

O‘ZBEKISTON HUDUDLARI IQTISODIY TAFOVUTLARINI FAZOVIIY SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA KAMAYTIRISHNING DIFFERENSIAL MEXANIZMI

Bobomurodova Mahliyo Rustam qizi

Kapitalbank yetakchi mutaxassisi

Email: mahliyomirkomilovarustamqizi@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada O‘zbekistonning 14 ta hududi bo‘yicha 2016–2024-yillarning choraklik rasmiy statistikasi asosida hududlararo iqtisodiy tafovutlarni kamaytirishning differensial mexanizmi ishlab chiqilgan. Fazoviy avtokorrelyatsiya tahlili bog‘liqlik geografik qo‘shnichilik emas, iqtisodiy tuzilmaviy o‘xshashlik orqali namoyon bo‘lishini ko‘rsatdi. Fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmog‘i (ST-GNN) va XGBoost gibridi asosida har bir hududga beriladigan impulsning tafovutga ta’siri to‘g‘ridan-to‘g‘ri va diffuziya qismlariga ajratilib, hududlarning ustuvorlik reytingi tuzilgan.

Kalit so‘zlar: hududiy tafovut, fazoviy sun‘iy intellekt, graf neyron tarmoq, GNN, XGBoost, Teyl indeksi, Moran I, fazoviy diffuziya, differensial siyosat, gibrid model.

KIRISH

Hududlar o‘rtasidagi iqtisodiy rivojlanish tafovutlari milliy iqtisodiyotning barqaror o‘rishini cheklovchi tizimli omil hisoblanadi. “O‘zbekiston – 2030” strategiyasida hududlarni jadal rivojlantirish va ular o‘rtasidagi nomutanosiblikni qisqartirish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan [1]. Ammo amaldagi boshqaruv amaliyotida tafovutni qisqartirish choralari, asosan, hududlarning joriy rivojlanish darajasi bo‘yicha bir o‘lchovli reytingiga tayanadi: ko‘rsatkichi past hududga ko‘proq resurs yo‘naltiriladi. Bunday yondashuv bitta muhim jihatni — hududlarning bir-biriga bog‘liqligini — e’tibordan chetda qoldiradi.

Aslida bir hududdagi iqtisodiy o‘rish faqat o‘sha hudud ko‘rsatkichini o‘zgartirmaydi: u ta’minot zanjirlari, mehnat migratsiyasi va bozor aloqalari orqali boshqa hududlarga ham tarqaladi. Bu diffuziya (spillover) samarasi hisobga olinmasa, resurs taqsimoti bo‘yicha qaror maqbul bo‘lmasligi mumkin: to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’siri katta ko‘ringan hudud, tarqalish samarasi zaifligi sababli, umumiy tafovutni kamaytirishda samarasiz bo‘lib chiqishi ehtimoli bor.

Fazoviy sun‘iy intellekt (Spatial AI) — xususan, graf neyron tarmoqlari (GNN) — obyektlar orasidagi bog‘lanishni bevosita model tuzilmasiga singdirishga imkon beradi va shu bilan diffuziya samarasini miqdoriy baholash imkonini yaratadi. Ushbu maqolaning maqsadi — O‘zbekiston hududlari uchun fazoviy bog‘liqlik tabiatini empirik aniqlash, graf asosidagi bashorat modelini qurish va uning yordamida tafovutni kamaytirish bo‘yicha differensial qaror qabul qilish mexanizmini ishlab chiqishdan iborat.

Muammoning amaliy o'lchami sezilarli. Oldingi bosqichda o'tkazilgan klaster tahlili O'zbekiston hududlarining "qutb-periferiya" tipidagi qutblanganligini ko'rsatgan edi: Navoiy viloyati va Toshkent shahri mamlakat aholisining atigi 11,2 % ini jamlagan holda yalpi hududiy mahsulotning 32,5 % ini ishlab chiqaradi, jon boshiga YHM bo'yicha maksimal va minimal qiymatlar nisbati esa 6,2 barobarni tashkil etadi (2024-yil). Bunday sharoitda resurslarni qayerga yo'naltirish haqidagi qaror to'g'ridan-to'g'ri samaraga emas, balki tizimli samaraga tayanishi kerak.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi uch jihatda namoyon bo'ladi: birinchidan, O'zbekiston hududlari uchun fazoviy bog'liqlikning kontigual va iqtisodiy-tuzilmaviy shakllari qiyosiy sinovdan o'tkazildi; ikkinchidan, fazoviy-vaqtinchalik GNN modelining qisqa hududiy paneldagi chegaralari qat'iy statistik protokol asosida baholandi; uchinchidan, hududga beriladigan impulsning tafovutga ta'sirini to'g'ridan-to'g'ri va diffuziya qismlariga ajratuvchi mexanizm taklif etildi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR TAHLILI

Hududiy tafovutlar nazariyasining zamonaviy asoslari J.Uilyamson [2] va P.Krugman [3] ishlarida shakllangan. Uilyamson rivojlanishning dastlabki bosqichlarida tafovutning ortishi, keyingi bosqichlarda esa kamayishi haqidagi teskari U-shaklidagi bog'liqlikni asoslagan bo'lsa, Krugman yangi iqtisodiy geografiya doirasida agglomeratsiya samarasi tafovutni o'z-o'zidan kuchaytirishi mumkinligini ko'rsatdi. R.Barro va X.Sala-i-Martin [4] konvergensiya gipotezasini empirik sinash uchun β - va σ -yaqinlashish tushunchalarini kiritdilar. Tafovutni o'lchashda G.Teyl taklif etgan entropiyaga asoslangan indeks [5] qulayligi bilan ajralib turadi, chunki u guruhlararo va guruh ichidagi tarkibiy qismlarga to'liq ajraladi.

Hududlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni hisobga oluvchi ilmiy an'ana fazoviy ekonometrika doirasida rivojlangan. P.Moran taklif etgan fazoviy avtokorrelyatsiya indeksi [6] bugungi kunda ham asosiy diagnostik vosita bo'lib qolmoqda. L.Anselin [7], J.LeSage va R.Peys [8] hamda J.Elhorst [9] ishlarida fazoviy lag va fazoviy xato modellari tizimlashtirilgan. Ushbu yondashuvlarning umumiy cheklovi shundaki, ular fazoviy vazn matritsasini, qoida tariqasida, geografik qo'shnichilik asosida ekzogen tarzda beradi va bog'lanishning noxizizli shakllarini qamrab olmaydi.

So'nggi yillarda bu cheklovni bartaraf etish uchun graf neyron tarmoqlari qo'llanila boshlandi. T.Kipf va M.Welling [10] graf konvolyutsion tarmoq (GCN) ning samarali yaqinlashtirilgan shaklini taklif etdilar; W.Hamilton va hammualliflari [11] induktiv o'rganish arxitekturasini ishlab chiqdilar. Vaqt o'lchovini qo'shish B.Yu va hammualliflarining STGCN [12] hamda L.Zhao va hammualliflarining T-GCN [13] modellarida amalga oshirilgan; bu modellar, asosan, transport oqimlarini bashorat qilishda sinovdan o'tgan. Q.Li va hammualliflari [14] chuqur GCN modellarida "ortiqcha silliqlash" (over-smoothing) muammosini — qatlamlar soni ortishi bilan tugunlar tavsiflari farqsizlanishini — asoslab berdilar, bu kichik graflarda qatlamlar sonini cheklashni taqozo etadi.

Iqtisodiy vaqt qatorlarini bashorat qilishda LSTM [15] va XGBoost [16] modellari keng tarqalgan. Shu bilan birga, M4 xalqaro tanlovi natijalari [17] qisqa qatorlarda murakkab modellar sodda usullardan har doim ham ustun kelmasligini

ko'rsatdi. Bashorat sifatini baholashda R.Hyndman va A.Koehler tavsiyalari [18] hamda modellar farqining statistik ahamiyatini tekshiruvchi Diebold–Mariano sinovi [19] standart hisoblanadi.

Alohida yo'nalish sifatida gibrid modellar shakllanmoqda: ular turli sinf algoritmlarining bashoratlarini birlashtirib, individual modellarning zaif tomonlarini qoplaydi. M4 tanlovining eng yaxshi natijalari [17] aynan gibrid yechimlarga tegishli bo'lgani bu yondashuvning istiqbolini tasdiqlaydi. Biroq gibridlashning fazoviy komponentaga ega modellar bilan qo'shilishi, ayniqsa hududiy iqtisodiy panellarda, kam o'rganilgan.

Adabiyotlar tahlili ikkita bo'shliqni ko'rsatadi. Birinchidan, O'zbekiston hududlari misolida fazoviy bog'liqlikning qaysi shakli — geografik qo'shnichilikmi yoki iqtisodiy o'xshashlikmi — ustunlik qilishi empirik jihatdan tekshirilmagan. Ikkinchidan, mavjud ishlarda GNN, asosan, bashorat aniqligini oshirish vositasi sifatida qaraladi; uning o'rgangan bog'lanish tuzilmasidan siyosat qarorlarini asoslash uchun foydalanish yetarlicha ishlab chiqilmagan. Ushbu maqola aynan shu ikki bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ma'lumotlar bazasi. Tadqiqot O'zbekiston Respublikasi Statistika agentligining ochiq ma'lumotlar tizimi (SDMX) dan olingan 14 ta hudud bo'yicha choraklik yalpi hududiy mahsulot (YHM) va yillik doimiy aholi soni qatorlariga asoslanadi [22]. Jamlanuvchi (YTD) qatorlar sof choraklik oqimlarga aylantirilib, jon boshiga hisoblangan. Dastlabki diagnostika 2025-yil I va II choraklari nashrida tizimli uzilishni aniqladi: barcha 14 hududda bir vaqtda yillik o'sish +25...+45 % gacha ko'tarilib, keyingi chorakda -8...-17 % gacha tushgan. Bunday sinxron tebranish iqtisodiy jihatdan imkonsiz bo'lib, milliy hisoblarning qayta hisob-kitobi natijasidir; shu sababli namuna 2024-yil IV choragi bilan chegaralandi. Yakuniy panel — 14 hudud × 36 chorak = 504 kuzatuv (1-jadval).

1-jadval.

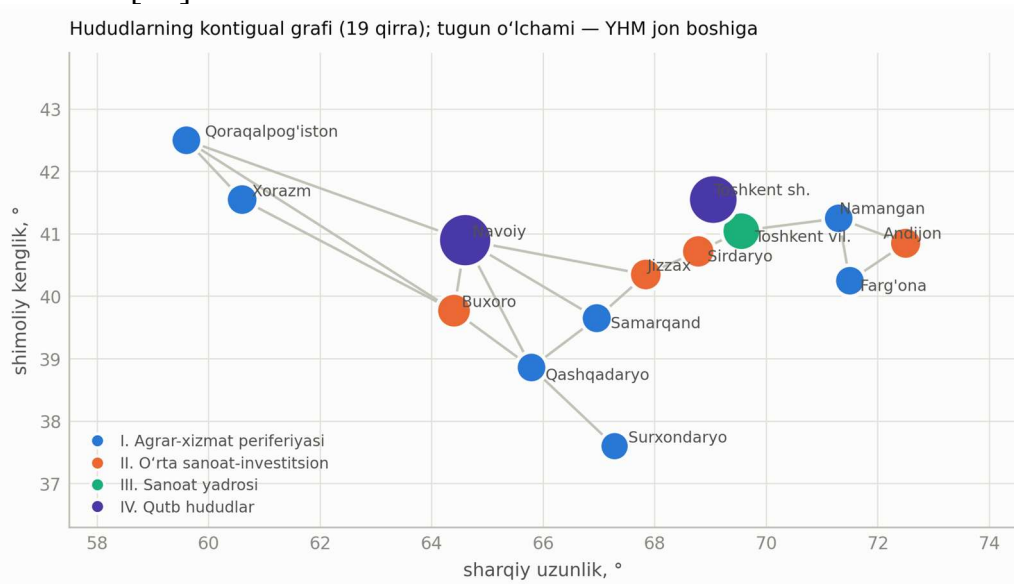
Ma'lumotlar bazasi va model belgilari²⁸

Element	Mazmuni	Manba / davr
Obyekt	14 ta hudud (12 viloyat, Qoraqalpog'iston Respublikasi, Toshkent shahri)	stat.uz
Davr	2016-Q1 – 2024-Q4, choraklik (36 chorak)	SDMX, id 1582
Maqsadli o'zgaruvchi	$g_t = \ln(YHM/kishi)_t - \ln(YHM/kishi)_{t-4}$	muallif hisobi
Vaqt belgilari	o'sishning 8 ta lagi, milliy o'rtacha o'sishning 2 ta lagi	muallif hisobi
Statik belgilar	lagli o'rtacha va dispersiya, respublika o'rtachasidan chetlanish, chorak va hudud indikatorlari	muallif hisobi
Aholi	doimiy aholi soni, chorakka interpolyatsiya qilingan	SDMX, id 246
Tafovut o'lchovi	aholi bo'yicha vaznlangan Teyl indeksi	[5]

Fazoviy graflar. Hududlararo bog'lanish ikki muqobil shaklda modellashtirildi. Kontigual graf umumiy chegaraga ega hududlarni bog'laydi va rasmiy geografik

²⁸ Muallif tomonidan Statistika agentligi ma'lumotlari asosida tuzilgan.

manbalar asosida tuzilgan: 19 qirra, o'rtacha daraja 2,71, graf bog'langan (1-rasm). Iqtisodiy o'xshashlik grafi hududlarning tarmoq tuzilmasi (sanoat, xizmatlar va qishloq xo'jaligi ulushlari) bo'yicha standartlashtirilgan masofasiga Gauss yadrosi qo'llanib, $k = 3$ eng yaqin qo'shni bo'yicha siyraklashtirilgan (32 qirra). Uchinchi variant — ikkala grafning teng vaznli gibridi. Barcha graflar $\hat{A} = D^{(-1/2)}(W + I)D^{(-1/2)}$ ko'rinishida normallashtirildi [10].



1-rasm. Hududlarning kontigual grafi

Tafovutni o'lchash. Hududlararo tafovut aholi bo'yicha vaznlangan Teyl indeksi orqali o'lchanadi:

$$T = \sum_i s_i \cdot (y_i / \bar{y}) \cdot \ln (y_i / \bar{y}), \quad s_i = p_i / \sum_j p_j \quad (1)$$

bunda y_i — i-hududda aholi jon boshiga YHM, $\bar{y}$ — aholi bo'yicha vaznlangan o'rtacha qiymat, p_i — hudud aholisi soni. Teyl indeksi to'liq tenglikda nolga teng bo'lib, tafovut ortishi bilan o'sadi va guruhlararo hamda guruh ichidagi qismlarga to'liq ajraladi [5].

Fazoviy bog'liqlik diagnostikasi. Har bir chorak uchun Moran I indeksi hisoblanib, uning ahamiyati 499 marta permutatsiya orqali tekshirildi. Tahlil ikki o'zgaruvchi — daraja ($\ln$ YHM/kishi) va o'sish sur'ati — hamda ikki graf bo'yicha o'tkazildi. Indeks quyidagicha hisoblanadi:

$$I = (n / \sum_i \sum_j w_{ij}) \cdot [\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})] / \sum_i (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

bunda n — hududlar soni, w_{ij} — fazoviy vazn matritsasi elementi. Tasodifiy taqsimotda kutilayotgan qiymat $E[I] = -1/(n-1) = -0,077$ ga teng; $I > E[I]$ ijobiy fazoviy avtokorrelyatsiyani, ya'ni o'xshash qiymatlarning to'planishini bildiradi.

Modellar. Fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmog'i (ST-GNN) quyidagi tuzilishga ega: har bir lag kesimida tugun tavsiflari graf konvolyutsiyasi orqali qo'shnilar bilan almashtiriladi, so'ngra hosil bo'lgan ketma-ketlik LSTM qatlamidan o'tkaziladi va statik belgilar bilan birlashtirilib, to'liq bog'langan bosh orqali bashorat beriladi. Graf konvolyutsiyasi standart shaklda amalga oshiriladi:

$$H^{(l+1)} = \sigma (\hat{A} H^{(l)} \Theta^{(l)}), \quad \hat{A} = D^{(-1/2)} (W + I) D^{(-1/2)} \quad (3)$$

bunda $H^{(l)}$ — l-qatlamdagi tugun tavsiflari matritsasi, $\Theta^{(l)}$ — o'rganiladigan parametrlar, D — daraja matritsasi, σ — ReLU faollashtirish funksiyasi. Ortiqcha silliqlash muammosini [14] hisobga olib, qatlamlar soni validatsiya asosida bittaga tenglashtirildi. Qiyoslash uchun fazoviy komponentaga ega bo'lmagan XGBoost modeli hamda ST-GNN va XGBoost bashoratlarining teng vaznli gibridi olindi. Barcha giperparametrlar faqat o'qitish qismida (validatsiya — 2022-yil) tanlanib, test namunasi ularni tanlashda ishlatilmadi.

Baholash protokoli. Anqlik walk-forward sxemasida $h = 4$ chorak (bir yil) ufqida baholandi: har bir bashorat nuqtasida model faqat o'sha nuqtagacha bo'lgan ma'lumot bilan qayta o'qitildi. Jami 168 ta bashorat olindi (2022-Q1 – 2024-Q4). Xato o'lchovlari sifatida MAE, RMSE va MAPE [18], modellar farqining statistik ahamiyatini tekshirish uchun Diebold–Mariano sinovi [19] qo'llanildi.

Differensial mexanizm. Mexanizm quyidagi tartibda ishlaydi. Bir qadamli ST-GNN butun namunada o'qitiladi va u orqali keyingi to'rt chorak rekursiv tarzda bashorat qilinadi — bu bazaviy stsenariy. So'ngra har bir i hudud uchun oxirgi kuzatuv nuqtasida uning YHM darajasiga $+5\%$ impuls beriladi va simulyatsiya takrorlanadi. Impulsning tafovutga ta'siri $\Delta T_i = T(\text{impuls}) - T(\text{baza})$ sifatida o'lchanadi, bunda T — aholi bo'yicha vaznlangan Teyl indeksi. Ta'sirni ajratish uchun xuddi shu simulyatsiya grafsiz ($\hat{A} = I$) modelda takrorlanadi: bu to'g'ridan-to'g'ri ta'sirni beradi, ikkalasining farqi esa diffuziya ta'siridir:

$$\Delta T_i = \Delta T_i^{\wedge}(\text{to'g'ridan}) + \Delta T_i^{\wedge}(\text{diffuziya}), \quad \Delta T_i^{\wedge}(\text{diffuziya}) = \Delta T_i - \Delta T_i^{\wedge}(\text{to'g'ridan}) \quad (4)$$

Hududlarning qiyosiy samaradorligi impuls hajmini milliy YHM ga normallashtirish orqali aniqlanadi:

$$E_i = -\Delta T_i / [(\Delta Y_i / Y) \cdot 100] \quad (5)$$

bunda ΔY_i — i -hududga berilgan impulsning mutlaq hajmi, Y — milliy YHM. E_i ning yuqori qiymati milliy mahsulotning 1% iga teng resurs shu hududga yo'naltirilganda tafovutning ko'proq qisqarishini bildiradi. Nihoyat, hududlar impuls hajmining milliy YHM ga nisbatiga normallashtirilgan samaradorlik ko'rsatkichi bo'yicha reytinglanadi. Hisob-kitoblar Python 3.11, scikit-learn [20], XGBoost va PyTorch [21] muhitida bajarildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Fazoviy bog'liqlik tabiati. Moran I sinovi kutilmagan, ammo izchil natija berdi (2-jadval, 2-rasm, a). Geografik qo'shnichilik grafida fazoviy bog'liqlik juda zaif: daraja bo'yicha o'rtacha $I = +0,139$ bo'lib, u choraklarning atigi 17% da statistik ahamiyatli, o'sish sur'ati bo'yicha esa $I = -0,028$ va ahamiyatlilik ulushi 9% — bu tasodifiy taqsimotdan deyarli farq qilmaydi. Iqtisodiy o'xshashlik grafida manzara tubdan boshqacha: daraja bo'yicha $I = +0,184$ bo'lib, u choraklarning 81% da ahamiyatli, o'sish bo'yicha esa 47% .

Bu natijaning iqtisodiy mazmuni aniq: O'zbekiston hududlarining o'zaro bog'liqligi umumiy chegara orqali emas, balki iqtisodiy ixtisoslashuvning o'xshashligi

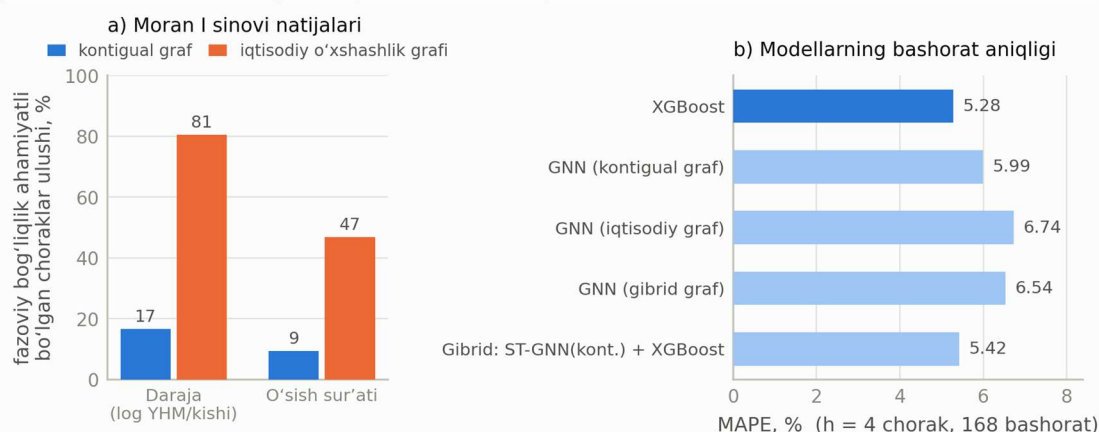
orqali namoyon bo'ladi. Masalan, Navoiy va Toshkent viloyati bir-biriga chegaradosh bo'lmasa-da, ikkalasi ham yuqori sanoat ulushiga ega va o'xshash konyunktura sikliga bo'ysunadi; aksincha, chegaradosh Surxondaryo va Qashqadaryo tarkibiy jihatdan sezilarli farq qiladi. Bu topilma an'anaviy fazoviy ekonometrikada [7–9] qabul qilingan kontigual vazn matritsasini O'zbekiston sharoitida tanqidiy baholash zarurligini ko'rsatadi.

2-jadval.

Fazoviy avtokorrelyatsiya (Moran I) sinovi natijalari

O'zgaruvchi	Graf turi	O'rtacha Moran I	Ahamiyatli choraklar ulushi, %
Daraja (ln YHM/kishi)	kontigual	+0,139	17
Daraja (ln YHM/kishi)	iqtisodiy	+0,184	81
O'sish sur'ati	kontigual	-0,028	9
O'sish sur'ati	iqtisodiy	+0,066	47

Modellarning bashorat aniqligi. Walk-forward baholash natijalari 3-jadvalda va 2-rasm, b da keltirilgan. Fazoviy komponentaga ega bo'lmagan XGBoost eng past o'rtacha nisbiy xatoni (MAPE 5,28 %) ko'rsatdi. ST-GNN ning barcha variantlari undan qolishdi: kontigual grafda 5,99 %, gibrid grafda 6,54 %, iqtisodiy grafda 6,74 %. Diebold–Mariano sinovi bu farqlardan faqat iqtisodiy graf uchun statistik ahamiyatli ekanini tasdiqladi (DM = +3,16).



2-rasm. Fazoviy bog'liqlik diagnostikasi (a) va modellarning bashorat aniqligi (b)

Bu natija dastlab kutilganiga zid ko'rinadi, biroq u ikki sabab bilan izohlanadi. Birinchidan, Moran I sinovi ko'rsatganidek, o'sish sur'atlarida fazoviy bog'liqlik zaif — ya'ni grafda modelga qo'shimcha ma'lumot deyarli yo'q. Ikkinchidan, panel juda qisqa: walk-forward jarayonida GNN atigi 8–20 ta chorak kesimida o'qitiladi, bu esa graf parametrlarini ishonchli baholash uchun yetarli emas. Bu xulosa M4 tanlovi natijalari [17] bilan uyg'un: qisqa qatorlarda murakkab arxitektura ustunlik bermaydi.

Shu bilan birga, gibrid model muhim jihati bilan ajralib turadi: uning MAPE ko'rsatkichi XGBoost dan statistik farq qilmasa-da (DM = +0,11), RMSE bo'yicha u eng yaxshi natijani beradi — 897,9 ming so'm, ya'ni XGBoost dan 3,6 % past. Bu fazoviy komponentaning o'rtacha xatoni emas, balki yirik xatolarni kamaytirishini

bildiradi: graf orqali qo'shnilar haqidagi ma'lumot modelni keskin chetlanishlardan saqlaydi. Aynan shu sabab differensial mexanizmda gibrid yondashuv qo'llanildi.

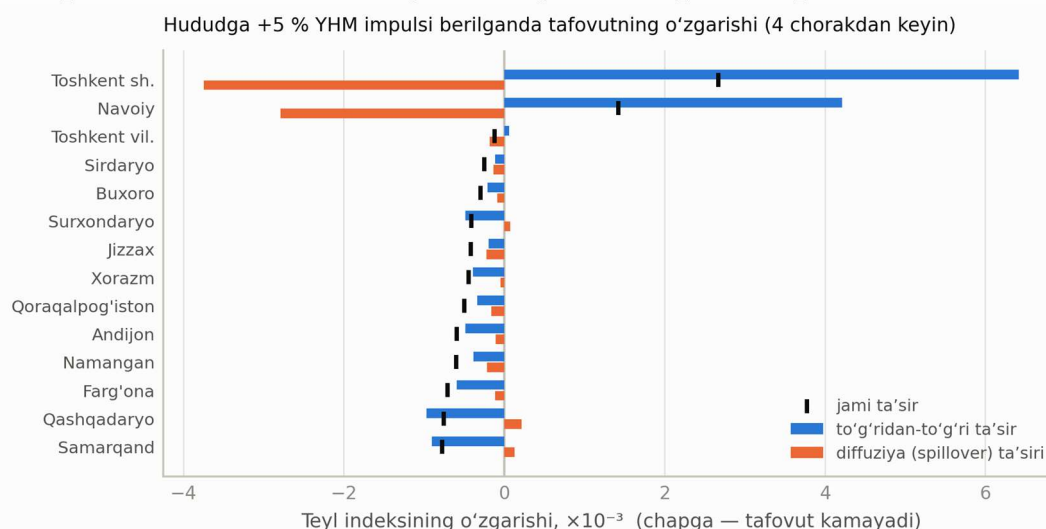
3-jadval.

Modellarning bashorat aniqligi (h = 4 chorak, 168 bashorat)

Model	MAE, ming so'm	RMSE, ming so'm	MAPE, %	DM sinovi
XGBoost (fazoviy emas)	508,1	931,6	5,28	mezon
ST-GNN (kontigual graf)	561,8	983,5	5,99	+1,49
ST-GNN (iqtisodiy graf)	617,7	1105,5	6,74	+3,16**
ST-GNN (gibrid graf)	585,3	1010,3	6,54	+1,96
Gibrid: ST-GNN + XGBoost	510,7	897,9	5,42	+0,11

Differensial mexanizm natijalari. Har bir hududga +5 % impuls berilganda tafovutning o'zgarishi 3-rasmda va 4-jadvalda keltirilgan. Kutilganidek, o'rtachadan yuqori hududlarda o'sish tafovutni kengaytiradi: Toshkent shahri uchun $\Delta T = +0,00267$, Navoiy uchun $+0,00142$. Qolgan 12 hududda esa o'sish tafovutni qisqartiradi.

Eng qiziqarli natija ta'sirni ajratishda ochiladi. Toshkent shahrining to'g'ridan-to'g'ri ta'siri $+0,00641$ ni tashkil etsa-da, diffuziya komponentasi $-0,00375$ bo'lib, uni 58 % ga qoplaydi; Navoiy uchun bu qoplash darajasi 66 % ni tashkil etadi. Ya'ni qutb hududlardagi o'sishning tafovutni kengaytiruvchi ta'siri boshqa hududlarga tarqalish hisobiga uchdan ikki qismigacha neytrallashadi. Bu qutblarni cheklash emas, balki ulardan tarqalish kanallarini kuchaytirish siyosatini qo'llab-quvvatlovchi dalildir.



3-rasm. Impulsning tafovutga ta'sirini to'g'ridan-to'g'ri va diffuziya qismlariga ajratish

Diffuziyani hisobga olish ustuvorlik reytingini sezilarli o'zgartiradi (4-rasm). Ikki reyting orasidagi Spirmen korrelyatsiyasi atigi $\rho = 0,587$ ($p = 0,027$), o'rtacha absolyut siljish 2,9 pog'ona, maksimal siljish esa 7 pog'onani tashkil etadi. Jizzax viloyati 9-o'rindan 2-o'ringa ko'tariladi, Sirdaryo 10-dan 4-ga, Qoraqalpog'iston 5-dan 1-ga; aksincha, Surxondaryo 2-o'rindan 8-ga, Samarqand 3-dan 7-ga tushadi. Ya'ni to'g'ridan-to'g'ri ta'sir bo'yicha eng ustuvor ko'ringan hududlar diffuziya hisobga olinganda birinchi o'rinlarni yo'qotadi.

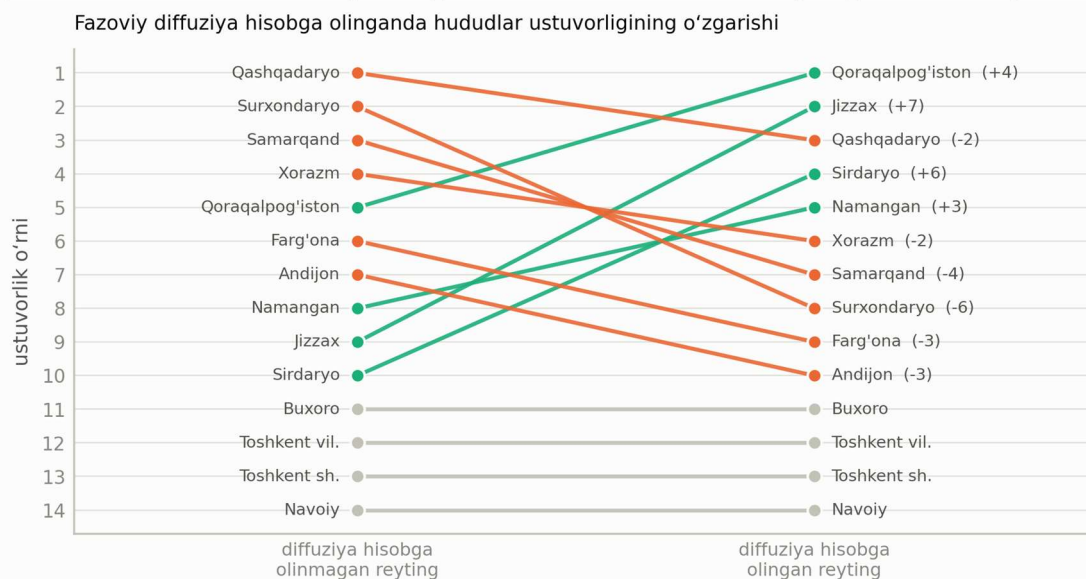
4-jadval.

Hududlarning differensial ustuvorlik reytingi

№	Hudud	Jami ΔT	To'g'ridan-to'g'ri	Diffuziya	Multiplikator	Eski o'rin	Siljish
1	Qoraqalpog'iston	-0,00050	-0,00034	-0,00017	0,92	5	+4
2	Jizzax	-0,00042	-0,00020	-0,00022	0,65	9	+7
3	Qashqadaryo	-0,00076	-0,00097	+0,00021	0,78	1	-2
4	Sirdaryo	-0,00025	-0,00011	-0,00014	0,52	10	+6
5	Namangan	-0,00060	-0,00038	-0,00022	0,67	8	+3
6	Xorazm	-0,00044	-0,00040	-0,00005	0,95	4	-2
7	Samarqand	-0,00078	-0,00091	+0,00013	0,77	3	-4
8	Surxondaryo	-0,00041	-0,00049	+0,00007	1,19	2	-6
9	Farg'ona	-0,00071	-0,00059	-0,00012	1,20	6	-3
10	Andijon	-0,00060	-0,00049	-0,00011	1,12	7	-3
11	Buxoro	-0,00030	-0,00021	-0,00009	0,92	11	0
12	Toshkent vil.	-0,00012	+0,00006	-0,00018	0,78	12	0
13	Toshkent sh.	+0,00267	+0,00641	-0,00375	0,82	13	0
14	Navoiy	+0,00142	+0,00421	-0,00279	1,07	14	0

Diffuziya multiplikatori bo'yicha eng yuqori qiymatlar Farg'ona (1,20), Surxondaryo (1,19) va Andijon (1,12) viloyatlariga tegishli: bu hududlardagi o'sish boshqa hududlarda qo'shimcha mahsulot yaratadi. Eng past multiplikator Sirdaryo viloyatida (0,52) qayd etilgan — uning o'sishi qo'shni hududlarga sezilarli tarqalmaydi.

Multiplikator qiymatlarining iqtisodiy talqini hududlarning ixtisoslashuvi bilan bog'liq. Farg'ona vodiysi hududlari (Farg'ona, Andijon, Namangan) zich joylashgan, bir-biriga chambarchas bog'langan ishlab chiqarish va mehnat bozoriga ega bo'lib, ulardagi o'sish qo'shni hududlarda tez aks-sado beradi. Surxondaryo viloyatining yuqori multiplikatori esa uning tranzit va agrar-savdo funksiyasi bilan izohlanadi. Aksincha, Sirdaryo viloyatining past multiplikatori (0,52) uning iqtisodiyoti nisbatan yopiq, kapital sig'imi yuqori obyektlarga (energetika, sug'orma dehqonchilik) tayanganini ko'rsatadi — bu yerdagi o'sish hududdan tashqariga kam tarqaladi.



4-rasm. Fazoviy diffuziya hisobga olinganda hududlar ustuvorligining o'zgarishi

Natijalarning barqarorligi. Xulosalarning ishonchliligini tekshirish uchun bir qancha nazorat hisoblari o'tkazildi. Birinchidan, ST-GNN besh xil tasodifiy boshlang'ich holatda o'qitilib, bashoratlar o'rtachalashtirildi — bu urug' tanloviga bog'liqlikni bartaraf etadi. Ikkinchidan, mexanizm impuls hajmining ikki muqobil qiymatida (+3 % va +5 %) sinalganda hududlarning nisbiy tartibi to'liq saqlanib qoldi (Spirmen korrelyatsiyasi $\rho = 1,000$). Uchinchidan, model arxitekturasida bo'yicha 72 ta konfiguratsiya validatsiya namunasida qiyoslanib, bitta GCN qatlami ikkitasidan izchil ustunligi aniqlandi — bu ortiqcha silliqlash haqidagi nazariy kutilma [14] bilan mos keladi. Shu bilan birga, qisqa panel sharoitida diffuziya baholari nuqtali qiymat sifatida emas, tartib ko'rsatkichi sifatida talqin qilinishi lozim.

Olingan natijalar asosida differensial mexanizmning uch bosqichli tuzilmasi taklif etiladi. Birinchi bosqichda hududlar tafovutga ta'siri bo'yicha uch guruhga ajratiladi: tafovutni kengaytiruvchi qutblar (Toshkent shahri, Navoiy), neytral hududlar (Toshkent viloyati, Buxoro) va tafovutni qisqartiruvchi hududlar (qolgan 10 ta). Ikkinchi bosqichda har bir guruh uchun chora turi belgilanadi: qutblar uchun — diffuziya kanallarini kuchaytirish (kooperatsiya zanjirlari, transport-logistika bog'lanishlari), neytral hududlar uchun — sanoat kooperatsiyasiga integratsiya, qolgan hududlar uchun — bevosita investitsion qo'llab-quvvatlash. Uchinchida resurslar guruh ichida 4-jadvaldagi samaradorlik reytingi bo'yicha taqsimlanadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

1. O'zbekiston hududlari o'rtasidagi fazoviy bog'liqlik geografik qo'shnichilik orqali emas, iqtisodiy tuzilmaviy o'xshashlik orqali namoyon bo'ladi: iqtisodiy o'xshashlik grafida Moran I choraklarning 81 % ida statistik ahamiyatli bo'lsa, kontigual grafda bu ko'rsatkich atigi 17 % ni tashkil etadi. Bu hududiy siyosatni ishlab chiqishda an'anaviy chegaraviy yondashuvdan tarmoq ixtisoslashuvi asosidagi yondashuvga o'tish zarurligini ko'rsatadi.

2. Qisqa hududiy panelda (504 kuzatuv) graf neyron tarmog'i bashorat aniqligi bo'yicha gradiyent bustingdan ustunlik bermaydi: MAPE 5,99 % ga qarshi 5,28 %. Biroq ST-GNN va XGBoost gibridi eng past RMSE ni (897,9 ming so'm, XGBoost dan 3,6 % kam) ta'minlaydi, ya'ni fazoviy komponenta yirik xatolarni kamaytiradi. Amaliy tavsiya: graf komponentasi aniqlikni oshirish vositasi sifatida emas, barqarorlikni ta'minlash va tuzilmaviy talqin berish vositasi sifatida qo'llanilishi lozim.

3. Qutb hududlardagi o'sishning tafovutni kengaytiruvchi ta'siri fazoviy diffuziya hisobiga sezilarli qoplanadi: Toshkent shahri uchun 58 %, Navoiy viloyati uchun 66 %. Demak, tafovutni qisqartirish vazifasi qutblarni cheklash orqali emas, ulardan tarqalish kanallarini kengaytirish orqali samaraliroq hal etiladi.

4. Diffuziya samarasini hisobga olish hududlarning ustuvorlik reytingini tubdan o'zgartiradi (Spirmen korrelyatsiyasi $\rho = 0,587$; maksimal siljish 7 pog'ona). Bu shuni anglatadiki, faqat joriy rivojlanish darajasiga tayangan resurs taqsimoti maqbul emas; qaror qabul qilishda hududning tizimdagi bog'lanish o'rni ham hisobga olinishi kerak.

5. Taklif etilayotgan uch bosqichli differensial mexanizm — hududlarni ta'sir turi bo'yicha guruhlash, guruhga mos chora turini belgilash va guruh ichida samaradorlik reytingi bo'yicha taqsimlash — hududiy dasturlarni ishlab chiqishda

amaliy vosita sifatida qo'llanilishi mumkin.

Olingan diffuziya baholari model asosidagi simulyatsiya natijasi bo'lib, ular korrelyatsion bog'lanishni aks ettiradi va sababiy ta'sir sifatida talqin qilinishi mumkin emas. Panelning qisqaligi (36 chorak) chuqur modellarning imkoniyatlarini cheklaydi. Keyingi tadqiqotlarda hududlararo tovar oqimlari va mehnat migratsiyasi ma'lumotlari asosida grafni endogen tarzda o'rganish hamda sababiy xulosa usullarini qo'llash maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti, "O'zbekiston – 2030 strategiyasi to'g'risida," O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-158-son Farmoni, Sep. 11, 2023. [Online]. Available: <https://lex.uz/docs/-6600413>
- [2] J. G. Williamson, "Regional inequality and the process of national development," *Economic Development and Cultural Change*, vol. 13, no. 4, pp. 1–84, 1965.
- [3] P. Krugman, "Increasing returns and economic geography," *Journal of Political Economy*, vol. 99, no. 3, pp. 483–499, 1991.
- [4] R. J. Barro and X. Sala-i-Martin, "Convergence," *Journal of Political Economy*, vol. 100, no. 2, pp. 223–251, 1992.
- [5] H. Theil, *Economics and Information Theory*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland Publishing Company, 1967, 488 p.
- [6] P. A. P. Moran, "Notes on continuous stochastic phenomena," *Biometrika*, vol. 37, nos. 1–2, pp. 17–23, 1950.
- [7] L. Anselin, *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988, 284 p.
- [8] J. LeSage and R. K. Pace, *Introduction to Spatial Econometrics*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2009, 374 p.
- [9] J. P. Elhorst, *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Heidelberg, Germany: Springer, 2014, 119 p.
- [10] T. N. Kipf and M. Welling, "Semi-supervised classification with graph convolutional networks," in *Proc. International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2017.
- [11] W. Hamilton, Z. Ying, and J. Leskovec, "Inductive representation learning on large graphs," in *Advances in Neural Information Processing Systems 30*, 2017, pp. 1024–1034.
- [12] B. Yu, H. Yin, and Z. Zhu, "Spatio-temporal graph convolutional networks: A deep learning framework for traffic forecasting," in *Proc. IJCAI-18*, 2018, pp. 3634–3640.
- [13] L. Zhao *et al.*, "T-GCN: A temporal graph convolutional network for traffic prediction," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, no. 9, pp. 3848–3858, 2020.
- [14] Q. Li, Z. Han, and X.-M. Wu, "Deeper insights into graph convolutional networks for semi-supervised learning," in *Proc. AAAI-18*, 2018, pp. 3538–3545.
- [15] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997.
- [16] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A scalable tree boosting system," in *Proc.*

22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, pp. 785–794.

[17] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, “The M4 competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods,” *International Journal of Forecasting*, vol. 36, no. 1, pp. 54–74, 2020.

[18] R. J. Hyndman and A. B. Koehler, “Another look at measures of forecast accuracy,” *International Journal of Forecasting*, vol. 22, no. 4, pp. 679–688, 2006.

[19] F. X. Diebold and R. S. Mariano, “Comparing predictive accuracy,” *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 13, no. 3, pp. 253–263, 1995.

[20] F. Pedregosa *et al.*, “Scikit-learn: Machine learning in Python,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

[21] A. Paszke *et al.*, “PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library,” in *Advances in Neural Information Processing Systems 32*, 2019, pp. 8024–8035.

[22] Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan, “Open data (SDMX): Gross regional product (quarterly) and resident population,” 2026. [Online]. Available: [SIAT Open Data Portal](#). Accessed: Sep. 9, 2026.