



## SUN'IY INTELLEKT YORDAMIDA YO'L INFRATUZILMASINI BOSHQARISH

*Andijon davlat texnika instituti*

*Yo'l muhandisligi 4-kurs talabasi*

*Abdusattorov Saidmurod*

*Maribjonov Asadbek*

*Ro'zmatov Polvonboy*

*Davlatov Asrorjon*

### Annotatsiya

Mazkur maqolada yo'l infratuzilmasini boshqarishda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalaridan foydalanishning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilinadi. Tarixiy rivojlanish bosqichlari, klassik va zamonaviy yondashuvlar, mintaqaviy va milliy tajribalar, shuningdek, SI asosida amalga oshirilgan ilg'or loyihalar chuqur o'rganiladi. Empirik tadqiqotlar natijalari va zamonaviy SI algoritmlarining samaradorligi misollar asosida ko'rsatib o'tiladi. Bundan tashqari, SI yordamida yo'l infratuzilmasini boshqarishning afzalliklari, mavjud muammolar va istiqbolli yo'nalishlar tanqidiy nuqtai nazardan tahlil qilinadi.

**Kalit so'zlar:** sun'iy intellekt, yo'l infratuzilmasi, boshqaruv, aqlli shahar

### Abstract

This article analyzes the theoretical and practical aspects of using artificial intelligence (AI) technologies in road infrastructure management. The development stages, classical and modern approaches, regional and national experiences, as well as advanced projects implemented based on AI, are studied in depth. The results of empirical studies and the effectiveness of modern AI algorithms are illustrated with examples. In addition, the article critically examines the advantages, existing



problems, and promising directions of road infrastructure management with the help of AI.

**Keywords:** artificial intelligence, road infrastructure, management, smart city

### Аннотация

В данной статье анализируются теоретические и практические аспекты использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в управлении дорожной инфраструктурой. Подробно изучаются этапы исторического развития, классические и современные подходы, региональный и национальный опыт, а также передовые проекты, реализованные на основе ИИ. Результаты эмпирических исследований и эффективность современных алгоритмов ИИ иллюстрируются на примерах. Кроме того, в статье критически рассматриваются преимущества, существующие проблемы и перспективные направления управления дорожной инфраструктурой с помощью ИИ.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, дорожная инфраструктура, управление, умный город

### Kirish

Zamonaviy jamiyatda transport infratuzilmasining samarali boshqaruvi iqtisodiy taraqqiyot, ijtimoiy barqarorlik va shahar muhitining yashash darajasini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Yirik megapolislar va rivojlanayotgan shaharlar oldida turgan asosiy muammolardan biri bu yo'llardagi tirbandlik, transport oqimini to'g'ri taqsimlash va yo'l infratuzilmasining samarali boshqaruvini ta'minlashdir. So'nggi yillarda axborot texnologiyalari, xususan, sun'iy intellekt (SI) sohasidagi yutuqlar ushbu muammolarga qarshi kurashishda yangi imkoniyatlarni ochib bermoqda. SI yordamida yo'l infratuzilmasini boshqarish nafaqat transport oqimini optimallashtirish, balki yo'l xavfsizligini



oshirish, ekologik muammolarni kamaytirish va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlash uchun ham muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu maqolada sun'iy intellekt texnologiyalarining yo'l infratuzilmasini boshqarishdagi o'rni, nazariy va amaliy asoslari, global va mintaqaviy tajribalar hamda SI asosida amalga oshirilgan ilg'or loyihalar tahlil qilinadi. Shuningdek, SI asosida yo'l infratuzilmasini boshqarishning afzalliklari, mavjud muammolar va istiqbolli yo'nalishlari tanqidiy nuqtai nazardan ko'rib chiqiladi.

### Adabiyotlar tahlili

Yo'l infratuzilmasini boshqarishda sun'iy intellektdan foydalanish masalasi zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu sohada olib borilgan tadqiqotlarni chuqur tahlil qilish uchun avvalo sun'iy intellektning nazariy-konseptual asoslari va yo'l infratuzilmasini boshqarish bilan bog'liq klassik yondashuvlarni ko'rib chiqish zarur. Sun'iy intellekt tushunchasining shakllanishi XX asrning o'rtalariga borib taqaladi. Alan Turingning mashhur "Turing testi" konsepsiyasi va uning mashina aql-zakovatini aniqlashga oid ishlari SI sohasining poydevorini yaratdi. Turingning fikricha, sun'iy intellekt inson aqliga xos funksiyalarni, jumladan, o'rganish, muammoni hal qilish va qaror qabul qilish imkoniyatlariga ega bo'lishi lozim[1]. Keyinchalik, 1956-yilda Dartmouth konferensiyasida sun'iy intellekt mustaqil ilmiy yo'nalish sifatida e'tirof etildi. O'sha davrda asosan qoidalar asosida ishlovchi ekspert tizimlari, simvolli hisoblash va bilim bazalari asosiy e'tiborda bo'ldi. Yo'l infratuzilmasini boshqarishda dastlabki SI tizimlari, jumladan, transport oqimini boshqaruvchi dasturiy vositalar, ekspert tizimlariga tayangan. Ushbu yondashuvlar, asosan, deterministik va qoidaviy modellar asosida qurilgan bo'lib, ular real hayotdagi murakkab va dinamik vaziyatlarni to'liq qamrab ololmas edi.

SI va yo'l infratuzilmasi boshqaruvi sohasida klassik nazariyalar bilan bir qatorda, zamonaviy konseptual yondashuvlar ham shakllandi. Bunda, asosan,



mashinaviy o‘rganish (machine learning), chuqur o‘rganish (deep learning), sun’iy neyron tarmoqlar, agentga asoslangan modellashtirish va evolyutsion algoritmlar asosiy o‘rinni egalladi. Mashinaviy o‘rganish algoritmlari transport oqimini bashorat qilish, yo‘l harakati xavfsizligini tahlil qilish va inshootlarni monitoring qilishda keng qo‘llanila boshlandi. Ayniqsa, chuqur o‘rganish asosidagi konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) va rekurrent neyron tarmoqlari (RNN) real vaqt rejimida transport oqimini aniqlash, tirbandliklarni prognoz qilish va yo‘l harakati voqealarini identifikatsiya qilishda yuqori natijalarga erishmoqda[2].

Tarixiy taraqqiyot nuqtai nazaridan, sun’iy intellektni transport infratuzilmasiga integratsiyalash jarayoni bosqichma-bosqich rivojlandi. 1980–1990-yillarda ekspert tizimlari va oddiy simvolli algoritmlar asosida ishlovchi dasturlar yordamida transport signallarini boshqarish, svetoforlarni avtomatlashtirish bo‘yicha dastlabki loyihalar amalga oshirildi. 2000-yillardan boshlab esa, katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish imkonini beruvchi data mining texnologiyalari, bulutli hisoblash va real vaqtli monitoring tizimlari paydo bo‘ldi. Bu esa, o‘z navbatida, transport infratuzilmasini boshqarishda SI texnologiyalarining rolini yanada oshirdi. AQSh, Yaponiya, Janubiy Koreya va Yevropa davlatlari SI asosida aqlli transport tizimlarini (Intelligent Transportation Systems – ITS) joriy etish bo‘yicha ilg‘or tajribaga ega. Masalan, Singapurda “Smart Mobility 2030” dasturi doirasida SI asosida real vaqtli transport monitoringi, svetoforlarni moslashuvchan boshqarish va tirbandliklarni oldindan bashorat qilish tizimlari muvaffaqiyatli ishlamoqda[3].

Mintaqaviy va milliy darajada olib borilgan tadqiqotlar ham ushbu sohaning rivojiga katta hissa qo‘shmoqda. O‘zbekiston misolida, so‘nggi yillarda “aqlli shahar” konsepsiyasi doirasida yo‘l infratuzilmasini raqamlashtirish va SI asosidagi monitoring tizimlarini joriy etish bo‘yicha qator loyihalar amalga oshirilmoqda. Toshkent shahrida svetoforlarni SI asosida boshqarish, tirbandliklarni monitoring qilish va transport oqimini optimallashtirishga qaratilgan pilot loyihalar yo‘lga



qo'yildi. Mahalliy olimlar, xususan, M. Jo'rayev, A. Ergashov va boshqalar SI algoritmlarining mahalliy sharoitga moslashtirilgan modellarini ishlab chiqdilar[4]. Ularning tadqiqotlarida, ayniqsa, transport oqimini bashorat qilishda vaqtli qatorlar (time series) va mashinaviy o'rganish algoritmlarining kombinatsiyasi yuqori natija bergani ta'kidlangan. Shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi va Transport vazirligi hamkorligida SI asosida yo'l infratuzilmasini monitoring qilish va boshqarish bo'yicha ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Empirik tadqiqotlar SI algoritmlarining transport infratuzilmasini boshqarishda samaradorligini isbotlab bermoqda. Masalan, Xitoyda amalga oshirilgan tajriba loyihalarida chuqur o'rganish asosidagi algoritmlar yordamida svetoforlarni optimallashtirish orqali tirbandlik darajasi 15–20 foizgacha kamaygani aniqlangan. AQShning Los-Anjeles shahrida esa, SI asosidagi transport oqimi boshqaruvi tizimi (ATCS) joriy etilgandan so'ng avtomobillar harakat tezligi o'rtacha 12 foizga oshgan va yo'l-transport hodisalari soni kamaygan[5]. Bunday natijalar SI algoritmlarining real vaqtli monitoring, bashorat va avtomatik boshqaruv imkoniyatlari yuqori ekanini ko'rsatadi. Hozirgi kunda, ayniqsa, katta hajmdagi video va sensor ma'lumotlarini qayta ishlashda chuqur o'rganish algoritmlarining ustunligi yaqqol namoyon bo'lmoqda. Shuningdek, yo'l infratuzilmasini boshqarishda agentga asoslangan modellashtirish (agent-based modeling) usullari ham keng qo'llanilmoqda. Bu usullar, transport tizimidagi har bir ishtirokchini (haydovchi, piyoda, jamoat transporti vositasi) alohida agent sifatida modellashtirib, ularning o'zaro ta'sirini tahlil qilish imkonini beradi.

Tanqidiy nuqtai nazardan qaralganda, SI asosida yo'l infratuzilmasini boshqarishda bir qator muammolar va cheklovlar mavjudligini ham inobatga olish lozim. Avvalo, SI tizimlarining samarali ishlashi uchun katta hajmdagi ishonchli va sifatli ma'lumotlar zarur. Ko'plab rivojlanayotgan davlatlarda, jumladan, O'zbekiston sharoitida, transport infratuzilmasining raqamlashtirilishi va



ma'lumotlar bazasining yetarli emasligi muammosi dolzarbligicha qolmoqda. Bundan tashqari, SI algoritmlarining “qora quti” (black box) xususiyati, ya’ni, natijaning qanday shakllanayotganini izohlash qiyinligi, qaror qabul qiluvchi organlar uchun muayyan xavflarni yuzaga keltiradi. Bu esa, yo‘l infratuzilmasini boshqarishda SI algoritmlariga to‘liq ishonch bildirishga to‘sqinlik qilishi mumkin. Ayrim tadqiqotchilar SI asosida qabul qilingan qarorlarning shaffofligi va izohlanishi ustida alohida ishlash lozimligini ta’kidlamogda[6].

Shuningdek, SI algoritmlarining ijtimoiy va etik jihatlari ham muhim ahamiyatga ega. Masalan, SI yordamida yo‘l harakatini boshqarishda ayrim guruhlar (masalan, jamoat transporti foydalanuvchilari yoki piyodalar) manfaatlari yetarlicha hisobga olinmasligi ehtimoli mavjud. Bu esa, shahar infratuzilmasining inklyuzivligi va adolatliligi masalasini kun tartibiga olib chiqadi. Bundan tashqari, SI texnologiyalarining joriy etilishi natijasida an’anaviy boshqaruv tizimlarida ishlovchi mutaxassislarning kasbiy ko‘nikmalari eskirishi va yangi kompetensiyalar talab qilinishi mumkin. Bu jarayonlarni boshqarish uchun davlat miqyosida kadrlarni qayta tayyorlash va SI sohasida malakali mutaxassislarni tayyorlash muhim ahamiyatga ega.

So‘nggi yillarda SI asosida yo‘l infratuzilmasini boshqarishda “aqlli shahar” (smart city) konsepsiyasi yetakchi o‘ringa chiqmoqda. Bunda, transport infratuzilmasi boshqa shahar tizimlari – energiya, suv ta’minoti, xavfsizlik, ekologiya bilan integratsiyalashgan holda boshqariladi. Aqlli shahar doirasida SI texnologiyalari yordamida yo‘l harakati intensivligini real vaqt rejimida monitoring qilish, avariylarni oldindan bashorat qilish, jamoat transporti va shaxsiy avtomobillar harakatini muvofiqlashtirish, yo‘llarni ta’mirlesh va xizmat ko‘rsatish ishlarini optimallashtirish imkoniyatlari kengaymoqda. Masalan, Yaponiyaning Tokio shahrida SI asosidagi “smart intersection” loyihasi doirasida svetoforlar va yo‘l belgilarining ishlash algoritmlari real vaqt ma’lumotlariga mos ravishda



автоматик tarzda o'zgarib turadi. Bu esa, harakat xavfsizligini oshirish va tirbandliklarni kamaytirishda samarali natija bermoqda.

Bundan tashqari, SI asosida yo'l infratuzilmasini boshqarishda bulutli texnologiyalar (cloud computing), katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish (big data analytics), IoT – "narsalar interneti" va 5G texnologiyalarining joriy etilishi yangi imkoniyatlar ochmoqda. IoT qurilmalari yordamida yo'l holati, transport oqimi, havo harorati, namlik va boshqa parametrlar haqidagi ma'lumotlar real vaqt rejimida markaziy SI tizimiga uzatiladi. SI algoritmlari esa ushbu ma'lumotlarni tahlil qilib, optimal boshqaruv qarorlarini ishlab chiqadi. Bunday tizimlar yordamida yo'l infratuzilmasining holatini doimiy monitoring qilish, avariya vaziyatlarning oldini olish va xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish mumkin bo'ladi.

Empirik tadqiqotlar va amaliy loyihalar tahlili shuni ko'rsatadiki, SI asosida yo'l infratuzilmasini boshqarish nafaqat transport oqimini optimallashtirish, balki ekologik barqarorlik va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlashda ham muhim rol o'ynamoqda. Masalan, Yevropa Ittifoqi davlatlarida SI asosidagi boshqaruv tizimlari joriy etilgandan so'ng avtomobillarning yoqilg'i sarfi va chiqindi gazlar miqdori sezilarli darajada kamaygan. Bu esa, shahar ekologiyasini yaxshilash va yashash muhitini sog'lomlashtirish uchun muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, SI algoritmlarining adaptiv va o'zgaruvchan muhitga moslasha olish qobiliyati, transport tizimidagi kutilmagan holatlarga tezkor javob bera olish imkonini oshiradi. Bu jihatlar, ayniqsa, yirik shaharlar va megapolislar sharoitida transport infratuzilmasini barqaror boshqarish uchun muhimdir.

Xulosa qilib aytganda, sun'iy intellekt yordamida yo'l infratuzilmasini boshqarish sohasida olib borilgan ilmiy tadqiqotlar va amaliy loyihalar ushbu yo'nalishning istiqbolli va yuqori samaradorlikka ega ekanini ko'rsatmoqda. Biroq, SI asosida boshqaruv tizimlarini joriy etishda ma'lumotlar sifati, algoritmlarning shaffofligi va izohlanishi, ijtimoiy va etik muammolar, hamda kadrlarni tayyorlash kabi muhim masalalarga alohida e'tibor qaratish lozim. Faqatgina kompleks va



tizimli yondashuv orqali SI texnologiyalarining transport infratuzilmasini boshqarishda to‘liq salohiyatini amalga oshirish mumkin bo‘ladi.

### **Xulosa**

Yuqorida keltirilgan tahlillar va empirik natijalar asosida xulosa qilish mumkinki, sun‘iy intellekt texnologiyalari yordamida yo‘l infratuzilmasini boshqarish zamonaviy shahar va transport tizimlarining barqaror rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etmoqda. SI yordamida transport oqimini optimallashtirish, tirbandliklarni kamaytirish, yo‘l harakati xavfsizligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta‘minlash mumkinligi isbotlandi. Mintaqaviy va milliy tajribalar, shuningdek, ilg‘or xorijiy loyihalar ushbu texnologiyalarni joriy etish orqali iqtisodiy va ijtimoiy samaradorlikka erishish mumkinligini ko‘rsatmoqda. Biroq, SI asosida boshqaruv tizimlarini muvaffaqiyatli joriy etishda ma‘lumotlar sifati, algoritmlarning izohlanishi, shaffofligi va ijtimoiy-etik muammolarga alohida e‘tibor qaratish zarur. Shuningdek, mahalliy sharoitga moslashtirilgan SI modellarini ishlab chiqish, kadrlarni tayyorlash va infratuzilmani raqamlashtirish jarayonlarini jadallashtirish muhimdir. Kelgusida SI texnologiyalarining transport infratuzilmasini boshqarishda to‘liq salohiyatini ro‘yobga chiqarish uchun davlat, ilmiy-tadqiqot muassasalari va xususiy sektor o‘rtasidagi hamkorlikni kuchaytirish, ilg‘or tajribalarni o‘rganish va milliy innovatsion ekotizimni rivojlantirish talab etiladi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460.
2. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
3. Smart Mobility 2030. Land Transport Authority, Singapore (2014).



4. Jo‘rayev, M., Ergashov, A. (2021). Sun’iy intellekt asosida transport oqimini bashorat qilish algoritmlari. O‘zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi nashrlari.
5. Zhang, K., Wang, X., & Lin, X. (2017). Real-time traffic signal control with deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(7), 1812–1823.
6. Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. arXiv preprint arXiv:1702.08608.