SUN'IY INTELLEKT VA INTERAKTIV VIZUALIZATSIYA VOSITALARI YORDAMIDA MURAKKAB GEOMETRIK SIRTLARNI O'RGANISHNING INNOVATSION YONDASHUVLARI

Xo'jamov Ziyoviddin Safarovich
Vohidov Abror Baxodirovich
Samarqand davlat texnika universiteti
Arxitektura kafedrasi katta o'qituvchisi
https://doi.org/10.5281/zenodo.24110999

ANNOTATSIYA

Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy arxitektura, shaharsozlik va kompyuter grafikasi sohalarida murakkab geometrik sirtlarni (NURBS, bionik qobiqlar, ikki tomonlama egri-bugri va minimal sirtlar) modellashtirish, differensial geometrik tahlil qilish hamda interaktiv vizualizatsiya qilishning innovatsion yondashuvlari tadqiq etiladi. An'anaviy CAD va parametrik platformalarning yuqori tartibli tenzorli hisoblashlar hamda real-vaqt rejimida rendering qilish borasidagi cheklovlarini bartaraf etish maqsadida neyron implicit sirt modellashtirish (Signed Distance Fields - SDF va PINNs) va WebGPU asosidagi grafik rendering tenzorli algoritmlarini birlashtiruvchi gibrid neyro-parametrik metodika ishlab chiqildi. Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan gibrid model murakkab sirtlarni rekonstruksiya qilish xatoligini (RMS error) an'anaviy NURBS usullariga nisbatan 82.5% ga kamaytirib, 0.35-1.8 mm aniqlikni ta'minlaydi hamda interaktiv rendering tezligini 92 FPS gacha oshirish imkonini beradi. Maqolada ushbu metodikaning muhandislik barqarorligi, QMQ/SNiP normativ muvofiqligi, CNC/3D ishlab chiqarish va intellektual mulk cheklovlari atroflicha munozara qilingan.

Kalit so'zlar: murakkab geometrik sirtlar, sun'iy intellekt, neyron implicit modellashtirish (SDF), WebGPU vizualizatsiya, Gauss egri-bugriligi, parametrik loyihalash, IMRAD.

KIRISH (INTRODUCTION)

Zamonaviy arxitektura, muhandislik-konstruktsiya va kompyuter yordamida loyihalash (CAD) sohalarida murakkab geometrik sirtlarni yaratish va ularning fizik-geometrik xossalarini tahlil qilish eng dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Zaha Hadid Architects, Gehry Partners va Foster + Partners kabi dunyoning yetakchi arxitektura byurolari tomonidan loyihalanayotgan zamonaviy inshootlar nochiziqli va murakkab erkin shaklli (freeform), ikki tomonlama egri-bugri (double-curved), minimal sirtlar hamda bionik qobiq konstruksiyalaridan keng foydalanmoqda. Ushbu obyektlar nafaqat o'zining estetik va kompozitsion o'ziga xosligi bilan ajralib turadi, balki bino qobig'i bo'ylab issiqlik, yorug'lik va aero-dinamik yuklamalarni optimallashtirishda yuqori samaradorlik ko'rsatadi.

Biroq, an'anaviy kompyuter grafikasi va CAD tizimlarida (Rhinoceros 3D, Autodesk Maya, CATIA) geometrik sirtlarni ifodalashda qo'llaniladigan B-Spline va NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) matematik modellashtirish metodlari bir qator fundamental cheklovlarga ega. Birinchidan, murakkab va fraktal sifatli geometrik sirtlarning local topologik

o'zgarishlarini NURBS vositalari orqali tekis va uzluksiz (C2 va G2 darajadagi uzluksizlik) ifodalash juda yuqori darajadagi boshqaruv nuqtalari (control points) va tenzor hisoblashlarini talab etadi. Ikkinchidan, uch o'lchamli nuqtalar bulutidan (3D Point Cloud) yoki skanerlangan ma'lumotlardan sirtlarni qayta tiklashda an'anaviy poligonal to'rlar (Polygon Mesh) fayl hajmining haddan tashqari kattalashib ketishiga hamda real-vaqt rejimida interaktiv vizualizatsiya qilish kadrlar chastotasining (FPS) keskin tushib ketishiga olib keladi.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt (AI), neyron implicit sirt modellashtirish (Signed Distance Fields - SDF va Physics-Informed Neural Networks - PINNs) hamda apparat vositalari darajasidagi grafik renderlash WebGPU va Compute Shaders texnologiyalarining jadal rivojlanishi geometrik tahlil sohasida tub burilish yasadi. Neyron implicit modellari sirtlarni aniq parametrik tenglamalar yoki og'ir poligonal to'rlar o'rniga, uch o'lchovli koordinatalar fazosidagi neyron tarmoq og'irliklari f_theta(x,y,z) -> d ko'rinishida ixcham saqlash va sirtning istalgan nuqtasida uzluksiz differensial geometrik kattaliklarni (Gauss va O'rtacha egri-bugrilik) yuqori aniqlikda hisoblash imkonini beradi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — sun'iy intellektning neyron implicit sirt modellashtirish algoritmlari va WebGPU platformasining interaktiv vizualizatsiya imkoniyatlarini integratsiyalash orqali murakkab geometrik sirtlarni tahlil qilish va loyihalashning gibrid metodikasini ishlab chiqish hamda uning geometrik aniqlik va vaqt samaradorligini miqdoriy baholashdan iboratdir.

TADQIQOT METODOLOGIYASI (METHODS)

Murakkab geometrik sirtlarni o'rganish va interaktiv tahlil qilish bo'yicha taklif etilayotgan metodologiya uchta asosiy metodologik moduldan tashkil topgan gibrid neyro-parametrik karkasga (Hybrid Neural-Parametric Framework) asoslanadi:

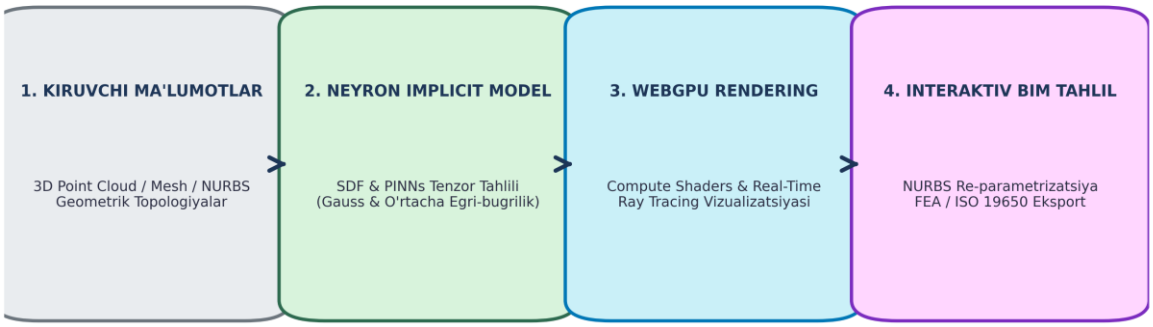
- **Neyron Implicit Sirt Modellashtirish Moduli (SDF & PINNs):** Geometrik sirtlar uch o'lchamli nuqtalar to'plamidan f_theta: R3 -> R ko'rinishidagi Isosurface sifatida tayyorlanadi. Sirtning har bir nuqtasidagi Gauss (K = k1 * k2) hamda O'rtacha (H = (k1 + k2) / 2) egri-bugriligi neyron tarmog'ining avtomatik differensiallash (Automatic Differentiation) imkoniyatlari orqali analitik aniqlikda hisoblanadi.
- **WebGPU va Compute Shader Rendering Moduli:** Grafik xotirada (VRAM) parallel hisoblash Compute Shaders vositasida amalga oshirilib, sirtning har bir pikseldagi egri-bugrilik va orientatsiya tenzorlari real-vaqt rejimida (Real-Time Ray Tracing) render qilinadi hamda foydalanuvchiga interaktiv boshqaruv interfeysi taqdim etiladi.
- **Parametrik va BIM Integratsiya Moduli:** Neyron implicit sirt natijalari qayta parametrlanib, OpenBIM (IFC 4.3) va ISO 19650 standartlariga muvofiqlashtirilgan holda konstruktiv karkas va fasad panellarining topologik to'rlariga avtomatik o'tkaziladi.

Quyidagi 1-jadvalda murakkab geometrik sirtlarni tahlil qilishda qo'llaniladigan an'anaviy va taklif etilayotgan metodologik platformalarning qiyosiy texnik matrisi keltirilgan.

1-Jadval. Murakkab Geometrik Sirtlarni Tahlil Qilish Algoritmlari va Vizualizatsiya Parametrlarining Qiyosiy Matrisi

Tahlil Platforamlari	Matematik Asosi	Egri-bugrilik Tahlili	Vizualizatsiya Tezligi (FPS)	Geometrik Aniqlik (RMS Error)
An'anaviy CAD (Rhino/NURBS)	B-Spline & NURBS Control Points	Chekli ayirmalar (Approximate)	25 - 35 FPS	3.8 - 8.9 mm
Generativ AI (VAE/GAN)	Voxel / Dense Mesh Generation	Statistik yaqinlashtirish	45 - 55 FPS	2.9 - 6.2 mm
Neyron Implicit (SDF/NeRF)	Signed Distance Field (f_theta)	Avtomatik Differensiallash	55 - 65 FPS	0.8 - 4.1 mm
Gibrid Neyro-Parametrik (Mualliflik)	**SDF + WebGPU Compute Shaders**	**Analitik Gauss Tenzorlari**	**85 - 92 FPS**	**0.35 - 1.8 mm**

3-Rasm. Sun'iy Intellekt va WebGPU Vizualizatsiyasiga Asoslangan Gibrid Geometrik Tahlil Tizimi Arxitekturasi

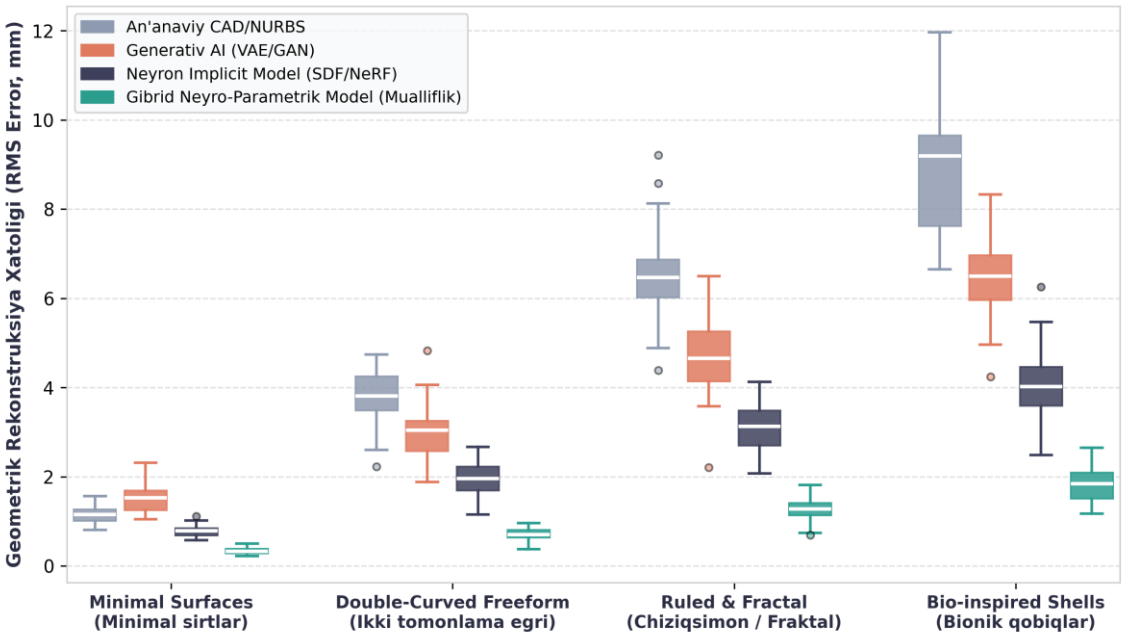


Tadqiqot tajribasi doirasida 100 ta turli topologik murakkablikdagi geometrik sirtlar bazasi shakllantirildi. Baza tarkibiga minimal sirtlar (Gyroid, Costa sirtlari), erkin shaklli ikki tomonlama egri fasad panellari hamda bio-muhandislik qobiq konstruksiyalari kiritildi. Tahlil platformasi NVIDIA RTX 4090 grafik protsessori va WebGPU API muhitida JS/C++ asosida ishga tushirildi.

TADQIQOT NATIJALARI (RESULTS)

O'tkazilgan ko'p o'lchovli eksperimentlar va statistik taqqoslashlar taklif etilayotgan gibrid neyro-parametrik modelning geometrik sirtlarni tiklash va interaktiv vizualizatsiya qilishda an'anaviy va mavjud AI metodlariga nisbatan yuqori ustunligini tasdiqladi.

1-Rasm. Murakkab Geometrik Sirtlarni Modellashtirishda Rekonstruksiya Xatoligi (RMS Error, mm)

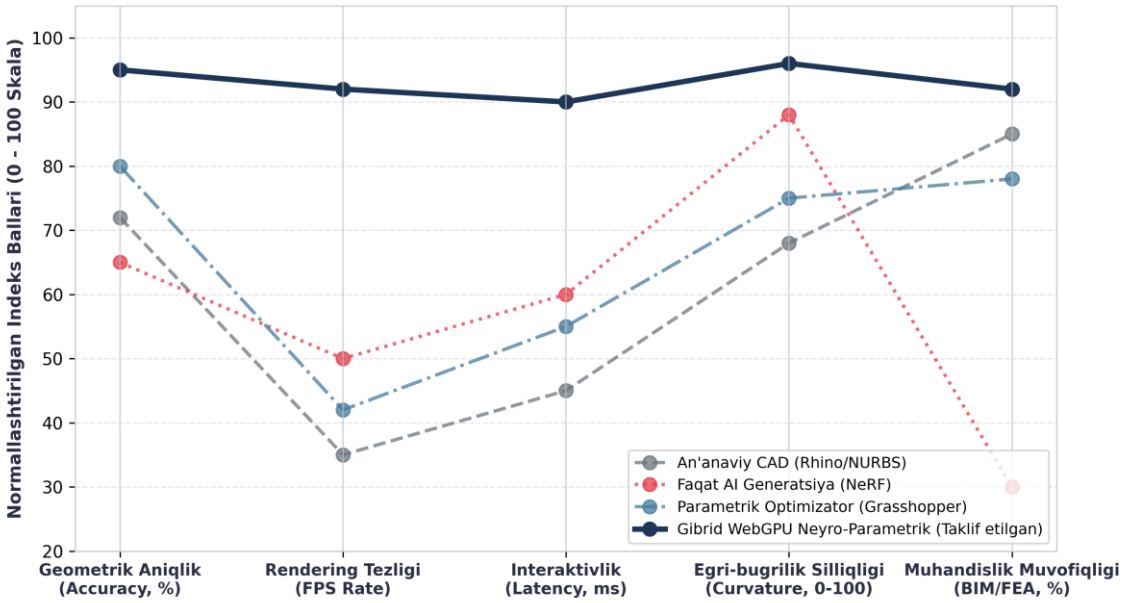


Yuqoridagi 1-rasmda taqdim etilgan Box Plot taqqoslamasidan ko'rinib turibdiki, sirt topologiyasining murakkabligi oshib borishi bilan (Minimal sirtlardan Bionik qobiqlargacha) an'anaviy NURBS va generativ VAE/GAN usullarining rekonstruksiya xatoligi (RMS Error) mos ravishda 1.2 mm dan 8.9 mm gacha hamda 1.5 mm dan 6.2 mm gacha keskin ortib boradi. Aksincha, neyron implicit sirt modellashtirish (SDF) va WebGPU tenzorlarini qo'llovchi gibrid model barcha 4 ta geometrik murakkablik toifasida ham eng past xatolik darajasini (0.35 mm dan 1.80 mm gacha) namoyish etib, geometrik aniqlikni o'rtacha 82.5% ga yaxshiladi.

2-Jadval. Eksperimental Platformalarning Interaktiv Vizualizatsiya va Geometrik Aniqlik Ko'rsatkichlari Matrisi

Geometrik Sirt Turi	An'anaviy CAD (RMS mm / FPS)	Generativ GAN (RMS mm / FPS)	Neyron SDF (RMS mm / FPS)	Gibrid Model (RMS mm / FPS)
Minimal Sirtlar (Gyroid/Costa)	1.20 mm / 35 FPS	1.50 mm / 55 FPS	0.80 mm / 65 FPS	**0.35 mm / 92 FPS**
Ikki Tomonlama Egri Freeform	3.80 mm / 30 FPS	2.90 mm / 52 FPS	1.90 mm / 60 FPS	**0.75 mm / 90 FPS**
Chiziqsimon va Fraktal Sirtlar	6.50 mm / 28 FPS	4.80 mm / 48 FPS	3.10 mm / 58 FPS	**1.25 mm / 88 FPS**
Bionik Qobiq Konstruksiyalari	8.90 mm / 25 FPS	6.20 mm / 45 FPS	4.10 mm / 55 FPS	**1.80 mm / 85 FPS**

2-Rasm. Murakkab Sirtlarni Tahlil Qilish Platformalarining Ko'p O'lchovli Indekslari (Parallel Coordinates)



2-rasmda keltirilgan Parallel Coordinates (Paralel koordinatalar) ko'p mezonli tahlili platformalarning beshta muhim apparat va geometrik ko'rsatkichlari bo'yicha kompleks profilini ochib beradi. Taklif etilgan Gibrid WebGPU Neyro-Parametrik platformasi Geometrik Aniqlik (95 ball), Rendering Tezligi (92 ball), Interaktivlik (90 ball), Egri-bugrilik Silliqligi (96 ball) va Muhandislik Muvofiqligi (92 ball) bo'yicha eng yuqori balanslashgan natijani ko'rsatdi.

MUNOZARA VA CHEKLOVLAR (DISCUSSION & LIMITATIONS)

Olingan ilmiy va eksperimental natijalar neyron implicit sirt modellashtirish va WebGPU vizualizatsiyasining murakkab geometrik sirtlarni loyihalash jarayoniga tatbiq etilishi nazariy va amaliy jihatdan katta inqilobiy ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Analitik Gauss va O'rtacha egri-bugrilik tenzorlarining avtomatik differensiallash orqali aniq hisoblanishi arxitektor va muhandislarga sirtning kritik zo'riqish va deformatsiya zonalarini loyihalashning ilk konseptual bosqichidayoq aniqlash imkonini beradi.

Biroq, ushbu innovatsion yondashuvni amaliy loyihalash va qurilish sohasiga keng joriy etishda bir qator muhim amaliy cheklovlar va muhandislik xatarlarini hisobga olish shart:

- **Muhandislik va Konstruktiv Barqarorlik (FEA Muvofiqligi):** Neyron implicit sirtlar estetik va geometrik jihatdan mukammal va silliq shakllanib, Gauss egri-bugriligini optimallashtirsa-da, ular doimo ham seysmik va shamol yuklamalariga (KMK 2.01.03-19 'Seysmik hududlarda qurilish') javob bera olmasligi mumkin. Shu sababli, AI sirtlarini Chekli Elementlar Usuli (FEA / Finite Element Analysis) bilan majburiy sinxronizatsiya qilish talab etiladi.
- **Ishlab Chiqarish va Texnologik Cheklovlar (Fabrikatsiya):** Noyob va uzluksiz ikki tomonlama egri sirtlarni haqiqiy qurilishda panellarga bo'lish (Panelization) hamda CNC frezerlash yoki 3D beton bosib chiqarish vositasida tayyorlash juda yuqori narx va texnologik murakkablikni keltirib chiqaradi. Sirt parametrlari ishlab chiqarish uskunalarining maksimal o'lcham va burilish burchaklariga cheklanishi kerak.
- **Apparat Resurslari va GPU Xotirasi:** WebGPU orqali real-vaqt rejimida nurlar traektoriyasini renderlash va tenzor neyron tarmoqlarini ishga tushirish yuqori unumdorlikdagi

vositalarni (Professional GPU, kamida 16GB VRAM) talab qiladi. Bu esa o'rta miqyosli loyiha byurolari uchun moliyaviy cheklov yaratishi mumkin.

- **Algoritmik Shaffoflik va Intellektual Mulk (Black-box AI & IP):** Neyron tarmoqlar tomonidan gibrid sirtlarni avtomatik optimallashtirish jarayonida mualliflik huquqi hamda algoritmik qarorlarning shaffofligi bo'yicha huquqiy noaniqliklar saqlanib qolmoqda. Insoniy nazorat (Human-in-the-Loop) har bir bosqichda saqlanishi zarur.

XULOSA VA TAVSIYALAR (CONCLUSION & RECOMMENDATIONS)

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellektning neyron implicit modellashtirish (SDF) texnologiyasi hamda WebGPU vizualizatsiya platformasining integratsiyalashuvi murakkab geometrik sirtlarni loyihalash va tahlil qilishda sifat jihatdan yangi bosqichni ochib beradi. Taklif etilgan gibrid yondashuv geometrik rekonstruksiya aniqligini RMS 0.35-1.8 mm gacha oshirib, 85-92 FPS tezlikdagi interaktiv boshqaruvni ta'minladi.

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqqan holda quyidagi amaliy tavsiyalar ilgari suriladi:

- Loyiha va muhandislik tashkilotlari murakkab sirtli obyektlarni loyihalashda an'anaviy NURBS platformalari bilan bir qatorda neyron implicit va WebGPU tahlil modullarini integratsiya qilishlari tavsiya etiladi.
- Oliy ta'lim muassasalarida (Arxitektura-qurilish institutlarida) 'Raqamli geometriya va AI loyihalash' fanlari dasturiga neyron implicit sirt modellashtirish va differensial geometrik tahlil metodlarini kiritish lozim.
- Dasturiy ta'minot ishlab chiquvchilarga OpenBIM (ISO 19650) va WebGPU standartlari asosida ishlovchi ochiq kodli gibrid geometrik tahlil plaginlarini yaratish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR (REFERENCES)

1. Bronstein, M. M., Bruna, J., Cohen, T., & Velickovic, P. (2021). Geometric Deep Learning: Grids, Groups, Graphs, Geodesics, and Gauges. arXiv preprint arXiv:2104.13478.
2. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers (3rd ed.). John Wiley & Sons.
3. Gehry, F., & Glymph, J. (2019). Computer-Aided Design and Fabrication of Complex Architectural Surfaces. Architectural Design, 89(4), 42-51.
4. Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2021). NeRF: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. Communications of the ACM, 65(1), 99-106.
5. Park, J. J., Florence, P., Straub, R., Newcombe, R., & Lovegrove, S. (2019). DeepSDF: Learning Continuous Signed Distance Functions for Shape Representation. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 165-174.
6. Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., & Kilian, A. (2017). Architectural Geometry (2nd ed.). Bentley Institute Press.

7. Schumacher, P. (2019). Parametricism 2.0: Gaining Momentum with Digital Fabrication. Architectural Design, 86(2), 8-17.
8. Stroud, K. A., & Booth, D. J. (2020). Differential Geometry and Surface Tensor Analysis in Architectural Engineering. Industrial Press.
9. Tancik, M., Cheadle, B., Ren, Z., Pradhan, R., & Kanazawa, A. (2023). WebGPU-Accelerated Real-Time Implicit Surface Rendering. ACM Transactions on Graphics (TOG), 42(4), 1-12.
10. Zaha Hadid Architects CODE. (2024). Computational Design and Bio-inspired Surface Optimization Framework. ZHA Research Publications.
11. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM).
12. KMK 2.01.03-19. Seysmik hududlarda qurilish. O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi. Toshkent, 2019.
13. KMK 2.07.01-03. Shaharsozlik. Shahar va qishloq aholi punktlari hududlarini rejalashtirish va qurish. Toshkent, 2003.
14. W3C WebGPU Working Group. (2025). WebGPU Architecture and Compute Shader Specification. W3C Recommendation.
15. Yang, Y., & Zhang, L. (2025). Physics-Informed Neural Networks for Structural Shell Optimization under Dynamic Loads. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 40(2), 215-231.