

**O‘ZBEKISTON SHAROITIDA IOT SENSORLARI VA KOMPYUTER  
KO‘RISH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA AVTONOM TRANSPORT  
VOSITALARINI ADAPTIV BOSHQARISH MODEL: XORIJIY TAJRIBA,  
MAVJUD HOLAT TAHLILI VA TAKLIFLAR**

**Urinova Gulxayo Sarvarovna<sup>1</sup> ,  
Prof Seungjik Lee<sup>2</sup>**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari  
universiteti, Kompyuter injiniringi fakulteti magistranti<sup>1</sup>

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari  
universiteti professor-o‘qituvchisi<sup>2</sup>

**ORCID:** 009-0003-6001-7621<sup>1</sup>

**E-mail:** [gulhayourinova97@gmail.com](mailto:gulhayourinova97@gmail.com)<sup>1</sup>

**ANNOTATSIYA**

*Mazkur maqolada O‘zbekiston sharoitida avtonom va yarim avtonom transport vositalarini adaptiv boshqarish uchun IoT sensorlari hamda kompyuter ko‘rish texnologiyalariga asoslangan yondashuv tahlil qilinadi. Tadqiqotda 2021–2026-yillarda O‘zbekistonda yo‘l-transport hodisalari dinamikasi, transport vositalari sonining ortishi, foto-video qayd etish tizimlari, “Xavfsiz va ravon yo‘l” dasturi hamda yo‘l harakati xavfsizligini raqamlashtirish bo‘yicha qabul qilingan normativ-huquqiy hujjatlar texnik nuqtayi nazardan baholangan. Xorijiy tajriba sifatida Yevropa Ittifoqi, AQSH, Singapur, Xitoy, Buyuk Britaniya, Janubiy Koreya va C-ITS/V2X tizimlari o‘rganilgan. Maqolada IoT–Computer Vision–Fusion asosidagi ICF-ABM modeli taklif etilib, unda yo‘l qoplamasi, ob-havo, transport oqimi, piyodalar, svetofor, yo‘l belgisi va xavfli obyektlar haqidagi ma‘lumotlar yagona xavf indeksiga birlashtiriladi. Taklif etilgan model real vaqt rejimida xavfni baholash, tezlikni moslashtirish, xavfsiz masofani saqlash, tormozlash va yo‘nalish tanlash qarorlarini optimallashtirishga xizmat qiladi.*

**Kalit so‘zlar:** IoT sensorlari, kompyuter ko‘rish, avtonom transport, adaptiv boshqaruv, sensor fusion, xavf indeksi, yo‘l sharoiti, V2X, C-ITS, edge computing.

**АННОТАЦИЯ**

*В статье рассматривается подход к адаптивному управлению автономными и полуавтономными транспортными средствами в условиях Узбекистана на основе IoT-сенсоров и технологий компьютерного зрения. В исследовании с инженерно-технической позиции проанализированы динамика дорожно-транспортных происшествий в Узбекистане за 2021–2026 годы, рост количества транспортных средств, системы фото- и видеofиксации,*

национальная программа «Безопасная и свободная дорога», а также нормативно-правовые меры по цифровизации сферы безопасности дорожного движения. В качестве зарубежного опыта изучены практики Европейского союза, США, Сингапура, Китая, Великобритании, Южной Кореи, а также системы C-ITS/V2X. В статье предложена модель ICF-ABM, основанная на интеграции IoT, Computer Vision и Sensor Fusion. В рамках данной модели данные о состоянии дорожного покрытия, погоде, транспортном потоке, пешеходах, светофорах, дорожных знаках и опасных объектах объединяются в единый индекс риска. Предложенная модель направлена на оценку дорожной опасности в реальном времени, адаптацию скорости, поддержание безопасной дистанции, оптимизацию торможения и выбор безопасной траектории движения.

**Ключевые слова:** IoT-сенсоры, компьютерное зрение, автономный транспорт, адаптивное управление, sensor fusion, индекс риска, дорожные условия, V2X, C-ITS, edge computing.

#### ABSTRACT

*This article analyzes an approach to adaptive control of autonomous and semi-autonomous vehicles in Uzbekistan based on IoT sensors and computer vision technologies. The study examines, from a computer engineering perspective, the dynamics of road traffic accidents in Uzbekistan during 2021–2026, the growth of the vehicle fleet, automated photo and video enforcement systems, the national “Safe and Smooth Road” program, and regulatory measures aimed at digitalizing road safety management. International practices from the European Union, the United States, Singapore, China, the United Kingdom, South Korea, and C-ITS/V2X systems are reviewed. The article proposes an IoT–Computer Vision–Fusion-based ICF-ABM model. Within this model, data on pavement condition, weather, traffic flow, pedestrians, traffic lights, road signs, and hazardous objects are integrated into a unified road risk index. The proposed model enables real-time risk assessment and supports adaptive decisions related to speed control, safe following distance, braking strategy, and trajectory selection. The model is intended to shift road safety management from reactive violation recording to proactive risk prediction and adaptive vehicle control.*

**Keywords:** IoT sensors, computer vision, autonomous vehicle, adaptive control, sensor fusion, risk index, road conditions, V2X, C-ITS, edge computing.

#### KIRISH

So‘nggi yillarda transport tizimini raqamlashtirish, yo‘l harakati xavfsizligini oshirish va inson omiliga bog‘liq xavflarni kamaytirish masalasi global miqyosda eng

dolzarb ilmiy-amaliy muammolardan biriga aylandi. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti ma‘lumotlariga ko‘ra, har yili dunyo bo‘yicha yo‘l-transport hodisalari oqibatida taxminan 1,19 million kishi hayotdan ko‘z yumadi; bu esa yo‘l harakati xavfsizligini faqat ma‘muriy nazorat yoki infratuzilmani kengaytirish orqali emas, balki real vaqt rejimidagi raqamli monitoring, avtomatik aniqlash va adaptiv boshqaruv mexanizmlari orqali hal etishni talab qiladi. Respublikamiz sharoitida ushbu muammo yanada amaliy ahamiyat kasb etadi. 2024-yilda respublikada 9364 ta yo‘l-transport hodisasi qayd etilgan bo‘lib, ular oqibatida 2203 kishi halok bo‘lgan, 8901 kishi jarohatlangan. Shundan 3045 ta hodisa, ya‘ni 32,5 foizi, yuk va yo‘lovchi tashish transport vositalari ishtirokida sodir bo‘lgan. Ayniqsa, haydovchilarning charchashi va rulda uxlab qolishi bilan bog‘liq 351 ta YTH qayd etilib, bu hodisalarda 189 kishi halok bo‘lgan, 285 kishi jarohatlangan. Bu raqamlar yo‘l muhitini faqat kamera yoki faqat haydovchi kuzatuv orqali emas, balki ko‘p manbali sensor ma‘lumotlari asosida avtomatik baholash zarurligini ko‘rsatadi. WHOning O‘zbekiston bo‘yicha 2025-yilgi yo‘l xavfsizligi profilida 2021-yil uchun rasmiy qayd etilgan o‘limlar soni 2197 nafar, WHO baholashiga ko‘ra esa taxminiy yo‘l-transport o‘limlari 3155 nafar deb ko‘rsatilgan; o‘lim ko‘rsatkichi 100 ming aholiga 9,3 ni tashkil etgan. Shu bilan birga, profil ma‘lumotlarida mamlakatda asfaltlangan yo‘llar uzunligi 18 196 km ekani, shahar ichidagi maksimal tezlik chegarasi 70 km/soat, shaharlararo yo‘llarda esa 100 km/soat ekanligi qayd etilgan. Bu holat avtonom transport uchun yo‘l qoplamasi, tezlik rejimi, ob-havo, ko‘rinish masofasi, transport oqimi zichligi va xavfli obyektlarni birgalikda baholaydigan adaptiv model zarurligini asoslaydi. Mamlakatimizda mazkur yo‘nalish bo‘yicha normativ va strategik asoslar ham shakllanmoqda. “Xavfsiz va ravon yo‘l” milliy dasturi yo‘l infratuzilmasini yaxshilash, harakat xavfsizligini ta‘minlash va yo‘l harakatini boshqarish tizimini to‘liq raqamlashtirish orqali YTHlar va o‘lim holatlarini keskin kamaytirishni maqsad qilgan. Shuningdek, 2024-yil 14-oktabrdagi PQ–358-son qaror bilan tasdiqlangan Sun‘iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilgacha rivojlantirish strategiyasi sun‘iy intellektni iqtisodiyot tarmoqlariga keng joriy etish, “big data” bazalarini shakllantirish, sun‘iy intellekt laboratoriyalari va yuqori unumdor hisoblash serverlarini yo‘lga qo‘yish kabi vazifalarni belgilaydi. Demak, transport sohasida IoT sensorlari, videoanalitika va sun‘iy intellekt algoritmlarini integratsiyalash O‘zbekistonning raqamli rivojlanish yo‘nalishlariga bevosita mos keladi. Shu nuqtayi nazardan, O‘zbekiston sharoitida avtonom transport vositalarining adaptiv boshqaruv tizimini ishlab chiqishda asosiy ilmiy muammo - yo‘l holatini faqat umumiy transport oqimi yoki statik yo‘l belgilariga qarab emas, balki real vaqt rejimida o‘zgarib turuvchi ko‘p faktorli yo‘l muhiti sifatida baholashdan iborat.

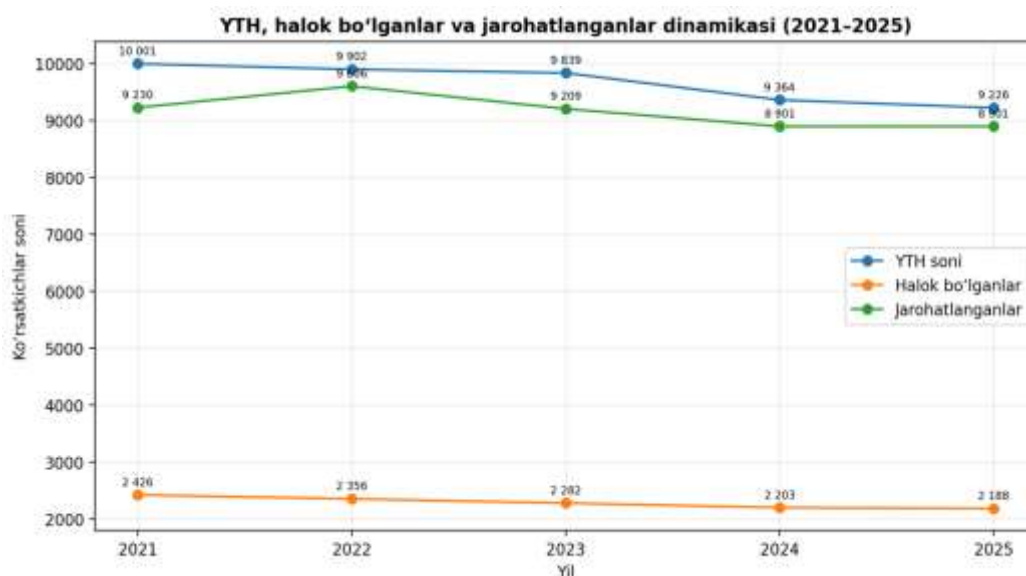
Bunda IoT sensorlari yo‘l qoplamasi namligi, harorat, sirpanish xavfi, vibratsiya, transport oqimi zichligi va ekologik sharoitlarni aniqlasa, kompyuter ko‘rish texnologiyalari yo‘l chiziqlari, belgilar, piyodalar, transport vositalari, to‘siqlar, chuqurlar, tirbandlik va ko‘rinish cheklanishini aniqlaydi. Ushbu ikki turdagi ma‘lumotlarni integratsiyalash esa avtonom transportning tezlik, tormozlanish, masofa saqlash, yo‘nalish tanlash va xavfli vaziyatga javob qaytarish qarorlarini moslashtirish imkonini beradi.

Tadqiqotimizda yo‘l muhiti “sensorli qabul qilish - vizual aniqlash - ma‘lumotlarni birlashtirish - xavf darajasini baholash - adaptiv boshqaruv qarorini shakllantirish” zanjiri sifatida qaraladi. Bunday yondashuv O‘zbekiston sharoitida aqlli transport tizimlarini joriy etish, YTH xavfini kamaytirish, avtonom harakat xavfsizligini oshirish va transport infratuzilmasini raqamli boshqarishga o‘tish uchun amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

### ***O‘zbekistonda yo‘l sharoitlarini raqamli baholash va adaptiv boshqaruv tizimlariga ehtiyojning mavjud holati***

O‘zbekistonda avtonom va yarim avtonom transport vositalari uchun adaptiv boshqaruv tizimini ishlab chiqish zarurati, avvalo, transport oqimining tez o‘sishi va yo‘l-transport hodisalari oqibatlarining hanuz yuqori darajada qolayotgani bilan izohlanadi. Milliy statistika qo‘mitasi ma‘lumotlariga ko‘ra, 2025-yil 1-oktabr holatiga respublikada jismoniy shaxslarga tegishli 4 725,9 mingta avtotransport vositasi ro‘yxatga olingan. Bu ko‘rsatkich 2024-yilning mos davriga nisbatan 415,3 mingtaga ko‘p bo‘lib, transport vositalarining 92,9 foizi yengil avtomobillar hissasiga to‘g‘ri keladi [1]. Ushbu raqamlar shuni ko‘rsatadiki, avtomobil oqimi ortgan sari chorrahalar, piyodalar o‘tish joylari, shahar ichki ko‘chalari va magistral yo‘llarda real vaqtli monitoringga bo‘lgan ehtiyoj kuchaymoqda. Kompyuter injiniringi nuqtayi nazaridan bu holat sensor ma‘lumotlarini yig‘ish, tezkor qayta ishlash, obyektlarni avtomatik aniqlash va xavf darajasini hisoblash funksiyalariga ega intellektual transport tizimini talab qiladi. So‘nggi besh yillik yo‘l-transport hodisalari statistikasi ham muammoning tizimli xarakterga ega ekanini ko‘rsatadi. 2021-yilda O‘zbekistonda 10 001 ta YTH sodir bo‘lib, 2426 kishi halok bo‘lgan, 9230 kishi jarohatlangan [2]. 2022-yilda 9902 ta YTH qayd etilib, ularda 2356 kishi halok bo‘lgan, 9606 kishi jarohatlangan [3]. 2023-yilda esa 9839 ta YTH sodir bo‘lgan, natijada 2282 kishi halok bo‘lgan, 9209 kishi jarohatlangan [4]. 2024-yilda YTHlar soni 9364 ta, halok bo‘lganlar 2203 nafar, jarohatlanganlar 8901 nafarni tashkil etgan [5]. 2025-yilda esa respublika bo‘yicha 9226 ta YTH qayd etilib, ularda 2188 kishi halok bo‘lgan, 8901 kishi jarohatlangan [6]. Ushbu raqamlarni texnik tahlil qilganda, 2021–2025-yillarda YTHlar soni 10 001 tadan 9226 taga, ya‘ni taxminan 7,7 foizga

kamaygan. Shu davrda halok bo‘lganlar soni 2426 nafardan 2188 nafarga, ya’ni taxminan 9,8 foizga kamaygan. Biroq jarohatlanganlar soni 9230 nafardan 8901 nafarga tushgan bo‘lsa-da, pasayish atigi 3,6 foiz atrofida qolgan. Demak, mavjud nazorat choralari YTHlar sonini ma’lum darajada kamaytirayotgan bo‘lsa ham, hodisalarning og‘ir oqibatlarini keskin pasaytirish uchun yetarli emas. Aynan shu nuqtada IoT sensorlari va kompyuter ko‘rish texnologiyalariga asoslangan tizimning vazifasi faqat qoidabuzarlikni qayd etish emas, balki xavfli vaziyatni oldindan aniqlash va boshqaruv qarorini moslashtirish bo‘lishi kerak.



### 1-rasm.2021–2025-yillarda O‘zbekistonda YTH ko‘rsatkichlari dinamikasi

2026-yilning dastlabki uch oylik ma’lumotlari esa masalaning yanada keskinligini ko‘rsatadi. Ichki ishlar vazirligi ma’lumotlariga tayanib e’lon qilingan statistikaga ko‘ra, 2026-yil yanvar–mart oylarida respublikada 1102 ta YTH qayd etilgan va ularning 31,4 foizi, ya’ni 346 tasi, inson o‘limi bilan yakunlangan [7]. Bu ko‘rsatkich shuni anglatadiki, 2026-yil boshida har uchta YTHdan bittasi o‘lim bilan bog‘liq bo‘lgan. Bu yerda texnik yechimning asosiy vazifasi transport vositasini “reaktiv” boshqarishdan - ya’ni hodisa yuz bergandan keyin qayd etishdan - “proaktiv” boshqarishga, ya’ni xavf yuzaga kelishidan oldin uni aniqlashga o‘tkazishdir. 2026-yil 1-choragidagi YTH sabablarini tahlil qilish IoT sensorlari va kompyuter ko‘rish tizimi qaysi modullarni o‘z ichiga olishi kerakligini aniq ko‘rsatadi. Shu davrda YTHlarning 32,9 foizi belgilangan tezlikka rioya qilmaslik, 22,4 foizi svetofor talablariga amal qilmaslik, 13,6 foizi piyodaga yo‘l bermaslik, 4,2 foizi haydovchining rulda uxlab qolishi bilan bog‘liq bo‘lgan [7]. Bu raqamlar asosida adaptiv boshqaruv modeli kamida to‘rtta asosiy texnik modulga ega bo‘lishi kerak: tezlik xavfini baholash moduli, svetofor va chorraha holatini aniqlash moduli,

piyoda va zaif yo‘l ishtirokchilarini aniqlash moduli, haydovchi holati yoki transportning xavfli manevrini aniqlash moduli.

O‘zbekistonda yo‘l harakatini raqamlashtirish bo‘yicha normativ-texnik asoslar shakllanmoqda. 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan “Xavfsiz va ravon yo‘l” umummilliy dasturida yo‘l infratuzilmasini takomillashtirish, YTHlar va o‘lim holatlarini kamaytirish, harakatni boshqarish tizimini raqamlashtirish hamda foto-video qayd etish vositalarini monitoring markazlariga integratsiya qilish vazifalari belgilangan [8]. Bu hujjat maqola uchun muhim, chunki unda yo‘l harakati xavfsizligini raqamli boshqaruv tizimiga o‘tkazish davlat siyosati darajasida belgilangan. Biroq mavjud yondashuvning asosiy cheklovi shundaki, u ko‘proq qoidabuzarlikni qayd etish va ma‘muriy jarayonlarni avtomatlashtirishga qaratilgan; avtonom transport uchun esa sensorli muhitni baholash va boshqaruv qarorini real vaqt rejimida moslashtirish talab qilinadi. 2024-yil 25-martdagi 148-son qaror bilan maxsus avtomatlashtirilgan foto va video qayd etish tizimlariga texnik talablar belgilangan. Unga ko‘ra, bunday tizimlar doimiy va uzluksiz ishlashi, aloqa uzilganda ma‘lumotlarni kamida 48 soat saqlashi, kamida 8 soatlik zaxira elektr ta‘minotiga ega bo‘lishi, foto ma‘lumotlarni 730 kun, video ma‘lumotlarni esa 90 kun saqlashi kerak [9]. Shuningdek, tezlikni qayd etish tizimi 5–250 km/soat oralig‘idagi transport tezligini aniqlay olishi lozim [9]. Bu talablar O‘zbekistonda kompyuter ko‘rish infratuzilmasi uchun muhim texnik baza mavjudligini ko‘rsatadi. Ammo bu tizimlarning vazifasi asosan qoidabuzarlikni aniqlash bilan chegaralanmoqda. Maqolada taklif qilinadigan model esa ushbu video oqimlarni IoT sensorlari bilan birlashtirib, yo‘l holati - xavf darajasi - adaptiv boshqaruv qarori zanjirini yaratishga qaratilishi kerak.

2026-yil 20-yanvardagi 11-son qaror bilan Yo‘l harakati xavfsizligi xizmati axborot tizimining “Ma‘muriy amaliyot” moduli mas‘ul vazirlik va idoralarning axborot tizimlari bilan integratsiya qilinishi belgilandi [10]. Bu integratsiya kelgusida transport vositasi, haydovchi, qoidabuzarlik, ro‘yxatdan o‘tkazish va ma‘muriy ma‘lumotlarni yagona axborot muhitida birlashtirish imkonini beradi. Kompyuter injiniringi nuqtayi nazaridan bu - kelajakda IoT sensorlari, videoanalitika, GPS/GLONASS, elektron xarita va transport oqimi ma‘lumotlarini yagona data fusion platformaga ulash uchun texnik-huquqiy asos bo‘lishi mumkin. Mavjud holat shuni ko‘rsatadiki, transport xavfsizligi bo‘yicha muammo endi faqat yo‘l qoidalariga rioya qilish masalasi emas, balki real vaqtli ma‘lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash, xavfni baholash va avtomatik qaror qabul qilish masalasiga aylanmoqda. Hozirgi tizimlarda foto-video qayd etish, elektron ma‘lumotlar almashinuvi va ma‘muriy modullar mavjud, biroq ular hali to‘liq ma‘noda avtonom transport vositasi uchun

adaptiv boshqaruv modeliga aylangan emas. Shu sababli maqolaning ilmiy taklifi mavjud infratuzilmani quyidagi yo‘nalishda rivojlantirishdan iborat bo‘lishi mumkin: yo‘l bo‘yidagi IoT sensorlari yo‘l qoplamasi, ob-havo, tebranish, namlik va transport oqimini aniqlaydi; kompyuter ko‘rish moduli piyoda, transport vositasi, svetofor, yo‘l chizig‘i, to‘siq va xavfli obyektlarni tanib oladi; sensor fusion moduli ushbu ma‘lumotlarni birlashtiradi; xavf baholash algoritmi risk indeksini hisoblaydi; adaptiv boshqaruv moduli esa tezlik, tormozlanish, masofa saqlash va yo‘nalish bo‘yicha qarorlarni moslashtiradi.

Xorijiy tajriba tahlili: IoT, kompyuter ko‘rish va adaptiv boshqaruv tizimlari

Xorijiy tajriba shuni ko‘rsatadiki, avtonom transport vositalarini rivojlantirish faqat avtomobilga kamera yoki radar o‘rnatish bilan cheklanmaydi. Yetakchi davlatlarda bu yo‘nalish transport vositasi - yo‘l infratuzilmasi - sensorlar - ma‘lumotlar platformasi - xavf baholash algoritmi - adaptiv boshqaruv qarori zanjiri sifatida shakllanmoqda. Demak, avtonom boshqaruvning asosiy texnik negizi alohida qurilma emas, balki ko‘p manbali ma‘lumotlarni birlashtirish, ya‘ni sensor fusion tizimidir.

Yevropa Ittifoqi tajribasida asosiy e‘tibor transport vositasining o‘zida majburiy raqamli xavfsizlik funksiyalarini shakllantirishga qaratilgan. Yevropa Komissiyasi ma‘lumotlariga ko‘ra, yangilangan General Safety Regulation 2019-yilda qabul qilingan va 2022-yil 6-iyuldan qo‘llanila boshlagan. U barcha yo‘l transport vositalari uchun intelligent speed assistance, kamera yoki sensor asosidagi orqaga yurish nazorati, haydovchi charchashi yoki e‘tiborsizligini aniqlash, hodisa ma‘lumotlarini yozuvchi qurilma, kiberxavfsizlik va favqulodda to‘xtash signali kabi funksiyalarni majburiylashtiradi. Yengil avtomobillar va furgonlar uchun qo‘shimcha ravishda yo‘lakda ushlab turish va avtomatik tormozlash tizimlari, avtobus va yuk transportlari uchun esa ko‘r nuqtalarni aniqlash, piyoda hamda velosipedchilar bilan to‘qnashuvni oldini olish va shina bosimini monitoring qilish tizimlari belgilangan [11]. Bu tajribadan O‘zbekiston uchun chiqadigan xulosa shuki, adaptiv boshqaruv modeli avvalo transport vositasining tezlik, yo‘lak, to‘siq, piyoda va haydovchi holatini avtomatik aniqlovchi modullarini majburiy texnik blok sifatida ko‘rishi kerak.

AQSH tajribasida esa masala ehtiyotkorlik bilan, ya‘ni “to‘liq avtonom transport” emas, balki bosqichma-bosqich joriy etiladigan faol xavfsizlik tizimlari sifatida talqin qilinadi. NHTSA ma‘lumotlariga ko‘ra, bugungi iste‘mol bozori uchun to‘liq o‘zini-o‘zi boshqaruvchi avtomobillar mavjud emas; amalda qo‘llanayotgan tizimlar haydovchiga yordam beruvchi ADAS funksiyalaridir. Shu bilan birga, NHTSA avtomatlashtirilgan texnologiyalar ayrim holatlarda to‘qnashuv xavfini inson haydovchidan tezroq aniqlashi, inson xatosi bilan bog‘liq avariylar, jarohatlar va

iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirishga xizmat qilishi mumkinligini qayd etadi [12]. O‘zbekiston uchun bu yondashuv muhim: maqolada taklif qilinayotgan model darhol “to‘liq avtonom transport” deb emas, balki dastlab yarim avtonom, xavfni oldindan aniqlovchi va qarorni moslashtiruvchi intellektual yordamchi tizim sifatida asoslanishi kerak.

Singapur tajribasi avtonom transportni real yo‘lga chiqarishdan oldin maxsus sinov, sertifikatlash va “black box” ma’lumot yozuvini talab qilishi bilan ahamiyatlidir. Singapur Land Transport Authority ma’lumotiga ko‘ra, barcha avtonom transport vositalari umumiy yo‘llarda sinovdan o‘tishidan oldin CETRAN - Centre of Excellence for Testing and Research of AVs markazida xavfsizlik baholashidan o‘tishi kerak. Avtonom transportlar yuqori aniqlikdagi sensorlar orqali atrof-muhitni ko‘radi, murakkab aralash transport sharoitida harakatlanadi, har bir transport vositasi esa telemetriya ma’lumotlarini saqlovchi “black box” qurilmasiga ega bo‘lishi talab qilinadi [13]. Bu tajriba O‘zbekiston uchun shuni anglatadiki, adaptiv boshqaruv modeli bevosita ommaviy yo‘lga emas, avvalo sinov hududi, pilot chorraha yoki test koridori sharoitida tekshirilishi kerak.

Xitoy tajribasi esa avtonom transportni faqat avtomobil ichidagi algoritm emas, balki “vehicle-road-cloud”, ya’ni transport vositasi, yo‘l infratuzilmasi va bulutli platforma integratsiyasi sifatida rivojlantirmoqda. Xitoy Davlat kengashi axborotiga ko‘ra, 2025-yil yanvar–iyul oylarida Xitoyda Level-2 haydovchiga yordam tizimiga ega 7,76 millionta yangi yo‘lovchi avtomobili sotilgan va bu 62,58 foiz kirib borish darajasini tashkil etgan. Shuningdek, 3 milliondan ortiq transport vositasi 5G va C-V2X texnologiyalari bilan jihozlangan, mamlakatda 20 ta pilot shaharda “vehicle-road-cloud” integratsiyasi jadallashtirilmoqda va 35 ming km dan ortiq sinov hamda namoyish yo‘llari ochilgan [14]. Bu tajriba O‘zbekiston uchun eng muhim xulosani beradi: avtonom transportni faqat avtomobil kamerasi asosida qurish yetarli emas; yo‘l infratuzilmasi, kameralar, IoT sensorlari, elektron xarita va markaziy data-platforma yagona tizimda ishlashi kerak. Yevropadagi C-ITS tajribasi avtonom transport uchun yo‘l infratuzilmasi ham “aqlli” bo‘lishi kerakligini ko‘rsatadi. CINEA ma’lumotlariga ko‘ra, C-ITS transport vositalari, yo‘l bo‘yidagi infratuzilma, shahar infratuzilmasi, svetoforlar va boshqa yo‘l ishtirokchilari o‘rtasida real vaqqli axborot almashinuvini ta’minlaydi. Bu tizim yo‘l ishlari, ob-havo sharoiti, tirbandlik, tezlik cheklovi, svetofor fazasi va xavfli holatlar bo‘yicha ma’lumot uzatish orqali xavfsizlik, transport oqimi samaradorligi va qaror qabul qilish sifatini oshiradi. Yevropada 2014-yildan beri ITS va C-ITS xizmatlarini joriy etish uchun 750 mln yevro miqdorida Yevropa Ittifoqi mablag‘i ajratilgani va bu 1,8 mlrd yevro investitsiyalarni shakllantirgani, C-Roads platformasi doirasida esa 2000 dan ortiq C-

ITS stansiyalari ishlayotgani qayd etiladi [15]. Bu O‘zbekiston sharoitida maqola taklif qilayotgan modelda faqat avtomobil ichidagi kamera emas, balki yo‘l bo‘yidagi sensor, svetofor, elektron xarita va dispetcherlik markazi ham hisobga olinishi kerakligini asoslaydi. Buyuk Britaniya va UNECE yondashuvi avtonom transportda xavfsizlikni isbotlash masalasini alohida ilmiy-texnik talab sifatida qo‘yadi. Buyuk Britaniya hukumati hujjatlarida avtomatlashtirilgan yo‘lakda harakatlanish tizimi - ALKS uchun UN Regulation No.157 mavjudligi, bunday tizimlar avtomobilning avtomagistralda o‘zini-o‘zi boshqarish funksiyalarini tartibga solishi, yangi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari esa xavfsizlik, apparat va dasturiy ta‘minot ishlashi bo‘yicha xalqaro uyg‘unlashtirilgan talablar asosida baholanishi kerakligi ko‘rsatilgan [16]. Bu tajriba O‘zbekiston uchun shuni anglatadi: taklif qilinayotgan adaptiv boshqaruv modeli faqat algoritm sifatida emas, balki virtual sinov - poligon sinovi - real yo‘l sinovi - xavfsizlik dalillari - ma‘lumot yozuvi ketma-ketligi orqali tasdiqlanishi kerak.

Janubiy Koreya tajribasida esa V2X va C-ITS infratuzilmasi orqali transport vositasi, svetofor, yo‘l infratuzilmasi va boshqa harakat ishtirokchilari o‘rtasida tezkor axborot almashinuviga e‘tibor berilmoqda. 2026-yilda Koreyada avtonom yuk tashish yo‘nalishida pullik xizmat litsenziyasini berish kutilayotgani mamlakatda avtonom transportni faqat laboratoriya darajasida emas, balki real logistika va transport xizmatlari bilan bog‘lash bosqichi boshlanganini ko‘rsatadi [17]. O‘zbekiston uchun bu tajriba ayniqsa yuk va yo‘lovchi tashuvchi transportlar ishtirokidagi YTHlar yuqoriligi fonida muhim: adaptiv boshqaruv modeli avvalo shahar ichidagi yengil avtomobillar emas, balki avtobus, mikroavtobus, yuk transporti va kommunal transportda xavfni kamaytirish uchun ham qo‘llanishi mumkin.

### 1-jadval: Xorijiy tajribadan chiqadigan asosiy ilmiy xulosalar

Davlat / hudud	Asosiy yondashuv	O‘zbekiston uchun olinadigan texnik saboq
Yevropa Ittifoqi	ADAS funksiyalarini majburiy xavfsizlik talabi sifatida joriy etish	Tezlik, yo‘lak, piyoda, charchoq, kiberxavfsizlik modullarini modelga kiritish
AQSH	To‘liq avtonomlikka ehtiyotkor yondashuv, ADAS va xavfsizlik monitoringi	Modelni “to‘liq avtonom” emas, “adaptiv yordamchi boshqaruv” sifatida asoslash
Singapur	CETRAN sinov markazi, black box, real yo‘lga chiqishdan oldin baholash	O‘zbekistonda pilot chorraha, test koridor va ma‘lumot yozuvi talabini kiritish
Xitoy	Vehicle-road-cloud, C-V2X, 20 pilot shahar, 35 ming km test yo‘llari	Avtomobil + yo‘l + bulutli platformani yagona data fusion tizimiga ulash

Yevropa C-ITS	Yo‘l infratuzilmasi, svetofor, transport va yo‘l ishtirokchilari o‘rtasida real vaqtli aloqa	Svetofor, kamera, IoT sensor va elektron xaritani adaptiv boshqaruvga bog‘lash
Buyuk Britaniya / UNECE	Xavfsizlik isboti, type approval, virtual va real sinovlar	Model uchun virtual sinov, poligon sinovi va real yo‘l validatsiyasi zarur
Janubiy Koreya	V2X va avtonom logistika xizmatlarini real transport tizimiga bog‘lash	Avval xavf yuqori bo‘lgan yuk, avtobus, mikroavtobus va shahar transportlarida pilot qilish

Yuqoridagi xorijiy tajriba va O‘zbekistondagi mavjud holat tahlili asosida maqolada quyidagi modelni taklif qilish maqsadga muvofiq:

*IoT–CV–Fusion asosidagi yo‘l sharoiti xavf indeksini baholash va avtonom transport vositasini adaptiv boshqarish modeli*

Taklif qilinayotgan modelning asosiy vazifasi yo‘l muhitini bitta kamera yoki bitta sensor orqali emas, balki ko‘p manbali raqamli ma’lumotlar asosida baholashdan iborat. Modelda IoT sensorlari yo‘l qoplamasi, ob-havo, namlik, harorat, sirpanish xavfi, transport oqimi va tebranishlarni aniqlaydi. Kompyuter ko‘rish moduli esa kamera orqali piyoda, avtomobil, avtobus, yuk transporti, svetofor, yo‘l chizig‘i, yo‘l belgisi, chuqur, to‘siq va ko‘rinish cheklanishini aniqlaydi. Keyin sensor fusion moduli ushbu ma’lumotlarni birlashtiradi va xavf indeksi hisoblanadi. Yakunda adaptiv boshqaruv moduli tezlik, tormozlanish, xavfsiz masofa, yo‘nalish va ogohlantirish qarorlarini moslashtiradi.

*IoT sensorlar + kamera/video oqim → ma’lumotlarni oldindan qayta ishlash → obyekt va yo‘l sharoitini aniqlash → sensor fusion → xavf indeksini hisoblash → adaptiv boshqaruv qarori → monitoring va qayta aloqa*

### 2-jadval: Modelning asosiy bloklari

Blok	Vazifasi	Texnik mazmuni
1. IoT monitoring bloki	Yo‘l va muhit sharoitini o‘lchash	Namlik, harorat, yog‘ingarchilik, sirpanish, tebranish, ko‘rinish, transport oqimi
2. Kompyuter ko‘rish bloki	Vizual obyektlarni aniqlash	Piyoda, transport, svetofor, chiziq, belgi, chuqur, to‘siq, tirbandlik
3. Sensor fusion bloki	Turli manbalardan kelgan ma’lumotlarni birlashtirish	Kamera + IoT + GPS + elektron xarita + transport oqimi
4. Xavf indeksini hisoblash bloki	Yo‘l vaziyatining xavflilik darajasini baholash	0 dan 1 gacha risk balli: past, o‘rta, yuqori xavf
5. Adaptiv boshqaruv bloki	Avtomobil harakatini moslashtirish	Tezlikni pasaytirish, tormozlash, masofa saqlash, yo‘nalish tanlash
6. Edge/cloud	Ma’lumotlarni tezkor va	Chorraha edge serveri + markaziy bulutli

platforma	markaziy qayta ishlash	platforma
7. Qayta aloqa bloki	Modelni yangilash va optimallashtirish	YTH, xavfli holat, sensor xatosi va yo‘l sharoiti bo‘yicha qayta o‘qitish

### Xavf indeksini hisoblash taklifi

Maqolada modelni ilmiyroq ko‘rsatish uchun xavf indeksini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R = w_1V + w_2P + w_3S + w_4O + w_5T + w_6I$$

Bu yerda:

R - umumiy yo‘l xavf indeksi;

V - tezlik xavfi;

P - piyoda yoki zaif yo‘l ishtirokchisi xavfi;

S - yo‘l qoplamasi holati xavfi;

O - ko‘rinish va ob-havo xavfi;

T - transport oqimi zichligi xavfi;

I - infratuzilma xavfi, ya’ni svetofor, belgi, chiziq yoki yo‘l nuqsonlari;

$w_1...w_6$  - har bir omilning vazn koeffitsiyenti.

### 3-jadval: Risk qiymati quyidagicha talqin qilinadi:

Risk qiymati	Holat	Adaptiv qaror
0,00–0,30	Past xavf	Normal harakat rejimi
0,31–0,60	O‘rta xavf	Tezlikni pasaytirish, masofani oshirish
0,61–0,80	Yuqori xavf	Ogohlantirish, yumshoq tormozlash, yo‘nalishni ehtiyotkor tanlash
0,81–1,00	Kritik xavf	Favqulodda tormozlash yoki xavfsiz to‘xtash

Bu formula maqolada oddiy matematik ko‘rinish beradi, lekin u kompyuter injiniringi nuqtayi nazaridan juda muhim: model “yo‘l xavfli” degan umumiy gap bilan cheklanmaydi, balki har bir xavf omilini alohida raqamlashtirib, yagona boshqaruv qaroriga aylantiradi.

### MUHOKAMA

Taklif qilinayotgan ICF-ABM modeli O‘zbekiston sharoitida mavjud foto-video qayd etish tizimlaridan farqli ravishda faqat qoidabuzarlikni qayd etishga emas, balki xavfli vaziyatni oldindan aniqlashga yo‘naltiriladi. Hozirgi tizimlarda kamera odatda tezlikni oshirish, qizil chiroqda o‘tish yoki piyodaga yo‘l bermaslik kabi holatni aniqlaydi. Biroq avtonom transport uchun bunday yondashuv yetarli emas. Chunki avtonom transport qaror qabul qilishi uchun “qoidabuzarlik bo‘ldimi?” degan savoldan ko‘ra “hozirgi yo‘l sharoitida xavf darajasi qanday?” degan savol muhimroqdir.

Modelning birinchi afzalligi - real vaqtli baholash imkoniyatidir. Masalan, yo‘l qoplamasi nam, ko‘rinish yomon, piyoda o‘tish joyida odam ko‘p va avtomobil tezligi yuqori bo‘lsa, tizim buni alohida-alohida emas, birgalikda baholaydi. Natijada avtomobil oddiy tezlik cheklovi bo‘yicha emas, aynan real sharoit bo‘yicha tezligini pasaytiradi.

Ikkinchi afzalligi - sensor fusion yondashuvidir. Kamera ba‘zan yomg‘ir, qor, chang, tun yoki quyosh nuri sabab noto‘g‘ri ishlashi mumkin. IoT sensorlari esa vizual obyektни ko‘rmaydi, lekin yo‘l qoplamasi, namlik, tebranish, harorat yoki sirpanish xavfini qayd etadi. Ushbu ikki manba birlashtirilsa, tizimning ishonchligi oshadi. Masalan, kamera chuqurni aniq ko‘rmasa ham, yo‘l bo‘yidagi tebranish sensori yoki transportdan kelgan accelerometer ma‘lumoti yo‘l notekisligini aniqlashga yordam beradi.

Uchinchi afzalligi - O‘zbekiston sharoitiga moslashuvchanlikdir. O‘zbekiston yo‘llarida ayrim joylarda yo‘l chiziqlari yetarli ko‘rinmasligi, piyodalar oqimi tartibsizligi, Damas, mikroavtobus va yuk transportlari ulushi yuqoriligi, shahar ichki ko‘chalarida tor va aralash transport oqimi mavjudligi kuzatiladi. Shuning uchun xorijiy modelni tayyor ko‘chirib olish emas, balki mahalliy ma‘lumotlar asosida o‘qitilgan kompyuter ko‘rish algoritmlari va mahalliy risk koeffitsiyentlari zarur.

To‘rtinchi afzalligi - modelni bosqichma-bosqich joriy etish mumkinligidir. Dastlab u to‘liq avtonom avtomobil uchun emas, balki chorrahalarda xavfni baholovchi, jamoat transporti yo‘laklarida tezlikni moslashtiruvchi yoki yuk transporti harakatini monitoring qiluvchi tizim sifatida ishlatiladi. Keyinchalik u V2X, elektron xarita va avtonom transport modullari bilan integratsiya qilinadi. Shu bilan birga, modelni joriy etishda bir nechta cheklovlar mavjud. Birinchidan, sifatli dataset kerak: O‘zbekiston yo‘llarida olingan video, ob-havo, yo‘l qoplamasi, piyoda oqimi, transport zichligi va YTHga yaqin xavfli holatlar bo‘yicha ma‘lumotlar bazasi shakllantirilmasa, model xorijiy datasetlarda o‘qitilgan algoritmlarga qaram bo‘lib qoladi. Ikkinchidan, kiberxavfsizlik masalasi dolzarb: transport vositasi, kamera, sensor va bulutli platforma bir-biriga ulanganda tizimga noqonuniy kirish xavfi oshadi. Uchinchidan, ma‘lumotlar maxfiyligi masalasi bor: kamera va transport ma‘lumotlari shaxsiy hayot daxlsizligi talablariga mos qayta ishlanishi kerak. To‘rtinchidan, model real yo‘lga chiqishdan oldin virtual sinov, yopiq poligon sinovi va pilot hududdagi nazoratli sinovdan o‘tishi zarur.

## **XULOSA**

Xorijiy tajriba shuni ko‘rsatadiki, avtonom transport vositalarining samarali ishlashi faqat avtomobil ichidagi sun‘iy intellektga emas, balki yo‘l infratuzilmasi, IoT sensorlari, kompyuter ko‘rish, C-ITS/V2X aloqasi, elektron xarita va xavf

baholash algoritmlarining yagona tizimda ishlashiga bog‘liq. O‘zbekiston sharoitida mavjud foto-video nazorat tizimlari, yo‘l harakati xavfsizligini raqamlashtirish bo‘yicha qarorlar va transport oqimining o‘shishi bunday modelni ishlab chiqish uchun zarur amaliy asosni yaratmoqda. Taklif etilayotgan ICF-ABM modeli aynan shu ehtiyojga javob beradi: u yo‘l muhitini ko‘p manbali ma’lumotlar asosida baholaydi, xavf indeksini hisoblaydi va transport vositasining tezlik, tormozlanish, masofa saqlash hamda yo‘nalish bo‘yicha qarorlarini real vaqt rejimida moslashtirish imkonini beradi.

### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI**

- [1] O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi. O‘zbekistonda jismoniy shaxslarga tegishli avtotransport vositalari soni 4,7 mlndan oshdi. 09.12.2025.
- [2] Gazeta.uz. YTHlar soni yil davomida 43 foizga, o‘lim holatlari esa 23 foizga ko‘paydi. 17.02.2022.
- [3] Gazeta.uz. O‘zbekistonda 4 oy ichida salkam 500 kishi YTH qurboni bo‘ldi. 29.05.2023.
- [4] Gazeta.uz. O‘zbekistonda 2023-yilda YTHlar sabab 2282 nafar fuqaro halok bo‘ldi. 29.02.2024.
- [5] Gazeta.uz. 2024-yilda O‘zbekistonda 2200 dan ortiq odam YTHda halok bo‘ldi. 24.01.2025.
- [6] Kun.uz. O‘zbekistonda 3 oyda YTH oqibatida 346 kishi halok bo‘ldi — IIV. 13.04.2026.
- [7] World Health Organization. Global status report on road safety 2023. Geneva: WHO, 2023.
- [8] World Health Organization. Road Safety: Uzbekistan 2023 Country Profile. Geneva: WHO, 2024.
- [9] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 12-iyuldagi PQ–316-son qarori. 2022–2026-yillar davomida amalga oshirilishi mo‘ljallangan “Xavfsiz va ravon yo‘l” umummilliy dasturini tasdiqlash to‘g‘risida.
- [10] O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2024-yil 25-martdagi 148-son qarori. Yo‘l harakati qoidalari buzilganligini maxsus avtomatlashtirilgan foto va video qayd etish dasturiy-texnik vositalariga doir talablar.
- [11] O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2026-yil 20-yanvardagi 11-son qarori. Yo‘l harakati xavfsizligini ta‘minlash sohasini raqamlashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida.
- [12] European Commission. Vehicle safety and automated/connected vehicles: General Safety Regulation. Brussels: European Commission.

- [13] National Highway Traffic Safety Administration. Automated Vehicles for Safety. Washington, DC: NHTSA.
- [14] Land Transport Authority Singapore. Autonomous Vehicles: Testing, Safety Assessment and Deployment. Singapore: LTA, 2026.
- [15] The State Council of the People's Republic of China. China establishes full industrial chain for key intelligent connected vehicle technologies. 24.09.2025.
- [16] European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency. Intelligent Transport Systems in the European Union. Brussels: CINEA.
- [17] UK Government. Automated vehicles: statement of safety principles. London: Department for Transport, 2025.
- [18] United Nations Economic Commission for Europe. UN Regulation No. 157 — Automated Lane Keeping Systems. Geneva: UNECE, 2021.
- [19] SAE International. J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Warrendale, PA: SAE International.
- [20] Federal Highway Administration. Road Weather Management Program. Washington, DC: FHWA.
- [21] Federal Highway Administration. How Does the Road Weather Information System Work? Washington, DC: FHWA, 2024.
- [22] Iowa State University Institute for Transportation. Pavement Temperature Sensor Accuracy. Ames: Iowa State University.
- [23] Iowa State University Institute for Transportation. Road Weather Information Systems Data Integration. Ames: Iowa State University.
- [24] Ge Z., Liu S., Wang F., Li Z., Sun J. YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021. arXiv preprint, 2021.
- [25] Qian H. et al. A Review of Multi-Sensor Fusion in Autonomous Driving. 2025.