DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

UDK: 656.13:004.8

YO‘L-TRANSPORT HODISALARINI BOSQICHLAR BO‘YICHA TAHLIL QILISH VA XAVF OMILLARINI INTEGRAL BAHOLASH MODELI

Madraximov A., *PhD, dotsent,*
Yo‘l harakatini tashkil etish kafedrasi,
E-mail: alloberdimadraximov@gmail.com
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Maqolada yo‘l-transport hodisalari (YTH) vaqt bo‘yicha uch bosqichga – hodisagacha, to‘qnashuv va hodisadan keyingi bosqichlarga – ajratilib, har bir bosqich uchun alohida maqsad o‘zgaruvchisi, mashinaviy o‘qitish modeli va baholash tartibi taklif etilgan, natijalar esa integral xavf indeksiga (IRI) birlashtirilgan. Usullar 40 ta uchastka, 12 000 ta hodisa kartochkasi va 4 500 ta og‘ir hodisadan iborat sintetik ma’lumotlar bazasida sinab ko‘rildi. Hodisagacha bosqichda gradient boosting modeli ROC-AUC bo‘yicha 0,785 ni (an’anaviy uchastka o‘rtachasi uchun 0,604) berdi; to‘qnashuv bosqichida o‘lim ulushining tezlikka darajali bog‘liqligi tasdiqlandi (k = 3,31); hodisadan keyingi bosqichda yetib borish vaqtining har 10 daqiqaga oshishi o‘lim ehtimoli nisbatini 1,55 baravar oshirdi. AHP vaznlari bilan qurilgan IRI uchastkalarni to‘rt toifaga ajratdi va chastotaviy tartiblashdan sezilarli farq qildi (Spearman ρ = –0,09). Raqamlar taxliliy ma’lumotga tegishli, usul sxemasini namoyish etadi va real ma’lumotlarda qayta baholanishi mumkin.*

Аннотация. *В статье дорожно-транспортные происшествия (ДТП) разделены по времени на три этапа: до столкновения, столкновение и после происшествия. Для каждого этапа предложены отдельная целевая переменная, модель машинного обучения и порядок оценки, а результаты объединены в интегральный индекс риска (IRI). Методы апробированы на синтетической базе данных из 40 участков дорог, 12 000 карточек ДТП и 4 500 тяжёлых происшествий. На этапе до столкновения модель градиентного бустинга показала ROC-AUC 0,785 (для традиционного среднего по участку – 0,604). На этапе столкновения подтверждена степенная зависимость доли погибших от скорости (k = 3,31). На этапе после происшествия увеличение времени прибытия помощи на каждые 10 минут повышало отношение шансов смерти в 1,55 раза. Индекс IRI с весами по методу анализа иерархий (AHP) разделил участки на четыре категории и существенно отличался от ранжирования по частоте (ρ Спирмена = –0,09). Приведённые числа относятся к аналитическим данным, демонстрируют схему метода и могут быть пересчитаны на реальных данных.*

Abstract. *The paper divides road traffic crashes (RTC) in time into three stages (pre-crash, collision and post-crash). For each stage it proposes a separate target variable, machine-learning model and evaluation procedure, and combines the results into an Integral Risk Index (IRI). The methods were tested on a synthetic database of 40 road segments, 12,000 crash records and 4,500 severe crashes. In the pre-crash stage, the gradient boosting model achieved a ROC-AUC of 0.785 (0.604 for the conventional segment average). In the collision stage, the power-law dependence of the fatality share on speed was confirmed (k = 3.31). In the post-crash stage, each additional 10 minutes of emergency response time increased the odds of death 1.55-fold. The IRI built with AHP weights divided the road segments into four categories and differed markedly from frequency-based ranking (Spearman ρ = –0.09). The figures refer to analytical data, illustrate the method scheme, and may be re-estimated on real data.*

Kalit so‘zlar: *yo‘l-transport hodisasi; hodisa bosqichlari; sun’iy intellekt; mashinaviy o‘qitish; to‘qnashuvgacha qolgan vaqt (TTC); integral xavf indeksi; AHP.*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

Ключевые слова: *дорожно-транспортное происшествие; этапы ДТП; искусственный интеллект; машинное обучение; время до столкновения (TTC); интегральный индекс риска; метод анализа иерархий.*

Keywords: *road traffic crash; crash stages; artificial intelligence; machine learning; time to collision (TTC); integral risk index; analytic hierarchy process.*

Kirish. Yo‘l-transport hodisalari (YTH) jamoat salomatligi va ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishning eng jiddiy muammolaridan biri bo‘lib qolmoqda: Jahon sog‘liqni saqlash tashkilotining ma’lumotiga ko‘ra, har yili ularning oqibatida taxminan 1,19 million kishi halok bo‘ladi [1]. BMT Bosh Assambleyasi 2021–2030-yillarni Yo‘l harakati xavfsizligi bo‘yicha Harakatlar o‘n yilligi deb e’lon qilib, halok bo‘lish va jarohatlanish holatlarini kamida 50 foizga kamaytirishni maqsad qilgan [2]. O‘zbekistonda 2025-yilda YTH oqibatida 2 188 kishi halok bo‘lgan va 8 901 kishi jarohat olgan; 2024-yilda bu ko‘rsatkichlar 2 199 va 8 931 nafarni tashkil etgan [3].

Xavfsizlik tadqiqotlarida hodisani vaqt bo‘yicha bosqichlarga ajratish g‘oyasi Haddon matritsasidan boshlab keng qo‘llanadi [4], inson xatosi va ko‘p qatlamli himoyaning buzilishi esa Reason modeli bilan izohlanadi [5]. Hodisalar chastotasini statistik modellashtirish (Puasson va manfiy binomial regressiya, Empirik Bayes usuli) hozirgi amaliyotning asosini tashkil etadi [6, 7, 8], biroq bu usullar xavfni asosan hodisa sodir bo‘lgandan keyin, orqaga qarab baholaydi va kam sonli hodisalar tufayli tasodifiy tebranishlarga sezgir. Xavfli vaziyat ko‘rsatkichlari – to‘qnashuvgacha qolgan vaqt (TTC) [9] va konfliktlar texnikasi [10] – hodisa sodir bo‘lishini kutmasdan xavfni o‘lchash imkonini beradi: xavfsizlik piramidasida og‘ir hodisalar tepada, ularning ostida esa son jihatidan ancha ko‘p jiddiy tahdidli vaziyatlar joylashadi. O‘zbekistonda 2025-yil iyunidan jarima ballari tizimining joriy etilishi ma’muriy choralar bilan raqamli xavf ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni amalda sinash imkonini bermoqda, bu esa ma’lumotlarga asoslangan, bosqichlar bo‘yicha ajratilgan xavf baholash usullariga ehtiyojni oshiradi.

Mashinaviy va chuqur o‘qitish [11] hamda ochiq ma’lumot to‘plamlari [12] xavfni oldindan baholash imkonini beradi, ammo mavjud ishlarda uchta bo‘shliq saqlanib qolmoqda. Birinchidan, YTH ko‘pincha yagona hodisa sifatida qaraladi, hodisagacha bo‘lgan xavfli vaziyat, to‘qnashuv va hodisadan keyingi davr esa alohida baholash obyekti bo‘lmaydi. Ikkinchidan, bosqichlar bo‘yicha natijalar uchastkalarni tartiblash uchun yagona ko‘rsatkichga birlashtirilmaydi. Uchinchidan, modellar odatda aniqlik (accuracy) bo‘yicha baholanadi, nomutanosib ma’lumotda esa bu ko‘rsatkich yanglishtirishi mumkin.

Tadqiqotning maqsadi – YTH ni uch bosqichga ajratib, har bir bosqich uchun xavf omillarini baholash modellarini qurish va ularning natijalarini integral xavf indeksiga birlashtirishdir. Ilmiy yangilik: (I) har bir bosqich uchun alohida maqsad o‘zgaruvchisi va baholash tartibi belgilangan; (II) bosqichlar natijalarini AHP vaznlari bilan birlashtiruvchi integral xavf indeksi (IRI) taklif etilgan; (III) IRI ning an’anaviy chastotaviy tartiblashdan farqi va vaznlarga sezgirligi miqdoriy baholangan. Faraz: bosqichlar bo‘yicha alohida modellar va ularning integral birlashtirilishi uchastkalarni faqat hodisalar chastotasiga qaraganda to‘liqroq tartiblaydi.

Usullar. Tadqiqot uch bosqichning har biri uchun alohida masala qo‘yilishiga asoslanadi: hodisagacha bosqichda – xavfli vaziyatni oldindan aniqlash (ikkilik tasniflash); to‘qnashuv bosqichida – oqibat og‘irligi sinfini bashoratlash (yengil, og‘ir, o‘lim); hodisadan keyingi bosqichda – yordamning yetib borish vaqti va 30 kunlik o‘lim ehtimoli orasidagi bog‘liqlikni baholash. Real hodisa kartochkalari, videokuzatuv va tez yordam ma’lumotlari mavjud bo‘lmagani sababli barcha hisob-kitoblar sintetik ma’lumotlar bazasida bajarildi (1-jadval). Generatsiyada ma’lum bog‘liqliklar (tezlik va og‘irlik o‘rtasidagi darajali bog‘liqlik, o‘lim ehtimolining yetib borish vaqtiga logistik bog‘liqligi) ataylab kiritilgan, shu sababli modellarning ularni qayta tiklay

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

olishini tekshirish mumkin; natijalar esa O‘zbekistondagi real xavf darajasi haqida xulosa bermaydi.

1-jadval

Eksperimental ma’lumotlar bazasining tuzilishi.

Daraja	Birlik	Hajm	Asosiy belgilar	Maqsad o‘zgaruvchisi
1. Hodisagacha	Harakat vaziyati	60 000	Tezlik, zichlik, qoplama, kun vaqti, telefon, charchoq, egrilik	Xavfli vaziyat (TTC < 1,5 s)
2. To‘qnashuv	Hodisa kartochkasi	12 000	Tezlik, ishtirokchi turi, kamar/dubulg‘a, yo‘l turi, yosh	Yengil / og‘ir / o‘lim
3. Hodisadan keyin	Og‘ir jarohatli hodisa	4 500	Yetib borish vaqti, ISS, yosh, alkogol, himoya	30 kunlik o‘lim

Ma’lumotlar generatsiyasi quyidagi tamoyillarga tayanadi. Xavfli vaziyat TTC ning fizik ta’rifidan (TTC=x/Δv) hosil qilindi: oldingi transport vositasigacha masofa x va yaqinlashish tezligi Δv tasodifiy kattaliklar bo‘lib, ular tezlik, telefon, charchoq, qoplama va uchastka xavfiga bog‘liq. To‘qnashuv og‘irligi tezlikning darajali funksiyasi sifatida (jarohatli hodisalar uchun daraja 3, halokatli hodisalar uchun 4) ishtirokchi turi, himoya vositasi va yoshga bog‘liq holda shakllantirildi. Hodisadan keyingi o‘lim ehtimoli yetib borish vaqti va jarohat og‘irligining logistik funksiyasi sifatida berildi. Uchastkalar shartli 12×12 km maydonda joylashtirilib, to‘rtta xavf o‘chog‘i hosil qilindi.

Birinchi daraja (40 ta uchastka, 12 oy) ma’lumotlari vaqt bo‘yicha bo‘lingan: 1–9-oylar (45 140 kuzatuv) o‘qitish, 10–12-oylar (14 860 kuzatuv) sinov uchun ishlatilgan; ikkinchi va uchinchi daraja ma’lumotlari sinflar ulushi saqlangan holda 70 % va 30 % ga ajratilgan. Baholash uchun ROC-AUC, o‘rtacha aniqlik (AP), F1 va makro-F1 ko‘rsatkichlari, ishonch oraliqlari uchun bootstrap usuli qo‘llangan. Har bir bosqichda an’anaviy asos (uchastka yoki hudud bo‘yicha o‘tgan davr o‘rtachasi, ko‘pchilik sinf) bilan solishtirish o‘tkazilgan.

Ko‘rsatkichlar quyidagicha ta’riflandi: Precision = TP / (TP + FP), Recall = TP / (TP + FN), F1 = 2·Precision·Recall / (Precision + Recall); makro-F1 – sinflar bo‘yicha F1 ning oddiy o‘rtachasi; ROC-AUC – tasodifiy tanlangan xavfli va xavfsiz misol juftligida modelning xavfliga yuqoriroq ball berish ehtimoli. Sinflar nomutanosib bo‘lgani uchun (o‘lim sinfi ulushi atigi 6,0 %, ko‘pchilik sinfni doim tanlaydigan model esa 71,7 % aniqlikka erishgan bo‘lardi) accuracy o‘rniga makro-F1 va sinflar bo‘yicha Recall tanlandi. Har bir masala uchun logistik regressiya (asosiy model), Random Forest [13] va gradient boosting [14] sinaldi; sinflar nomutanosib bo‘lganda modellar sinflarga og‘irlik berish bilan o‘qitildi. Xavfli vaziyat to‘qnashuvgacha qolgan vaqt (TTC) bo‘yicha aniqlandi:

$$y_i = 1,\ agar\ TTC_i < \tau;\ aks\ holda\ y_i = 0;\ \ \tau = 1{,}5\ s \qquad (1)$$

To‘qnashuv bosqichida tezlikning og‘irlikka ta’siri Nilsson Quvvat modeli bo‘yicha baholandi [15, 16]: tezlik bo‘yicha o‘n guruhga bo‘lingan hodisalarda sinf ulushi p ning logarifmi tezlik logarifmiga nisbatan regressiyalanadi (80 km/soatgacha), qiyalik daraja ko‘rsatkichi k ga mos keladi:

$$Ln\ p = a + k \cdot ln\ v \qquad (2)$$

Hodisadan keyingi bosqichda o‘lim ehtimoli logistik regressiya bilan baholandi; yetib borish vaqti T jarohat og‘irligi (ISS), yosh, alkogol va himoya vositasi bilan birga kiritildi:

$$logit\ P(o‘lim) = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot ISS + \beta_3 \cdot yosh + \beta_4 \cdot alkogol + \beta_5 \cdot himoya \qquad (3)$$

Har bir uchastka uchun uchta xom ko‘rsatkich hisoblandi: R_1 – xavfli vaziyatning o‘rtacha bashorat ehtimoli; R_2 – kutilayotgan og‘irlik, $R_2 = P(o‘lim) + 0{,}4 \cdot P(og‘ir\ jarohat)$; R_3 – yetib borish

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

vaqti taqsimoti bo‘yicha o‘rtacha o‘lim ehtimoli. Ko‘rsatkichlar min–maks usulida [0; 1] oralig‘iga keltirilib (r_k), vaznli yig‘indi sifatida birlashtirildi:

$$IRI = w_1 \cdot r_1 + w_2 \cdot r_2 + w_3 \cdot r_3, \quad \Sigma\, w_k = 1 \qquad (4)$$

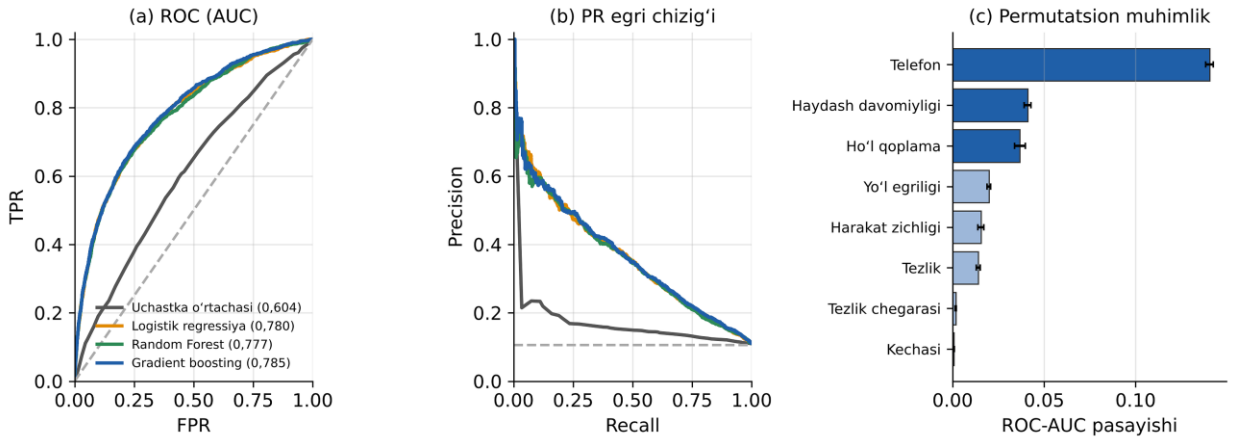
Vaznlar ierarxiyalarni tahlil qilish usuli (AHP) bilan [17] bosqichlarni juft-juft solishtirish orqali aniqlandi; baholar izchilligi kelishuv nisbati bilan tekshirildi: $KR = (\lambda_{max} - n) / ((n - 1) \cdot TI)$, $n = 3$, $TI = 0{,}58$. Namoyish uchun qabul qilingan baholar: to‘qnashuv bosqichi hodisagacha bosqichdan 2 baravar, hodisadan keyingisidan 3 baravar, hodisagacha bosqich hodisadan keyingisidan 2 baravar muhimroq. Taqqoslash uchun Shennon entropiyasiga asoslangan ob’ektiv vaznlar ham hisoblandi. Sezgirlik to‘rt vaznlash stsenariysida (AHP, teng vaznlar, to‘qnashuv ustuvor, entropiya) Spearman korrelyatsiyasi bilan hamda AHP atrofidagi 3 000 ta tasodifiy (Dirixle) vaznlar to‘plamida tekshirildi. IRI ning an’anaviy yondashuvdan farqini ko‘rsatish uchun uchastkalar xavfli vaziyatlar soni (chastotasi) bo‘yicha ham tartiblandi.

Natija (Results). 60 000 kuzatuvdan 6 310 tasi (10,5 %) xavfli deb belgilandi; TTC medianasi 4,8 s, 5-persentili 1,04 s. Xavfli vaziyatlar ulushi kechasi (21:00–05:00) 12–16 %, kunduzi (11:00–16:00) 7–8 % ni tashkil etdi. Modellar natijalari 2-jadvalda va 1-rasmda keltirilgan.

2-jadval

Hodisagacha bosqich: modellarning test to‘plamidagi natijalari (10–12-oylar)

Model	ROC-AUC	AP	F1 (maks.)	Recall
Uchastka o‘rtachasi (an’anaviy)	0,604	0,156	0,232	0,595
Logistik regressiya	0,780	0,364	0,415	0,472
Random Forest	0,777	0,360	0,412	0,493
Gradient boosting	0,785	0,367	0,413	0,458



1-rasm. Hodisagacha bosqich modellari: (a) ROC, (b) Precision–Recall egri chiziqlari, (c) belgilar permutatsion muhimligi (gradient boosting)

Uchala SI modeli ham ROC-AUC bo‘yicha 0,777–0,785 oralig‘ida natija berdi, bu an’anaviy uchastka o‘rtachasidan (0,604) sezilarli yuqori. Gradient boosting uchun F1=0,413 (Precision 0,376, Recall 0,458): model xavfli vaziyatlarning qariyb yarmini topadi, topilganlarning esa uchdan biridan ko‘prog‘i haqiqatan xavfli. Bunday ko‘rsatkichlar real vaqt ogohlantirishi uchun yetarli emas, ammo uchastka va vaqt bo‘yicha tartiblash uchun amaliy ahamiyatga ega. Permutatsion muhimlik bo‘yicha eng yuqori ta’sir telefondan foydalanishga to‘g‘ri keldi (AUC ning 0,140 ga pasayishi), undan keyin haydash davomiyligi (0,041) va ho‘l qoplama (0,037); tezlikning alohida muhimligi past (0,014), chunki TTC yaqinlashish tezligi bilan birga masofaga

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

ham bog‘liq. Uchastkalar bo‘yicha o‘rtacha bashorat ehtimoli xavf xaritasini beradi: bashorat va sinov davrida kuzatilgan ulushlar orasidagi korrelyatsiya r = 0,82.

Oqibat sinflarining ulushi: yengil 71,7 %, og‘ir 22,4 %, o‘lim 6,0 %. (2) regressiya o‘lim va og‘ir jarohat ulushi uchun k = 2,53 (95 % ishonch oralig‘i 2,35–2,83), o‘lim ulushi uchun k = 3,31 (2,72–3,90) natijasini berdi: k ning birdan ishonchli katta ekani va o‘lim uchun jarohatga nisbatan yuqoriroq ekani Nilsson modelidagi tartibni saqlaydi. Tezlik ta’siri ishtirokchi turiga bog‘liq: 30 km/soat tezlikda piyodaning o‘lim ehtimoli 1,8 %, 50 km/soatda 7,8 % (≈ 4,4 baravar); 50 km/soatda kamarli yo‘lovchi uchun 1,2 %, kamarsiz uchun 3,0 %, dubulg‘ali mototsiklchi uchun 2,5 %, dubulg‘asiz uchun 5,3 %. Sinflash natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

To‘qnashuv bosqichi: modellarning test to‘plamidagi natijalari

Model	**Makro-F1**	**Recall (yengil / og‘ir / o‘lim)**	**AUC (o‘lim)**
Logistik regressiya	0,496	0,75 / 0,38 / 0,58	0,846
Random Forest	0,517	0,78 / 0,54 / 0,29	0,830
Gradient boosting	0,508	0,75 / 0,49 / 0,40	0,807
Ko‘pchilik sinf (asos)	0,278	1,00 / 0,00 / 0,00	0,500

Umumiy ko‘rsatkich (makro-F1) bo‘yicha Random Forest yetakchi (0,517), ammo o‘lim sinfi uchun Recall atigi 0,29, logistik regressiyada esa 0,58. Demak, umumiy ko‘rsatkich bo‘yicha eng yaxshi model xavfsizlik nuqtai nazaridan eng foydali bo‘lmasligi mumkin. Oqibat og‘irligini eng ko‘p to‘qnashuv tezligi belgilaydi (makro-F1 ning 0,154 ga pasayishi), undan keyin ishtirokchi turi (0,021) va yosh (0,010) turadi; o‘lim ulushi piyodalar orasida 10,4 %, yengil avtomobil ishtirokchilari orasida 4,2 % ni tashkil etdi.

Yetib borish vaqtining o‘rtacha qiymati shaharda 10,8, shahar chekkasida 15,8 va shaharlararo yo‘llarda 26,3 daqiqa bo‘ldi; og‘ir jarohatli hodisalarda o‘lim ulushi mos ravishda 16,4; 19,2 va 25,0 % ni tashkil etdi. (3) modelga ko‘ra T ning har 10 daqiqaga oshishi o‘lim ehtimoli nisbatini (odds ratio) OR = 1,55 baravar (95 % ishonch oralig‘i 1,44–1,66) oshirdi. Adabiyotda prehospital vaqt va omon qolish orasidagi bog‘liqlik bo‘yicha natijalar bir xil emas [18], shu sababli bu OR sintetik generatsiyaga bog‘liq. ROC-AUC logistik regressiya uchun 0,712, gradient boosting uchun 0,677, faqat yetib borish vaqti uchun 0,606, hudud bo‘yicha o‘rtacha uchun 0,572 bo‘ldi: kichik tanlanmada (4 500 hodisa) oddiy model murakkab modeldan kam yutqazmadi. Model asosida 1 000 ta og‘ir jarohatli hodisa uchun kutilayotgan o‘limlar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Hodisadan keyingi bosqich: stsenariylar bo‘yicha kutilayotgan o‘limlar (1 000 og‘ir hodisaga)

Stsenariy	**Kutilayotgan o‘limlar**	**Kamayish***	**Kamayish, %**
Joriy holat	199	–	–
Shahar tashqarisida yo‘l vaqti –20 %	185	13	6,6
Avtomatik xabar berish	176	23	11,5
Ikkala chora birgalikda	164	35	17,6

* Kamayish yaxlitlanmagan qiymatlardan hisoblangan.

Xabar berish kechikishini qisqartirish yo‘l vaqtini qisqartirishdan ko‘proq samara berishi mumkin, chunki u barcha hududlarga ta’sir qiladi; ammo bu hisob-kitoblar sababiy emas, modeldagi bog‘liqlikka asoslangan taxmindir.

AHP baholari bo‘yicha vaznlar 0,30 (hodisagacha), 0,54 (to‘qnashuv) va 0,16 (hodisadan keyin) bo‘ldi; λ_{max} = 3,009, KR = 0,008 < 0,10, ya’ni baholar izchil. Entropiya usuli 0,29; 0,25 va

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

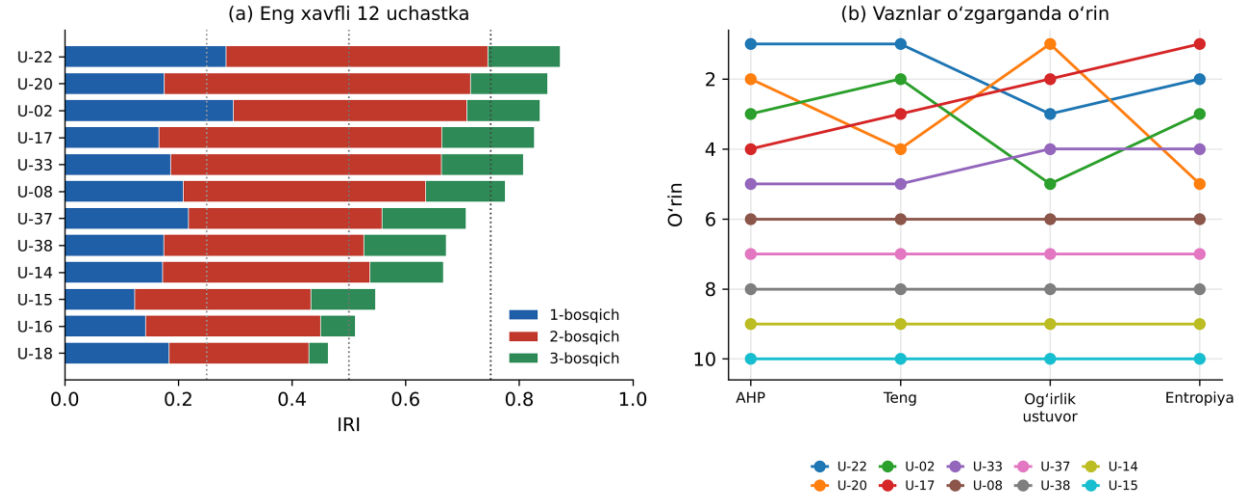
0,46 vaznlarini berdi, chunki yetib borish vaqti uchastkalar orasida eng ko‘p farq qiladi. 40 ta uchastkadan 17 tasi past, 12 tasi o‘rta, 5 tasi yuqori va 6 tasi juda yuqori xavf toifasiga tushdi; eng yuqori IRI qiymatlari (0,87 dan 0,55 gacha) birinchi o‘nta uchastkada kuzatildi va ularning barchasi shaharlararo yo‘llarga tegishli (5-jadval, 2-rasm). Asosiy tartib bilan boshqa uch vaznlash stsenariysi orasidagi Spearman korrelyatsiyasi 0,981; 0,995 va 0,964 ni tashkil etdi, birinchi o‘nta uchastka tarkibi barcha stsenariylarda bir xil qoldi; Dirixle sinovida bu uchastkalarning birinchi o‘ntalikka kirish ehtimoli kamida 0,97 bo‘ldi. Aksincha, xavfli vaziyatlar soni bo‘yicha tartib IRI bilan deyarli bog‘liq emas ($\rho = -0,09$; birinchi o‘ntalikda faqat 1 ta umumiy uchastka): yozuvlar soni asosan harakat intensivligiga bog‘liq, shahar markazlarida ko‘p bo‘ladi, biroq har bir vaziyatning xavfi va oqibati og‘irligi kam.

Amaliy jihatdan IRI profilaktik choralarni bosqichga mos tanlashga imkon beradi: masalan, U-22 uchastkada yuqori ball asosan hodisagacha va to‘qnashuv bosqichlari hisobiga, U-20 uchastkada esa to‘qnashuv og‘irligi hisobiga shakllangan, ya’ni bir xil umumiy ball turli sabablarga ega va turli choralarni talab qiladi.

5-jadval

IRI bo‘yicha xavf toifalari va tavsiya etiladigan harakatlar

IRI oralig‘i	Toifa	Uchastkalar soni	Tavsiya etiladigan harakat
0,00–0,25	Past	17	Odatdagi monitoring
0,25–0,50	O‘rta	12	Yillik tahlil, nazoratni vaqt bo‘yicha moslashtirish
0,50–0,75	Yuqori	5	Yo‘l xavfsizligi auditi, tezlik rejimini qayta ko‘rish
0,75–1,00	Juda yuqori	6	Ustuvor muhandislik va tashkiliy choralar, hodisadan keyingi javobni kuchaytirish



2-rasm. (a) Eng yuqori IRI ga ega 12 uchastka va ularning bosqichlar bo‘yicha tarkibi, (b) turli vaznlash stsenariylarida birinchi o‘nta uchastka o‘rni

Natijalar muhokamasi va cheklovlar. Barcha uch bosqichda SI modellari an’anaviy asosga nisbatan yuqori ajratish qobiliyatini ko‘rsatdi: ROC-AUC hodisagacha bosqichda 0,604 dan 0,785 gacha, to‘qnashuv bosqichida o‘lim sinfi uchun 0,50 dan 0,846 gacha, hodisadan keyingi bosqichda 0,572 dan 0,712 gacha oshdi. Uchta qonuniyat kuzatildi: modellar orasidagi farq an’anaviy va SI yondashuvi orasidagi farqdan kichik, ya’ni ma’lumot sifati va belgilar tanlovi algoritm tanlovidan muhimroq; tanlov ko‘rsatkichga bog‘liq (o‘lim sinfi uchun AUC bo‘yicha

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

logistik regressiya, makro-F1 bo‘yicha Random Forest); kichik hajmda oddiy model murakkabdan kam yutqazmaydi. Cheklovlar: (1) barcha raqamlar sintetik ma’lumotdan olingan – generatsiyada qo‘yilgan bog‘liqliklar qisman tiklangan, bu usullarning ishlashini tasdiqlaydi, lekin real xavf darajasini ko‘rsatmaydi; (2) TTC chegarasi τ ga sezgir va real videotahlilda aniqlash xatosiga ega; (3) uchastkalar orasida makon bog‘liqligi va vaqt bo‘yicha avtokorrelyatsiya mavjud, real tahlilda bloklarga ajratilgan validatsiya kerak; (4) AHP baholari ekspert so‘rovi (Delfi usuli) bilan almashtirilishi lozim; (5) stsenariylar sababiy emas, korrelyatsion bog‘liqlikka asoslangan.

Xulosa (Conclusion). 1. YTH ni hodisagacha, to‘qnashuv va hodisadan keyingi bosqichlarga ajratish va har bir bosqich uchun alohida maqsad o‘zgaruvchisi, model hamda baholash tartibini qo‘llash xavfni oldindan baholashga imkon beradi; bu yondashuv Haddon matritsasi va «Safe System» g‘oyalarini [19] miqdoriy tahlilga bog‘laydi. 2. Sintetik ma’lumotlarda SI modellari an’anaviy asosdan yuqori ajratish qobiliyatini ko‘rsatdi (ROC-AUC 0,604 dan 0,785 gacha), tezlik–og‘irlik bog‘liqligi daraja ko‘rsatkichi k = 3,31 bilan, yetib borish vaqti ta’siri esa har 10 daqiqaga OR = 1,55 bilan miqdoriy ifodalandi. 3. Model tanlovi ko‘rsatkichga bog‘liq: o‘lim sinfi Recall ko‘rsatkichi umumiy ko‘rsatkichdan ko‘ra xavfsizlik uchun muhimroq bo‘lishi mumkin, shu sababli modelni faqat aniqlik yoki yagona AUC bo‘yicha tanlash yetarli emas. 4. AHP vaznlari bilan qurilgan integral xavf indeksi uchastkalarni to‘rt toifaga ajratdi, eng xavfli o‘nta uchastka vaznlar o‘zgarishiga chidamli bo‘ldi va chastotaviy tartiblashdan keskin farq qildi (ρ = –0,09): faqat chastotaga tayangan resurs taqsimoti og‘ir oqibatli uchastkalarni e’tibordan chetda qoldirishi mumkin. 5. Natijalar sintetik ma’lumotga tegishli; amaliy joriy etish uchun hodisa kartochkalari va tez yordam jurnallarini yagona uchastka identifikatori bilan bog‘lash, modellarni real ma’lumotda blokli validatsiya bilan qayta o‘qitish, izohlash usullari [20] bilan to‘ldirish va IRI vaznlarini ekspert so‘rovi orqali aniqlash zarur.

Adabiyotlar ro‘yxati (references).

1. World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2023. Geneva: WHO, 2023.
2. UN General Assembly. Resolution A/RES/74/299 «Improving global road safety». New York, 2020.
3. O‘zbekiston Respublikasi Ichki ishlar vazirligi Yo‘l harakati xavfsizligi xizmati: YTH statistik ma’lumotlari (2024–2025-yillar).
4. Haddon W. A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity // Journal of Trauma. 1972. Vol. 12(3). P. 193–207.
5. Reason J. Human Error. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
6. Lord D., Mannering F. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives // Transportation Research Part A. 2010. Vol. 44(5). P. 291–305.
7. Hauer E. Observational Before-After Studies in Road Safety. Oxford: Pergamon, 1997.
8. Mannering F., Bhat C.R. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions // Analytic Methods in Accident Research. 2014. Vol. 1. P. 1–22.
9. Hayward J.C. Near-miss determination through use of a scale of danger // Highway Research Record. 1972. No. 384. P. 24–35.
10. Hydén C. The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. Lund: Lund Institute of Technology, Bulletin 70, 1987.
11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge, MA: MIT Press, 2016.
12. Moosavi S. et al. A countrywide traffic accident dataset // arXiv:1906.05409, 2019.
13. Breiman L. Random forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.63

14. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system // Proc. 22nd ACM SIGKDD, 2016. P. 785–794.

15. Nilsson G. Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Lund: Lund Institute of Technology, Bulletin 221, 2004.

16. Elvik R., Høye A., Vaa T., Sørensen M. The Handbook of Road Safety Measures. 2nd ed. Bingley: Emerald, 2009.

17. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.

18. Sánchez-Mangas R., García-Ferrer A., de Juan A., Arroyo A.M. The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response? // Accident Analysis & Prevention. 2010. Vol. 42(4). P. 1048–1056.

19. OECD/ITF. Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System. Paris: OECD Publishing, 2016.

20. Lundberg S., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2017.