəsində svetofor obyektlərinin sayından (m=1,2,3,4) asılı olaraq avtobusların dayanmadan keçmə ehtimalları qrafiki şəkildə şəkil 11-də verilmişdir.



Şəkil 11. Marşrut sahəsində svetofor pobyektlərinin sayından asılı olaraq avtobusların ləngimədən keçmə ehtimalı

Təklif olunan metodika əsasında marşrut sahəsində svetofor obyektlərində ləngimə hallarını Markov prosesi kimi təsvir etməklə hər bir yol ayrıcında orta ləngimə vaxtını qiymətləndirmək olar.

Dissertasiya işinin ***beşinci fəsli*** marşrutların dayanacaqlarında avtobusların fəaliyyətinin təşkilinə, dayanacaqların buraxma qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi metodikasının tətbiqinə, dayanacaqlar-

da avtobus marşrutlarının işinin əlaqələndirilməsinin sadə analitik modelinin yaradılmasına, intensiv istifadəli avtobus dayanacaqlarının işinin simulyasiya modelinin qurulmasına həsr edilmişdir.

ABŞ-da aparılan tədqiqatlar nəticəsində avtobus dayanacaq məntəqəsinin buraxma qabiliyyətinin tapılması üçün aşağıdakı düstur təklif olunmuşdur [6]:

$$B_S = N_{eb} B_{bb} = N_{eb} \frac{3600 \cdot \frac{g}{C}}{t_c + \frac{g}{C} \cdot t_d + z_a \cdot c_v \cdot t_d} \qquad (34)$$

Burada N_{eb} - dayanacaqda avtobuslar üçün nəzərdə tutulmuş yerlərin sayı; B_{bb} - bir dayanacaq yerinin buraxma qabiliyyəti; g -yaşıl işığın yanma müddəti; C - svetoforun nizamlama tsiklinin uzunluğu; t_c -avtobusun dayanacığı tərk etmə vaxtı; t_d -avtobusun dayanacaqda olma vaxtı; z_a - dayanacaq qarşısında növbənin artma ehtimalı; c_v - gəlmə intervallarının variasiya əmsalıdır.

Bakı şəhərinin müxtəlif ərazilərindəki dayanacaqlarda t_d kəmiyyətinin qiymətlərinin çox böyük intervallarda dəyişdiyini müşahidə edirik. Bu əslində nəqliyyat vasitələrinin müxtəlifliyi və xidmət keyfiyyəti ilə əlaqədardır.

Əgər dayanacaqdan sonra nizamlanan yol ayrıcı və ya svetofor obyekti yoxdursa dayanacağın buraxma qabiliyyəti aşağıdakı kimi təyin olunacaq:

$$B_S = N_{eb} B_{bb} = N_{eb} \frac{3600}{t_c + t_d + z_a \cdot c_v \cdot t_d} \qquad (35)$$

Hesabatlarda t_c kəmiyyətinin nəzəri tədqiqatlarla müəyyən olunmuş qiymətləri istifadə edilir.

Bakı şəhərində 5 avtobus dayanacağında aparılan ölçmələrin nəticəsi göstərir ki, avtobusun dayanacaqda olma vaxtı (t_d) 8 saniyədən 232 saniyəyə qədər dəyişir.

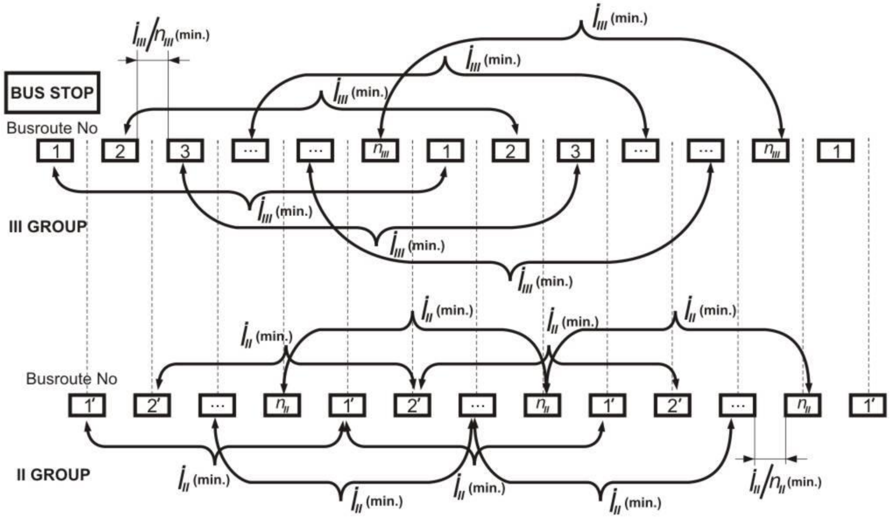
---

[6] Highway Capacity Manual 2000. / Transportation Research Board, National Research Council. - Washington, D.C., USA, - 2000, - 1134 p.

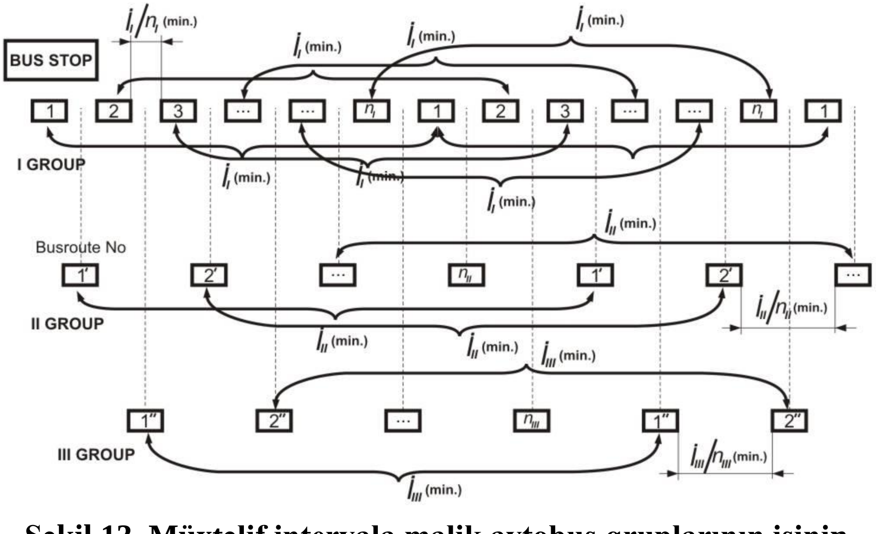
Bakı şəhərinin bəzi küçələrində marşrut avtobuslarının hərəkət intensivliyinin çox olması nəticəsində avtobusların dayanacaq məntəqələrində növbələr yaranır. Əgər dayanacağa çoxlu sayda marşrutun avtobusu müxtəlif intervallarla gəlirsə məsələnin həllinə avtobus marşrutlarını intervallarına görə qruplaşdırmaq və biri-birinə uyğunlaşdırmaqla nail olmaq mümkündür. Məsələnin həllini sadələşdirmək üçün əvvəlcə daha çox marşrutun daxıl olduğu qrupu nəzərdən keçirmək əlverişlidir. Tutaq ki, III qrupa daxil olan marşrutların sayı daha çoxdur. Əvvəlcə marşrutların hərəkət intervallarını eyniləşdirərək $\dot{I}_{III}$ (dəqiqə) qəbul edək. Bu intervalla hərəkət edən avtobus marşrutlarının sayı n_{III} olarsa onların avtobuslarının baxılan sahənin əvvəlindəki dayanacaqdan etibarən $\dot{I}_{III}/n_{III}$ (dəqiqə) fərqlə gəlməsini təmin edən qrafiklər tərtib olunmalıdır. Belə olduqda baxılan n_{III} marşrutun avtobuslarının üst-üstə düşən sahədə dayanacaqlara eyni zamanda gəlmə ehtimalı çox aşağı düşəcəkdir. Ümumi qəbul edilmiş interval elə müəyyənləşdirilməlidir ki, həmin intervalla işləyəcək marşrutların sayına tam bölünsün ($\dot{I}_{III}/n_{III} \in N$). Əgər bu mümkün olmasa qrupların tərkibini dəyişmək, qrupların sayını artırmaq lazımdır. Növbəti mərhələdə digər qruplar üçün anoloji üsulla hərəkət qrafikləri korreksiya edilir və həmin qruplardakı marşrutların avtobuslarının eyni anda dayanacağa gəlməsinin qarşısı alınır. Əgər baxılan iki qrupun marşrutlarının hərəkət intervallarının ortaq böləni olarsa, onda bu iki qrupun da işini əlaqələndirmək və onlara daxil olan bütün avtobusların dayanacaqlara müxtəlif vaxtlarda gəlməsinə nail olmaq olar (Şəkil 12). İdeal halı şəkil 13-dəki kimi təsəvvür etmək olar. Bu modelin tətbiqi nəticəsində eyni anda baxılan sahə üzrə dayanacaqlara eyni anda yalnız ayrı-ayrı qruplardakı marşrutların avtobusları gəlir. Deməli dayanacağa eyni anda gələn avtobusların maksimal sayı təşkil edilən qrupların maksimal sayına müvafiq olacaqdır.

Marşrutların əlaqələndirilmiş işinin bu cür təşkilində dayanacaqdan keçən marşrutların daxil olduğu qrupların sayı çox olarsa sxemin tətbiqi həddən artıq mürəkkəb xarakter alır. Ona görə də avtobusların dayanacağa gəlməsinin dəqiq tərtib edilmiş ardıcıllığının riyazi mo-

delinin olmasına və kompüter simulyasiya modelləri ilə yoxlanılmasına ehtiyac yaranır.



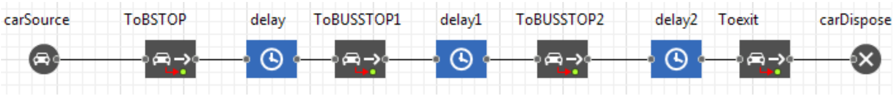
Şəkil 12. Müxtəlif intervala malik avtobus qruplarının işinin əlaqələndirilməsi sxemi (I variant)



Şəkil 13. Müxtəlif intervala malik avtobus qruplarının işinin əlaqələndirilməsi sxemi (II variant)

Kompüterdə simulyasiya modelləşdirilməsinin əsas 3 növü var: sistem dinamikası;diskret hadisələrin modelləşdirilməsi; agent modelləşdirilməsi. Bunlardan avtobus marşrut şəbəkəsinin modelləşdirilməsi üçün ən çox uyğun olanı agentə əsaslanan modelləşdirmədir.

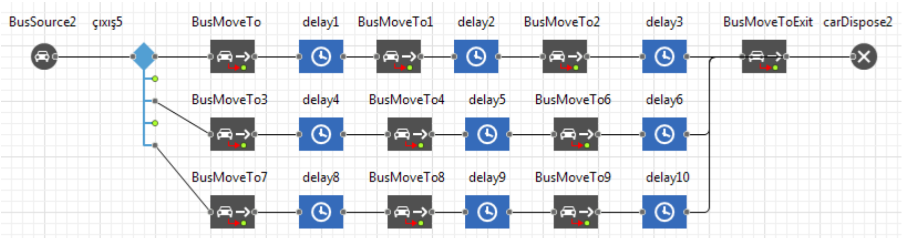
Avtobus marşrutunun simulyasiya modeli ***Anylogic*** proqramının müxtəlif versiyalarında ***Road*** kitabxanasında ***CarSource, CarMovie to, CarDispose, BusStop, Delay*** alətlərinin köməyi ilə yaradılır. Proqramın əsas üstünlüklərindən biri real avtobus marşrutunda olduğu kimi avtobuslar arasındakı hərəkət intervallarının, avtobusların sayının, dayanacaq məntəqələrinin sayının və yerinin əvvəlcədən verilə bilməsidir. Avtobus marşrutunun simulyasiya modelinin məntiqi sxemi şəkil 14-dəki kimi qurula bilər.



Şəkil 14.Avtobus marşrutunun qurulmasının məntiqi sxemi

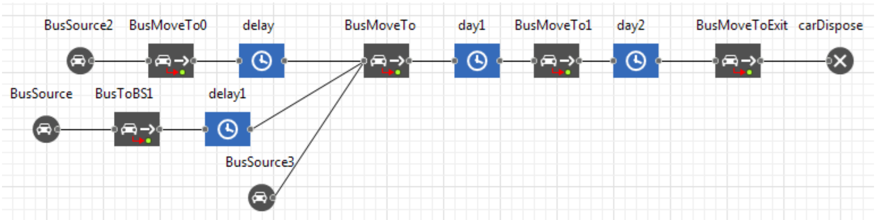
Dayanacağa gələn sərnişinlərin sayının dəyişmə xarakterini simulyasiya modelində ***Pedestrian*** kitabxanasının köməyilə tədqiq etmək olar.

Eyni başlanğıc dayancaqdan hərəkətə başlayan avtobuslar üçün məntiqi sxemin nümunəsi şəkil 15-də göstərilmişdir.



Şəkil 15. Eyni başlanğıc dayanacaqdan çıxan marşrutların simulyasiya alqorutminin qurulması

Dayanacaqları üst üstə düşən marşrutların simulyasiya modelinin məntiqi sxemi şəkil 16-da verilmişdir. Avtobusun dayanacaqda gözləmə parametrləri ***Delay*** aləti vasitəsilə daxil edilir.



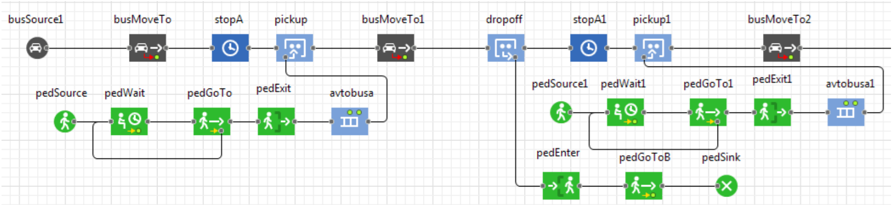
Şəkil 16. Dayanacaqları üst üstə düşən marşrutların simulyasiya alqoritminin qurulması

Sərnişinlərin dayanacağa gəlmə qanunauyğunluğunu ***PedSourse*** alətinin köməyilə nəzərə almaq mümkündür. Bildiyimiz kimi baxılan hər hansı t zaman intervalında, adi saatlarda avtobus dayanacağına gələn sərnişinlərin m sayı λt parametrinə malik Puasson qanunu üzrə paylanır:

$$P_m(t) = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^m}{m!} \qquad (36)$$

Burada: λ sərnişinlərin dayanacağa orta gəlmə intensivliyidir.

İki ardıcıl avtobus dayanacağı (başlanğıc və növbəti) üçün sərnişinlərin avtobusa minmə və düşməsinin məntiqi modeli şəkil 17-də göstərildiyi kimi olacaqdır.



Şəkil 17.İki ardıcıl dayanacaqada sərnişinlərin minib-düşməsi modeli

Proqram alətlərinin köməyi ilə nizamlanan yol ayrıclarında svetoforların iş rejimləri, hərəkət zolaqlarının sayı, yoldakı hərəkət intensivliyi daxil edilməklə müxtəlif ssenarilər yaratmaq və avtobusların müxtəlif şəraitlərdə marşrut boyunca hərəkətini müşahidə etmək mümkündür.

Bakı şəhərində ən çox sıxlıq və avtobusların növbələri müşahidə olunan avtobus dayanacaqları 8-ci km bazarı, Neftçilər metro stansi-

yası, Qara Qarayev metro stansiyası ətrafında və Moskva prospektində yerləşən avtobus dayanacaqlarıdır (cədvəl 7). Sutkanın saatlarından və avtobusların hərəkət qrafiklərindən asılı olaraq bir saat ərzində 8-ci km bazarı qarşısındakı dayanacağa gələn avtobusların sayı 145-180 arasında dəyişir və bu dayanacaqda səhər saat 7-dən axşam saat 8-ə kimi sıxlıq müşahidə olunur.

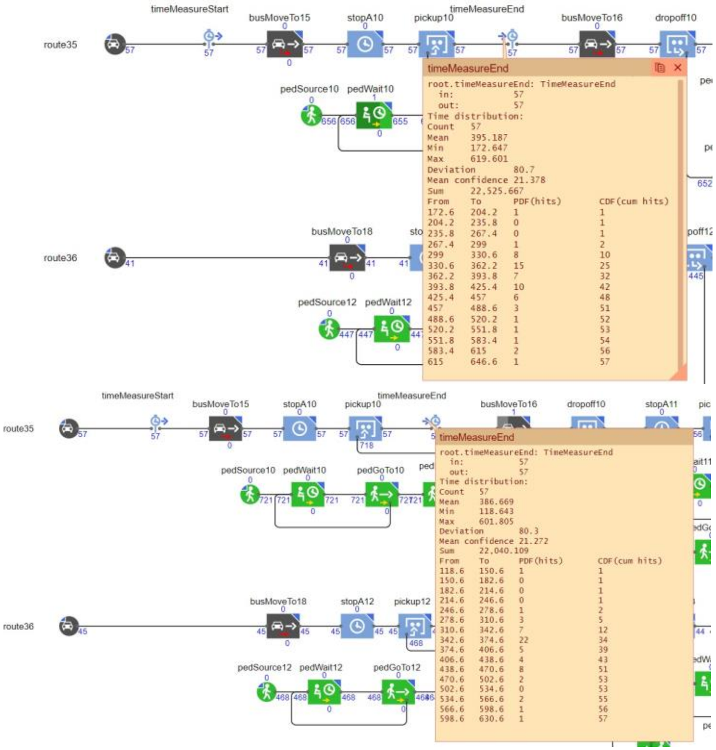
Cədvəl 7. İntensiv istifadə olunan dayanacaqlarda avtobus marşrutlarının göstəriciləri

Dayanacaq	Dayanacaqdan keçən marşrutların nömrəsi
8-ci km bazar	11,12,15,22,35,36,40,44,49,50,51,54,57,60,62,64,70,7a,81,
Şamaxinka	2,13,14,18,29,37,65,67,7a,83,92,119, 135,156,170,193,199,525
Neftçilər metro stansiyası	11,12,15,22,35,36,40,44,49,50,51,54,57,60,62,64,70,7a,81
20 Yanvar metro stansiyası	2,13,14,18,29,37,65,7a,83,102,119,159,193,199, 114a,114b

Bakı şəhərinin ən çox yüklənmiş dayanacaq məntəqələrindən biri olan 8-ci km bazarı yaxınlığındakı dayanacağı nəzərdən keçiririk.

Dayanacaq məntəqəsinə avtobusların gəlməsini intervala, müəyyən vaxt ərzində gələn nəqliyyat vasitələrinin sayına, mövcud şəraitdə tətbiq edilmiş cədvələ əsasən daxil edərək dayanacaq məntəqəsində yaranan vəziyyəti analiz etdikdə bu ssenarilərdə avtobusların dayanacaq məntəqəsi qarşısındakı növbələrinin fərqli xarakter aldığı müəyyən edilmişdir. Avtobusların hərəkət intervallarına əsasən müəyyən edilmiş qanunauyğunluğa (normal paylanma) əsasən gəlməsi ***İnterarrival time***, saatlıq gəlmə tezliyinə əsasən gəlməsi isə ***Rate*** vasitəsilə seçilir.

35 nömrəli marşrut xəttinin dayanacağına avtobusların gəlməsi mövcud variantdakı intervalla (Şəkil 18, a) və saatda gələn avtobusların sayına (tezliyinə) uyğun (Şəkil 18, b) daxil edilərkən avtobusların modeldə göründüyü andan dayanacaqdan çıxana qədər keçirdiyi vaxt sıçrayışlarla dəyişir və bu dəyişikliyin paylanması da fərqli xarakter daşıyır.

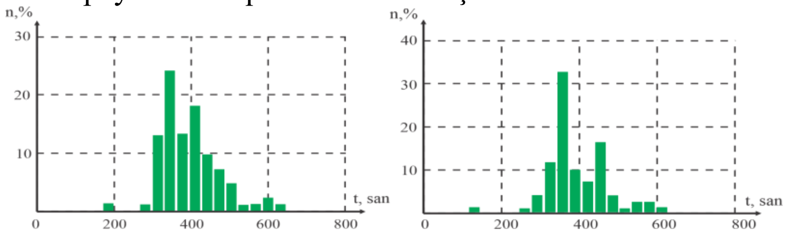


a)

b)

Şəkil 18. 35 saylı marşrut üçün avtobusların dayanacağı keçmə vaxtının ölçmələrinin nəticələri

Şəkil 19-da 35 saylı marşrutda avtobusların dayanacağa interval və saatlıq tezliyə uyğun gəlməsi hallarında dayanacağı keçməyə itirilən vaxtın paylanması qrafikləri verilmişdir.



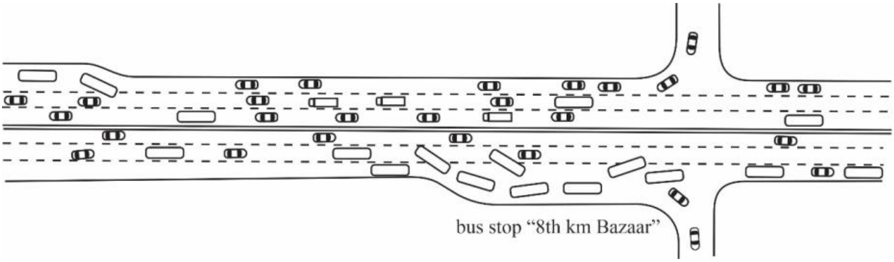
a) b)

Şəkil 19. 35 saylı marşrut üçün avtobusların dayanacağa gəlməsinin intervala (a) və saatda gəlmə intensivliyinə (b) görə daxil edilməsi zamanı itirilən vaxtın paylanması

Avtobus marşrutunun simulyasiyası üçün təklif edilən model digər küçə ictimai nəqliyyat növlərinin dayanacağına və qarışıq istifadədə olan dayanacaqlara eyni effektivliklə tətbiq edilə bilər.

Altıncı fəsil yüksək hərəkət sıxlığına malik dayanacaqlarda müxtəlif marşrutların avtobusların işinin, dayanacaqda qalma vaxtının analizinə, marşrutlar üzrə hərəkət intervalları saxlanılmaqla avtobusların dayanacağa gəlmə ardıcıllığının modelləşdirilməsi ilə dayanacaqlarda vaxt itkilərinin azaldılması üsulunun işlənib hazırlanmasına həsr olunur.

Qeyd edildiyi kimi Bakı şəhərində ən intensiv istifadə olunan avtobus dayanacaqlarından biri 8-ci km bazarı qarşısındakı dayanacaqdır. "8-ci km bazarı" avtobus dayanacağının peykdən çəkilmiş şəklinə əsasən hazırlanmış sxematik görünüşündən də bəlli olduğu kimi (şəkil 20) avtobus dayanacağında tıxac və dayanacağa daxil olan avtobusların növbələri yaranır.



Şəkil 20. Peyk şəklinə əsasən "8-ci km Bazarı" avtobus dayanacağının sxematik görünüşü (Google Earth-dən)

Dayanacaq məntəqələrindən çoxlu sayda marşrutun nəqliyyat vasitələrinin istifadə etməsi halında bu marşrutlar arasında işin əlaqələndirilməsi zəruriyyəti yaranır və yüksək hərəkət dəqiqliyini təmin etməklə avtobusların gəlmə ardıcıllığının modelləşdirilməsi dayanacaqlarda vaxt itkilərini azalda bilər.

Hərəkət müntəzəmliyi nəzərdən tutulmuş bütün gedişlərin yerinə yetirilməsini qiymətləndirmək üçün hesablanır. Hərəkət dəqiqliyi dedikdə avtobusların hər bir dayanacağa qrafikdə nəzərdə tutulan anda gəlməsi nəzərdə tutulur. Avtobusların dəqiqlik indeksi aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$P = \frac{s^2}{h_t^2} \qquad (37)$$

Burada; h_t - planlaşdırılmış intervaldır. s^2 aşağıdakı kimi hesablanır:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{I} (t_i - \tau_i)}{I} \qquad (38)$$

Burada; t_i - i-ci avtobusun dayanacağa real gəlmə vaxtı ; τ_i - i-ci avtobusun cədvəl üzrə dayanacağa gəlmə vaxtı; I - dayanacağa gəlmələrin sayıdır.

i saylı marşrutda bir saatda baxılan j dayanacağından keçən avtobusların sayı aşağıdakı kimi hesablana bilər:

$$A_{ij} = \frac{60}{\dot{I}_i} \qquad (39)$$

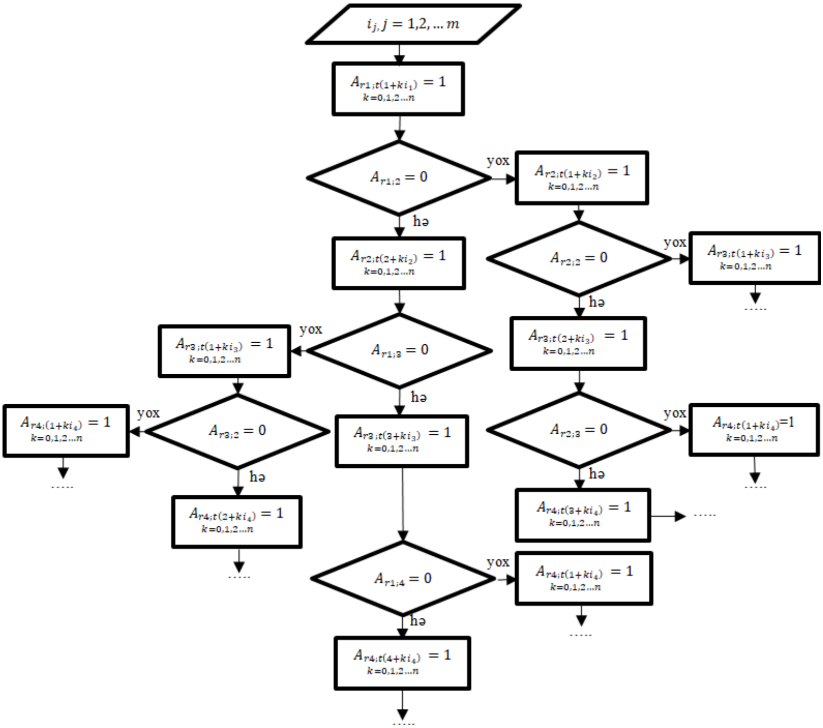
Burada; $\dot{I}_i$ - i saylı avtobus marşrutunda hərəkət intervalıdır, dəq.

Dayanacaqdan keçən marşrutların avtobuslarının dayanacağa bərabər zaman intervalı ilə gəlməsi halında j dayanacağına bir dəqiqə ərzində gələn avtobusların sayını belə tapa bilərik:

$$A_{j,1deq} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}}{60} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{60}{I_i}}{60} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{I_i} \qquad (40)$$

Burada; $i = 1...n$ dayanacaqdan keçən avtobus marşrutlarının sayıdır, ədəd.

Dayanacaq qarşısında növbələrin azaldılması və dayanacağın zəbt edilməsi nəticəsində ləngimələrin azaldılması üçün marşrutlar üzrə hərəkət intervallarının sərnişin axınının tələblərinə uyğun hesablanmış qiymətlərini saxlamaqla dayanacağa gəlmə vaxtlarını korreksiya edirik. Bunun üçün mövcud hərəkət intervllarına uyğun olaraq hərəkət cədvəllərində dayanacağa gəlmə vaxtlarının sürüşdürülməsi və eyni dəqiqə içində gələn avtobusların sayının 6-ya qədər məhdudlaşdırılması ilə dayanacağa gəlmə vaxtlarını şəkil 21-dəki kimi modelləşdiririk.



Şəkil 21. Avtobusların dayanacağa gəlmə vaxtlarının müəyyən edilməsi modeli

Marşrutlar üzrə baxılan dayanacağa gəlmə vaxtları hərəkət intervalları ən az olan marşrutdan ən çox olan marşruta doğru ardıcıllıqla planlaşdırılır. r - avtobus marşrutunu, i - marşrutdakı hərəkət intervallarını, t - avtobusun saat içində dayanacağa gəlmə dəqiqəsini göstərir. A-nın qiyməti 1-ə bərabər olduqda avtobusun dayanacağa baxılan dəqiqədə gələcəyini, 0 olduqda isə gəlməyəcəyini göstərir. Məsələn $A_{r1;t(1+ki_1)} = 1$, $(k = 0,1,2...n)$ o deməkdir ki, r_1 marşrutunun avtobusları dayanacağa 1-ci, $1+i_1$-ci, $1+2i_1$-ci və s. dəqiqədə gələcək. Avtobusun gəliş vaxtı ondan əvvəl gələn avtobusun hərəkət intervalına uyğun olaraq hər dəqiqə üçün müəyyən edilir.

Təklif olunan gəlmə modeli əsasında avtobusların dayanacağa gəlmə ardıcıllığı marşrutlar üzrə cədvəl 8-dəki kimi olacaqdır.

Cədvəl 8. Real hərəkət intervalına uyğun olaraq marşrutlar üzrə dayanacağa gəlmə ardıcıllığı

Marşrut	Saatın dəqiqələri																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
50	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
62	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
64	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
81	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
51	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
49	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
57	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
60	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7a	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
44	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
70	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
54	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_{bus}	4	4	4	3	3	3	3	3	2	4	5	2	3	3	3	5	4	3	1	1

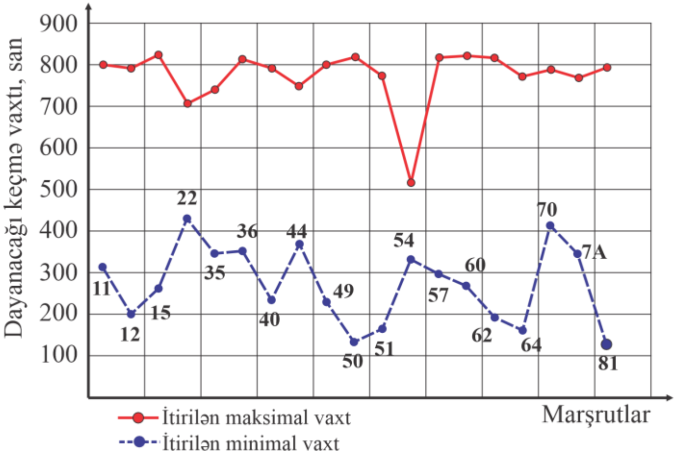
Cədvəl 8-dən göründüyü kimi təklif edilən ardıcıllıqla baxılan hər hansı bir dəqiqə üçün dayanacağa gələn avtobusların sayı (N_{bus}) 5-dən çox olmayacaq.

Təklif edilən gəlmə vaxtları üzrə mövcud hərəkət inervallarına uyğun şəkildə avtobusların dayanacağa gəlmə anlarını daxil etmək məqsədilə proqramın ***Schedule*** parametrindən istifadə edirik.

Mövcud və təklif olunan ssenarilərə əsasən avtobuslar dayanacağa yaxınlaşdığı zaman növbələr üzündən yaranan vaxt itkiləri müqayisə edildiyi üçün hesabatlarda dayanma vaxtı hər iki halda sabit (30 saniyə) qəbul edilmişdir. Real şəraitdə nəqliyyat axınının intensivliyi 1000 NV/saat, sürət həddi isə 50 km/saatdır. Mövcud şəraitə uyğun olaraq, dayanacaqda dayanacaq yerlərinin sayı 3, dayanacağın uzun-

luğu 55 metr, avtobusun özünün uzunluğu isə 12 metr qəbul edilmişdir.

Dayanacağın və avtobus marşrutlarının digər parametrləri daxil edildikdən sonra avtobus marşrutunda dayanacağın keçilməsi üçün tələb olunan vaxtın ilk 3 saatı üçün simulyasiya eksperimenti nəticəsində qeydə alınmış minimal və maksimal qiymətlərinin müqayisəsi qiymətləri Şəkil 22-də göstərilmişdir.

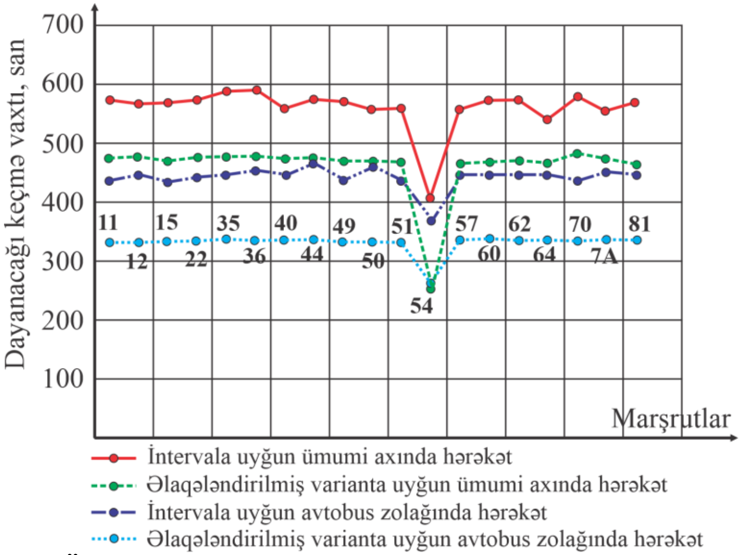


Şəkil 22. Marşrutlar üzrə avtobusların 3 saat ərzində dayanacaqdan keçməsinin sınaqlarının nəticəsində alınan minimal və maksimal qiymətlər

Avtobusların dayanacağa gəlməsinin əlaqələndirilməsi, həm də xüsusi avtobus zolaqlarının tətbiqi nəticəsində avtobusların dayanacağı keçməsinə sərf edilən vaxtın orta qiyməti ciddi şəkildə azalır. Avtobusların dayanacağa gəlməsi üçün təklif olunan modelin tətbiqi bir avtobusun dayanacaqdan keçmə müddətini orta hesabla 114,24 saniyə azaldır. Avtobusların gəlişinin təşkilinin hər iki ssenarisi üçün xüsusi avtobus zolağından istifadə edildikdə bu azalma 130,26 saniyə təşkil edir.

Şəkil 23-də ümumi axında və xüsusiləşdirilmiş hərəkət zolağı tətbiq edildikdən sonra avtobusların dayanacağa mövcud haldakı kimi hərəkət intervalına və təklif olunan əlaqələndirmə modelinə uyğun

olaraq gəlməsi hallarında dayanacağı keçmə vaxtının paylanması qrafiki verilmişdir.



Şəkil 23. Ümumi axında və xüsusiləşdirilmiş hərəkət zolağı üzrə avtobusların dayanacağı keçmə vaxtının paylanması

Avtobus zolağı tətbiq olunduqda belə tədqiq edilən period artdıqca dayanacağa nəzərdə tutulmuş intervala görə gələn avtobusların dayanacağı keçməsi üçün sərf olunan vaxt çox böyük sıçrayışla artır. Lakin eyni şərtlərdə, yəni avtobuslar üçün dayanma yerlərinin sayı eyni olduqda avtobus zolağının tətbiq olunması ilə avtobusların dayanacağa gəlmə anlarının əlaqələndirilməsi modeli üzrə dayanacağı keçmə vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

Beləliklə avtobusların dayanacağa gəlməsinin təşkilinin təklif olunan forması həm avtobuslar ümumi axınla hərəkət etdikdə, həm də xüsusi zolaqdan istifadə etdikdə effektivdir.

Dissertasiya işinin ***yeddinci fəsli*** avtobus marşrut şəbəkəsinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi metodikasının işlənib hazırlanmasına, hərəkət sıxlığı yüksək olan avtobus dayanacağına avtobusların gəlmə ardıcıllığını təklif olunan modelinin tətbiqi nəticəsində avtobusların və sərnişinlərin vaxt itkilərinin azaldılmasından əldə olun-

ması mümkün olan iqtisadi səmərənin qiymətləndirilməsinə həsr olunur.

Avtobus marşrut şəbəkəsinin bəndləri üzrə effektivlik göstəricisinin müəyyən vaxt ərzində bəndlər üzrə daşınan sərnişinlərin sayının həmin bəndin keçilmə vaxtına nisbəti kimi təyin edilməsi təklif olunur. Bu zaman marşrut şəbəkəsinin bəndləri üzrə səmərəlilik göstəricisi aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$Ef_l = \frac{Q_l}{t_l} \tag{41}$$

Burada; Q_l - l sahəsində daşınan sərnişinlərin sayı (sərnişin axını); t_l - isə p sahəsinin qət olunma vaxtıdır. Latora və Marçori ümumi nəqliyyat şəbəkəsinin işinin qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı ifadəni təklif edirlər:

$$Ef(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j \in G} \frac{1}{d_{ij}} \tag{42}$$

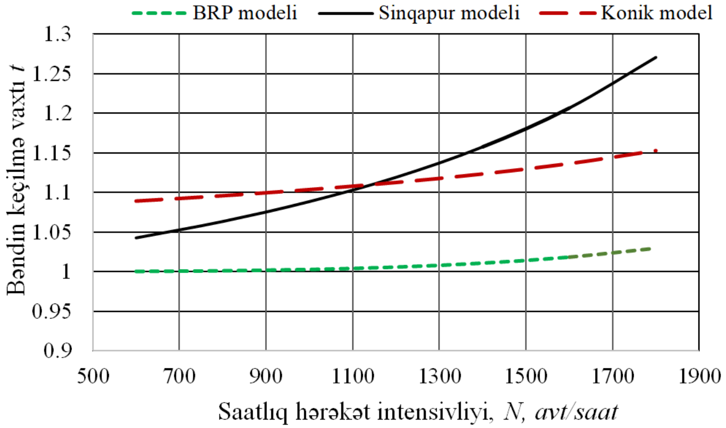
Burada; N - şəbəkədəki bəndlərin sayı, d_{ij} - i və j zirvələri arasındakı ən qısa məsafədir.

Avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin effektivliyinin müəyyən olunması zamanı daşınan sərnişinlərin sayının nəzərə alınması vacibdir. Ona görə avtobus marşrut şəbəkəsinin işinin effektivliyinin müəyyən olunması üçün aşağıdakı düsturu təklif edirik:

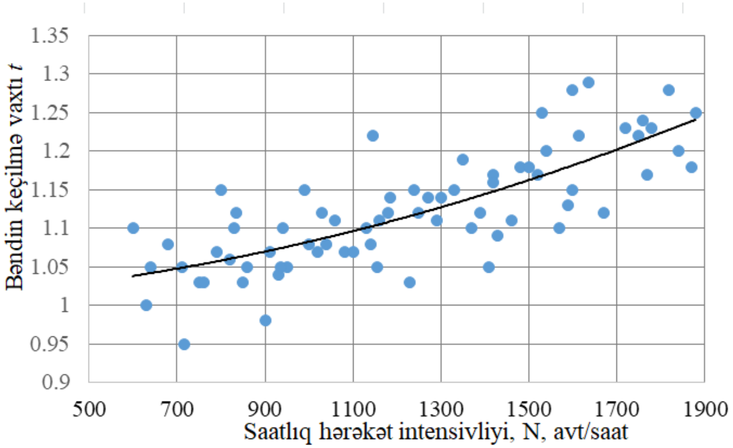
$$Ef(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j \in G} \frac{Q_{ij}}{t_{ij}} \tag{43}$$

Baxılan yol sahəsinin keçilməsinə sərf edilən vaxtın əvvəllər təklif olunmuş 3 model əsasında Bakı şəhərinin marşrut şəbəkəsinin svetofor nizamlanması tətbiq olunmuş bir bəndində (Hüseyn Cavid (Mothercare) - Elmlər Akademiyası metro st.) müxtəlif hərəkət intensivliklərində alınan qiymətlərinin dəyişmə xarakteri şəkil 24-də göstərilmişdir.

Marşrut şəbəkəsinin baxılan bəndində canlı müşahidələrlə əldə edilən nəticələrə əsasən bənddə avtobusların itirdiyi vaxtın saatlıq hərəkət intensivliyindən asılı olaraq paylanma xarakteri şəkil 25-də göstərilmidir.



Şəkil 24. Müxtəlif modellərin tətbiqi ilə marşrut şəbəkəsinin bəndinin keçilmə vaxtının dəyişməsi



Şəkil 25. Real şəraitdə marşrut şəbəkəsinin bəndinin keçilmə vaxtının nəqliyyat axınının intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi

Şəkil 25-dəki trend əyrisinin xarakteri və üzərindəki qiymətlər kifayət qədər dəqiqliklər vaxt itkisinin müəyyən edilməsi üçün Sinqapur modelinin tətbiqi zamanı alınan əyrinin xarakterinə və qiymətlərinə uyğun gəlir.

Onda şəhər marşrut şəbəkəsinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün düsturu aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$Ef(G)=\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i\neq j\in G}\frac{Q_{ij}}{\frac{l_{ij}}{V_{ij}^{0}}+0{,}9\left[\frac{C(1-\lambda)^{2}}{2(1-\lambda x_{ij})}+\frac{x_{ij}^{2}}{2N_{ij}(1-x_{ij})}\right]} \qquad (44)$$

Nəqliyyat prosesinin təşkilində yaranan vaxt itkilərinin gündəlik qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir[7]:

$$Q_{gvi}=\sum_{i}T_{l}Q_{v}ZN \qquad (45)$$

Burada T_l - gündəlik vaxt itkiləri, Q_v - vahid vaxt itkilərinin qiyməti, man, Z - zəbtetmə dərəcəsi, N - keçən nəqliyyat vasitələrinin sayıdır.

(45) düsturuna əsasən baxılan dayanacaq zonasından avtobusların keçməsi üzrə vaxt itkilərinə qənaətin aşağıdakı düsturla təyin edilməsi məqsədəuyğundur:

$$Q_{gvi}=\frac{T_{qi}}{3600}\frac{D_{i}}{t_{pi}}A_{i}Q_{vi}365 \qquad (46)$$

Burada: - T_{qi} -Baxılan vaxt ərzində bir avtobus üçün təklif olunan əlaqələndirilmiş gəlmə vaxtının təmin edilməsindən vaxta qənaət, san; D_i - marşrutda gündəlik iş saatlarının sayı, saat; A_i - baxılan period ərzində keçən avtobusların sayı, t_{pi} - baxılan periodun uzunluğu, saat; Q_v - vahid vaxt itkilərinin qiymətidir, man. Avtobuslar üçün onların gətirdiyi gündəlik qazancın bir saat düşən hissəsi kimi qəbul edilir və Bakı şəhəri üçün orta hesabla 10 manat götürülə bilər.

Baxılan dayanacaqda marşrutlarda avtobusların işinin əlaqələndirilməsinin təklif edilən modelinə uyğun olaraq avtobuslar ümumi axında hərəkət etdiyi halda il ərzində vaxt itkilərinə qənaətdən əldə edilən səmərə 381045 man, xüsusi zolaqda hərəkət etdiyi halda 446285 man olacaqdır.

Baxılan vaxt ərzində dayanacağa gələn avtobusların sayına əsasən dayanacağı keçmə vaxtının azaldılmasından əldə edilən illik iqtisadi

---

[7] Bivina, G.R. Socio Economic Valuation of Traffic Delays / G.R.Bivina, L,Vishrut, K.V.S Sanjay // Transportation Research Procedia, - 2016, 17, - p. 513-520

səmərə avtobusların gəlməsinin simulyasiya eksperimenti nəticəsində yaranan qiymətlərinə görə ümumi axında 379974 man, xüsusi zolaqda hərəkət edərkən 450572 man olacaqdır.

Sərnişinlərin əlavə gözləmə vaxtının dəyərini gözləmə vaxtına, bir saat üçün müəyyən edilmiş xərcə və sərnişinlərin sayına görə qiymətləndirmək olar[8]:

$$X_{üm} = \frac{t_{göz} Q S_n}{60} \tag{47}$$

Burada $t_{göz}$ - sərnişinlərin orta gözləmə vaxtı,san; Q - daşınan sərnişinlərin sayı, nəfər, S_n - bir iş saatının qazanc normasıdır, man. Bir norma-saatın dəyəri işçilərin orta qazancına uyğun 2 manat götürülə bilər.

46 və 47 düsturlarını nəzərə alaraq dayanacaq məntəqəsində avtobusların ləngiməsinin azaldılması nəticəsində sərnişinlərin itirdikləri vaxtın azalmasından illik qənaəti aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$X_{üm-sern} = \frac{t_{göz} A q \gamma S_n}{3600} \frac{D_i}{t_{pi}} 365 \tag{48}$$

Burada: q - avtobusun nominal sərnişin tutumu, sərn; γ - avtobusun dolma əmsalıdır (baxılan dayanacaqdan keçən avtobus marşrutları üçün gündəlik orta qiymət $\gamma = 0{,}4$).

Dayanacağa gəlmə vaxtlarının təklif olunan modelinin tətbiqi nəticəsində sərnişinlərin vaxt itkilərinə qənaətdən illik iqtisadi səmərə avtobusların ümumi nəqliyyat axınında hərəkəti zamanı 2333892 man, avtobusların xüsusi hərəkət zolağında hərəkəti zamanı 2735286 man olacaqdır.

Avtobuslar ümumi axında hərəkət edərkən dayanacağa gəlmə vaxtları təklif olunan modelə uyğun olaraq həyata keçirildikdə baxılan dayanacaq üçün avtobusların və sərnişinlərin ləngimə vaxtının azalması nəticəsində əldə olunacaq ümumi illik səmərə 2714937 man, xüsusi zolaqda hərəkət edərkən 3181571 man olacaqdır.

---

[8] Бычков В. П. Управление системой городского пассажирского транспорта: монография / В. П. Бычков, Г. В. Шипилов : Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА», Воронеж, 2009. - 155 с.

NƏTİCƏ

1.Şəhər ictimai nəqliyyatına, o cümlədən şəhər avtobus daşımalarına logistik yanaşmanın əsas tələbləri sərnişinlərə keyfiyyətli daşıma xidmətinin göstərilməsidir. Sərnişinlərə xidmət keyfiyyətinin yüksək səviyyədə saxlanması üçün şəhər avtobus marşrut şəbəkəsinin işinə sərnişinlərin münasibətinin və tələbatın öyrənilməsi vacibdir [7,9].

2.Şəhər ictimai nəqliyyatının keyfiyyətini müəyyən edən çoxsaylı göstəricilər arasında sərnişinləri daha çox təhlükəsizlik, çatdırılma müddəti, gediş rahatlığı maraqlandırır. Bakı şəhərində 2022-ci ildə keçirilən sorğularda rəyi soruşulanların əksəriyyəti ictimai nəqliyyatın alternativ növləri şəbəkəsinin yaradılmasını məqsədəuyğun hesab edir. Yeni nəqliyyat növünün şəbəkəsinin yaradılması digər ictimai nəqliyyat növlərinin marşrut və nəqliyyat vasitələrinə tələbin yenidən qiymətləndirilməsinə zərurət yaradacaq [17].

3.Sürətli avtobus marşrut sisteminin yaradılması şəhərlərdə alternativ avtobus daşımaları kimi çox səmərəlidir, yaradılması böyük vəsaitlər tələb etmir, Bakı şəhərinin bir neçə magistral küçəsində yaradılması üçün əlverişli şərtlər var [11].

4.Avtobus marşrut şəbəkəsində xidmət keyfiyyətinin təmin etmək məqsədi ilə sərnişinlərin tələbatına uyğun çoxkriteriyalı qərarvermə metodlarından (AHP və TOPSİS) istifadə etməklə hərəkət tərkiblərinin seçilməsi metodikası təklif olunur və bu metodika şəhər və şəhərətrafı marşrutlarda avtobusların seçilməsi üçün istifadə oluna bilər [15].

5. Avtobus dayanacaqlarının fərqli təşkili formalarında dayanacaq zonasından keçən nəqliyyat vasitələrinin vaxt itkilərinin təklif edilən simulyasiya modeli ilə aparılan sınaqlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, səki kənarında avtobus dayanacaqları üçün nəqliyyat axınlarının ləngimələri daha böyük qiymətlər alır. Bu ləngimə hərəkət zolaqlarının sayı az olduqda daha kəskin şəkildə ortaya çıxır. Cibdəki avtobus dayanacağına avtobusların gəlmə tezliyinin artması nəqliyyat axınının ləngimələrini artırır. Lakin nəqliyyat axınının intensivliyinin artması bu artıma ciddi təsir göstərmir [21].

6.Şəhər marşrutlarının sahələrində müxtəlif amillərin avtobusların hərəkət sürəti və vaxtına təsirinin analizi aparılmışdır. Analizin nəticələri göstərir ki, təsir göstərən amillər sabit qaldıqda yalnız avtomobil və sürücü amilinin təsiri ilə avtobusun marşrut sahələri üzrə hərəkət vaxtı geniş diapazonda dəyişir [2].

7.İctimai nəqliyyatda əsas keyfiyyət göstəricilərindən biri olan çatdırma vaxtının qısaldılması üçün marşrut sahələrində təsadüfi ləngimələrin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması üçün riyazi model işlənib hazırlanmışdır. Avtobus marşrutlarında ləngimələrin svetoforların iş rejimlərindən asılı olduğunu nəzərə alaraq prosesə zamana görə kəsilməz diskret Markov prosesi kimi baxılması təklif olunmuşdur. Təklif edilən metodika avtobusların hərəkət cədvəllərinin tərtib edilməsi zamanı itirilən vaxtın qiymətləndirilməsində istifadə edilə bilər [22,23,24].

8.Dayanacaqları üst-üstə düşən avtobus marşrutlarında avtobusların dayanacaqlarda vaxt itkilərinin azaldılması üçün hərəkət intervalları üzrə marşrutları qruplaşdırılması və dayanacağa gəlmə anlarının ardıcıllığının analitik metodu təklif edilmişdir [4]. Avtobus marşrut şəbəkəsinin simulyasiya modelinin yaradılması metodikası işlənib hazırlanmışdır. Bu metodika avtobusların bütün şəbəkə və ya onun hissələri üzrə müxtəlif hərəkət şəraitinə malik yol sahələrindən keçməsi zamanı onun hərəkətinin ləngiməsinə səbəb olan real maneələri ortaya çıxarmağa imkan yaradır [12,13,14,18].

9.Çoxlu sayda avtobus marşrutunun keçdiyi avtobus dayanacaqlarında avtobusların dayanacağa gəlmə ardıcıllığının riyazi iterasiya modeli təklif olunmuşdur və simulyasiya sınaqları təklif edilən modelin səmərəli oluğunu göstərir [20].

10.Marşrut şəbəkəsinin bəndləri üzrə iş effektivliyinin vahid zamanda bənddən keçən sərnişinlərin sayının hesablanması əsasında qiymətləndirilməsi metodikası işlənib hazırlanmışdır və tətbiqi marşrutda real hərəkət şəraitlərini daha çox əks etdirməyə imkan verir [19].

11.Avtobus marşrut şəbəkəsinin intensiv istifadəli dayanacaqda avtobusların əlaqələndirilmiş gəlmə ardıcıllığının tətbiqi iqtisadi cəhətdən də səmərəlidir.

DİSSERTASİYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1.Дашдамиров, Ф.С. Влияния дорожных факторов на время движения автобуса по маршруту // Вестник Воронежского Государственного Технического Университета, - 2011, 7(4), - с. 98-100

2.Dashdamirov, F. Study of bus driving parameters on urban route // Transport problems, - 2011, 6(4), - p. 79-85.

3.Daşdəmirov, F.S. Nəqliyyat axınının sürətinin avtobusların xəttə işinə təsiri // "Heydər Əliyev və Azərbaycan təhsili" mövzusunda Respublika Elmi konfransı, AzTU, Bakı, - 07-08 may. 2013, - s. 299-301.

4.Dashdamirov, F. Coordination of the work of buses in city routes // Transport Problems, International scientific journal. ISSN 1896-0596. The Silesian University of Texnology, - 2013, 8(4), - p. 77-82

5.Daşdəmirov, F.S. Dayanacaqları üst-üstə düşən marşrutlarda avtobusların işinin təşkili // Nəzəri və Tətbiqi Mexanika, - 2015, №4, - s. 58-62.

6.Daşdəmirov, F.S. İctimai nəqliyyatın dayanacağının buraxma qabiliyyətinə təsir edən amillər // AzTU-nun elmi əsərləri, Bakı, - 2015. №4, - s.120-123.

7.Daşdəmirov, F.S. Şəhər avtobus sərnişin daşımalarına logistik yanaşma // Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar. Beynəlxalq elmi-texniki konfrans. AzTU. - 28-30 sentyabr. 2016, - s. 550-552.

8.Daşdəmirov, F.S. Avtobuslarda sərnişinlərin hərəkət təhlükəsizliyi şəhər sərnişin nəqliyyatının logistik sistemində xidmət keyfiyyətinin göstəricisi kimi // "Azərbaycan Respublikasının nəqliyyat-yol kompleksinin inkişaf perspektivləri" mövzusunda Respublika Elmi-praktik Konfransının materialları. AzMİU, Bakı, - 14-15 dekabr. 2017, - s. 58-60.

9.Daşdəmirov, F.S., Əliyev Ə.Ə. Şəhər sərnişin daşima xidməti və onun logistik idarə olunmasi // I beynəlxalq elmi və praktiki konfrans. – Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan, - 02-05 Oktyabr 2018, - s. 23-26.

10.Daşdəmirov, F.S., Əfəndiyev E.M. Şəhər avtobus marşrutlarında hərəkət sürətini formalaşdıran amillər və hərəkət sürətinin yüksəldilməsi üsulları // "Azərbaycanın nəqliyyatı: nailiyyətlər, problemlər və perspektivlər" mövzusunda Respublika Elmi konfransı, AzTU, Bakı, - 16-17 aprel. 2019, - s. 9-11.
11.Daşdəmirov, F. Şəhər sürətli avtobus marşrut şəbəkəsinin yaradılması üzrə tədbirlər planının işlənib hazırlanması // "Azərbaycanın nəqliyyatı: nailiyyətlər, problemlər və perspektivlər" mövzusunda Respublika Elmi konfransı, AzTU, Bakı, - 16-17 aprel. 2019, - s. 19-21.
12.Daşdəmirov, F.S. Anylogic mühitində marşrut şəbəkəsinin imitasiya modelləşdirilməsi // Peşə təhsili və insan kapitalı, - 2020, 3(2), - s. 73-77.
13.Dashdamirov, F.S. Creation of a simulation model of bus traffic in urban routes // Вісник Приазовського Державного Технічного Університету, Серія: Технічні науки, - 2020, 41, - p. 203-211
14.Daşdəmirov, F.S. Avtobus marşrut şəbəkəsi üçün agentə əsaslanan imitasiya modelinin yaradılması // Dördüncü sənaye inqilabının texnoloji perspektivləri: sənaye interneti, kiberfiziki sistemlər və intellektual texnologiyalar: Azərbaycan Texniki Universitetinin 70 illik yubileyinə həsr olunmuş respublika Elmi-Texniki konfransının materialları, - 26-27 noyabr, 2020, - s. 254-258.
15.Daşdəmirov, F. Şəhər və şəhərətrafi marşrutlarda hərəkət tərkiblərinin seçilməsində çox kriteriyali qərar qəbuletmə üsullarinin tətbiqi / F.Daşdəmirov, T.Kərimli // Peşə təhsili və insan kapitalı jurnalı, - 2021, 4 (4), - s. 74-78.
16. Daşdəmirov, F.S., Cavadlı, U.Y, Verdiyev, T.Ş. Şəhərlərdə nəqliyyat hərəkətliliyi problemləri və onların həllində istifadə olunan üsullar // Azərbaycan Respublikasında Nəqliyyat və Logistikanın aktual problemləri mövzusunda respublika konfransı . AzMİU, Bakı, - 02 dekabr 2022, - s. 14-16.
17.Dashdamirov, F. Comparative analysis of the weight and quality of urban bus transport services: a case study of Baku / F.Dashdamirov, U. Javadli, T. Verdiyev // Scientific Journal of

Silesian University ofTechnology. Series Transport. - 2022, 116, - p. 99-111.
18.Dashdamirov, F. Modeling of buses operation at stops with intensive use // 3rd ISPC «Concepts for the Development of Society's Scientific Potential» (Prague, Czech Republic). *Scientific Collection «InterConf+»*, November 19-20, 2022, 27(133), - p. 342-352.
19. Daşdəmirov, F. Avtobus marşrut şəbəkəsinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi metodikası // AzTU-nun elmi əsərləri. - 2023, 1, - s. 44-51.
20.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.
21.Dashdamirov F., Abdurrazzokov U., Ziyaev K., Verdiyev T. and Javadli U. Simulation testing of traffic flow delays in bus stop zone // V International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO, - E3S Web of Conferences, - 2023, 401, p.1-10
22.Dashdamirov, F. Assessment of time loss of buses in the route network // 6th ISPC «Scientific Trends and Trends in the Context of Globalization», Umeå, Sweden. Scientific Collection «InterConf+», - September 19-20, 2023, 37(171), - p. 86-96.
23.Daşdəmirov, F.S. İşıqfor obyektlərinin yerləşdiyi sahələrdə marşrut avtobuslarının ləngimə variantlarının təhlili // Peşə təhsili və insan kapitalı jurnalı, - 2023, 6(4), - s. 53-58.
24.Dashdamirov, F. Determination of bus delays at intersections of the route section // Railway transport: topical issues and innovations, - 2023, № 4, - p.74-81.

Dərc edilmiş işlərdə müəllifin iştirakı.

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24] saylı işlər iddiaçı tərəfindən müstəqil olaraq yerinə yetirilmişdir.

[9, 10, 15, 16, 21] saylı işlərdə məsələlərin qoyuluşu, nəzəri tədqiqatlar, nəticələrin işlənməsi iddiaçı tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

Dissetasiyanın müdafiəsi ... . tarixində saat ....-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1073, Bakı ş., H. Cavid pr. 25, Azərbaycan Texniki Universiteti, otaq ......

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat .. .. tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: ....
Kağızın formatı: A5
Həcm: 73703 işarə
Tiraj: 100