UDK 616.314-002-036.22:519.87:528.94

O‘ZBEKISTON HUDUDLARI BO‘YICHA TISH KARIESI XAVFINI GEOGRAFIK VA MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Toshmuradova Madina Shokirovna *- tayanch doktorant, Toshkent shahar Yangihayot tumani 66-sonli oilaviy poliklinikaning stomatolog shifokori.*
E-mail: toshmuradova98@mail.ru

Annotatsiya. O‘zbekiston hududlarida tish kariesi xavfini baholash uchun geografik axborot tizimi, fazoviy statistika va sun’iy intellektni birlashtiruvchi modelni asoslash hamda ochiq mahalliy ma’lumotlarda pilot hisobni bajarish. WHO metodikasi, O‘zbekiston bo‘yicha 2019-yilgi model baholari va Buxoro hamda Jizzax viloyatlarining to‘rt qishloq tumanida tekshirilgan 8653 nafar 1-15 yoshli bola haqidagi ma’lumotlar tahlil qilindi. 12 yoshdagi karies tarqalishi va KPU indeksi min-maks usulida me’yorlashtirilib, teng vaznli nisbiy yuk indeksi hisoblandi. Indeks Arnasoyda 77,5, Baxmalda 0,0, Romitanda 76,7 va Peshkuda 58,9 ni tashkil etdi; u faqat shu to‘rt tuman ichidagi tartibni bildiradi. Respublika tizimi uchun ierarxik fazoviy model, Moran I va LISA tahlili, mashinaviy o‘rganish, fazoviy blokli kross-validatsiya hamda tashqi validatsiya protokoli taklif etildi. Ochiq ma’lumotlar hozircha ishonchli umummilliy xarita yaratish uchun yetarli emas.

Kalit so‘zlar: tish kariesi, geografik axborot tizimi, fazoviy epidemiologiya, matematik modellashtirish, sun’iy intellekt, DMFT/KPU, ekologik omillar, hududiy xavf.

Аннотация. Обосновать модель оценки риска кариеса зубов в регионах Узбекистана, объединяющую геоинформационную систему, пространственную статистику и искусственный интеллект, и выполнить пилотный расчёт на основе открытых местных данных. Проанализированы методика ВОЗ, модельные оценки для Узбекистана за 2019 год и данные об обследовании 8653 детей в возрасте 1–15 лет в четырёх сельских районах Бухарской и Джизакской областей. Показатели распространённости кариеса и индекса КПУ у 12-летних детей нормализованы методом «минимум–максимум» и объединены с равными весами в относительный индекс бремени кариеса. Значения индекса составили 77,5 в Арнасайском, 0,0 в Бахмальском, 76,7 в Ромитанском и 58,9 в Пешкунском районах; индекс отражает только ранжирование этих четырёх районов. Для общенациональной системы предложены иерархическая пространственная модель, анализ с использованием индекса Морана I и LISA, машинное обучение, пространственная блочная кросс-валидация и протокол внешней валидации. Имеющихся открытых данных пока недостаточно для построения достоверной общенациональной карты риска.

Ключевые слова: кариес зубов, геоинформационная система, пространственная эпидемиология, математическое моделирование, искусственный интеллект, DMFT/КПУ, экологические факторы, региональный риск.

Abstract. To substantiate a caries-risk assessment model for Uzbekistan that integrates a geographic information system, spatial statistics, and artificial intelligence, and to perform a pilot calculation using open local data. We analysed the WHO methodology, 2019 model estimates for Uzbekistan, and published data on 8,653 children aged 1-15 years examined in four rural districts of the Bukhara and Jizzakh regions. Caries prevalence and DMFT at age 12 were min-max normalised and combined into an equally weighted relative burden index. The index was 77.5 in Arnasay, 0.0 in Bakhmal, 76.7 in Romitan, and 58.9 in Peshku; it represents ranking only within these four districts. A nationwide framework was proposed comprising a hierarchical spatial model, Moran’s I and LISA, machine learning, spatial block cross-validation,

and external validation. Available open data remain insufficient for a reliable nationwide risk map.

Keywords: dental caries, geographic information system, spatial epidemiology, mathematical modelling, artificial intelligence, DMFT, ecological factors, regional risk.

Kirish. Tish kariesi — dunyoda eng keng tarqalgan surunkali kasalliklardan biri. U biofilm va shakar ta'sirida rivojlanadigan ko'p omilli, dinamik kasallikdir [13]. Biroq kasallikning yuzaga kelishi faqat individual gigiyenaga bog'liq emas. Oziq-ovqat muhiti, ftor manbalari, ijtimoiy-iqtisodiy sharoit, stomatologik xizmatdan foydalanish imkoniyati va profilaktika dasturlarining uzluksizligi ham karies yukiga ta'sir qiladi. Shu sababli faqat umumrespublika o'rtacha ko'rsatkichiga tayanish hududlar o'rtasidagi ehtiyoj farqlarini yashirishi mumkin.

WHOning O'zbekiston bo'yicha 2022-yilgi mamlakat profilida 2019-yil uchun davolanmagan kariesning model bahosi sut tishlarida 1–9 yoshli bolalar orasida 47,7%, doimiy tishlarda 5 yoshdan katta aholida 34,1% deb ko'rsatilgan. Shu profil shakar mavjudligini aholi jon boshiga kuniga 53,5 g deb beradi va 2021-yilda davlat birlamchi tibbiy yordam muassasalarida og'iz kasalliklarini erta aniqlash skriningi mavjud emasligini qayd etadi [18]. Ushbu raqamlar muammoning milliy ko'lamini ko'rsatadi, biroq ular hududlar kesimidagi klinik kuzatuv o'rnini bosa olmaydi. Shu bilan birga, respublikada stomatologik xizmat resursi cheklangan: 2014-yilgi ma'lumotlarga ko'ra, 10 000 aholiga atigi 1,5 nafar stomatolog to'g'ri keladi [18]; bu xizmatga kirish omilining hududiy modelda alohida hisobga olinishi zarurligini ko'rsatadi.

O'zbekistonning landshaft, iqlim, ichimlik suvi tarkibi, urbanizatsiya va tibbiy infratuzilmasi hududlar bo'yicha farq qiladi. Saidova tomonidan Buxoro va Jizzax viloyatlarining to'rt qishloq tumanida o'tkazilgan tekshiruvda kariesning iqlim-geografik zonalar bo'yicha farqlanishi ko'rsatilgan; tadqiqot hududlaridagi ichimlik suvida ftor miqdori 0,15–0,23 mg/l bo'lgan [4]. Bunday ma'lumotlar geografik omillarni klinik ko'rsatkichlar bilan bog'lash zarurligini asoslaydi.

Geografik axborot tizimi (GIS) kasallik ko'rsatkichlarini hudud chegaralari, ekologik ekspozitsiyalar va xizmatlar mavjudligi bilan bir qatlamda ko'rishga imkon beradi. Fazoviy statistika qo'shni hududlarda o'xshash xavf to'planishini aniqlaydi; matematik va mashinaviy o'rganish modellari esa ko'p sonli determinantlarning chiziqli bo'lmagan o'zaro ta'sirini hisobga olishi mumkin. Biroq tibbiy prognozda yuqori aniqlikning o'zi yetarli emas: model kalibrlangan, tashqi ma'lumotda tekshirilgan, noaniqligi ko'rsatilgan va klinik jihatdan talqin qilinadigan bo'lishi kerak [7].

Tadqiqotning maqsadi — O'zbekiston hududlari va tumanlarida tish kariesi xavfini baholashga mo'ljallangan GIS-matematik modelni ishlab chiqish. Modelda klinik, ekologik, xulq-atvor va stomatologik xizmatdan foydalanishga oid ma'lumotlar birlashtiriladi. Uning pilot analitik moduli ochiq manbalarda e'lon qilingan to'rt tuman ma'lumotlari asosida sinab ko'rildi. Buning uchun fazoviy modelga zarur minimal ma'lumotlar tarkibi belgilandi, statistik va sun'iy intellekt modellarini validatsiya qilish tartibi ishlab chiqildi, pilot hududlarning nisbiy yuki hisoblandi hamda natijalardan profilaktika resurslarini rejalashtirishda foydalanish mezonlari taklif etildi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. WHO "Oral Health Surveys: Basic Methods" qo'llanmasi og'iz bo'shlig'i kasalliklarini standartlashtirilgan mezonlar bilan o'lchash va kalit yosh guruhlari bo'yicha taqqoslanadigan ma'lumot yig'ishni tavsiya qiladi [17]. Karies uchun DMFT/KPU (doimiy tishlarda karieslangan, yo'qotilgan va plombalangan tishlar yig'indisi) hamda dmft/kp (sut tishlari) indekslari epidemiologik asos bo'lib qoladi. Hududiy modelning

ishonchliligi bir xil diagnostik mezon, kalibrlangan tekshiruvchi, tanlanma dizayni va yosh bo‘yicha standartlashtirishga bevosita bog‘liq.

Kariesning biologik mexanizmi va determinantlari Pitts va hammualliflar tomonidan biofilm, shakar, tish to‘qimasi va himoya omillari o‘rtasidagi dinamik muvozanat sifatida umumlashtirilgan [13]. WHO erkin shakarlarni umumiy energiya iste’molining 10 foizidan kamiga tushirishni, qo‘shimcha foyda uchun 5 foizdan past darajani ko‘rib chiqishni tavsiya qiladi [16]. Demak, hududiy xavf modelida faqat umumiy shakar savdosi emas, balki shirin ichimlik va mahsulotlarni iste’mol qilish chastotasi, maktab oziq-ovqat muhiti va oilaviy odatlar ham o‘lchanishi kerak.

Ftor karies xavfini modifikatsiya qiluvchi muhim omildir. Ftorli tish pastasi bo‘yicha Cochrane tahlili ftor saqlamaydigan pastaga nisbatan karies profilaktik foydasini tasdiqlaydi, konsentratsiyalar o‘rtasidagi farqlar bo‘yicha esa dalil darajasi bir xil emasligini ko‘rsatadi [15]. Shu bois ekologik qatlamda ichimlik suvidagi ftor bilan birga ftorli tish pastasidan foydalanish, yoshga mos doza va foydalanish muntazamligi hisobga olinadi. Suv tarkibini yakka holda “himoya” yoki “xavf” belgisi deb talqin qilish noto‘g‘ri bo‘ladi.

Mahalliy epidemiologik adabiyotlarda hududiy tafovut g‘oyasi avvaldan mavjud. O‘zbekistonda stomatologik kasalliklar epidemiologiyasi va profilaktikasiga bag‘ishlangan monografiyada iqlim-geografik hamda ijtimoiy omillarni rejalashtirishda hisobga olish zarurligi ta’kidlangan [1]. Guliston shahridagi epidemiologik vaziyat tahlili hududiy profilaktika choralarini epidemiologik baholash bilan bog‘lagan [3]. Saidovaning keyingi katta tanlanmali tadqiqoti esa Arnasoy, Baxmal, Romitan va Peshku tumanlaridagi 8653 bolani bir xil tekshiruv sxemasi asosida qamrab olgan [4].

Toshkent viloyati va shahri bo‘yicha ham mustaqil mahalliy tadqiqotlar mavjud. Kamilov va Zokirxonova Toshkent shahri hamda viloyatining to‘rt tumanida 935 nafar bolani qamragan qiyosiy tahlil o‘tkazgan [2], Dinikulov esa yana to‘rtta tumanda klinik ko‘rik va ichimlik suvidagi ftor tahlilini birlashtirgan monografik tadqiqot yuritgan [8]. Ushbu ikkala ish quyida Tahlil va natijalar bo‘limida batafsilroq ko‘rib chiqiladi; ular Saidovaning Buxoro-Jizzax natijalari bilan birga hududiy notekislikni mustaqil ravishda tasdiqlaydi, biroq hech biri fazoviy statistika yoki mashinaviy o‘rganish vositalarida rasman qo‘llanilmagan.

Sun’iy intellekt karies xavfini individual darajada baholashda faol sinovdan o‘tkazilmoqda. Sadegh-Zadeh va hammualliflar 780 nafar 5 yoshgacha bo‘lgan bolada 17 belgidan foydalanib, logistik regressiya, Random Forest, SVM, neyron tarmoq va boshqa klassifikatorlarni solishtirgan; ayrim modellarda 97,4% aniqlik qayd etilgan [14]. Biroq tanlanmadagi kariesli va kariesdan xoli bolalar nisbati, bitta markaz ma’lumoti va tashqi validatsiya yo‘qligi natijani boshqa populyatsiyaga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirishni cheklaydi.

Pang va hammualliflar 1055 o‘smirni qamrab olgan prospektiv ishda ekologik, klinik va genetik belgilar asosida Random Forest modelini ishlab chiqib, mustaqil kohortada AUC 0,73 ga erishgan [11]. Ogwo va hammualliflar esa bolalikdan to yosh katta davrgacha yig‘ilgan longitudinal ko‘rsatkichlardan foydalangan holda yosh kattalardagi karies natijalarini bashorat qilgan va populyatsion xilma-xillik oshirilmasa umumlashtirish cheklanishini ko‘rsatgan [10]. Ushbu ishlar vaqt bo‘yicha kuzatuv va tashqi validatsiyaning ahamiyatini tasdiqlaydi.

Hududiy kasallik xaritasida qo‘shni birliklar mustaqil emas. Anselinning LISA ko‘rsatkichlari lokal yuqori–yuqori va past–past klasterlarni, shuningdek fazoviy autlayyerlarni aniqlashga imkon beradi [5]. Random Forest chiziqli bo‘lmagan bog‘lanish va o‘zaro ta’sirlarni o‘rganadi, biroq geografik qo‘shnichilikni o‘zi avtomatik hisobga olmaydi [6]. Shu sababli fazoviy regressiya va mashinaviy o‘rganish bir-biriga raqib emas, balki turli vazifalarni bajaruvchi komplementar komponentlar sifatida ishlatilishi lozim.

Mavjud adabiyotlarni solishtirishda uchta muammo aniqlandi. O‘zbekiston bo‘yicha ochiq klinik ma’lumotlar barcha hududlarni yagona protokol asosida qamrab olmaydi. Mahalliy

tadqiqotlarda klinik ko‘rsatkichlar geografik qatlamlar bilan formal fazoviy modelda deyarli birlashtirilmagan. Sun’iy intellekt modellari uchun diskriminatsiya bilan birga kalibrlash, fazoviy tashqi validatsiya va noaniqlik xaritasini nazarda tutuvchi yagona protokol ham shakllanmagan. Shu sababli ushbu maqolada keyingi tadqiqotlarda sinovdan o‘tkazilishi mumkin bo‘lgan metodik arxitektura taklif etildi.

Tadqiqot materiallari va usullari. Tadqiqot dizayni ikkilamchi ma’lumotlar tahlili va metodologik model ishlab chiqish shaklida tuzildi. Ochiq manbalardan olingan milliy hamda mahalliy epidemiologik ko‘rsatkichlar dalillar sintezi uchun ishlatildi. Muallif tomonidan yangi bemorlar jalb qilinmadi va individual tibbiy ma’lumot qayta ishlanmadi. Shu sababli pilot natija original respublika kuzatuvi emas; u e’lon qilingan agregat ma’lumotni qayta hisoblash orqali modelning analitik mantiqini ko‘rsatadi.

Respublika miqyosidagi istiqbolli tadqiqot uchun nishon populyatsiya 6, 12, 15 yoshli bolalar va zaruratga ko‘ra 35–44 yoshli kattalardan iborat bo‘lishi tavsiya etiladi. Har bir hududda shahar–qishloq, ijtimoiy qatlam va ichimlik suvi manbasi bo‘yicha stratifikatsiyalangan klaster tanlanma qo‘llanadi. Klinik tekshiruv WHO mezonida, tekshiruvchilararo kappa kamida 0,80 ga yetguncha kalibrlash bilan bajariladi. Birlamchi natija — karies mavjudligi; ikkilamchi natijalar — DMFT/dmft, davolanmagan D/d komponenti, SiC indeksi va so‘nggi 12 oyda yangi zararlanish.

Geografik birlik ikki darajada ko‘riladi: 14 ta yuqori ma’muriy birlik (Qoraqalpog‘iston Respublikasi, 12 viloyat va Toshkent shahri) hamda ular tarkibidagi tuman/shaharlar. Faqat 14 birlik bilan murakkab AI modelini o‘qitish statistik jihatdan yetarli emas; shu sababli individual yoki tuman darajasidagi yozuvlar talab etiladi. Xarita poligonlari yagona geokod bilan klinik, gidrokimyoviy, demografik va xizmat ma’lumotlariga ulanadi.

1-jadval.

Hududiy karies modeli uchun minimal ma’lumotlar lug‘ati

Blok	O‘zgaruvchilar	Manba va davriylik	Modeldagi vazifa
Klinik natija	Karies mavjudligi; DMFT/dmft; D/d; SiC; yangi leziya	Standart epidemiologik ko‘rik, 2–3 yilda	Nishon o‘zgaruvchi va kasallik yukini baholash
Xulq-atvor	Kunlik tozalash; ftorli tish pastasi; shakar chastotasi; profilaktik tashrif	Anonim so‘rovnoma, klinik ko‘rik bilan bir vaqtda	Modifikatsiya qilinadigan individual xavf
Ekologik	Suvdagi F−, qattiqlik, mineralizatsiya; iqlim; havo sifati	Akkreditatsiyalangan laboratoriya va monitoring tarmoqlari	Hududiy ekspozitsiya va fazoviy klaster
Ijtimoiy	Daromad proksisi; ta’lim; urbanizatsiya; bolalar ulushi	Rasmiy statistika, yillik	Strukturaviy determinant va konfaunder
Xizmat	Stomatologlar zichligi; masofa/vaqt; maktab kabineti; profilaktika qamrovi	Sog‘liqni saqlash registrlari va yo‘l tarmog‘i	Yordamga kirish va resurs taqsimoti
Geografik	Hudud kodi; koordinata; qo‘shnichilik matritsasi; chegaralar	Milliy geoma’lumot va geokodlash	Moran I, LISA, fazoviy tasodifiy effekt

Individual i ning j hududidagi karies ehtimoli ierarxik logistik tenglama bilan ifodalanadi:

$$\text{logit}(p_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Sugar}_{ij} + \beta_2 \text{Fluoride}_{ij} + \beta_3 \text{Hygiene}_{ij} + \beta_4 \text{Access}_j + \beta_5 \text{SES}_{ij} + u_j + v_j .$$

Bu yerda u_j — qo‘shni hududlar orasidagi bog‘liqlikni aks ettiruvchi strukturali fazoviy effekt, v_j — strukturaga ega bo‘lmagan hududiy effekt. Natija sonli DMFT bo‘lsa, ortiqcha dispersiya va nol qiymatlarning ko‘pligi tekshiriladi; zaruratda manfiy binomial yoki zero-inflated model qo‘llanadi. Yosh, jins va tanlanma vaznlari majburiy kovariatlar sifatida ko‘riladi.

Global Moran I yordamida modeldan oldingi va qoldiq qiymatlardagi fazoviy avtokorrelyatsiya tekshiriladi. LISA xaritasi yuqori–yuqori klasterlarni, past–past klasterlarni va qo‘shnilaridan farq qiladigan hududlarni ko‘rsatadi [5]. Ko‘p martalik lokal testlar uchun yolg‘on kashfiyot ulushi nazorat qilinadi. Yuqori xavf klasteri sababiy bog‘lanish emas; u qo‘shimcha epidemiologik tekshiruv uchun signal hisoblanadi.

Sun’iy intellekt modulida logistik regressiya bazaviy model, Random Forest va gradient boosting esa chiziqli bo‘lmagan alternativlar sifatida solishtiriladi. Ma’lumot hudud bo‘yicha tasodifiy aralashtirilmaydi: kross-validatsiya geografik bloklar yoki “bir hududni tashqarida qoldirish” usulida bajariladi. Bu yondashuv qo‘shni yozuvlarning o‘qitish va test to‘plamiga bir vaqtda tushishi sababli yuzaga keladigan optimistik xatoni kamaytiradi. Nomutanosib sinflarda aniqlikdan tashqari ROC-AUC, PR-AUC, sezgirlik, spetsifiklik, Brier ko‘rsatkichi va kalibrlash qiyaligi beriladi.

Gibrid prognoz fazoviy model va AI natijasining validatsiya to‘plamida tanlangan vaznli kombinatsiyasi sifatida aniqlanishi mumkin:

$$\hat{p}_j = \alpha \cdot \hat{p}\text{Spatial}_{,j} + (1-\alpha) \cdot \hat{p}\text{ML}_{,j}, \quad 0 \le \alpha \le 1.$$

α Brier ko‘rsatkichini minimallashtirish orqali tanlanadi. Har bir hudud uchun faqat nuqtaviy ehtimol emas, 95% ishonch yoki kredibil interval va ma’lumot yetarliligi belgisi chiqariladi. Xavf uch yoki besh toifaga faqat klinik va resurs mezonlari oldindan belgilanganida ajratiladi; kvantil bo‘yicha bo‘yash statistik farqni klinik farq deb ko‘rsatmasligi kerak.

Pilot qayta tahlilda Saidova maqolasidagi 12 yoshli bolalar uchun karies tarqalishi va KPU/DMFT qiymatlari qo‘lda ajratildi [4]. Har bir ko‘rsatkich to‘rt tuman ichida min–maks usulida 0–1 oralig‘iga keltirildi. Nisbiy yuk indeksi $R_j = 100 \times [0{,}5 \cdot P^*_j + 0{,}5 \cdot D^*_j]$ ko‘rinishida hisoblandi. Bu formuladagi teng vazn metodik namoyish uchun tanlangan; u klinik validatsiyasiz universal koeffitsiyent emas. Eng past tuman 0, eng yuqori tuman 100 bo‘lishi tufayli indeks mutlaq xavfni yoki kasallik ehtimolini bildirmaydi.

Natijalar va muhokama. Tahlil natijasida O‘zbekistonda karies yukini hududlar kesimida baholashga xizmat qiladigan ikki darajadagi ma’lumot borligi aniqlandi. WHO profili yagona usulda hisoblangan milliy model baholarini beradi: sut tishlaridagi davolanmagan karies 47,7%, doimiy tishlarda 34,1%, shakar mavjudligi esa 53,5 g/kun [18]. Bu raqamlar respublika miqyosidagi vaziyatni tavsiflaydi, ammo ulardan viloyat yoki tuman xavfini bevosita chiqarib bo‘lmaydi.

Mahalliy tadqiqot 2008–2009-yillarda Buxoro viloyatining Romitan va Peshku, Jizzax viloyatining Arnasoy va Baxmal tumanlarida 8653 nafar bolani qamrab olgan. Tekshiruv bir xil karta hamda KPU, kp va KPU+kp indekslari bilan bajarilgan. Mualliflar cho‘l-dasht hududlarida kasallik chastotasi va intensivligi yuqoriroq ekanini, gigiyenik parvarish ko‘pchilik bolalarda yetarli emasligini qayd etgan [4]. Ushbu tanlanmaning katta hajmi afzallik, faqat ikki viloyat va qishloq tumanlari bilan cheklangani hamda ma’lumotning eski ekani esa umumlashtirish cheklovidir.

2-jadval.

Ochiq mahalliy ma'lumot bo'yicha 12 yoshdagi pilot nisbiy yuk

Tuman	Viloyat	Karies tarqalishi, %	KPU/DMFT	Nisbiy indeks R, 0–100	Talqin
Arnasoy	Jizzax	78,39	4,20	77,5	To'rt tuman ichida yuqori nisbiy yuk
Baxmal	Jizzax	74,06	3,55	0,0	Tanlanmadagi eng past nisbiy yuk
Romitan	Buxoro	76,37	4,73	76,7	Yuqori intensivlik bilan yuqori nisbiy yuk
Peshku	Buxoro	76,63	4,24	58,9	Oraliq–yuqori nisbiy yuk

Manba: Saidova N.B. (2015) jadvalidagi agregat qiymatlar asosida muallifning qayta hisobi [4]. R indeksi faqat shu to'rt tuman doirasidagi nisbiy tartibni bildiradi; ishonch oralig'i, yosh bo'yicha to'liq tanlanma vazni va individual determinantlar bo'lmagani sababli statistik ustunlik haqida xulosa chiqarilmaydi.

Pilot natijada Arnasoy va Romitan indekslari yaqin bo'lsa-da, ularning tuzilishi farq qiladi: Arnasoyda tarqalish komponenti, Romitanda esa KPU intensivligi nisbatan yuqori. Bu farq profilaktika choralariga ta'sir qiladi. Yuqori tarqalish birlamchi profilaktika va keng qamrovli skriningni, yuqori D komponenti hamda KPU esa davolash ehtiyoji va individual yuqori xavf guruhlarini chuqurroq tekshirishni talab qilishi mumkin. Bitta kompozit ball komponentlarni yashirmasligi uchun xaritada umumiy indeks bilan birga tarqalish, davolanmagan komponent va noaniqlik alohida qatlamlarda ko'rsatiladi.

Baxmalning 0 ball olishi "karies xavfi yo'q" degani emas. Tuman pilot tanlanmada nisbatan eng past bo'lsa ham, 12 yoshdagi tarqalish 74,06% va KPU 3,55 bo'lgan. Min–maks indeksning shu xususiyati mutlaq ko'rsatkichlarni doimo yonma-yon taqdim etish zarurligini ko'rsatadi. Profilaktika resurslarini faqat rangli kompozit xarita asosida ajratish klinik ehtiyojni noto'g'ri baholashi mumkin.

Ekologik va xulq-atvor omillarini fazoviy tahlil qilish uchun mavjud pilot ma'lumot yetarli emas. Suvdagi ftor 0,15–0,23 mg/l diapazonda berilgan, ammo har bir tuman va har bir ishtirokchi uchun ekspozitsiya, ftorli tish pastasi, shakar chastotasi, oilaviy daromad va stomatologgacha yo'l vaqti bir xil formatda mavjud emas [4]. Shuning uchun ekologik determinantlarning mustaqil ta'sir koeffitsiyentlari hisoblanmadi. Uydirma to'ldirish yoki hudud o'rtachasini individual qiymat sifatida qo'llash ekologik xatoga olib keladi.

Taklif etilgan GIS–AI tizimi klinik ma'lumot yetarli bo'lgach uch xil mahsulot beradi: birinchisi, yosh bo'yicha standartlashtirilgan kuzatilgan karies xaritasi; ikkinchisi, fazoviy silliqlangan nisbiy xavf va uning noaniqlik xaritasi; uchinchisi, modifikatsiya qilinadigan omillar bo'yicha ssenariy xaritasi. Masalan, ftorli tish pastasi bilan kuniga ikki marta tozalash qamrovi oshsa yoki maktab profilaktika dasturi joriy etilsa, model assotsiatsiyaga asoslangan kutiladigan o'zgarishni ko'rsatishi mumkin. Bunday ssenariy sababiy ta'sir deb e'lon qilinishidan oldin prospektiv yoki kvazieksperimental baholash talab etiladi.

AI modulida izohlanuvchanlik klinik xavfsizlik sharti sifatida belgilanadi. Global xususiyat ahamiyati model qaysi omillarga ko'proq tayanishini, individual yoki hududiy SHAP qiymatlari esa konkret prognozga nima hissa qo'shganini ko'rsatishi mumkin. Lekin xususiyat ahamiyati

sababiy ta'sir emas; korrelyatsiyalangan suv sifati, qishloqlik va xizmatga masofa bir-birining ta'sirini bo'lishib olishi mumkin. Shu bois statistik model koeffitsiyentlari, yo'nalishli epidemiologik dalil va klinik bilim bilan birgalikda talqin qilinadi.

Mazkur ishning yangiligi bir necha jihatda namoyon bo'ladi. O'zbekiston hududlari uchun karies ko'rsatkichlari, ekologik omillar, xulq-atvor va stomatologik xizmatdan foydalanish ma'lumotlarini yagona geokodlangan tizimda birlashtirish arxitekturasi taklif etildi. Fazoviy avtokorrelyatsiyani alohida tekshirish hamda statistik va sun'iy intellekt modellarini geografik blokli validatsiya orqali solishtirish tartibi ishlab chiqildi. Natijani faqat rangli xavf xaritasi ko'rinishida emas, balki mutlaq klinik yuk, noaniqlik va o'zgartirish mumkin bo'lgan omillar bilan birga taqdim etish tamoyili belgilandi. Barcha hududlarni qamrab olgan original ma'lumotlar va tashqi validatsiya bo'lmaguncha bu yondashuvni O'zbekiston bo'yicha to'liq empirik baholash deb talqin qilish mumkin emas.

3-jadval.

Modelni ishlab chiqish, validatsiya qilish va amaliyotga joriy etish mezonlari

Bosqich	Asosiy tekshiruv	Qabul mezoni	Noto'g'ri talqin xavfi
Ma'lumot sifati	Qamrov, yo'qolgan qiymat, tekshiruvchi kelishuvi, geokod	Oldindan belgilangan protokol; kappa ≥0,80	Tanlanma noto'liqligini hudud xavfi deb qabul qilish
Fazoviy tahlil	Moran I, LISA, qoldiq avtokorrelyatsiya	Qoldiq klasterlanish minimallashtiriladi; ko'p test nazorati	Klasterdan sababiy xulosa chiqarish
Ichki validatsiya	Fazoviy blokli CV; ROC/PR-AUC; Brier; kalibrlash	Bazaviy modeldan barqaror yaxshilanish	Tasodifiy splitdagi sun'iy yuqori aniqlik
Tashqi validatsiya	Vaqt bo'yicha yangi to'lqin yoki tashqarida qolgan hudud	Kalibrlash va klinik foyda saqlanishi	Bir markaz natijasini butun respublikaga ko'chirish
Qaror tahlili	Profilaktika quvvati va net-benefit	Chegara qiymati sog'liqni saqlash maqsadiga mos	Model ballini tashxis yoki buyruq sifatida qo'llash
Monitoring	Drift, tenglik, qayta kalibrlash, audit jurnali	Davriy nazorat va versiyalash	Eskirgan model bilan resurs taqsimlash

Amaliy qaror qo'llab-quvvatlashda yuqori xavf hududi avtomatik ravishda ko'proq davolash resursini olishi shart emas. Agar yuqori KPU asosan plombalangan komponent hisobiga shakllansa, davolanmagan ehtiyoj boshqa hududdan kam bo'lishi mumkin. Shu bois ustuvorlik formulasi davolanmagan D/d komponenti, bolalar soni, xizmatga kirish va mavjud profilaktika quvvatini alohida saqlaydi. Model epidemiolog va stomatolog ishtirokidagi komissiya qarorini qo'llab-quvvatlaydi, uning o'rnini bosmaydi.

Taklif etilgan tizimning cheklovlari mavjud. Pilot faqat to'rt qishloq tumani va tarixiy ma'lumotga tayangan; individual yozuvlar bo'lmagani sababli konfaunderlar nazorat qilinmadi. Tarqalish va DMFT teng vaznda birlashtirildi, bu vazn klinik validatsiya orqali yangilanishi kerak. WHO ko'rsatkichlari GBD model baholari bo'lib, hududiy o'lchov emas. Shuningdek, maxfiylik sababli aniq uy koordinatasini xaritada berish mumkin emas; kichik kataklarda ma'lumot bostirilishi yoki agregatsiya qilinishi zarur.

Taklif etilgan arxitekturaning amalda qo'llanilishini ko'rsatish uchun qo'shimcha ravishda Toshkent viloyati bo'yicha ikkita mustaqil mahalliy manba tahlil qilindi. Dinikulov

tomonidan viloyatning 14 ta aholi punktida o‘tkazilgan tekshiruvda ichimlik suvidagi ftor miqdori 0,102 dan 0,412 mg/l gacha farqlangan (4-jadval); bu qiymatlarning barchasi mualliflar keltirgan tasnif bo‘yicha optimal hisoblangan 0,7–1,1 mg/l darajasidan past bo‘lgan [8]. Bunday farqlanish 1-jadvaldagi “Ekologik” blokining amalda yig‘ilishi mumkinligini va hududlar orasida real tafovut mavjudligini tasdiqlaydi.

4-jadval.

Toshkent viloyati aholi punktlarida ichimlik suvidagi ftor konsentratsiyasi

Hudud	Ftor (F), mg/l, M±m
Toshkent tumani	0,270 ± 0,01
Yangiyo‘l tumani	0,107 ± 0,01
Bo‘stonliq tumani	0,26 ± 0,03
Parkent tumani	0,234 ± 0,02
Angren shahri	0,18 ± 0,01
Yuqori Chirchiq tumani	0,102 ± 0,01
Bo‘ka tumani	0,115 ± 0,01
Nurafshon shahri	0,27 ± 0,01
Bekobod tumani	0,412 ± 0,01
Piskent tumani	0,175 ± 0,01
Ohangaron tumani	0,158 ± 0,01
Chinoz tumani	0,168 ± 0,01
Olmaliq shahri	0,244 ± 0,01
Akqo‘rg‘on tumani	0,227 ± 0,004

Manba: Dinikulov (2025) monografiyasidagi o‘lchov natijalari asosida [8].

Xuddi shu tadqiqotda to‘rt tumanda (Toshkent, Akqo‘rg‘on, Chinoz, Yangiyo‘l) o‘tkazilgan klinik ko‘rikda KPU+kp indeksi 4,51 dan 8,56 gacha, karies tarqalishi esa 70,3 dan 100 foizgacha farqlangan [8]. Biroq bu to‘rtta tuman kesimida KPU va ichimlik suvidagi ftor darajasi orasida yagona chiziqli tartib kuzatilmadi: ftor darajasi eng past Yangiyo‘l tumani KPU bo‘yicha eng yuqori emas, ftor darajasi eng yuqori Toshkent tumani esa eng past KPU’ga ega emas. Bu holat kichik tanlanma hajmida oddiy tuman darajasidagi taqqoslashning cheklangan ishonchliligini amalda ko‘rsatadi va aynan shu sabab fazoviy regressiya hamda ko‘p omilli modellashtirish (Metodologiya bo‘limida taklif etilgan) zarurligini asoslaydi.

Kamilov va Zokirxonova tomonidan Toshkent shahrining Olmazor va Mirzo-Ulug‘bek hamda viloyatning Qibray va Zangiota tumanlarida 3–6 yoshli 935 bolani qamragan qiyosiy tekshiruvda ham karies tarqalishi tuman va yosh guruhiga qarab 67,7 dan 84,1 foizgacha farqlangan, eng ko‘p zararlangan tish guruhi esa katta oziq tishlar (molarlar) bo‘lgan [2]. Ushbu natija Buxoro–Jizzax (2-jadval) va Toshkent viloyati (4-jadval) ma’lumotlari bilan birgalikda O‘zbekistonning kamida uchta geografik jihatdan farqli hududida hududiy notekislikning mustaqil ravishda qayd etilganini ko‘rsatadi, biroq yuqorida ta’kidlanganidek, bu uchala tadqiqotning hech biri fazoviy statistika yoki mashinaviy o‘rganish vositalarida rasman birlashtirilmagan.

Xulosa va takliflar. Tish kariesi xavfini hududlar bo‘yicha modellashtirish uchun klinik tekshiruv, ekologik monitoring, xulq-atvor so‘rovi va stomatologik xizmatga oid

geoma'lumotlarni bir tizimda jamlash kerak. O‘zbekistonda bunday tizim hali to‘liq shakllanmagan. Milliy o‘rtacha ko‘rsatkichlar hududiy rejalashtirish uchun yetarli emas, mavjud ochiq ma'lumotlar esa hozircha ishonchli respublika xaritasini tuzishga imkon bermaydi.

Buxoro va Jizzax viloyatlaridagi to‘rt tuman bo‘yicha pilot qayta tahlil hududlar o‘rtasida tarqalish va KPU komponentlari bir xil tartibda bo‘lmasligini ko‘rsatdi. Nisbiy indeks Arnasoyda 77,5, Romitanda 76,7, Peshkuda 58,9 va Baxmalda 0,0 bo‘ldi; ushbu shkala faqat to‘rt tuman ichidagi nisbiy yukni bildiradi. Mutlaq karies ko‘rsatkichlari yuqori bo‘lgani sababli 0 ball klinik xavfsizlikni anglatmaydi.

Respublika miqyosidagi tadqiqotda WHO mezonlari asosida 6, 12 va 15 yoshli bolalarni barcha hududlarda stratifikatsiyalangan klaster usulida tekshirish; suv tarkibi, ftorli tish pastasi, shakar chastotasi, gigiyena, ijtimoiy holat va stomatologik yordamga yo‘l vaqtini bir xil geokod bilan yig‘ish tavsiya etiladi. Ma'lumot yig‘ishdan oldin protokol, natijalar va tahlil rejasi ro‘yxatdan o‘tkazilishi lozim.

Model qurishda ierarxik fazoviy regressiya bazaviy tahlil, Random Forest yoki gradient boosting esa qo‘shimcha prognoz vositasi sifatida ishlatilishi kerak. Tasodifiy kross-validatsiya o‘rniga geografik blokli va tashqi hududiy validatsiya qo‘llanadi. Har bir xaritada mutlaq yuk, prognoz, 95% noaniqlik oralig‘i, ma'lumot to‘liqligi va model versiyasi ko‘rsatilishi zarur.

Hududiy profilaktika uchun yuqori xavf klasterlarida maktab skriningi, ftorli tish pastasi mavjudligi, shakar iste'molini kamaytirish ta'limi va mobil stomatologik xizmat kabi choralar bosqichma-bosqich joriy etilishi mumkin. Ularning samarasi yangi karies leziyalari, davolanmagan D/d komponenti, qamrov va tenglik indikatorlari bo‘yicha prospektiv baholanadi. Modelni mustaqil tashxis vositasi emas, resurslarni shaffof va dalilga asoslangan rejalashtirish vositasi sifatida qo‘llash taklif etiladi.

Taklif etilgan GIS–AI arxitekturasi kelgusida O‘zbekiston hududlarida karies xavfini standart mezonlar asosida baholash uchun metodik asos bo‘la oladi. Biroq uning amaliy qiymatini tasdiqlash uchun barcha hududlarni qamrab olgan original ma'lumotlar, vaqt bo‘yicha kuzatuv va tashqi validatsiya zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Babadjanov P.L., Yepishev V.A., Alimskiy A.V. Epidemiologiya i profilaktika stomatologicheskix zabolevaniy v Uzbekistane. – Tashkent, 1991. – 101 s.

2. Kamilov X.P., Zokirxonova Sh.A. Sravnitelnыy analiz rasprostranyonnosti i intensivnosti kariyesa zubov u detey v vozraste 3–6 let v raznыx regionax Tashkentskoy oblasti // Stomatologiya. – Tashkent, 2015. – №1-2. – S. 133–136.

3. Paxomov G.N., Shadiyev K.K., Kadnikova G.I. i dr. Analiz epidemiologicheskoy situatsii pri planirovanii meropriyatiy po profilaktike stomatologicheskix zabolevaniy g. Gulistana // Stomatologiya. – 1982. – № 5. – S. 73–75.

4. Saidova N.B. Rasprostranennost kariyesa zubov u detey, projivayuщix v selskix rayonax Respubliki Uzbekistan // Mejdunarodnыy jurnal prikladnыx i fundamentalnыx issledovaniy. – 2015. – № 12-9. – S. 1617–1620.

5. Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA // Geographical Analysis. – 1995. – Vol. 27(2). – P. 93–115. – DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.

6. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45. – P. 5–32. – DOI: 10.1023/A:1010933404324.

7. Collins G.S., Moons K.G.M., Dhiman P. et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods // BMJ. – 2024. – Vol. 385. – e078378. – DOI: 10.1136/bmj-2023-078378.

8. Dinikulov Zh.A. Endogenous prevention of dental caries in preschool children: Monograph. – Tashkent: Tashkent State Dental Institute, 2025.

9. Moynihan P.J., Kelly S.A.M. Effect on caries of restricting sugars intake: systematic review to inform WHO guidelines // Journal of Dental Research. – 2014. – Vol. 93(1). – P. 8–18. – DOI: 10.1177/0022034513508954.

10. Ogwo C., Brown G., Warren J., Caplan D., Levy S. Predicting dental caries outcomes in young adults using machine learning approach // BMC Oral Health. – 2024. – Vol. 24. – Art. 529. – DOI: 10.1186/s12903-024-04294-7.

11. Pang L., Wang K., Tao Y. et al. A new model for caries risk prediction in teenagers using a machine learning algorithm based on environmental and genetic factors // Frontiers in Genetics. – 2021. – Vol. 12. – Art. 636867. – DOI: 10.3389/fgene.2021.636867.

12. Peres M.A., Macpherson L.M.D., Weyant R.J. et al. Oral diseases: a global public health challenge // The Lancet. – 2019. – Vol. 394(10194). – P. 249–260. – DOI: 10.1016/S0140-6736(19)31146-8.

13. Pitts N.B., Zero D.T., Marsh P.D. et al. Dental caries // Nature Reviews Disease Primers. – 2017. – Vol. 3. – Art. 17030. – DOI: 10.1038/nrdp.2017.30.

14. Sadegh-Zadeh S.A., Rahmani Qeranqayeh A., Benkhalifa E. et al. Dental caries risk assessment in children 5 years old and under via machine learning // Dentistry Journal. – 2022. – Vol. 10(9). – Art. 164. – DOI: 10.3390/dj10090164.

15. Walsh T., Worthington H.V., Glenny A.M., Marinho V.C.C., Jeroncic A. Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2019. – Issue 3. – CD007868. – DOI: 10.1002/14651858.CD007868.pub3.

16. World Health Organization. Guideline: sugars intake for adults and children. Geneva: WHO; 2015. 59 p. ISBN 978-92-4-154902-8.

17. World Health Organization. Oral health surveys: basic methods. 5th ed. Geneva: WHO; 2013. 125 p. ISBN 978-92-4-154864-9.

18. World Health Organization. Uzbekistan oral health country profile. Geneva: WHO; 2022. WHO/UCN/NCD/MND/UZB/2022.1.