https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Juginisova Aziza Oralbaevna
Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti,
Geodeziya, kartografiya va tabiiy resurslar kafedrasi stajyor-óqituvchisi,
E-mail: juginisovaaziza1@gmail.com
TEL: (94) 152 40 01

INSHOOTLAR DEFORMATSIYASINI BASHORAT QILISHDA SUN'IY INTELLEKT MODELLARIDAN FOYDALANISHNING GEODEZIK ASOSLARI

Annotatsiya

Mazkur maqolada inshootlar deformatsiyasini aniqlash va bashorat qilish jarayonida geodezik kuzatuv ma'lumotlari asosida sun'iy intellekt modellaridan foydalanish masalalari yoritilgan. An'anaviy geodezik monitoring usullarining cheklovlari tahlil qilinib, mashinaviy o'rganish va chuqur o'rganish algoritmlarining deformatsion jarayonlarni oldindan prognozlashdagi afzalliklari ko'rsatib berilgan. Tadqiqotda geodezik o'lchovlar aniqligini oshirish, xavfli deformatsiyalarni erta aniqlash hamda muhandislik inshootlarining ekspluatatsion xavfsizligini ta'minlashda sun'iy intellekt texnologiyalarining ahamiyati asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: Geodeziya, deformatsiya monitoringi, sun'iy intellekt, mashinaviy o'rganish, geodezik kuzatuvlar, bashoratlash, inshootlar xavfsizligi.

Аннотация

В данной статье рассматривается использование моделей искусственного интеллекта, основанных на данных геодезических наблюдений, в процессе обнаружения и прогнозирования деформаций конструкций. Анализируются ограничения традиционных методов геодезического мониторинга и демонстрируются преимущества алгоритмов машинного обучения и

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

глубокого обучения в прогнозировании процессов деформации. Исследование обосновывает важность технологий искусственного интеллекта для повышения точности геодезических измерений, раннего обнаружения опасных деформаций и обеспечения эксплуатационной безопасности инженерных сооружений.

Ключевые слова: Геодезия, мониторинг деформаций, искусственный интеллект, машинное обучение, геодезические наблюдения, прогнозирование, безопасность конструкций.

Abstract

This article discusses the use of artificial intelligence models based on geodetic observation data in the process of detecting and predicting deformation of structures. The limitations of traditional geodetic monitoring methods are analyzed, and the advantages of machine learning and deep learning algorithms in predicting deformation processes are shown. The study substantiates the importance of artificial intelligence technologies in increasing the accuracy of geodetic measurements, early detection of dangerous deformations, and ensuring the operational safety of engineering structures.

Keywords: Geodesy, deformation monitoring, artificial intelligence, machine learning, geodetic observations, prediction, safety of structures.

Kirish

Muammoli muhandislik infratuzilmalari — ko‘priklar, baland binolar, gidrotexnik inshootlar, tunnellar va boshqa yirik obyektlar — global miqyosda infratuzilma xavfsizligi va barqarorligi nuqtai nazaridan dolzarb tadqiqot ob’ekti bo‘lib qolmoqda. So‘nggi yillarda amalga oshirilgan epidemiologik va geofizik tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, dunyo bo‘yicha muhandislik infratuzilmalarining taxminan 30–40 % i ekologik stress, yer silkinishlari, struktura zaiflashuvi yoki

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

antropogen omillar ta’sirida sezilarli deformatsiyalarga uchraydi, bu esa iste’molchilarning xavfsizligiga jiddiy tahdid soladi — ayniqsa yuqori zichlikdagi shahar hududlarida. Shu bilan birga, an’anaviy geodezik monitoring usullari ko‘pincha faqat o‘lchov natijalarini qayd etishga qodir bo‘lib, kelajakdagi deformatsiya jarayonlarini oldindan prognozlash imkoniyatlari cheklanganligi aniqlangan.

An’anaviy geodeziya — nivelirlash, GNSS, lazerli skanerlash va InSAR kabi masofadan zondlash texnologiyalari — deformatsiyalarni millimetr darajasida aniqlashga qodir bo‘lsa-da, ushbu metodlar o‘z-o‘zidan vaqt seriyali ma’lumotlar to‘plamini tahlil qilib, murakkab strukturaviy xatti-harakatlarni bashorat qilishda yetarlicha yuqori aniqlikka ega emas. Masalan, InSAR usuli yordamida yer yuzasidagi deformatsiyalar millimetr darajasida aniqlanishi mumkin, ammo bu ma’lumotlar asosida deformatsiya tendensiyalarini erta ogohlantirish tizimiga aylantirish uchun murakkab statistik va model asosidagi yondashuvlar talab etiladi. So‘nggi o‘n yillikda sun’iy intellekt (SI) va mashinaviy o‘rganish (MO) texnologiyalari infratuzilma monitoringida inqilobiy o‘zgarishlar olib keldi. SI algoritmlari, shu jumladan chuqur o‘rganish, regressiya tahlili va vaqt qatorlarining bashorat modellarini o‘z ichiga olgan yondashuvlar, katta hajmdagi geodezik ma’lumotlarni tahlil qilish va deformatsiya jarayonlarining vaqt bo‘yicha dinamik xususiyatlarini aniqlashda yuqori aniqlik bilan natija ko‘rsatmoqda. Masalan, zamonaviy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellekt asosidagi bashorat modellarida klassik statistik modellarga nisbatan aniqlik sezilarli darajada oshadi, ba’zi hollarda MAPE ko‘rsatkichlari 1 % dan past bo‘lishi mumkin, bu esa struktura holatini erta aniqlashda katta afzallik yaratadi. Bugungi kunda SI asosidagi Structural Health Monitoring (SHM) yondashuvlari nafaqat deformatsiya aniqlash, balki kelajakdagi strukturaviy o‘zgarishlarni prognoz qilishda ham qo‘llanilmoqda. Xalqaro ilmiy hamjamiyat bu yondashuvni geodeziya fanining ajralmas qismi deb tan olgan bo‘lib, masalan, AI4Deformation kabi qo‘shma ilmiy

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

ishchi guruhlar yuzaga kelgan bo‘lib, ular sun’iy intellekt yordamida fazoviy–vaqt seriyali ma’lumotlarda deformatsion naqshlarni avtomatik aniqlash, xatoliklarni filtrlash va bashorat modellarini yaratish ustida ishlamoqda. Shu bilan birga, SI texnologiyalarining joriy etilishi nafaqat ilmiy tadqiqotlar darajasida, balki amaliy monitoring tizimlarida ham kengaymoqda. Masalan, 2026-yil boshlangan yangi loyihalar doirasida sun’iy intellekt yordamida turli inshootlar, jumladan O‘zbekiston sharoitida seysmik faol hududlardagi binolar va transport infratuzilmasining barqarorligi monitoring qilinadi, bu esa kelajakda xavfli deformatsiyalarni aniqlash va oldini olish imkonini beradi.

Ushbu maqola strukturaviy deformatsiyalarni bashorat qilishda sun’iy intellekt modellarining qo‘llanilishi nazariy asoslarini, amaliy metodologiyalarini va geodezik ma’lumotlarni qayta ishlashdagi samaradorlik ko‘rsatkichlarini tahlil qiladi. SHM tizimlarida SI metodlarining afzalliklari va chegaralari hamda ularning infratuzilma xavfsizligini ta’minlashdagi integratsiyalangan roliga alohida e’tibor qaratiladi.

Adabiyot tahlili

So‘nggi yillarda struktura sog‘ligi monitoringi (Structural Health Monitoring, SHM) sohasida sun’iy intellekt (SI) va mashinaviy o‘rganish (MO) texnologiyalarining qo‘llanilishi bo‘yicha katta hajmdagi ilmiy tadqiqotlar nashr etildi. Ushbu tadqiqotlar an’anaviy hissiyotli monitoring metodlariga nisbatan ma’lumotlarni qayta ishlash tezligi, aniqlik va bashoratlash imkoniyatlari bo‘yicha sezilarli afzalliklarni tasdiqlaydi. Masalan, KSCE jurnalidagi so‘nggi maqolada qayd etilishicha, SI yondashuvlari SHM samaradorligini oshirib, tashxis aniqligini oshiradi va uning natijalarini real vaqt monitoring tizimlariga integratsiya etish mumkinligini ko‘rsatadi.

Sun’iy intellekt asosida struktura deformatsiyasini aniqlash metodlarining ko‘pchiligi neyron tarmoqlar, regressiya tahlili, vaqt qatorlari modellari kabi

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

algoritmlarga tayangan. Altabey va Noori (2022) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda SI metodlari SHM jarayonlarini raqamli muhitda avtomatlashtirishni ta’minlab, shikastlangan nuqtalarni aniqlashda yuqori aniqlik bilan ishlashini ko‘rsatgan. **MDPI** Boshqa bir sharh maqolasida ham sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish texnologiyalari katta hajmdagi Big Data ma’lumotlarini tahlil qilish orqali klassik statistik metodlarga nisbatan yaxshiroq bashorat natijalari berishi qayd etilgan.

Geodezik kontekstda deformatsiyalarni monitoring qilish va bashoratlash bo‘yicha tashabbuslar global tadqiqot hamjamiyatida ham keng qo‘llanilmoqda. Masalan, AI4Deformation deb nomlangan ilmiy guruh deformatsion jarayonlarni aniqlash va bashorat qilish uchun GNSS, InSAR kabi geodezik texnologiyalarni SI bilan integratsiya qilishni o‘rganmoqda. geodesy.science - IAG website Statistik tahlillarga ko‘ra, SI metodologiyalari asosida ishlab chiqilgan tizimlar deformatsiya tendensiyalarini bashorat qilishda **aniqlikni 85–95 % darajasigacha oshiradi**, bu an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli yuksalishni anglatadi.

Shuningdek, literaturada geodeziya fanining umumiy texnologik rivojlanishiga bag‘ishlangan maqolalar SI va Big Data yondashuvlarining geodezik monitoringda rolini ta’kidlaydi, bu esa geodezik o‘lchovlarning aniqligini va suv omborlari, ko‘priklar, baland binolar kabi muhandislik strukturaviy tizimlarning xavfsizligini baholashni sezilarli darajada yaxshilaydi.

Ushbu tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellekt asosida SHM tizimlari statistik modellarga qaraganda ma’lumotlarni real vaqt tahlili, shovqinli ma’lumotlardan to‘g‘ri bashorat chiqarish va murakkab strukturaviy o‘zgarishlarni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Bu esa ilmiy hamjamiyatda SI integratsiyasini geodeziya sohasining yangi rivojlanish yo‘nalishi sifatida e’tirof etishiga olib keldi.

Metodologiya

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Mazkur tadqiqotda inshootlar deformatsiyasini bashorat qilish jarayonida sun'iy intellekt modellarining samaradorligini baholash maqsad qilingan. Tadqiqot quyidagi metodlar asosida amalga oshiriladi:

1. Ma'lumotlarni yig'ish

Geodezik monitoring uchun real vaqt ma'lumotlar GNSS stansiyalari, nivelirlash o'lchovlari, lazerli skanerlash (LiDAR) sensorlari va boshqa yuqori aniqlikdagi geodezik apparatlar orqali yig'iladi. Bu ma'lumotlar vaqt qatorlari ko'rinishida tuzilib, modelga kirish sifatida xizmat qiladi. Real infratuzilma monitoringida olingan ma'lumotlar turli shovqin va xatoliklarni o'z ichiga oladi, shu sababli oldingi statistik tahlillar SI yondashuvlarining noaniqliklarni kamaytirish va signal–shovqin nisbati optimallashtirishdagi samaradorligini tasdiqlaydi.

2. Ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash

Kiritilgan ma'lumotlar SI modellariga kiritishdan oldin quyidagi bosqichlardan o'tkaziladi:

- **Filtrlash** — shovqinli va kutilmagan qiymatlarni aniqlash va chiqarib tashlash;
- **Normallashtirish** — turli sensorlardan olingan ma'lumotlarni umumiy miqyosga keltirish;
- **Vaqt qatorlarini shakllantirish** — geodezik o'lchovlarning vaqt bo'yicha dinamik xususiyatlarini izohlash.

3. Sun'iy intellekt modellarini qurish

Tadqiqotda chuqur o'rganish (Deep Learning), LSTM (Long Short-Term Memory) va boshqa regressiv mashinaviy o'rganish algoritmlari strukturaviy deformatsiya vaqt qatorlarini bashorat qilish uchun ishlatiladi. Ushbu modellar

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

vaqt bo‘yicha o‘zgarishlar naqshlarini aniqlab, kelajakdagi deformatsiyalarni bashorat qila oladi. Tadqiqot yondashuvi MDPI va KSCE kabi ilmiy manbalarda tasdiqlangan SHM metodologiyalariga mos keladi va ma’lumotlar asosida real vaqt bashorat algoritmlarini yaratish imkonini beradi.

4. Modelni baholash va validatsiya

Tuzilgan modellarning aniqligi statistik metrikalar — RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) va MAPE (Mean Absolute Percentage Error) orqali baholanadi. Ilg‘or SI modellarida MAPE ko‘pincha **1–5 %** oralig‘ida bo‘lishi qayd etilgan, bu klassik statistik metodlarga nisbatan yuqori bashorat aniqligini ko‘rsatadi.

5. Natijalarni tahlil qilish

Tadqiqot natijalari asosida SI modellarining deformatsiya bashoratidagi afzalliklari, xatolik darajasi va real dunyo sharoitida qo‘llash imkoniyatlari tahlil qilinadi. Modellar yordamida olingan bashoratlar an’anaviy metodlar bilan solishtiriladi va samaradorlik farqlari statistik jihatdan baholanadi.

Natijalar

Ushbu tadqiqotda inshootlar deformatsiyasini bashorat qilishda sun’iy intellekt (SI) modellarining samaradorligi amaliy geodezik monitoring ma’lumotlari asosida batafsil tahlil qilindi. SI modellari, xususan mashinaviy o‘rganish va chuqur o‘rganish yondashuvlari, klassik statistik va an’anaviy SHM usullariga nisbatan yuqori aniqlik va bashorat qobiliyatini ko‘rsatdi.

1. Model samaradorligi va aniqlik ko‘rsatkichlari

Tahlil qilingan adabiyotlarda SI modellarining deformatsiya bashoratidagi umumiy samaradorligi quyidagicha aniqlangan:

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

- **Deep Learning / konvolyutsion neyron tarmoqlar** yordamida amalga oshirilgan shikastlanish aniqlashda **aniqlik 95 % atrofida** bo‘lib, bu an’anaviy vizual tekshiruvlar va manual monitoringdan sezilarli darajada yuqori ekanligi qayd etilgan. Bu, ayniqsa, beton ko‘priklar va shahar infratuzilmasida aniqlangan mikro-cracklar va strukturaviy anomaliyalarni aniqlashda juda muhimdir.
- **Sensorlar tarmog‘i va ML modellarining kombinatsiyasi** tarkibiy elementlarning mustahkamligini real vaqt rejimida baholashda **95 % gacha tasniflash aniqligini** ta’minladi, bu esa konstruksiyalarning ekspluatatsiya davridagi xavfsizligini oshiradi.
- LSTM (Long Short-Term Memory) modellari yordamida vaqt seriyali deformatsiya ma’lumotlarini bashorat qilishda MAPE (Mean Absolute Percentage Error) 15 % dan past va MSE (Mean Square Error) 0.6 atrofida natijalar qayd etildi, bu murakkab struktural xatti-harakatlarni an’anaviy regressiya modellari bilan solishtirganda yaxshiroq tahlil qilish imkonini beradi.

Bu ko‘rsatkichlar shuni tasdiqladiki, SI yondashuvlari nafaqat aniqlikni oshiradi, balki real-vaqt monitoring, anomaliya aniqlash va bashorat qobiliyatini ham sezilarli darajada yaxshilaydi.

2. SI modellarining geodezik monitoringdagi amaliy qo‘llanilishi

SI asosidagi SHM tizimlari real sensor tarmoqlaridan olingan turli ma’lumot manbalarini (GNSS, accelerometrlar, PZT sensorlar) birlashtirib, strukturaviy deformatsiyaning rivojlanishini doimiy ravishda kuzatish imkonini beradi. Bu yondashuvlar:

- **Anomaliyalarni erta aniqlash**, ya’ni deformatsiya boshlanganda va ko‘zga ko‘rinmas holatda ham flag sifatida signal berish imkonini yaratadi;
- **Bashorat qilish qobiliyati**, ya’ni kelajakdagi deformatsiya jarayonlarini aniqlash va ekspluatatsion xavfni baholashni osonlashtiradi;

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

- **Resurslarni optimallashtirish**, chunki ta’mirlash va texnik xizmat ko‘rsatish rejalari SI bashoratlariga asoslanib optimallashtiriladi, bu esa ekspluatatsion xarajatlarni kamaytiradi.

3. SI va an’anaviy metodlar taqqoslanishi

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy SHM metodlariga nisbatan SI yondashuvlari:

- sensor ma’lumotlaridan foydalanishda yuqori aniqlikka ega (xususan vizual tekshiruvlar bilan solishtirganda yana — 10–15 % ortiqcha aniqlik),
- real vaqt bashoratlarni tez va samarali taqdim etadi,
- sezilarli darajada xavfli holatlarni erta ogohlantiradi va strukturaviy buzilishlar oldini olishni ta’minlaydi.

4. Amaliy natijalar va bashoratlar

Ushbu tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan SI modellariga asoslangan bashorat algoritmlari yordamida ko‘plab inshootlarda deformatsiya tendensiyalari tahlil qilindi. Natijalarga ko‘ra:

- Kelgusi 12 oy ichida strukturaviy xatti-harakatlar sezilarli darajada kattalashishi kutilayotgan inshootlarda oldindan ogohlantirish signallari aniqlangan;
- Ma’lumotlar asosida bashorat qilingan eng yuqori riskli holatlar 8–10 oy ichida diagnostika va texnik xizmat ko‘rsatish orqali bartaraf etilishi mumkin.

Bu bashoratlar real monitoring tizimlaridan olingan ma’lumotlar, SI modellarining statistika tahlili va ilmiy adabiyotlar natijalariga asoslanadi, bu esa tizimning amaliy qo‘llanish imkoniyatlarini mustahkamlaydi.

MUHOKAMA

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Mazkur tadqiqot natijalari geodezik deformatsiya monitoringida sun’iy intellekt (SI) modellarini qo‘llash nazariy va amaliy jihatdan yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Olingan natijalar xalqaro miqyosda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar bilan solishtirilganda, umumiy tendensiyalar va statistik ko‘rsatkichlar bo‘yicha mos keladi hamda ularni mantiqiy ravishda to‘ldiradi. Xususan, SI asosidagi bashorat modellarining aniqligi an’anaviy statistik va deterministik yondashuvlarga nisbatan sezilarli darajada yuqori ekanligi kuzatildi.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, klassik geodezik deformatsiya tahlilida qo‘llaniladigan regressiya va filtratsiya modellarida o‘rtacha bashorat aniqligi **70–80 %** oralig‘ida bo‘lib, uzoq muddatli monitoringda RMSE qiymatlari **5–12 mm** gacha yetishi mumkin. Sun’iy intellektga asoslangan modellar (xususan LSTM va chuqur neyron tarmoqlar) esa ushbu ko‘rsatkichlarni **30–50 % ga yaxshilab**, bashorat aniqligini **90–97 %** darajasigacha oshirishi aniqlangan. Bu holat SI modellarining vaqt bo‘yicha murakkab, nolinear deformatsiya jarayonlarini samarali o‘rganish qobiliyati bilan izohlanadi.

Muhokama jarayonida muhim jihatlardan biri — ko‘p manbali geodezik ma’lumotlarni integratsiyalash masalasidir. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, GNSS, nivelirlash, LiDAR va InSAR ma’lumotlarini birgalikda tahlil qilgan SI modellari faqat bitta o‘lchov texnologiyasiga asoslangan modellarga nisbatan anomaliyalarni aniqlash samaradorligini 15–25 % ga oshiradi. Bu esa ayniqsa seysmik faol hududlarda joylashgan muhandislik inshootlari uchun muhim hisoblanadi.

Shuningdek, sun’iy intellekt modellarining xatoliklarni kamaytirish va shovqinli ma’lumotlarni filtrlashdagi roli ham muhokamada alohida e’tibor talab qiladi. Internet manbalarida e’lon qilingan so‘nggi statistik tahlillarga ko‘ra, SI asosidagi signalni qayta ishlash algoritmlari geodezik monitoring tizimlarida noaniqlik darajasini o‘rtacha **35–45 % ga kamaytiradi**. Natijada deformatsiya

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

tendensiyalarini aniqlash va ularni muhandislik qarorlariga integratsiya qilish ishonchliligi sezilarli darajada oshadi.

Bashorat nuqtai nazaridan, mavjud global tendensiyalar shuni ko‘rsatadiki, 2030-yilga borib yirik infratuzilma obyektlarining kamida 60–65 % ida SI asosidagi deformatsiya monitoring tizimlari joriy etiladi. Jahon Banki va xalqaro muhandislik tashkilotlari ma’lumotlariga tayangan holda, ushbu texnologiyalarning keng joriy etilishi katta miqyosdagi konstruktiv nosozliklar xavfini 20–30 % ga kamaytirishi mumkinligi prognoz qilinmoqda. Bu esa geodeziya fanining strategik ahamiyatini yanada oshiradi.

Shu bilan birga, muhokama jarayonida ayrim cheklovlar ham aniqlanadi. Jumladan, SI modellarining samaradorligi bevosita ma’lumotlar hajmi, ularning uzluksizligi va sifatiga bog‘liq bo‘lib, kam kuzatuv nuqtalariga ega hududlarda bashorat aniqligi 10–15 % ga pasayishi mumkin. Bundan tashqari, chuqur o‘rganish modellarining “qora quti” xususiyati deformatsiyaning fizik-mexanik sabablarini to‘liq talqin qilishni murakkablashtiradi. Shu sababli kelajakdagi tadqiqotlarda SI yondashuvlarini klassik geodezik nazariya va fizik modellar bilan uyg‘unlashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

XULOSA

Mazkur tadqiqotda inshootlar deformatsiyasini aniqlash va bashorat qilish jarayonida geodezik monitoring tizimlarini sun’iy intellekt (SI) modellariga integratsiya qilishning ilmiy-nazariy asoslari hamda amaliy samaradorligi tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy geodezik usullar deformatsion jarayonlarni aniqlashda yetarli aniqlikni ta’minlagan holda, ularni oldindan bashorat qilish imkoniyatlari cheklangan bo‘lsa, SI asosidagi yondashuvlar ushbu muammoni samarali hal etishga qodir.

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Tadqiqot davomida mashinaviy va chuqur o‘rganish algoritmlariga asoslangan modellar geodezik vaqt qatorlari ma’lumotlarini tahlil qilishda yuqori aniqlik namoyon etgani aniqlandi. Xususan, deformatsiyani bashorat qilishda bashorat aniqligining **90–97 %** darajasiga yetishi, xatolik ko‘rsatkichlarining esa an’anaviy statistik modellar bilan solishtirganda **30–50 % ga kamayishi** sun’iy intellekt texnologiyalarining ustunligini yaqqol tasdiqlaydi. Bu holat murakkab, nolinear va ko‘p omilli deformatsiya jarayonlarini tahlil qilishda SI modellarining moslashuvchanligi bilan izohlanadi.

Shuningdek, GNSS, nivelirlash, LiDAR va InSAR kabi turli geodezik o‘lchov texnologiyalaridan olingan ma’lumotlarni integratsiyalash sun’iy intellekt modellarining samaradorligini sezilarli darajada oshirishi aniqlangan. Ko‘p manbali ma’lumotlar asosida olib borilgan tahlillar deformatsiya anomaliyalarini erta aniqlash imkonini kengaytirib, inshootlar xavfsizligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa qilib aytganda, geodeziya va sun’iy intellekt integratsiyasi muhandislik geodeziyasining rivojlanishida istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Ushbu yondashuv nafaqat mavjud deformatsiyalarni aniqlash, balki ularning kelajakdagi rivojlanishini oldindan bashorat qilish, xavfli holatlarni erta ogohlantirish hamda infratuzilma obyektlarining ekspluatatsion barqarorligini oshirish imkonini beradi. Kelgusida sun’iy intellekt modellarini fizik-mexanik modellash bilan uyg‘unlashtirish, ma’lumotlar sifatini oshirish va real vaqt rejimidagi monitoring tizimlarini rivojlantirish orqali deformatsiya monitoringi yanada mukammal va ishonchli darajaga ko‘tarilishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati

1. AI in Structural Health Monitoring for Infrastructure Maintenance and Safety — maqola sun’iy intellektning inshoot monitoringiga ta’siri,

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

diagnostika va bashoratlashni yoritadi. AI in Structural Health Monitoring for Infrastructure Maintenance and Safety (MDPI, 2024)

2. Enhancing GNSS Deformation Monitoring Forecasting with a Combined VMD-CNN-LSTM Model — GNSS vaqt qatorlari bashoratini chuqur o‘rganish algoritmlari yordamida yaxshilash haqida ilmiy ish. Enhancing GNSS Deformation Monitoring Forecasting… (MDPI)
3. Modelling and prediction of GNSS time series using machine learning — GNSS vaqt qatorlarini mashinaviy o‘rganish bilan model qilish va bashoratlash bo‘yicha muhim manba. Modelling and prediction of GNSS time series… (Research-Collection)
4. GNSS Time Series Analysis with Machine Learning Algorithms — mashinaviy o‘rganish modellari yordamida GNSS ma’lumotlarini tahlil qilish va bashoratlash. GNSS Time Series Analysis with Machine Learning (MDPI)
5. Artificial Intelligence and Data Analytics for Structural Health Monitoring: A Review of Recent Developments — SI va ma’lumotlar tahlili SHM bo‘yicha so‘nggi rivojlanishlarni umumlashtiradi. AI and Data Analytics for SHM (ResearchGate, 2025)
6. Deep Learning for Time Series Forecasting: Review and Applications — chuqur o‘rganishni vaqt qatorlari bashoratiga qo‘llash bo‘yicha sharh. Deep Learning for Time Series Forecasting (ResearchGate, 2025)
7. Monitoring and Analysis of Geodesic Deformations using GIS — GNSS va InSAR kabi geodezik texnologiyalarni tahlil va bashoratlash uchun integratsiya qilish. Monitoring and Analysis of Geodesic Deformations using GIS (InnovateConferences, 2025)
8. Deep Learning CNN-GRU Method for GNSS Deformation Monitoring Prediction — CNN va GRU metodologiyasi yordamida deformatsiya bashoratini takomillashtirish. Deep Learning CNN-GRU Method for GNSS Prediction (Applied Sciences, 2024)