JOURNAL OF TRANSPORT

ISSUE 1, 2025 vol. 2
E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164

SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
Tashkent state transport university

JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 2, ISSUE 1

MARCH, 2025

jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL
VOLUME 2, ISSUE 1 MARCH, 2025

The **"Journal of Transport"** established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryoʻlchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organizatsion
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Development of a traffic flow prediction and analysis model based on the Kolmogorov-Arnold Network (KAN) architecture

K. SH. Tashmetov[1][a]
[1]Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This research study examines architectures and models for predicting and analyzing road traffic flows, with a focus on the Kolmogorov-Arnold KAN architecture. The study highlights the differences between this architecture and traditional machine learning architectures and compares their effectiveness. The main theorems and formulas of the KAN architecture are presented, and their theoretical foundations are explained. The results obtained based on the KAN model are reviewed during the study, and conclusions are drawn from these results. During the training process, the model showed 87% accuracy, while its accuracy in real-world predictions was found to be in the range of 87–90%. As a result, the researchers put forward the issue of further improving the KAN model and identified future development directions.

Keywords: Traffic flow, traffic intensity, transportation system, predictive model, artificial intelligence, Kolmogorov-Arnold network, machine learning, deep machine learning, multilayer perceptron

---

Kolmogorov-Arnold Network (KAN) arxitekturasi asosida transport oqimining bashorat va tahlil modelini ishlab chiqish

Tashmetov K. SH.[1][a]
[1]Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot ishida yo‘l transport oqimlarini bashorat qilish va tahlil etishga oid arxitekturalar va modellar o‘rganilgan bo‘lib, bunda asosiy urg‘u Kolmogorov-Arnoldning KAN arxitekturasiga qaratilgan. Tadqiqotda ushbu arxitekturaning an’anaviy mashinani o‘qitish arxitekturasidan farqlari keltirilib, ularning samaradorligi taqqoslangan. KAN arxitekturasining asosiy teoremalari va formulalari keltirilib, ularning nazariy asoslari yoritilgan. Tadqiqot davomida KAN modeli asosida olingan natijalar ko‘rib chiqilgan va ushbu natijalarning xulosalari keltirilgan. O‘qitish jarayonida model 87% aniqlikni ko‘rsatgan bo‘lsa, haqiqiy sharoitdagi bashoratlarda uning aniqligi 87–90% oralig‘ida aniqlangan. Natijada, tadqiqotchilar tomonidan KAN modelini yanada takomillashtirish masalasi ilgari surilgan va kelgusidagi rivojlantirish yo‘nalishlari belgilangan.

Kalit so‘zlar: Transport oqimi, transport intensivligi, transport tizimi, bashorat modeli, sun’iy intellekt, Kolmogorov-Arnold tarmog‘i, mashinani o‘qitish, mashinani chuqur o‘qitish, ko‘p qatlamli perseptron

1. Kirish

O‘zbekistonda transport infratuzilmasi mamlakatning iqtisodiy va ijtimoiy rivojlanishida muhim rol o‘ynaydi. Shaharlardagi aholining ortib borishi va transport vositalarining ko‘payishi natijasida yo‘llardagi tirbandliklar va transport oqimlarini samarali boshqarish muammosi dolzarb masalaga aylandi. Buning oqibatida nafaqat iqtisodiy zararlar, balki ekologik muammolar va insonlarning hayot sifati ham yomonlashmoqda [1].

Mamlakatda transport oqimlarini boshqarish masalasi yo‘llarni kengaytirish yoki yangi yo‘llar qurish bilan cheklanmaydi. Zamonaviy sharoitlarda intellektual transport tizimlarini joriy etish orqali transport oqimlarini boshqarish samaradorligini oshirish lozim. Bu borada sun’iy intellekt (SI) texnologiyalari yangi imkoniyatlar eshigini ochmoqda [1,2].

O‘zbekistonda hozirgi kunda mavjud transport boshqaruvi tizimlari asosan an’anaviy uslublarga tayanadi. Ammo rivojlanayotgan shaharlardagi tirbandliklarni samarali boshqarish uchun SI asosidagi yechimlarga ehtiyoj kuchaymoqda. Sun’iy intellekt asosida transport tizimlarini avtomatlashtirish va yo‘l harakati oqimlarini real vaqt rejimida boshqarish orqali yo‘l transport hodisalarini kamaytirish, harakatlanish vaqtini qisqartirish va yonilg‘i sarfini optimallashtirishga erishish mumkin.

O‘zbekiston hukumati va transport sohasidagi mas’ul tashkilotlar ilg‘or texnologiyalarni joriy etish va xalqaro tajribalardan foydalanish orqali transport tizimlarini rivojlantirishga e’tibor qaratmoqda. Bu borada yo‘llarga o‘rnatilgan aqlli svetoforlar, transport datchiklari, va yo‘lovchi oqimlarini kuzatish tizimlari kabi elementlar bosqichma-bosqich kiritilmoqda. Ushbu qadamlar, shubhasiz, mamlakat transport infratuzilmasining raqobatbardoshligini oshiradi va xalqning turmush darajasini yaxshilaydi.

Jahon miqyosida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, transport boshqaruvida SI texnologiyalarining qo‘llanilishi harakatning dinamikasini oldindan bashorat qilish va optimal marshrutlarni aniqlashda katta imkoniyatlar yaratadi. Mashinani o‘qitish (Machine Learning) va chuqur o‘rganish (Deep Learning)

[a] https://orcid.org/0000-0001-9793-8836

texnologiyalari real vaqtda ma’lumotlarini tahlil qilish orqali transport oqimlarini nazorat qilish, tirbandliklar vaqtini kamaytirish va yo‘llardagi xavfsizlikni oshirish uchun ishlatiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Adabiyotlar sharhida ko‘plab model va arxitekturalar tahlil qilinadi, jumladan, sun’iy neyron tarmoqlari (Artificial Neural Networks – ANN) [3,4], vaqt ketma-ketligi modellar RNN (Recurrent Neural Networks) [5], LSTM (Long Short-Term Memory) va GRU (Gated Recurrent Unit) kabi ilg‘or arxitekturalar [6–8]. Ushbu model va arxitekturalar transport oqimlaridagi murakkab belgilarini aniqlash va bashorat uchun ishlatiladi.

Shuningdek, transport oqimlarini bashorat etishda va boshqarishda Kolmogorov-Arnold tarmog‘i (KAN) kabi innovatsion yondashuv paydo bo‘ldi [9–11]. Ushbu arxitekturaning afzalliklari uning oddiy strukturada kuchli hisoblash imkoniyatlarini ta’minlashidadir. KAN arxitekturasi murakkab ma’lumotlarni qayta ishlash va bashoratda yuqori aniqlik ko‘rsatkichlariga ega bo‘lib, transport oqimlarini samarali boshqarish uchun o‘ziga xos yechim hisoblanadi. KAN sun’iy intellekt va matematik tahlilning yangi yondashuvlaridan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Ushbu arxitekturaning asosiy g‘oyasi murakkab funksiyalarni oddiy funksiyalar yig‘indisi sifatida ifodalashdir.

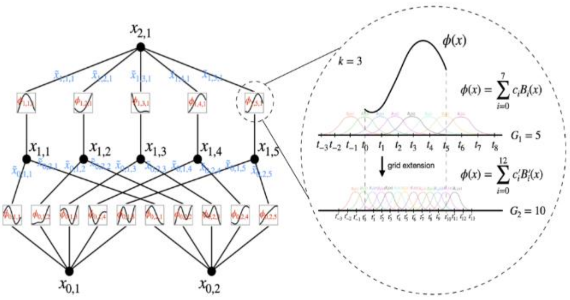
KAN arxitekturasi A. N. Kolmogorovning murakkab funksiyalarni bir nechta oddiy funksiyalar yig‘indisi sifatida ifodalash mumkinligi haqidagi teoremasiga asoslanadi. V. I. Arnold esa bu yondashuvni yanada rivojlantirib, uni amaliy jihatdan qo‘llashga oid natijalarni keltirib chiqardi. Ushbu teorema quyida (1) ifodada keltirilgan.

$$f(\mathbf{X}) = f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{q=1}^{2n+1} \Phi_q \left(\sum_{p=1}^{n} \phi_{q,p}(x_p) \right) \quad (1)$$

bu yerda $f(\mathbf{X})$ - maqsadli ko‘p o‘lchovli funksiya, $\phi_{q,p}: [0,1] \to \mathbb{R}$ – bir o‘lchovli funksiyalar, $\Phi_q: \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ – $\phi_{q,p}(x_p)$ ning natijalariga qo‘llaniladigan funksiyalar.

KAN arxitekturasi asosan, ilmiy tadqiqotlarda murakkab funksiyalarni tushunish va ularning ta’sirini o‘rganishda foydalaniladi. Uning transport yoki boshqa sohalardagi qo‘llanilishi esa keyinchalik paydo bo‘lgan qo‘shimcha tadqiqotlar va yondashuvlar natijasida kengaydi.

Kolmogorov-Arnold teorema asosida qurilgan, ikkta kirish parametriga ega neyorn tarmog‘i quyida keltirilgan arxitekturani xosil qiladi (1-rasm).



1-rasm. KAN neyron tarmog‘ining arxitekturasi [9]

Tadqiqotchilar bu yerda perseptron modeliga o‘xshash tarzda, har bir qatlamda o‘rgatiladigan obyektlarning matrizasini qurish mumkinligini ta’kidladilar. Faqat bu holatda bu sonlar emas, balki funktsiyalar bo‘ladi. Buning asosida quyida keltirilgan ifoda ishlab chiqilgan (2).

$$\mathrm{KAN}(\mathbf{X}) = \Phi_{L-1} \circ \cdots \circ \Phi_1 \circ \Phi_0 \circ \mathbf{X} \quad (2)$$

Bu yerda Φ – KAN tarmog‘ining L - qatlamga mos keladigan funktsiya matritsasi.

Yuqoridagi (2) ifodani (1) ifodaga oxshash ko‘rinishda yozishimiz mumkin, buning uchun chiqish o‘lchami $n_L = 1$ va $f(x) \equiv \mathrm{KAN}(x)$ deb aniqlasak (3) ifodani hosil qilamiz.

$$f(x) = \sum_{i_{L-1}=1}^{n_{L-1}} \phi_{L-1,i_L,i_{L-1}} \left(\sum_{i_{L-1}=1}^{n_{L-2}} \cdots \left(\sum_{i_2=1}^{n_2} \phi_{2\,i_3,i_2} \cdot \left(\sum_{i_1=1}^{n_1} \phi_{1\,i_2,i_1} \cdot \left(\sum_{i_0=1}^{n_2} \phi_{0\,i_1,i_0}(x_{i_0}) \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

Bu yerda boshqa masala vujudga keladi ushbu arxitekturani an’anaviy ko‘p qatlamli perseptron (MLP) dan qanday afzalliklari va kamchiliklar borligi ko‘pchilik izlanuvchilarda ushbu arxitekturaga qiziqish uyg‘otdi va tadqiqotlar natijasi shuni ko‘rsatdi:

- KAN arxitekturasi MLPga nisbatan ma’lumotlarni umumlashtirishda yaxshiroq natijalarni berdi.
- KAN da parametrlar (sonlarni) emas balki funksiyalarni o‘rgatganimiz uchun uning aniqligini oshirish uchun yaqinlashish panjarasini o‘zgartirish yo‘li bilan yaxshilash mumkinligi va bu modelni qaytadan o‘qitish talab etmasligi aniqlandi. MLPda esa neyron tarmog‘ini har gal boshidan o‘qitish talab etilgan bo‘lar edi.
- KAN arxitekturasi MLP nisbatan soda va tushunishga oson. Bu hozirgi kunda neyron tarmoqlarini tushunishda katta ahamiyat kasb etadi.
- KAN murakkab matematik funksiyalarni yaqinlashtirishda yaxshiroq ishlaydi. Tadqiqotlar KANning differensial tenglamalarni samaraliroq hal qilishini va fizika va matematikaning qonunlarini qayta "kashf etishini" ko‘rsatdi.
- KAN arxitekturasining asosiy kamchiligi u, MLPga nisbatan taxminan 10 marta sekinroq o‘qitiladi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatmoqdaki, KAN arxitekturasi an’anaviy MLP arxitekturasiga nisbatan muayyan ustunliklarga ega. Buning sababi shundaki, KAN arxitekturasi o‘ziga xos strukturasidan foydalanib, kiruvchi ma’lumotlarni chuqurroq va aniq tarzda o‘rganishga qodir. Uning differensial tenglamalarni yechishdagi ustunligi ilmiy muammolarni hal qilishda kengroq qo‘llanilish imkonini beradi. Bu esa ilm-fanning turli sohalarida, masalan, transport oqimlarini bashorat etishda, muhandislik hisob-kitoblari va tabiiy tizimlarni modellashda samarali qo‘llaniladi.

Biroq, KANning resurslarga talabchanligi va o‘qitish tezligining sekinligi uni katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlashda cheklab qo‘yishi mumkin. Shuning uchun, ushbu arxitektura va MLP o‘rtasidagi tanlov muayyan amaliy vazifalarga bog‘liq: yuqori aniqlik va murakkab vazifalar uchun KAN afzalroq, oddiy, lekin tez natijalar uchun esa MLP koʻproq mos keladi.

KAN va MLP arxitekturalarining ushbu farqlari ularni turli kontekstlarda tadqiq qilish va tanlashda muhim omil boʻlib xizmat qiladi.

Masalaning qoʻyilishi

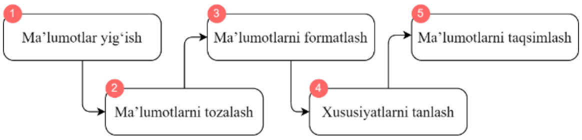
Ushbu ishda bizning tadqiqot obyektimiz sifatida transport harakat oqimi olingan boʻlib, bu oqimning intensivligini bashorat etish masalasi qoʻyilgan. Masalada mashinani oʻqitishning ustoz bilan oʻqitish usuli qoʻllanilgan boʻlib, $\{x_i, y_i\}$ berilgan bundan shunday f ni topish kerakki $y_i = f(x_i)$ har bir nuqtasida qanoatlantirishi kerak. (1) ifodadan shu maʼlumki agar $\phi_{q,p}$ va Φ_q bir oʻlchovli funksiyani topsak shuning oʻzi kifoya [9].

Maʼlumotlarni shakllantirish jarayoni

KAN modelidan samarali foydalanishda maʼlumotlarni shakllantirish jarayoni juda muhim. Maʼlumotlar tayyorlash jarayoni quyidagi bosqichlarni oʻz ichiga oladi (2-rasm).

Ushbu jarayon transport oqimini bashorat qilish uchun KAN modelining muvaffaqiyatli qoʻllanilishini taʼminlaydi. Maʼlumotlarni toʻgʻri shakllantirish modelning aniqligini va umumiy ishlash samaradorligini oshiradi.

Transport oqimlari haqida maʼlumotlarni shakllantirishda statistik usullardan foydalangan holda, maʼlumotlar sanash orqali yoʻldan yigʻildi.



2-rasm. Maʼlumotlarni shakllantirish bosqichlari

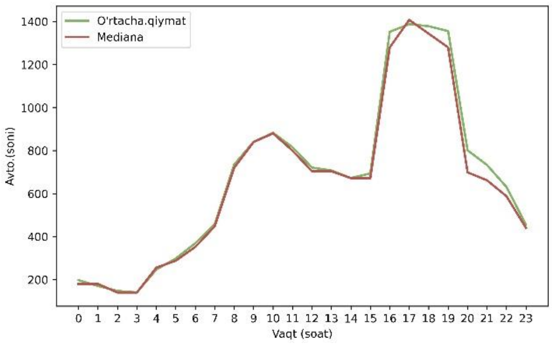
Shakllangan maʼlumotlarni quyida keltirilgan 1-jadvaldan koʻrish mumkin.

1-jadval

Jamlangan maʼlumotlar

index	**veh.**	**day**	**week**	**month**	**hour**
0	362	1	7	1	0
1	345	1	7	1	1
2	332	1	7	1	2
3	280	1	7	1	3
…	….	..	..	..	..

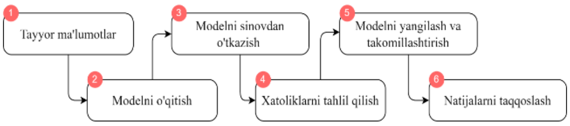
Yuqorida keltirilgan 1-jadivaldagi maʼlumotlarni grafik koʻrinishda namayon qiladigan boʻlsak, 3-rasmda keltirilgan chizmani hosil qilamiz. Ushbu chizmada 6 oy davomida harakatlangan mashinalarni oʻrtachasi va medianasining grafigi keltirilgan.



3-rasm. Mashinalar intensivligi grafigi

3. Tadqiqot jarayoni va natijasi

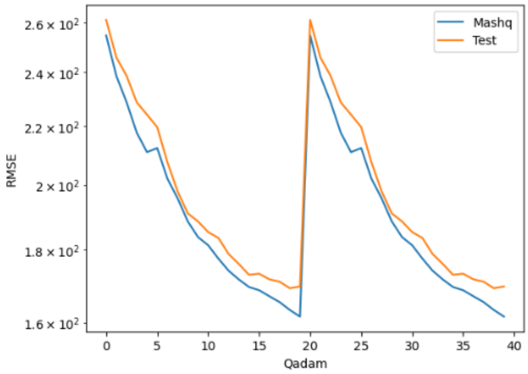
Maʼlumotlar kerakli koʻrinishda va aniqlikda shakllangandan soʻng, KAN arxitekturasi asosida bashorat modeli ishlab chiqiladi. KAN modlleni qurish ham bir necha bosqichlardan iborat boʻlib ular quyida, 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. KAN modelni shakllantirish va tekshirish bosqichlari

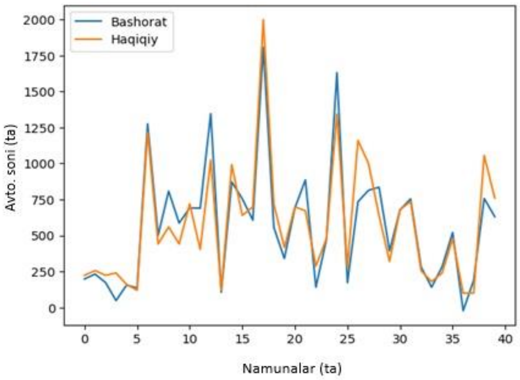
Modelni oʻqitish bosqichida modelning arxitekturasi shakllantirilib, bunda qatlamalar soni, neyronlar soni va funksiyalar tanladi. Bizning ishimizda tanlangan qatlamalar soni {4, 17, 1} koʻrinishida tanlandi. Tanlangan arxitekturadda modelimizning oʻqitish jarayonidagi aniqligi 87% ni tashkil etdi. Bu bashorat modeli uchun yaxshi koʻrsatkich boʻlib, uni modelni validatsiya jarayonida va oʻqtish jarayonida qoʻllanilmagan maʼlumotlar yordamida tekshirilganda ushbu modelning aniqligi 87-90% tashkil etdi.

Modelimizni train_losses va test_losses oʻrganish koʻrsatkichlarni quyida 5-rasmda koʻrish mumkin.

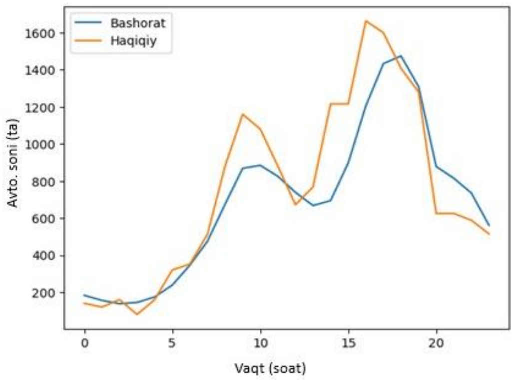


5-rasm. Modelni o ʻqitish jarayonida train_losses va test_losses koʻrastkichlari grafigi.

Modelimizning bashorat grafiglarini quyida keltirilgan 6-rasmdan koʻrish mumkin.



a)



b)

6-rasm. Modelning bashorat grafigi. a-validatsion ma'lumotlar yordamida olingan bashorat grafigi. b – modelni o'qitishda qo'llanilmagan ma'lumotda olingan bashorat grafigi

4. Xulosa

Ushbu tadqiqotda Kolmogorov-Arnold Networks (KAN) modeli transport oqimlarini bashorat qilishda yuqori samaradorlikka ega ekani aniqlandi, chunki u murakkab, noaniq va yuqori o'lchovli ma'lumotlar samarali tahlil qilib, ishonchli natijalar ko'rsatdi.

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan KAN modeli o'quv jarayonida bashoratni 87% aniqlikda ko'rsatgan bo'lsa, haqiqiy ma'lumotlar asosida tekshirilganda bu ko'rsatkich 87-90% oralig'ida bo'lgan. Ushbu natijalar bashoratning yuqori sifatli ekanini tasdiqlaydi va KAN modelining transport oqimlarini tahlil va bashorat qilishda samarali model ekanini ko'rsatadi.

Tadqiqot natijalariga asoslanib, KAN modelining natija aniqligini boshqa bashorat modellari bilan taqqoslash orqali uning afzalliklari va kamchiliklarini aniqlash kerakligini ko'rsatdi. Bu esa KAN modelining transport oqimlarini bashorat qilishdagi ustun jihatlarini ochib berishga va uni yanada takomillashtirish uchun zaruriy yo'nalishlarni belgilashga yordam beradi.

Ushbu modelni yanada rivojlantirish maqsadida o'qitish parametrlarini optimallashtirish, ma'lumotlar to'plamlarini kengaytirish va arxitekturasini qayta ko'rib chiqish zarur. Shunday o'zgartirishlar transport oqimlarini bashorat qilish jarayonini yanada aniq va samarali qilishi mumkin degan xulosalarga kelindi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Jamoliddin o'g'li N.N., Sodiqovich Y.S. RESPUBLIKAMIZDA TRANSPORT OQIMINI TASHKIL ETISHDA INTELLEKTUAL TRANSPORT TIZIMLARINING QO 'LLANILISHI // ZAMONAVIY ILM-FAN VA TADQIQOTLAR: MUAMMO VA YECHIMLAR. 2024. Vol. 1, № 1. P. 25–30.

[2] Ibrohimjonovna D.M. TRANSPORT TIZIMIDA INTELLEKTUAL BILIMLARNI QO'LLASH SALOHIYATI // Ta'lim innovatsiyasi va integratsiyasi. 2024. Vol. 12, № 2. P. 160–164.

[3] Chen C. et al. Traffic Flow Prediction Based on Deep Learning in Internet of Vehicles // IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. 2021. Vol. 22, № 6. P. 3776–3789.

[4] Boukerche A., Tao Y., Sun P. Artificial intelligence-based vehicular traffic flow prediction methods for supporting intelligent transportation systems // Computer Networks. 2020. Vol. 182. P. 107484.

[5] Belhadi A. et al. A recurrent neural network for urban long-term traffic flow forecasting // Appl Intell. 2020. Vol. 50, № 10. P. 3252–3265.

[6] Oliveira D.D. et al. Forecasting vehicular traffic flow using MLP and LSTM // Neural Comput & Applic. 2021. Vol. 33, № 24. P. 17245–17256.

[7] Hussain B. et al. Intelligent Traffic Flow Prediction Using Optimized GRU Model // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 100736–100746.

[8] Wang S. et al. Truck Traffic Flow Prediction Based on LSTM and GRU Methods With Sampled GPS Data // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 208158–208169.

[9] Liu Z. et al. KAN: Kolmogorov-Arnold Networks: arXiv:2404.19756. arXiv, 2024.

[10] Vaca-Rubio C.J. et al. Kolmogorov-Arnold Networks (KANs) for Time Series Analysis: arXiv:2405.08790. arXiv, 2024.

[11] Genet R., Inzirillo H. TKAN: Temporal Kolmogorov-Arnold Networks: arXiv:2405.07344. arXiv, 2024.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Tashmetov Komoliddin Shuxrat o'g'li / Tashmetov Komoliddin Shukhrat ugli	Toshkent davlat transport universiteti "Trasnportda axborot tizimlari va texnologiylari" kafedrasi PhD tayanch doktaranti. E-mail: tashmetov1993@gmail.com Tel.: +998(90) 929 80 69 https://orcid.org/0000-0001-9793-8836

CONTEXT / MUNDARIJA