



## TEMIR YO‘L KESISHMALARIDA HARAKAT XAVFSIZLIGINI OSHIRISHNING INNOVATSION YECHIMLARI

**G‘ulomov Latifjon Ilyosjon o‘g‘li**  
*Toshkent davlat transport universiteti*

**Annotatsiya:** Temir yo‘l kesishmalari temir yo‘l transporti tizimidagi eng xavfli nuqtalardan biri bo‘lib, aynan shu joyda poyezdlar va avtomobil yo‘li foydalanuvchilari o‘rtasidagi to‘qnashuv xavfi eng yuqori darajada namoyon bo‘ladi. Mavjud tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, hatto faol himoyalangan kesishmalarda ham inson omili, noto‘g‘ri tezlik bahosi, ogohlantirish vaqtining yetishmasligi, tirbandlik va ob-havo ta’siri sabab xavf saqlanib qoladi. So‘nggi yillarda ushbu muammoni hal etishda kompyuter ko‘rish, chuqur o‘qitish, ko‘p sensorli to‘siq aniqlash, edge computing, V2X va C-ITS asosidagi ogohlantirish tizimlari, shuningdek avtomatlashtirilgan monitoring hamda enforcement mexanizmlari muhim innovatsion yo‘nalish sifatida shakllanmoqda. Mazkur maqolada temir yo‘l kesishmalarida harakat xavfsizligini oshirishga qaratilgan zamonaviy texnologik yechimlar tahlil qilinadi, ularning samaradorligi va cheklovlari baholanadi, shuningdek bosqichma-bosqich joriy etishga doir amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, eng barqaror natija alohida bitta qurilmadan emas, balki fizik himoya, aqlli sezish, real vaqt ogohlantirish va ma’lumotga tayangan monitoringni birlashtirgan ko‘p qatlamli xavfsizlik arxitekturasidan kutiladi.

**Kalit so‘zlar:** Temir yo‘l kesishmasi, harakat xavfsizligi, kompyuter ko‘rish, sun‘iy intellekt, sensor fusion, edge computing, C-ITS, V2X, avtomatlashtirilgan monitoring, interlocking.

**Kirish:** Temir yo‘l kesishmasi temir yo‘l va avtomobil yo‘li tizimlarining bevosita kesishuv nuqtasi bo‘lib, ekspluatatsion mantiq, tezlik rejimi va tormozlanish xususiyatlari jihatidan keskin farq qiluvchi ikki transport oqimini birlashtiradi. Shu sababli kesishmalar temir yo‘l infratuzilmasidagi yuqori xavfli aktivlardan biri hisoblanadi [9]. Muammo faqat texnik himoya vositalarining yetarli emasligida emas, balki insonning qaror qabul qilishidagi xatolar, ko‘rish cheklanishi, tashqi muhit ta’siri va harakat oqimlarining murakkablashib borishidadir.

Passiv kesishmalarda haydovchi yaqinlashayotgan poyezdning tezligi va kelish vaqtini noto‘g‘ri baholashi ko‘p bora qayd etilgan. Dala sharoitida olib borilgan tadqiqotda haydovchilar poyezd tezligini barcha masofalarda sezilarli darajada past baholagan va xavfsiz o‘tish uchun mavjud vaqtni ortiqcha deb qabul qilgan [1]. Faol himoyalangan kesishmalarda esa ogohlantirish boshlanishi bilan to‘xtash yoki davom etish o‘rtasidagi dilemma zona muammosi kuzatiladi, ayniqsa tirbandlik sharoitida bu holat xavfni yanada oshiradi [2]. Boshqa tadqiqotda avtomatlashtirilgan monitoring tizimi joriy qilinganidan so‘ng majburiy to‘xtash talab etiladigan buzilishlar sezilarli qisqargani aniqlangan [3].

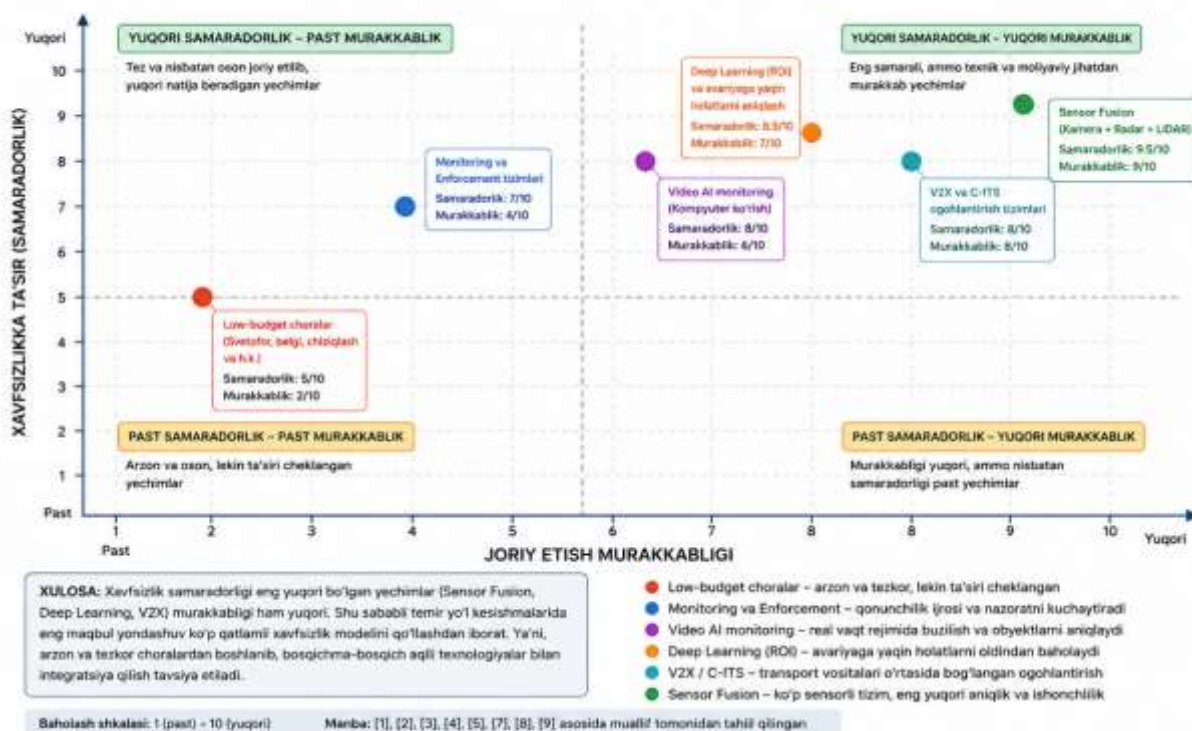
Bugungi kunda raqamli texnologiyalar ushbu muammoni yangi nuqtai nazardan ko'rib chiqish imkonini bermoqda. Kompyuter ko'rish asosidagi real vaqt kuzatuvi, radar va LiDAR bilan birlashtirilgan ko'p sensorli monitoring, deep learning orqali rels zonasi holatini baholash, V2X aloqa orqali haydovchini oldindan ogohlantirish va edge computing asosida tezkor qaror qabul qilish tizimlari kesishmalarda xavfsizlikni sifat jihatdan yangi bosqichga olib chiqishi mumkin [4], [5], [7], [8]. Shu sababli mazkur maqolaning maqsadi temir yo'l kesishmalarida harakat xavfsizligini oshirishning innovatsion yechimlarini tizimli ko'rib chiqish va ularning amaliy qiymatini baholashdan iborat.

### Metodlar va uslublar

Mazkur maqola tahliliy sharh usulida tayyorlandi. Asosiy manbalar sifatida temir yo'l kesishmalari xavfsizligi, obstacle detection, AI surveillance, interlocking, connected vehicle communication, enforcement va low-budget safety measures yo'nalishidagi ilmiy maqolalar tanlab olindi [5], [7]. Tahlilda quyidagi uslublardan foydalanildi.


Birinchidan, manbalar mavzu bo'yicha funksional guruhlariga ajratildi. Ya'ni, inson omili va haydovchi xulq-atvori bo'yicha ishlar alohida, kompyuter ko'rish va deep learning asosidagi monitoring bo'yicha ishlar alohida, V2X va C-ITS yechimlari alohida, arzon

### INNOVATSION YECHIMLARNING TAHLILI Xavfsizlikka ta'sir va joriy etish murakkabligi o'rtasidagi bog'liqlik



infratuzilmaviy choralar esa mustaqil guruh sifatida ko'rib chiqildi [1], [2], [3].

Ikkinchidan, har bir texnologik yo'nalish uch mezon asosida baholandi: xavfni kamaytirish salohiyati, real sharoitda joriy etish murakkabligi va tizimning cheklovlari. Bu yondashuv innovatsion yechimlarni faqat nazariy samaradorlik emas, balki amaliy tatbiq imkoniyati nuqtai nazaridan ham baholashga imkon berdi [4], [9].



Uchinchidan, mavjud ilmiy natijalardan kelib chiqib, temir yo‘l kesishmalariga nisbatan ko‘p qatlamli xavfsizlik arxitekturasi ishlab chiqildi. Unda bazaviy infratuzilmaviy choralar, aqlli sezish vositalari, real vaqt ogohlantirish tizimlari va monitoring-enforcement komponentlari yagona mantiqiy modelda birlashtirildi [3], [8].

### **Tadqiqot natijalari**

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, temir yo‘l kesishmalaridagi xavfsizlik muammosi ko‘p omilli xususiyatga ega bo‘lib, uni bitta usul bilan barqaror hal etish qiyin. Inson omili, texnik vositalar ishonchliligi va muhit sharoiti bir vaqtning o‘zida hisobga olinishi kerak.

Birinchi muhim natija shundan iboratki, haydovchi xulq-atvori xavfning markaziy omillaridan biri bo‘lib qolmoqda. Tadqiqotlar poyezd tezligini noto‘g‘ri baholash, faol kesishmalarda closure paytida tavakkal qaror qabul qilish va avtomatlashtirilgan monitoring mavjud bo‘lsa xatti-harakat o‘zgarishini aniq ko‘rsatadi [1], [2], [3]. Bu holat shuni anglatadiki, xavfsizlik faqat fizik to‘siqlarni kuchaytirish bilan emas, balki foydalanuvchining qaror qabul qilish muhitini o‘zgartirish bilan oshiriladi.

Ikkinchi natija shundan iboratki, kompyuter ko‘rish va deep learning asosidagi monitoring tizimlari kesishma hududidagi obyektlar, buzilishlar va avariya yaqin holatlarni avtomatik qayd etishda katta salohiyatga ega. AI-surveillance asosidagi tizimlar rels zonasida transport vositasi, piyoda va signal qurilmalari holatini real vaqt rejimida baholashga imkon beradi [6]. Near-miss detection bo‘yicha ishlar esa kuzatuv kameralari ma‘lumotidan foydalangan holda xavfli holatlarni avariya sodir bo‘lishidan oldin aniqlash va keyinchalik proaktiv tahlil qilish mumkinligini ko‘rsatdi [11], [12]. Deep learning asosidagi ROI monitoring yondashuvi esa rels zonasi bo‘sh yoki band ekanini yuqori aniqlikda aniqlash imkonini bergan [5].

Uchinchinchi natija ko‘p sensorli monitoringning ustunligini tasdiqlaydi. Kamera yaxshi semantik ma‘lumot beradi, biroq yomon ob-havo va yoritish sharoitida uning ishonchliligi pasayadi. Radar esa ob-havoga chidamlroq, LiDAR esa fazoviy aniqlikni oshiradi. Shu sababli sensor fusion yondashuvi ayniqsa yuqori riskli kesishmalarda eng istiqbolli variant sifatida baholanadi [4]. Interlocking bo‘yicha sharhda ham video va RADAR kombinatsiyasi xavfni kamaytirish uchun qulay yechim sifatida ko‘rsatilgan [9].

To‘rtinchi natija V2X va C-ITS texnologiyalarining amaliy qiymatini ko‘rsatadi. Bunday tizimlar haydovchiga poyezd yaqinlashuvi haqida oldindan signal berib, qaror qabul qilish uchun qo‘shimcha vaqt yaratadi. DSRC asosidagi train safety communication tizimi passiv kesishmalarda 25–40 soniyagacha himoya vaqtini ta‘minlashi mumkinligi bilan ahamiyatli [7]. Thessaloniki tajribasida in-vehicle warning ayrim yo‘nalishlarda yaqinlashuv tezligini pasaytirgani aniqlangan [13]. Bu esa ayniqsa ko‘rinishi cheklangan yoki passiv boshqariladigan kesishmalar uchun aloqa asosidagi ogohlantirish tizimlari samarali qo‘shimcha qatlam bo‘lishini ko‘rsatadi [14], [15].

Beshinchi natija shundan iboratki, avtomatlashtirilgan monitoring va enforcement mexanizmlari haydovchi xulq-atvoriga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Kamera va radar bilan jihozlangan monitoring tizimi joriy qilingach, haydovchilarning ayrim xavfli buzilishlari kamaygani qayd etilgan [3]. Biroq countdown yoki ETA ko‘rsatkichlari bo‘yicha natijalar bir

xil emas: ular noaniqlikni kamaytirishi mumkin, lekin noto‘g‘ri dizayn qilingan holda aksincha tavakkal xatti-harakatni rag‘batlantirishi ham ehtimoldan xoli emas [10], [16].

Oltinchi natija iqtisodiy jihatdan cheklangan sharoitlar uchun muhimdir. Har bir kesishmaga qimmat sensorli tizimlar o‘rnatish amaliy jihatdan mumkin emas. Shu sababli rumble strips, LED belgilar, yo‘l qoplamasidagi ogohlantiruvchi elementlar, speed calming vositalari, shlagbaum elementlarini takomillashtirish kabi arzon choralar ham sezilarli foyda berishi mumkin [10]. Bu turdagi choralarning samarasi alohida cheklangan bo‘lsa-da, ular ko‘p qatlamli xavfsizlik modelining bazaviy bo‘g‘ini sifatida katta ahamiyat kasb etadi.

Yuqoridagi natijalar asosida innovatsion yechimlarni quyidagi ko‘rinishda umumlashtirish mumkin.

Yechim turi	Asosiy vazifa	Afzalligi	Cheklovi
Video AI monitoring [6], [11]	Obyekt, buzilish va near-miss aniqlash	Real vaqt kuzatuv va ma‘lumot yig‘ish	Ob-havo va kamera joylashuviga sezgir
Deep learning ROI nazorati [5]	Rels zonasi bo‘shligini aniqlash	Yuqori aniqlik va interlockingga yordamchi signal	Mustaqil fail-safe qatlam bo‘la olmaydi
Sensor fusion [4], [9]	To‘siqni ishonchli aniqlash	Weather robustness va ishonchlilik yuqori	Narx va integratsiya murakkab
V2X va C-ITS [7], [13]	Haydovchini oldindan ogohlantirish	Reaksiya vaqtini oshiradi	Jihozlanish va aloqa qamroviga bog‘liq
Monitoring va enforcement [3]	Non-compliance kamaytirish	Xulq-atvorga tez ta‘sir qiladi	Huquqiy va ijtimoiy masalalar mavjud
Low-budget choralar [10]	Arzon xavfsizlikni oshirish	Tez va ommaviy tatbiq mumkin	Ta‘siri cheklangan va lokal

Umumiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, eng samarali yechim bitta texnologiyani tanlash emas, balki kesishma toifasi va risk profiliga mos ravishda bir nechta texnologiyani qatlamli tarzda uyg‘unlashtirishdir.

### Xulosa

Temir yo‘l kesishmalarida harakat xavfsizligini oshirish bo‘yicha tahlil qilingan ilmiy manbalar shuni ko‘rsatadiki, an‘anaviy signalizatsiya va shlagbaum tizimlari o‘z-o‘zicha yetarli emas. Xavfning asosiy sabablari orasida inson omili, ko‘rish va ob-havo cheklovlari,

kechikkan ogohlantirish, nazorat qilinmaydigan xatti-harakat va real vaqt ma'lumotining yetishmasligi muhim o'rin tutadi [1], [2], [4].

Innovatsion yechimlar orasida kompyuter ko'rish, deep learning asosidagi rels zonasi nazorati, radar va LiDAR bilan boyitilgan sensor fusion, edge computing, V2X/C-ITS ogohlantirish tizimlari hamda avtomatlashtirilgan monitoring va enforcement mexanizmlari eng istiqbolli yo'nalishlar sifatida namoyon bo'lmoqda [5], [6], [7], [8]. Ushbu texnologiyalar birgalikda qo'llanganda kesishmadagi holatni oldindan sezish, to'siqni aniqroq aniqlash, foydalanuvchini erta ogohlantirish va xavfli xatti-harakatlarni kamaytirish imkonini beradi [3], [4], [9].

Shu bois temir yo'l kesishmalarida xavfsizlikni oshirishning eng maqbul modeli ko'p qatlamli, ma'lumotga tayangan va riskga moslashtirilgan arxitektura hisoblanadi. Resurs cheklangan sharoitlarda arzon infratuzilmaviy choralarni bazaviy qatlam sifatida joriy etish, yuqori riskli kesishmalarda esa AI, sensor fusion va aloqa texnologiyalariga tayangan aqlli tizimlarni bosqichma-bosqich tatbiq etish maqsadga muvofiqdir [7], [10], [17].

### Foydanilgan adabiyotlar

[1] G. S. Larue *et al.*, "Is it safe to cross? Identification of trains and their approach speed at level crossings," Mar. 01, 2018. doi: [10.1016/J.SSCI.2017.11.009](https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.11.009).

[2] G. S. Larue and A. Naweed, "Understanding Why Drivers Cross the Line at Activated Railway Crossings," *Transportation Research Record*, vol. 2674, pp. 1–11, May 2020, doi: [10.1177/0361198120912238](https://doi.org/10.1177/0361198120912238).

[3] G. S. Larue and A. Naweed, "Evaluating the effects of automated monitoring on driver non-compliance at active railway level crossings." *Accident; analysis and prevention*, vol. 163, pp. 106432, Oct. 2021, doi: [10.1016/j.aap.2021.106432](https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106432).


[4] C. Yan and M. Bengtsson, "Obstacle Detection at Level Crossings under Adverse Weather Conditions -- A Survey," Feb. 2026.

[5] T. Pamula and W. Pamula, "Detection of Safe Passage for Trains at Rail Level Crossings Using Deep Learning," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, Sep. 2021, doi: [10.3390/s21186281](https://doi.org/10.3390/s21186281).

[6] P. Sikora *et al.*, "Artificial Intelligence-Based Surveillance System for Railway Crossing Traffic," Oct. 16, 2020. doi: [10.1109/jsen.2020.3031861](https://doi.org/10.1109/jsen.2020.3031861).

[7] J. Choi, V. Marojevic, C. Dietrich, and S. Ahn, "DSRC-Enabled Train Safety Communication System at Unmanned Crossings," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, pp. 18210–18223, Apr. 2021, doi: [10.1109/TITS.2022.3159778](https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3159778).

[8] S. Wu, Y. Li, X. Chen, P. Wang, and J. Lin, "Railway Level Crossing Control System Based on Video Analysis and Train-Road Collaboration," *2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 3022–3027, Sep. 2023, doi: [10.1109/ITSC57777.2023.10422125](https://doi.org/10.1109/ITSC57777.2023.10422125).



[9] M. A. B. Fayyaz, A. C. Alexoulis-Chrysovergis, M. Southgate, and C. Johnson, “A review of the technological developments for interlocking at level crossing,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 235, pp. 529–539, Jul. 2020, doi: [10.1177/0954409720941726](https://doi.org/10.1177/0954409720941726).

[10] D. Barić and S. Grabušić, “Review of low-budget measures for the prevention of traffic accidents at level crossings,” in *International Conference on Road and Rail Infrastructure*, May 2024. doi: [10.5592/co/cetra.2024.1617](https://doi.org/10.5592/co/cetra.2024.1617).

[11] Z. Zhang, C. Trivedi, and X. Liu, “Automated detection of grade-crossing-trespassing near misses based on computer vision analysis of surveillance video data,” Dec. 01, 2017. doi: [10.1016/J.SSCI.2017.11.023](https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.11.023).

[12] A. F. Zaman, Z. Huang, W. Li, H. Qin, D. Kang, and X. Liu, “Artificial Intelligence-Aided Grade Crossing Safety Violation Detection Methodology and a Case Study in New Jersey,” *Transportation Research Record*, vol. 2677, pp. 688–706, May 2023, doi: [10.1177/03611981231163824](https://doi.org/10.1177/03611981231163824).

[13] A. Skoufas, S. Basbas, J. M. S. Grau, and G. Aifadopoulou, “Analysis of In-Vehicle Warning System for Rail-Road Level Crossings: Case Study in the City of Thessaloniki, Greece,” Mar. 30, 2020. doi: [10.3311/pptr.14892](https://doi.org/10.3311/pptr.14892).

[14] J. M. S. Grau, N. Boufidis, G. Aifadopoulou, P. Tzenos, and T. Tolikas, “Multimodal Cooperative ITS Safety System at Level-Crossings\*,” *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 1–6, Sep. 2020, doi: [10.1109/ITSC45102.2020.9294261](https://doi.org/10.1109/ITSC45102.2020.9294261).

[15] N. Boufidis, J. M. S. Grau, P. Tzenos, and G. Aifandopoulou, “Estimating time of arrival of trains at level crossings for the provision of multimodal cooperative services,” 2020. doi: [10.1016/j.trpro.2020.03.108](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.108).

[16] P. Gorzelańczyk, A. Borkowska, P. Szubert, T. Kalina, and M. Jurković, “Analysis and Evaluation of the Effectiveness of Safety Systems at Railroad Crossings in Poland,” *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*, Mar. 2022, doi: [10.26552/com.c.2022.3.f46-f61](https://doi.org/10.26552/com.c.2022.3.f46-f61).

[17] A. Amin, D. Chimba, and K. Hasan, “Integrating AI and edge computing for advanced safety at railroad grade crossings,” *J. Rail Transp. Plan. Manag.*, vol. 33, p. 100501, Mar. 2025, doi: [10.1016/j.jrtpm.2024.100501](https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2024.100501).