

SHAHAR YO'L TARMOQLARI VA AVTOMOBIL TRAFIK TIRBANDLIGI: SABABLARI, BAHOLASH USULI VA INTEGRATSIYALANGAN YENGILLASHTIRISH STRATEGIYALARI

Davlatov Ikrom Shavxidinovich

*Samarqand Davlat texnika universiteti (SDTU) "Shaharsozlik" kafedrası katta
o'qituvchisi,*

Tog'aymurodov Zavqiddin Zayniyevich

SDTU "Shahar qurilishi va loyihalash" yo'nalishi talabasi

Annotatsiya. Tez urbanizatsiya, avtomobillashtirishning ortib borishi va bandlik va xizmatlarning fazoviy konsentratsiyasi shahar yo'l tarmoqlariga tobora ko'proq bosim o'tkazmoqda. Yo'l harakati tirbandligi nafaqat transport muammosi, balki sayohat vaqti, iqtisodiy unumdorlik, energiya iste'moli, havo sifati, yo'l harakati xavfsizligi va ijtimoiy qulaylikka ta'sir qiluvchi ko'p o'lchovli shaharsozlik muammosidir. Ushbu maqolada yo'l infratuzilmasi va avtomobil tirbandligi o'rtasidagi bog'liqlik o'rganiladi, takroriy va takroriy bo'lmagan tirbandlikni keltirib chiqaradigan asosiy mexanizmlar aniqlanadi va muhandislik, rejalashtirish, siyosat va raqamli aralashuvlar tizimlashtiriladi. Adabiyotga asoslangan analitik yondashuv qo'llanildi, unda talabning klassik nazariyalari, tarmoq muvozanati va to'siq bo'shlig'i ta'siri talabni boshqarish siyosati, aqlli transport tizimlari (ITS), sun'iy intellekt va integratsiyalashgan shahar harakatchanligi haqidagi so'nggi dalillar bilan birlashtirildi. Tahlil shuni ko'rsatadiki, yo'l harakati sig'imini oshirishning o'zi tirbandlikning barqaror kamayishini kafolatlay olmaydi, chunki qo'shimcha sig'im qo'shimcha avtomobil harakatini rag'batlantirishi mumkin. Yo'l tarmog'ini takomillashtirish moslashuvchan yo'l harakati signallarini boshqarish, jamoat transporti ustuvorligi, to'xtash joyi va talabni boshqarish, muvofiqlashtirilgan yerlardan foydalanishni rejalashtirish, real vaqt rejimida ma'lumot va multimodal kirish imkoniyati bilan birlashtirilganda yanada mustahkam natijalarga erishiladi. Yo'l harakati sig'imi, transport harakati talabi, tarmoq topologiyasi, nazorat sifati va yo'lovchilarning xatti-harakatlari o'zaro ta'sir qiluvchi o'zgaruvchilar sifatida ko'rib chiqiladigan kontseptual asos taklif qilingan. Maqola rivojlanayotgan shaharlar bo'yicha tavsiyalar bilan

yakunlanadi, bu ayniqsa Markaziy Osiyodagi tez rivojlanayotgan shahar markazlari uchun dolzarbdir.

Kalit so'zlar: shahar yo'llari; transport tirbandligi; yo'l sig'imi; transportga talab; aqlli transport tizimlari; transportni boshqarish; induktsiyalangan talab; barqaror harakatchanlik; shaharsozlik.

Аннотация. Стремительная урбанизация, рост уровня автомобилизации, а также пространственная концентрация рабочих мест и объектов сферы услуг создают растущую нагрузку на городские дорожные сети. Заторы на дорогах — это не просто транспортная проблема, а многогранная задача градостроительства, влияющая на время в пути, экономическую продуктивность, энергопотребление, качество воздуха, безопасность дорожного движения и социальное благополучие. В данной статье рассматривается взаимосвязь между дорожной инфраструктурой и заторами, выявляются основные механизмы возникновения как регулярных, так и нерегулярных заторов, а также систематизируются меры инженерного, планировочного, административного и цифрового характера. Исследование базируется на аналитическом подходе, объединяющем классические теории спроса, сетевого равновесия и эффекта «узкого места» с современными данными о политике управления спросом, интеллектуальных транспортных системах (ИТС), искусственном интеллекте и интегрированной городской мобильности. Анализ показывает, что одно лишь увеличение пропускной способности дорог не гарантирует устойчивого снижения интенсивности заторов, поскольку дополнительная пропускная способность может спровоцировать рост транспортного потока. Модернизация дорожной сети дает более эффективные результаты в сочетании с адаптивным управлением светофорами, приоритетом для общественного транспорта, управлением парковкой и спросом, скоординированным планированием землепользования, информированием в режиме реального времени и обеспечением мультимодальной доступности. Предложена концептуальная модель, в которой пропускная способность, транспортный спрос, топология сети, качество управления и поведение пассажиров рассматриваются как взаимосвязанные переменные. В заключение статьи

приводятся рекомендации по развитию городов, которые особенно актуальны для быстрорастущих городских центров Центральной Азии.

Ключевые слова: городские дороги; заторы; пропускная способность дорог; транспортный спрос; интеллектуальные транспортные системы; управление дорожным движением; индуцированный спрос; устойчивая мобильность; градостроительство.

Abstract: Rapid urbanization, increasing motorization, and spatial concentration of employment and services are putting increasing pressure on urban road networks. Traffic congestion is not only a transportation problem, but also a multidimensional urban planning problem that affects travel time, economic productivity, energy consumption, air quality, road safety, and social amenity. This paper explores the relationship between road infrastructure and traffic congestion, identifies the main mechanisms that cause recurrent and non-recurrent congestion, and systematizes engineering, planning, policy, and digital interventions. A literature-based analytical approach is used, combining classical theories of demand, network balance, and bottleneck effects with recent evidence on demand management policies, intelligent transportation systems (ITS), artificial intelligence, and integrated urban mobility. The analysis shows that increasing road capacity alone cannot guarantee sustainable reductions in congestion, as additional capacity may encourage additional car traffic. Road network improvements are more likely to achieve sustainable results when combined with adaptive traffic signal management, public transport prioritization, parking and demand management, coordinated land-use planning, real-time information, and multimodal accessibility. A conceptual framework is proposed that considers road capacity, traffic demand, network topology, control quality, and passenger behavior as interacting variables. The paper concludes with recommendations for developing cities, which are particularly relevant for the rapidly developing urban centers of Central Asia.

Keywords: Keywords: urban roads; traffic congestion; road capacity; transport demand; intelligent transport systems; traffic management; induced demand; sustainable mobility; urban planning.

1. Kirish. Shahar yo'l tarmoqlari shaharning asosiy fazoviy va funktsional tizimlaridan birini tashkil qiladi. Ular bandlik, ta'lim, sog'liqni saqlash xizmatlari, tijorat va jamoat ob'ektlariga kirishni ta'minlaydi, shu bilan birga yuk tashish va favqulodda xizmatlarni qo'llab-quvvatlaydi. Biroq, avtomobil egalarining kengayishi sayohat talabini yo'l tarmog'ining ushbu talabni qondirish qobiliyatidan tezroq oshirishi mumkin. Yo'ldan foydalanadigan transport vositalari soni uning samarali sig'imiga yaqinlashganda yoki undan oshib ketganda, harakatlanish tezligi pasayadi, navbatlar paydo bo'ladi va sayohatlarning ishonchliligi pasayadi.

Shuning uchun tirbandlikni shunchaki yo'l kengligining yetishmasligi sifatida emas, balki talab va transport tarmog'ining operatsion imkoniyatlari o'rtasidagi dinamik nomuvofiqlik sifatida tushunish kerak. Zamonaviy tadqiqotlar tirbandlik infratuzilma, transport talabi, sayohat xatti-harakati, yerlardan foydalanish tuzilishi, transportni boshqarish va tashqi buzilishlarning o'zaro ta'siri natijasida yuzaga kelishini ta'kidlaydi. Tizimli dalillar shuni ko'rsatadiki, qo'shimcha yo'l imkoniyatlarini yaratish universal darajada samarali emas, chunki induktsiyalangan transport qo'shilgan imkoniyatlarni qisman yoki to'liq o'zlashtirishi mumkin. So'nggi sharhlar shuni ko'rsatadiki, talabni boshqarish choralari jamoat transportini takomillashtirish va shaxsiy avtomobil sayohatiga boshqa alternativalar bilan birlashtirilganda yanada bardoshli bo'ladi. [1–3]

Ilmiy muammo, ayniqsa, yo'l infratuzilmasi, transport vositalariga egalik qilish va aholining o'sishi bir vaqtning o'zida sodir bo'ladigan tez urbanizatsiyalashayotgan shaharlar uchun juda muhimdir. Bunday sharoitlarda faqat chorrahalarini kengaytirish yoki yangi yo'l aloqalarini qurishga asoslangan an'anaviy yondashuvlar vaqtinchalik yengillik berishi mumkin, ammo tirbandlikning strukturaviy sabablarini bartaraf eta olmaydi. Ushbu maqolaning maqsadi shahar yo'llarida avtomobil tirbandligini tushunish uchun integratsiyalashgan analitik asosni ishlab chiqish va uning davomiyligi, fazoviy ko'lami va ijtimoiy-iqtisodiy xarajatlarni kamaytirishning amaliy strategiyalarini aniqlashdir.

Tadqiqot savollari quyidagilar: (1) qaysi infratuzilma va xulq-atvor omillari tirbandlikka eng kuchli ta'sir qiladi; (2) nima uchun qo'shimcha yo'l sig'imi ba'zan uzoq muddatli yaxshilanishlarga olib kelmaydi; (3) muhandislik, rejalashtirish, siyosat va

raqamli choralarning qaysi kombinatsiyalari eng istiqbolli hisoblanadi; va (4) tizimni tez rivojlanayotgan shaharlarga qanday moslashtirish mumkin?

2. Adabiyotlar sharhi va nazariy asoslar

Shahar tirbandligi haqidagi zamonaviy ilmiy munozara bir nechta bir-birini to'ldiruvchi tushunchalarga asoslangan. Birinchisi, sig'im-talab munosabati: transport hajmi yo'l sig'imiga yaqinlashganda, har bir qo'shimcha transport vositasi tomonidan yuzaga keladigan chekka kechikish keskin oshadi. Ikkinchisi - tarmoq muvozanati, unga ko'ra sayohatchilar sayohat vaqtlariga javoban o'zlarini mavjud yo'nalishlar bo'yicha qayta taqsimlaydilar. Uchinchisi - talabni keltirib chiqaradi, bunda yo'l sig'imining oshishi umumiy sayohat xarajatlarini kamaytirishi va qo'shimcha sayohatlar, uzoqroq sayohatlar, manzildagi o'zgarishlar, marshrut o'zgarishlari va rejim o'zgarishlarini rag'batlantirishi mumkin.

Yo'llarning sig'imi va tirbandligi haqidagi klassik adabiyotlar tirbandlikni faqat geometrik muhandislik muammosi sifatida ko'rib chiqmaslik kerakligini ko'rsatadi. Daunsning eng yuqori soatlardagi tirbandlik bo'yicha ishi va Mogrijning shahar transportini tahlili yo'l harakati va jamoat transporti o'rtasidagi o'zaro ta'sirni ta'kidlaydi. Keyinchalik Duranton va Tyorner avtomobil yo'llarining sig'imining oshishi transport vositalarining harakatlanishining sezilarli darajada oshishi bilan bog'liq bo'lishi mumkinligi haqida empirik dalillarni taqdim etdilar. Buning ma'nosi shundaki, yo'l qurilishi har doim ham istalmagan, balki sig'im loyihalari kengroq transport tizimi doirasida baholanishi kerak. [4–7]

Yana bir muhim nazariy hissa Braess paradoksi bo'lib, unda tarmoqqa yo'l aloqasini qo'shish ma'lum sharoitlarda umumiy sayohat vaqtini yomonlashtirishi mumkin, chunki individual marshrut tanlovlari tarmoqning muvozanatini o'zgartiradi. Bu hodisa tarmoqning ishlashi nafaqat umumiy yo'l sig'imiga, balki topologiya va foydalanuvchi xatti-harakatlariga ham bog'liqligini ko'rsatadi. [8]

Tiqilishni takroriy va takroriy bo'lmagan shakllarga ham ajratish mumkin. Takroriy tirbandlik ertalab va kechqurun eng yuqori cho'qqilar kabi yuqori talabga ega joylarda va vaqtlarda oldindan aytib bo'ladigan tarzda yuzaga keladi. Takroriy bo'lmagan tirbandlik avariylar, yo'l ishlari, noqulay ob-havo, maxsus hodisalar, transport vositalarining

nosozligi yoki boshqa tartibsizliklar natijasida yuzaga keladi. Boshqaruv strategiyalari farq qiladi: takroriy tirbandlikni talabni boshqarish, signallarni muvofiqlashtirish va multimodal rejalashtirish orqali hal qilish mumkin, takroriy bo'lmagan tirbandlik esa tezkor hodisalarni aniqlash, ma'lumot tarqatish va tarmoqni tiklashni talab qiladi.

So'nggi tadqiqotlar ushbu tushunchalarni ma'lumotlarga asoslangan usullar orqali kengaytiradi. Mashinada o'rganish, kompyuter ko'rish, narsalar interneti sensorlari, ulangan transport vositalari va raqamli egizaklar yo'l harakati holatini baholash va bashorat qilish uchun tobora ko'proq foydalanilmoqda. Shahar transportida sun'iy intellekt qo'llanmalarining 2026-yilda o'tkazilgan tizimli tadqiqoti fazoviy-vaqtinchalik bashorat qilish, moslashuvchan boshqaruv, xavfsizlik tahlili va barqaror harakatchanlikni rejalashtirishdan foydalanishning ortib borayotganini, shu bilan birga tushuntirish, infratuzilma cheklovlari va real hayotda joylashtirish bilan bog'liq muammolarni aniqlayotganini xabar qiladi. [9]

3. Yo'l infratuzilmasi transport samaradorligini belgilovchi omil sifatida

Shahar yo'llarining ishlashi geometrik, operatsion va tarmoq xususiyatlarining o'zaro ta'siriga bog'liq. Muhim geometrik o'zgaruvchilar qatoriga yo'laklar soni, yo'lak kengligi, kesishma oralig'i, burilish radiusi, kirish zichligi va yo'l chetidagi ishqalanish kiradi. Operatsion o'zgaruvchilarga yo'l signali vaqti, jamoat transportining to'xtash tartiblari, to'xtash joylaridagi xatti-harakatlar, piyodalar o'tish joylari va qonuniylik kiradi. Tarmoq o'zgaruvchilari ulanish, ortiqchalik, ierarxiya va muqobil yo'nalishlar bo'yicha transportning taqsimlanishini o'z ichiga oladi.

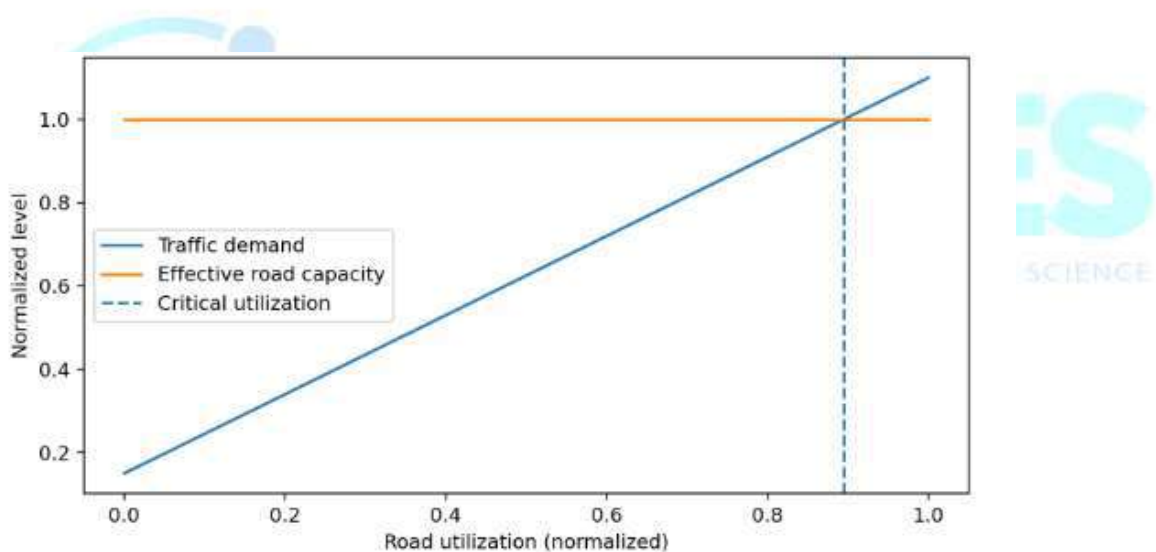
Yo'l ierarxiyasi ayniqsa muhimdir. Magistral yo'llar asosan harakatlanish orqali xizmat qilishi kerak, kollektor yo'llari esa transportni mahalliy hududlar va arterial tizim o'rtasida taqsimlaydi. Mahalliy ko'chalar ortiqcha yuklangan magistrallarning o'rnini bosuvchi sifatida ishlatilganda, turar-joy hududlarida shovqinning ko'payishi, xavfsizlik xavfi va motorli va motorsiz foydalanuvchilar o'rtasidagi nizolar yuzaga kelishi mumkin. Yaxshi ishlab chiqilgan ierarxik tarmoq funktsiyalarni ajratishi va oldindan aytib berishni yaxshilashi mumkin.

Chorrahalarida ko'pincha shahar tarmoqlarining samarali to'siqlari mavjud. Yo'l qismi yetarli nazariy sig'imga ega bo'lsa ham, signalizatsiya qilingan chorrahalar, burilish

harakatlari va piyodalar fazalari o'tish qobiliyatini cheklashi mumkin. Shuning uchun, agar quyi oqimdagi chorraha cheklangan bo'lib qolsa, chorrahalar orasiga shunchaki bo'laklarni qo'shish cheklangan foyda keltirishi mumkin.

Kirishni boshqarish yana bir muhim omil hisoblanadi. Tez-tez yo'lakchalar, yo'l chetidagi nazoratsiz to'xtash joylari, tijorat yuklamalari va norasmiy to'xtashlar samarali sig'imni kamaytiradigan tartibsizliklarni keltirib chiqaradi. Shuning uchun ko'plab rivojlanayotgan shaharlarda bo'laklarning nominal soni haqiqiy operatsion sig'imni oshirib yuboradi.

1-rasmda markaziy tamoyil ko'rsatilgan: foydalanish yo'l segmentining samarali sig'imiga yaqinlashgan sari, tizim qo'shimcha talab va buzilishlarga tobora sezgir bo'lib boradi. Muhim nuqta har bir ob'ekt uchun bir xil emas; u transport tarkibiga, chorrahalarini boshqarishga, haydovchilarning xatti-harakatlariga va yo'l geometriyasiga bog'liq.



1-rasm. Yo'l harakati talabi va samarali yo'l sig'imi o'rtasidagi bog'liqlik.

4. Avtomobil tirbandligining sabablari va mexanizmlari

Tiqilish sabablarini beshta o'zaro ta'sir qiluvchi toifaga bo'lish mumkin.

Birinchidan, talabning o'sishi aholining o'sishi, daromadlarning oshishi, transport vositalariga egalik qilish va shaharlarning kengayishi bilan bog'liq. Aholi yashaydigan hududlar bandlik va xizmatlardan uzoqda joylashganda, sayohat davomiyligi oshadi va xususiy transport vositalari yanada jozibador bo'lib qoladi.

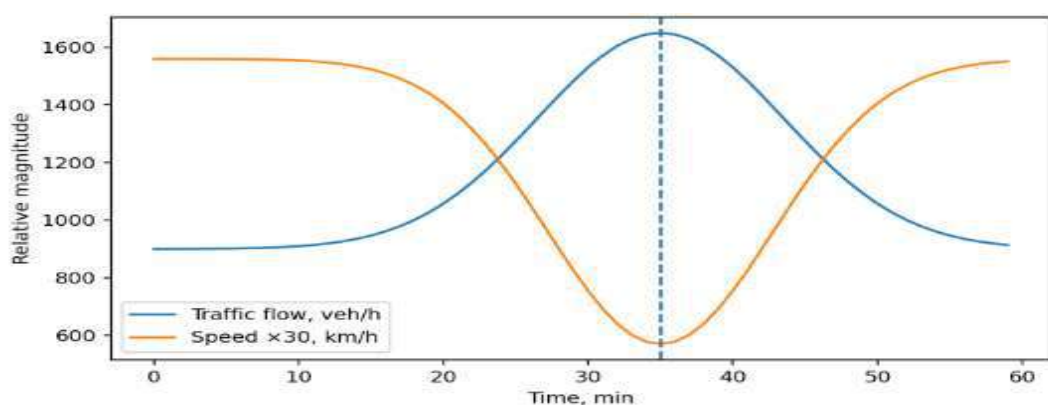
Ikkinchidan, fazoviy tuzilish oqimlarning konsentratsiyasiga ta'sir qiladi. Markaziy biznes tumanlari, yirik bozorlar, universitetlar, kasalxonalar va transport terminallari kuchli yo'nalish cho'qqilarini hosil qiladi. Agar bir nechta faoliyat markazlari cheklangan miqdordagi yo'laklar orqali ulangan bo'lsa, to'siqlar paydo bo'ladi.

Uchinchidan, infratuzilma cheklovlari chorrahalarining yetarli emasligi, uzluksiz yo'l tarmoqlari, burilish yo'laklarining yetarli emasligi, kirishni boshqarishning sustligi, tor ko'priklar va cheklangan to'xtash joylarini o'z ichiga oladi. Biroq, infratuzilma cheklovlari alohida joylar orqali emas, balki tarmoq darajasida baholanishi kerak.

To'rtinchidan, transport harakatini boshqarish tirbandlikni kamaytirishi yoki kuchaytirishi mumkin. Yomon muvofiqlashtirilgan signallar, mavjud talabni aks ettirmaydigan belgilangan vaqtli rejalar, hodisalarni boshqarishning yo'qligi va kuchsiz ijro samarali sig'imni pasaytirishi mumkin. Aksincha, moslashuvchan signalni boshqarish va muvofiqlashtirilgan yo'laklarni boshqarish transport harakatini yaxshilashi mumkin.

Beshinchidan, individual xatti-harakatlar tirbandlikka olib keladi. Yo'nalishni o'zgartirish, noqonuniy to'xtash joyi, yo'lakning keskin o'zgarishi, keraksiz to'xtash va transport vositalarining kamligi qo'shimcha ishqalanishni keltirib chiqarishi mumkin. Shuning uchun tirbandlik qisman ko'plab individual oqilona qarorlarning natijasidir.

2-rasmda kontseptual to'siq naqshlari keltirilgan. Cheklangan joyga yaqin joyda talab oshgani sayin, tezlik pasayadi va navbatlar kengayadi. Navbat yuqoriga cho'zilgach, to'siq qo'shni chorrahalariga ta'sir qilishi va tarmoq darajasida bezovtalik yaratishi mumkin. Bu mahalliy muammoning nima uchun eng yuqori vaqtlarda tezda shahar miqyosidagi tirbandlik hodisasiga aylanishi mumkinligini tushuntiradi.



2-rasm. Tiqilishning vaqtinchalik evolyutsiyasi.

5. Baholash ko'rsatkichlari va analitik usullar

Ilmiy jihatdan himoyalangan tirbandlikni o'rganish uchun o'lchanadigan ko'rsatkichlar talab qilinadi. Eng keng tarqalgan ko'rsatkichlar o'rtacha harakatlanish tezligi, harakatlanish vaqti, kechikish, navbat uzunligi, hajm-sig'im nisbati, harakatlanish vaqtining ishonchliligi, chorrahadagi xizmat ko'rsatish darajasi va bosib o'tilgan transport vositasi-soatlarni o'z ichiga oladi.

Asosiy tirbandlik indeksi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$CI = T_c / T_f,$$

bu yerda T_c - tirbandlik sharoitida kuzatilgan sayohat vaqti va T_f - mos keladigan erkin oqimdagi sayohat vaqti. 1 ga yaqin qiymat past tirbandlikni, yuqori qiymatlar esa katta kechikishni bildiradi.

Sayohat vaqtining kechikishi quyidagicha baholanishi mumkin:

$$D = T_c - T_f.$$

Tarmoq tahlili uchun transport vositasining umumiy kechikish soatlari ko'pincha bitta yo'lak tezligiga qaraganda ko'proq ma'lumotga ega, chunki ular tirbandlikning ham kattaligi, ham fazoviy darajasini hisobga oladi.

Trafik oqimi o'rtasidagi munosabatlarni asosiy diagramma yordamida ham ko'rib chiqish mumkin, bunda oqim q zichlik k va o'rtacha tezlik v bilan bog'liq:

$$q = k \times v.$$

Zichlik past qiymatlardan oshgani sayin, dastlab oqim ko'tariladi; kritik zichlikdan oshib ketganda, qo'shimcha transport vositalari tezlikni va umumiy oqimni kamaytiradi. Bu chiziqli bo'lmagan bog'liqlik chegaraga yetgandan keyin tirbandlikning tez yomonlashishi mumkin bo'lgan sabablardan biridir.

Zamonaviy tadqiqotlar tobora ko'proq tirbandlik sonini, GPS traektoriyalarini, kamera ma'lumotlarini, mobil telefon ma'lumotlarini, ob-havo kuzatuvlarini va simulyatsiya modellarini birlashtirmoqda. PTV Vissim va SUMO kabi mikrosimulyatsiya platformalaridan jismoniy amalga oshirishdan oldin muqobil signal rejalarini, yo'lak konfiguratsiyalarini, qaytariladigan yo'lak tuzilmalarini va talab stsenariylarini sinab ko'rish uchun foydalanish mumkin. Shahar miqyosidagi tadqiqotlar

uchun GIS to'siqlarni, yerdan foydalanish o'zaro ta'sirini va kirish imkoniyatlarini aniqlash uchun fazoviy asos yaratadi.

6. Tiqilishni kamaytirish strategiyalari

Tiqilishni kamaytirish bitta aralashuvga emas, balki chora-tadbirlar portfeliga asoslangan bo'lishi kerak.

6.1 Yo'l tarmog'ini optimallashtirish. Maqsadli chorralarni rekonstruksiya qilish, kanalizatsiya qilish, burilish nuqtalarini yaratish, kirishni boshqarish va jismoniy to'siqlarni olib tashlash samarali o'tkazish qobiliyatini oshirishi mumkin. Ushbu choralar ma'lum bir geometrik cheklov kechikish uchun aniq sabab bo'lgan hollarda eng oqlanadi.

6.2 Yo'l harakati signallarini muvofiqlashtirish. Signal vaqtini muvofiqlashtirish asosiy yo'laklar bo'ylab harakatlanishni yaratishi mumkin. Moslashuvchan boshqaruv kuzatilgan yo'l harakati sharoitlariga muvofiq yashil vaqtni o'zgartirish orqali yanada rivojlanadi. Maqsad shunchaki eng gavjum yondashuv uchun yashil vaqtni maksimal darajada oshirish emas, balki tarmoqning umumiy kechikishini minimallashtirishdir.

6.3 Jamoat transportining ustuvorligi. Avtobus ustuvor yo'laklari, signal ustuvorligi va ishonchli jamoat transporti xizmatlari shaxsiy avtomobillarga bog'liqlikni kamaytirishi mumkin. Yaqinda o'tkazilgan siyosat sharhlaridan olingan dalillar shuni ko'rsatadiki, sayohatchilar avtomobil sayohatiga jozibador alternativalariga ega bo'lganda, tirbandlikni kamaytirish siyosati yaxshiroq natija beradi. [2,3]

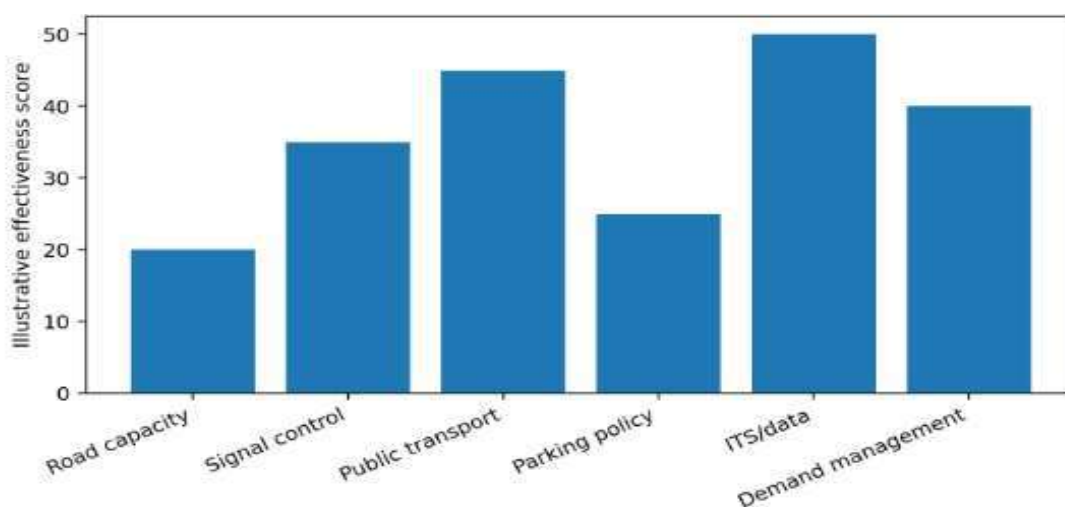
6.4 Avtoturargoh va yo'l chetini boshqarish. Nazoratsiz avtoturargoh haydovchilar bo'sh joylarni qidirayotgan bir paytda yo'lning sig'imini kamaytiradi va harakatlanishni oshiradi. Dinamik yo'l chetini boshqarish, tartibga solingan yuklash zonalari va ko'chadan tashqarida avtoturargoh siyosati bu tartibsizliklarni kamaytirishi mumkin.

6.5 Talabni boshqarish. Tiqilib qolish uchun to'lovlar, kirish cheklovlari, to'xtash joylari uchun narxlar, ish beruvchilarning sayohat dasturlari va ko'p odamli transport vositalariga nisbatan chora-tadbirlar eng yuqori davrdagi talabni kamaytirishi mumkin. Biroq, xulq-atvorga moslashish alohida choralarni zaiflashtirishi mumkin, shuning uchun paketlar aniq alternativalar va tenglik masalalari atrofida ishlab chiqilishi kerak. [2]

6.6 Intellektual transport tizimlari. ITS sensorlar, kameralar, aloqa tarmoqlari, trafikni boshqarish moslamalari, sayohatchilar uchun ma'lumot va analitik platformalarni

birlashtiradi. Maqsad trafikni boshqarishni statik boshqaruvdan real vaqt rejimida, bashoratli boshqaruvga o'tkazishdir. So'nggi adabiyotlarda AI, IoT, V2X aloqasi va raqamli egizaklarning salohiyati ta'kidlangan, ammo shuningdek, masshtablash va joylashtirish cheklovlari ham ta'kidlangan. [9,10]

3-rasmda integratsiyalashgan aralashuv doirasi umumlashtirilgan. Kontseptual ballar empirik universal koeffitsientlar emas; ular infratuzilma, nazorat, jamoat transporti va talabni boshqarish choralarini birlashtirgan portfel odatda faqat yo'llarni kengaytirishga tayanishdan ko'ra mustahkamroq ekanligini ko'rsatadi.



3-rasm. Integratsiyalashgan aralashuv doirasi (kontseptual ball; universal empirik koeffitsient emas).

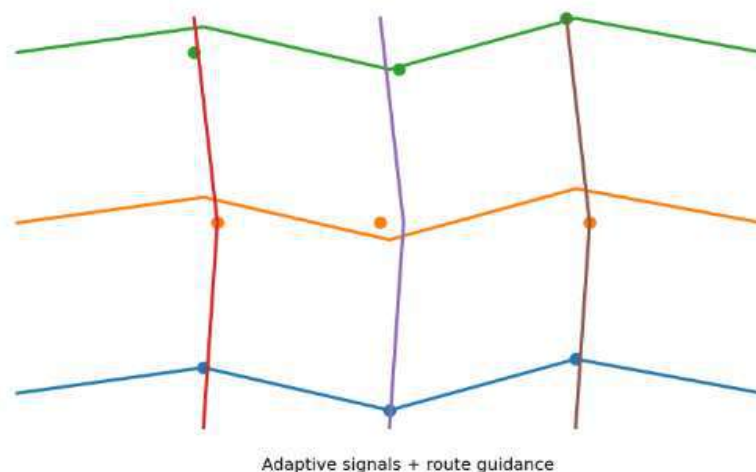
7. Aqlli transport tizimlari va raqamli trafikni boshqarish

ITS zamonaviy yo'l tarmog'ining texnologik qatlami deb hisoblanishi mumkin. Ma'lumotlar qatlamida kameralar, halqa detektorlari, radar, GPS traektoriyalari va ulangan transport vositalari yo'l harakati holatini kuzatish imkonini beradi. Aloqa qatlamida ma'lumot markaziy yoki taqsimlangan boshqaruv platformasiga uzatiladi. Analitik qatlamda algoritmlar joriy yo'l harakati holatini baholaydi va yaqin kelajakdagi sharoitlarni bashorat qiladi. Boshqaruv qatlamida signallar, o'zgaruvchan xabar belgilari, marshrut bo'yicha ko'rsatmalar va jamoat transporti ustuvorligi bashorat qilingan holatga javob beradi.

Sun'iy intellekt tarixiy tirbandlik, kun vaqti, ob-havo, hodisalar va tarmoq sharoitlari o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish orqali qisqa muddatli tirbandlikni bashorat qilishni qo'llab-quvvatlashi mumkin. Kompyuter ko'rish qobiliyati videodan transport vositalari sonini, tezlikni va navbat uzunligini taxmin qilishi mumkin. Raqamli egizaklar yo'l tarmog'ining virtual tasvirini doimiy ravishda yangilanib turadigan kuzatuvlar bilan bog'lashi, stsenariylarni sinovdan o'tkazish va bashoratli nazoratni amalga oshirish imkonini beradi.

Biroq, texnologik joylashtirishni o'z-o'zidan maqsad sifatida ko'rib chiqmaslik kerak. Agar sensorlar ishonchsiz bo'lsa, ma'lumotlar parchalanib ketgan bo'lsa, aloqa beqaror bo'lsa yoki trafikni boshqarish institutlari ma'lumotlarga asoslanib ishlay olmasa, texnik jihatdan murakkab ITS cheklangan foyda keltirishi mumkin. Adabiyotlarda real miqyoslilik, o'zaro ishlash qobiliyati, aloqa kechikishi va tushuntirilishi muhim tadqiqot va amalga oshirish muammolari sifatida belgilangan. [9,10]

4-rasmda aqlli shahar yo'l tarmog'ining kontseptual arxitekturasini keltirilgan. Fizik tarmoq, sensor qatlami, ma'lumotlar platformasi va boshqaruv qatlami teskari aloqa halqasini hosil qiladi. Ushbu arxitektura transport boshqaruvchilariga rivojlanayotgan navbatni aniqlash, uning sababini baholash, muqobil nazorat harakatlarini baholash va eng mos javobni amalga oshirish imkonini beradi.



4-rasm. Aqlli shahar yo'l tarmog'ining kontseptual arxitekturasini.

8. Tez rivojlanayotgan shaharlar uchun kompleks rejalashtirish

Tez rivojlanayotgan shaharlarda tirbandlik muammosini transportni rejalashtirish va shaharsozlikni integratsiyalash orqali hal qilish kerak. Agar yangi turar-joy tumanlari

tegishli bandlik markazlari, maktablar, jamoat transporti va mahalliy xizmatlarsiz qurilsa, qo'shimcha avtomobil qatnovlari yuzaga keladi. Aksincha, ko'p maqsadli qurilish va ixcham shahar tuzilishi sayohat masofalarini qisqartirishi va piyoda, velosipedda va jamoat transportining hayotiyiligini oshirishi mumkin.

Shuning uchun strategik yo'l rejasi aralashuvlar ierarxiyasini o'z ichiga olishi kerak. Birinchi daraja - yerdan foydalanish va transport integratsiyasi orqali oldini olish. Ikkinchisi - mavjud infratuzilmani operatsion optimallashtirish. Uchinchisi - tasdiqlangan to'siqlarga maqsadli kapital qo'yilmalar. To'rtinchisi - talabni boshqarish, bunda jismoniy kengayish eng yuqori talabni barqaror ravishda qondira olmaydi.

Baholashga tenglik kiritilishi kerak. Avtomobillar tezligini oshiradigan, ammo cheklangan alternatalarga ega bo'lgan uy xo'jaliklariga nomutanosib xarajatlarni yuklaydigan tirbandlik siyosati ijtimoiy muammoli bo'lishi mumkin. Jamoat transportini yaxshilash, piyodalar infratuzilmasi va xavfsiz velosiped yo'llari talabni boshqarish choralarini yanada maqbul qilishi va ularning foydasini kengaytirishi mumkin.

Markaziy Osiyo shaharlari uchun bu tizim ayniqsa dolzarbdir, chunki shaharlarning kengayishi, tobora ortib borayotgan avtomobillashtirish va tarixiy ko'cha inshootlari ko'pincha birga mavjud. Tarixiy markazlarda yo'llarni kengaytirish jismoniy, madaniy yoki iqtisodiy jihatdan cheklangan bo'lishi mumkin. Shuning uchun, keng ko'lamli kengaytirishdan ko'ra, aqlli boshqaruv, jamoat transporti ustuvorligi, periferik avtoturargohlar, kirishni boshqarish va multimodal ulanishlar ko'proq mos kelishi mumkin.

Ushbu tizimni GISga asoslangan yo'l tarmog'i tahlili, tirbandliklarni hisoblash, GPS traektoriyalari, kesishmalarni o'rganish va mikrosimulyatsiyani birlashtirish orqali Samarqand va O'zbekistonning boshqa shaharlariga ham moslashtirish mumkin. Shaharga xos model bitta o'rtacha kunlik qiymatga tayanish o'rniga eng yuqori yo'nalishlarni, mavsumiy o'zgarishlarni, sayyohlik talabini, yuk tashish harakatlarini va maxsus tadbirlardagi tirbandlikni farqlashi kerak.

9. Munozara

Adabiyotlar yo'l ta'minoti paradigmasidan tarmoq boshqaruvi paradigmasiga o'tishni qo'llab-quvvatlaydi. Yo'l infratuzilmasi muhimligicha qolmoqda, ammo uning

samaradorligi uning talab, jamoat transporti, yerlardan foydalanish va axborot tizimlari bilan qanday integratsiyalashuviga bog'liq.

Eng muhim amaliy xulosa shundaki, yo'llarni kengaytirish faqat tirbandlikni kuzatish orqali emas, balki tarmoq tahlili orqali oqlanishi kerak. Agar yo'lak pastki chorrahadagi chorraha to'yinganligi sababli tirband bo'lsa, yuqori oqimdagi yo'laklarni qo'shish shunchaki navbatni siljitishi mumkin. Agar tirbandlik haddan tashqari yuqori talabdan kelib chiqsa, ta'minotning kengayishi qo'shimcha tirbandlikni keltirib chiqarishi mumkin. Agar muammo signallarni muvofiqlashtirishning sustligida bo'lsa, operatsion optimallashtirish arzonroq narxda ko'proq foyda keltirishi mumkin.

So'nggi tizimli dalillar shuni ko'rsatadiki, hech bir aralashuv barcha shaharlarda bir xil natija bermaydi. Tiqilish uchun to'lovlar, cheklovlar, rag'batlantirish yoki axborot kompaniyalarining muvaffaqiyati sayohatchilarning javoblariga va muqobil variantlarning mavjudligiga bog'liq. [2] Bu siyosat paketlarining ahamiyatini yana bir bor tasdiqlaydi.

Ikkinchi xulosa shuki, tirbandlikni nafaqat o'rtacha tezlik, balki ishonchlilik orqali ham baholash kerak. Sayohatchilar oldindan aytib bo'ladigan kelish vaqtlarini qadrlashadi. O'rtacha tezlik biroz pastroq, ammo barqaror sayohat vaqtiga ega yo'l, erkin oqim sharoitida yuqori tezlikka ega, ammo cho'qqi davrlarida jiddiy oldindan aytib bo'lmaydigan kechikishlarga ega yo'lakka qaraganda foydaliroq bo'lishi mumkin.

Uchinchi xulosa shuki, chidamlilik yo'llarni rejalashtirishga integratsiya qilinishi kerak. Bir nechta muqobil yo'nalishlarga ega tarmoq bitta yo'lakka bog'liq bo'lgan tarmoqqa qaraganda hodisalardan tezroq tiklanishi mumkin. Yo'l tarmog'ining chidamliligi bo'yicha so'nggi sharhlar zaiflik, mustahkamlik, ishonchlilik va tiklanish qobiliyatining muhimligini ta'kidlaydi. [11]

Nihoyat, ma'lumotlar sifati juda muhim cheklovdir. Sun'iy intellekt va raqamli-egizak yondashuvlar to'liq bo'lmagan yoki noto'g'ri trafik kuzatuvlarini qoplay olmaydi. Shuning uchun rivojlanayotgan shaharlar bosqichma-bosqich amalga oshirishga muhtoj: birinchi navbatda ishonchli trafik hisob-kitoblari va GIS inventarizatsiyasi, ikkinchidan, integratsiyalashgan sensor va boshqaruv va asosiy ma'lumotlar infratuzilmasi yaratilgandan so'ng ilg'or bashoratli tahlil.

10. Xulosa va tavsiyalar

Shahar avtomobillarining tirbandligi transport talabi, yo'l sig'imi, tarmoq tuzilishi, boshqaruv tizimlari, yerlardan foydalanish va yo'lovchilarning xatti-harakatlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirning murakkab natijasidir. Ushbu maqolada ko'rib chiqilgan dalillar shuni ko'rsatadiki, tirbandlikni faqat yo'llarni kengaytirish orqali barqaror ravishda hal qilib bo'lmaydi. Qo'shimcha sig'im haqiqiy to'siqlarda foydali bo'lishi mumkin, ammo uning uzoq muddatli ta'siri talabni keltirib chiqarish va tarmoqni qayta taqsimlash bilan bog'liq holda baholanishi kerak.

Tavsiya etilgan strategiya beshta ustuvor vazifaga ega bo'lgan integratsiyalashgan yo'l boshqaruvi tizimidir: (1) o'lchanadigan tirbandlik va tarmoq ko'rsatkichlari yordamida tirbandlikni aniqlash; (2) signallarni muvofiqlashtirish, kirishni boshqarish va to'siqlarni bartaraf etish orqali mavjud infratuzilmani optimallashtirish; (3) jamoat transporti va multimodal alternativalarini kuchaytirish; (4) eng yuqori talab barqaror sig'imdan oshib ketadigan joylarda talabni boshqarish va to'xtash joylari siyosatini amalga oshirish; va (5) zarur ma'lumotlar va institutsional imkoniyatlar mavjud bo'lganda ITS, AI va raqamli egizak imkoniyatlarini bosqichma-bosqich rivojlantirish.

Tez rivojlanayotgan shaharlar, jumladan, Markaziy Osiyodagi shaharlar uchun eng istiqbolli yo'l "ko'proq yo'llar qurish" va "avtomobillarni cheklash" o'rtasidagi tanlov emas. Buning o'rniga, yo'l investitsiyalari, jamoat transporti, yerlardan foydalanishni rejalashtirish, transport harakatini boshqarish va raqamli texnologiyalar bitta o'lchanadigan shahar harakatchanligi strategiyasi doirasida birlashtirilishi kerak. Kelajakdagi empirik tadqiqotlar taklif qilingan asosni dala kuzatuvlaridan oldin va keyin, GIS tarmog'ini tahlil qilish va mikrosimulyatsiya yordamida, ayniqsa tenglik, sayohat vaqtining ishonchliligi, emissiyalar va muhim shahar yo'laklarining barqarorligiga e'tibor qaratgan holda sinab ko'rishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Downs, A. (1962). Eng yuqori soatlarda tezyurar yo'l tirbandligi qonuni. Trafik choraklik nashri, 16(3), 393–409.
2. Vikri, WS (1969). Tiqilish nazariyasi va transport investitsiyalari. Amerika iqtisodiy sharhi, 59(2), 251–260.

3. Arnott, R., & Small, K. (1994). Yo'l harakati tirbandligi iqtisodiyoti. *American Scientist*, 82(5), 446–455.
4. Mogridge, MJH (1997). Shahar yo'llarining sig'imi siyosatining o'zini o'zi mag'lub etuvchi tabiati: Nazariyalar, bahslar va mavjud dalillarni ko'rib chiqish. *Transport siyosati*, 4(1), 5–23. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(96\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(96)00030-3)
5. Duranton, G., & Turner, MA (2011). Yo'l tirbandligining asosiy qonuni: AQSh shaharlaridan olingan dalillar. *American Economic Review*, 101(6), 2616–2652.
6. Braess, D. (1968). Uber ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. *Unternehmensforschung*, 12, 258–268.
7. Litman, T. (2023). Yaratilgan trafik va induktsiyalangan sayohat: transportni rejalashtirishga ta'siri. *Viktoriya transport siyosati instituti*.
8. Cheng, Y., Watkins, SJ va Anciaes, P. (2024). Tiqilishni kamaytirishda qanday choralar samarali? *Transport siyosati va rejalashtirishdagi yutuqlar*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2023.11.002>
9. Cheng, Y., Watkins, SJ, & Anciaes, P. (2025). Yo'l tirbandligini kamaytirish bo'yicha siyosat choralari: Nima ish berdi? *Transport va sog'liqni saqlash jurnali*, 41, 101984. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2025.101984>
10. Ambros, J., Tomešová, L., Jurewicz, C., & Valentová, V. (2023). Yo'l harakati xavfsizligini baholashning eng yaxshi amaliyoti sharhi. *Baxtsiz hodisalarni tahlil qilish va oldini olish*, 191, 107073. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107073>
11. Elvik, R. (2001). Shahar bo'ylab transport harakatini tinchlantirish sxemalari: Xavfsizlik ta'sirining meta-tahlili. *Baxtsiz hodisalarni tahlil qilish va oldini olish*, 33(3), 327–336.
12. Zhang, Y. va boshqalar (2026). Shahar transport tizimlarida sun'iy intellekt: Tizimli tadqiqot va taksonomiya. *Alexandria Engineering Journal*, 147, 37–66. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2026.05.021>
13. Aqlli transport tizimlari: Raqamli egizaklar va mashinani o'rganish boshqaruvini integratsiyalash sharhi. *Mashinalar*, 2026, 7(3), 69.
14. Mashinani o'rganish usullaridan foydalangan holda tirbandlikni prognoz qilish: Tizimli sharh. 2025. MDPI.
15. Jahon banki. (2023). Barqaror mobillik va transport infratuzilmasi: siyosat va rejalashtirish istiqbollari. *Jahon banki*.
16. OECD/ITF. (2021). *ITF Transport Outlook 2021*. OECD nashriyoti.
17. Federal avtomagistrallar boshqarmasi. (2022). Yo'l harakati tahlili vositalari to'plami. AQSh transport departamenti.
18. Transport tadqiqotlari kengashi. (2016). *Avtomobil yo'llarining sig'imi bo'yicha qo'llanma 2016*. Milliy fanlar, muhandislik va tibbiyot akademiyalari.

19. Sheffi, Y. (1985). Shahar transport tarmoqlari: Matematik dasturlash usullari yordamida muvozanat tahlili. Prentice-Hall.
20. Ortúzar, J. de D. va Willumsen, LG (2011). Transportni modellashtirish (4-nashr). Wiley.
21. Levinson, D., va Krizek, K. (2008). Joy va pleksusni rejalashtirish: Metropolitan yerlaridan foydalanish va transport. Routledge.
22. Small, KA, va Verhoef, ET (2007). Shahar transporti iqtisodiyoti. Routledge.
23. May, AD (1990). Yo'l harakati oqimi asoslari. Prentice Hall.
24. Treiber, M., va Kesting, A. (2013). Trafik oqimi dinamikasi. Springer.
25. Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A. va Vang, Y. (2003). Yo'l harakati nazorati strategiyalarini ko'rib chiqish. IEEE materiallari, 91(12), 2043–2067.
26. Ben-Elia, E., & Avineri, E. (2015). Sayohat ma'lumotlariga javob: Xulq-atvor sharhi. Transport sharhlari, 35(6), 701–723.
27. Rothenberg, M. (2024). Shahar harakatchanligi va transportni boshqarish: Ma'lumotlarga asoslangan yondashuvlar. Transport tadqiqotlari yozuvlari.
28. Santos, JED dos va Bertoncini, BV (2025). Yo'l tarmoqlarida zaiflik va chidamlilikning tizimli tahlili. Lotin Amerikasi transport tadqiqotlari, 3, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.latran.2025.100034>
29. Zhao, J. va boshqalar (2025). Shahar integratsiyalashgan transport tarmoqlarining chidamliligini baholash va takomillashtirishning tizimli sharhi. Transport geografiyasi jurnali, 129, 104420.
30. Davlatov Ikrom Shavxidinovich «AVTOTRANSPORTLAR TIRBANDLIGI MUAMMOSINI QARAMA-QARSHI XARAKATLAR (reversion) USULI BILAN YECHISH. (Samarqand shahar misolida.)» ME□MORCHILIK va QURILISH MUAMMOLARI. (ilmiy-texnik jurnal). Samarqand 2024 №1. 190-192 betlar.
31. Davlatov Ikrom Shavxidinovich, talaba Usmonova Ziyodaxon Temurxon Qizi «SHAHARLARDA TRANSPORT MUAMMOLARINI QANDAY HAL QILISH MUMKIN?» PEDAGOGICAL SCIENCES AND TEACHING METHODS: a collection scientific works of the International scientific conference (17 April, 2024) - Copenhagen: 2024. Part 32 – 182p. ISBN 978-955-3605-86-4. 80-84 betlar.
32. Davlatov Ikrom Shavxidinovich «SHAHAR SIYOSATINING INNOVATSION RIVOJLANISHI.» “SHAHARSOZLIKNING INNOVATSION RIVOJLANTIRISH MUAMMOLARI, FAN VA TA'LIM ISTIQBOLLARI"MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA SamDAQU, <https://samdaqi.edu.uz/institut-ilmiy-jurnali> Samarqand shahar, O'zbekiston, (2023-yil, 27-28-aprel) <https://Uzshaharsoz.uz/> 518-520 betlar.