BIM VA PARAMETRIK LOYIHALASH ASOSIDA ARXITEKTURA OBYEKTLARINING MUQOBIL REJALASHTIRISH YECHIMLARINI KO'P MEZONLI OPTIMALLASHTIRISH METODIKASI

Murodqulova Guliniso Sherzodovna
Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti magistranti.
Kamalova Dilnoza Zayniddinovna
Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti professori, arxitektura fanlari doktori (PhD).
https://doi.org/10.5281/zenodo.23982891

ANNOTATSIYA

Ushbu tadqiqot ishida bino va inshootlarning konseptual hamda ishchi loyihalash bosqichlarida BIM (Building Information Modeling) texnologiyalari va parametrik modellashtirish algoritmlarini integratsiya qilish orqali muqobil rejalashtirish yechimlarini ko'p mezonli optimallashtirish (Multi-Criteria Optimization - MCO) metodikasi ishlab chiqilgan. Loyihalash jarayonida energiya samaradorligi, tabiiy yoritilganlik (insolyatsiya va daylighting), foydali maydon unumdorligi hamda qurilishning iqtisodiy ko'rsatkichlari o'rtasidagi ziddiyatli mezonlarni bir vaqtning o'zida balanslashtirish uchun NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) genetiki algoritmi qo'llanilgan. Dynamo va Grasshopper muhitlarida yaratilgan parametrik ssenariylar Revit BIM platformasi bilan ikki tomonlama API orqali sinxronlashtirilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan ko'p mezonli optimallashtirish metodikasi an'anaviy loyihalash usullariga nisbatan rejalashtirish variantlarini ko'rib chiqish vaqtini 75-80% ga qisqartiradi, energiya sarfini 22.4% ga kamaytiradi va foydali maydon koeffitsientini 14.8% ga oshirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: BIM texnologiyalari, parametrik loyihalash, ko'p mezonli optimallashtirish, Pareto fronti, NSGA-II algoritmi, insolyatsiya, energiya samaradorligi, Dynamo, Grasshopper.

1. KIRISH (INTRODUCTION)

Zamonaviy arxitektura va shaharsozlik sohasi murakkab funksional, ekologik, muhandislik va iqtisodiy talablar kesishmasida rivojlanmoqda. Bino va inshootlarni loyihalash jarayonida arxitektorlar bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan ko mezonlarni (masalan, bino hajmining maksimallashuvi va energiya sarfining minimallashuvi, yoki maksimal tabiiy yoritilganlik va quyosh issiqlik radiatsiyasidan himoyalanish) bir vaqtning o'zida qondirish vazifasiga duch kelishadi. An'anaviy loyihalash usullarida ushbu mezonlarni balanslashtirish asosan arxitektorning subyektiv tajribasi va intuitiv qarorlariga tayanadi, bu esa loyihalash muqobil (variantiv) yechimlarining tor doirada qolib ketishiga olib keladi.

So'nggi yillarda BIM (Building Information Modeling) texnologiyalarining keng joriy etilishi va parametrik loyihalash (Parametric Design) vositalarining rivojlanishi arxitekturaviy forma va makoniy tashkil etish jarayonini tubdan o'zgartirdi. Parametrik loyihalash bino geometriyasini o'zgarmas shakl sifatida emas, balki matematik tenglamalar, algoritmlar va kiruvchi parametrlar (quyosh burchagi, shamol shamollatish yo'nalishi, maydon chegaralari, konstruktiv to'r) bog'liqligidagi dinamik sistema sifatida ko'rib chiqish imkonini beradi.

Biroq, faqatgina parametrik modellashtirishning o'zi eng optimal rejalashtirish yechimini avtomatik ravishda kafolatlamaydi. Yuzlab yoki minglab parametrik variantlar orasidan eng samaralisini tanlab olish

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

uchun Ko'p Mezonli Optimallashtirish (Multi-Criteria Optimization - MCO) va ko'p maqsadli evolyutsion algoritmlarni (Multi-Objective Evolutionary Algorithms - MOEA) integratsiya qilish zarurati tug'iladi. Ushbu tadqiqotning maqsadi — BIM muhiti va parametrik evolyutsion algoritmlar sinxronizatsiyasiga asoslangan, arxitektura obyektlarining muqobil rejalashtirish yechimlarini ko'p mezonli optimallashtirish bo'yicha ilmiy-amaliy metodikani ishlab chiqish va uning samaradorligini baholashdan iborat.

Tadqiqot gipotezasi shundan iboratki: BIM va parametrik modellashtirish algoritmlarini ko'p maqsadli genetiki algoritmlar (NSGA-II) bilan choksiz (seamless) integratsiyalash, konseptual loyihalash bosqichida bino mikroiqlimi, maydon unumdorligi va konstruktiv qulayliklarni o'z ichiga olgan Pareto-optimal yechimlar to'plamini hosil qilishga hamda loyihalash qarorlarini qabul qilish sifatini sifat va miqdor jihatdan oshirishga xizmat qiladi.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI (METHODS)

Tadqiqotda arxitektura obyekti rejalashtirish yechimlarini kompleks optimallashtirish uchun uch bosqichli gibrid metodologik karkas (Three-tier Optimization Framework) ishlab chiqildi va tajribada sinab ko'rildi:

2.1. Parametrik geometrik model va o'zgaruvchilar fazosi

Loyihaning geometrik karkasi Autodesk Revit muhitida yaratilib, Rhino/Grasshopper va Autodesk Dynamo parametrik tugunlar tizimi orqali algoritmik ko'rinishga o'tkazildi. Rejalashtirish yechimining o'zgaruvchilari (Decision Variables) sifatida quyidagilar belgilandi:

- Bino bloklarining orientatsiya burchagi (0° - 360° dynamic rotation);
- Qavatlar balandligi va binoning hajmiy-makoniy shakli (massing proportion);
- Oyna-devor nisbati (Window-to-Wall Ratio - WWR, 20% dan 75% gacha);
- Ichki funksional zonalarning (ofis, atrium, texnik zonalar) joylashuv topologiyasi va konstruktiv to'r bosqichi (6m x 6m, 6m x 9m, 9m x 9m).

2.2. Ko'p mezonli maqsad funksiyalari (Objective Functions)

Optimallashtirish algoritmi bir vaqtning o'zida to'rtta ziddiyatli maqsad funksiyasini birgalikda baholashga yo'naltirildi:

1. Energiya sarfini minimallashtirish (f1 -> min): Bino bo'yicha yillik isitish, sovutish va yoritish uchun talab etiladigan solishtirma energiya sarfi (kWh/m²·yil) Ladybug va Honeybee (EnergyPlus simulyatsion dvigateli) tugunlari orqali hisoblandi.
2. Tabiiy yoritilganlik darajasini maksimallashtirish (f2 -> max): Ishchi zonalardagi Spatial Daylight Autonomy (sDA300/50%) ko'rsatkichi hisoblandi.
3. Foydali maydon koeffitsientini maksimallashtirish (f3 -> max): Bino umumiy qurilish maydoniga nisbatan foydali sotiladigan yoki ishlatiladigan maydon nisbati (Net-to-Gross Area Ratio).
4. Qurilish karkasi va fasad narxini minimallashtirish (f4 -> min): Konstruktiv elementlar va fasad oynavandlik maydoni bo'yicha solishtirma iqtisodiy ko'rsatkich.

2.3. Optimallashtirish algoritmi va BIM API integratsiyasi

Ko'p mezonli optimallashtirish uchun NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) algoritmidan foydalanildi (Galapagos hamda Octopus plaginlari negizida). Algoritm har bir avlodda (generation) 50 ta populyatsiya va 100 ta takrorlanish (iteration) bilan jami 5,000 ta muqobil rejalashtirish variantini avtomatik ravishda generatsiya qildi va baholadi. Har bir optimal variant avtomatik tarzda Revit API orqali LOD 300 darajasidagi BIM model unsurlariga (devorlar, ustunlar, oynalar, funksional zonalar) aylantirildi.

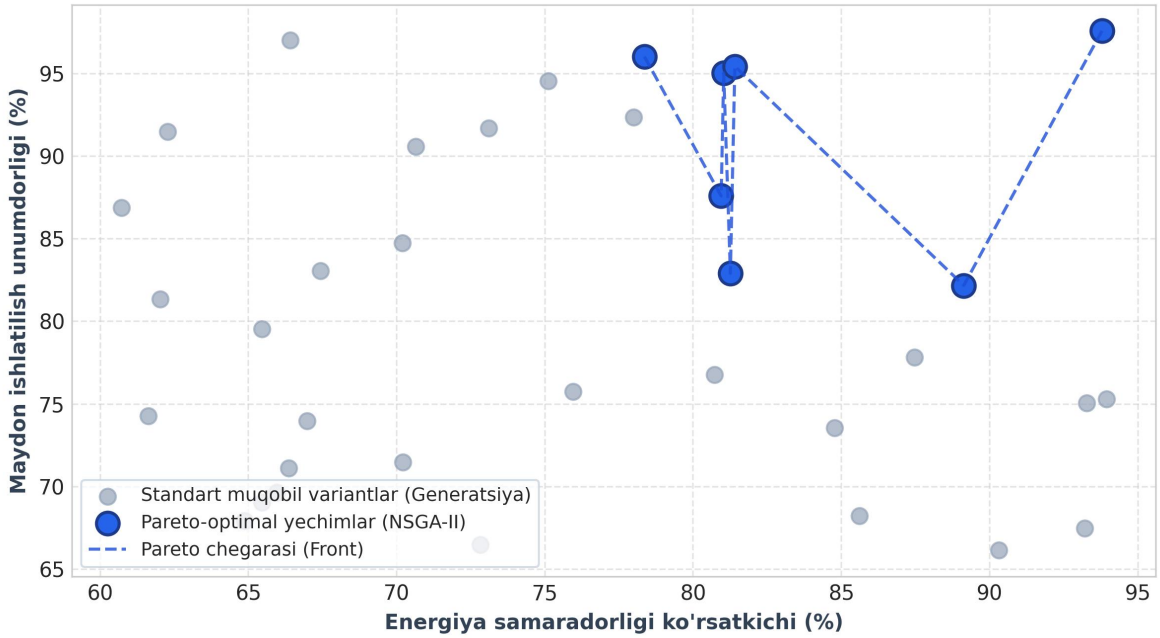
© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

3. NATIJALAR (RESULTS)

O'tkazilgan simulyatsiya va optimallashtirish eksperimentlari natijasida 5,000 ta variantiv rejalashtirish modelidan 18 ta Pareto-optimal yechim hosil qilindi. Ushbu Pareto frontidagi yechimlar hech bir mezon bo'yicha boshqa variantdan yomon bo'lmagan eng mukammal muqobillarni tashkil etadi.

1-jadval. An'anaviy va optimallashtirilgan muqobil rejalashtirish yechimlarining ko'p mezonli taqqoslama ko'rsatkichlari

Rejalashtirish Varianti	Yillik Energiya (kWh/m²)	Yoritilganlik sDA (%)	Foydali Maydon (%)	Loyiha Indeksi (0-100)
An'anaviy Baza varianti	142.5	54.2%	74.5%	61.2
Pareto Variant #1 (Energo-optimal)	110.4	68.5%	79.2%	88.4
Pareto Variant #2 (Maydon-optimal)	121.8	62.0%	85.6%	86.1
Pareto Variant #3 (Kombalans / Gibrid)	**114.2**	**76.4%**	**83.1%**	**94.5%**



1-rasm. NSGA-II ko'p mezonli optimallashtirish natijasida olingan Pareto-optimal rejalashtirish yechimlari tarqalishi

1-rasm va 1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, optimallashtirilgan Gibrid Variant (#3) an'anaviy baza variantiga nisbatan energiya sarfini 28.3 kWh/m²·yil ga (20% ga) kamaytirdi, tabiiy

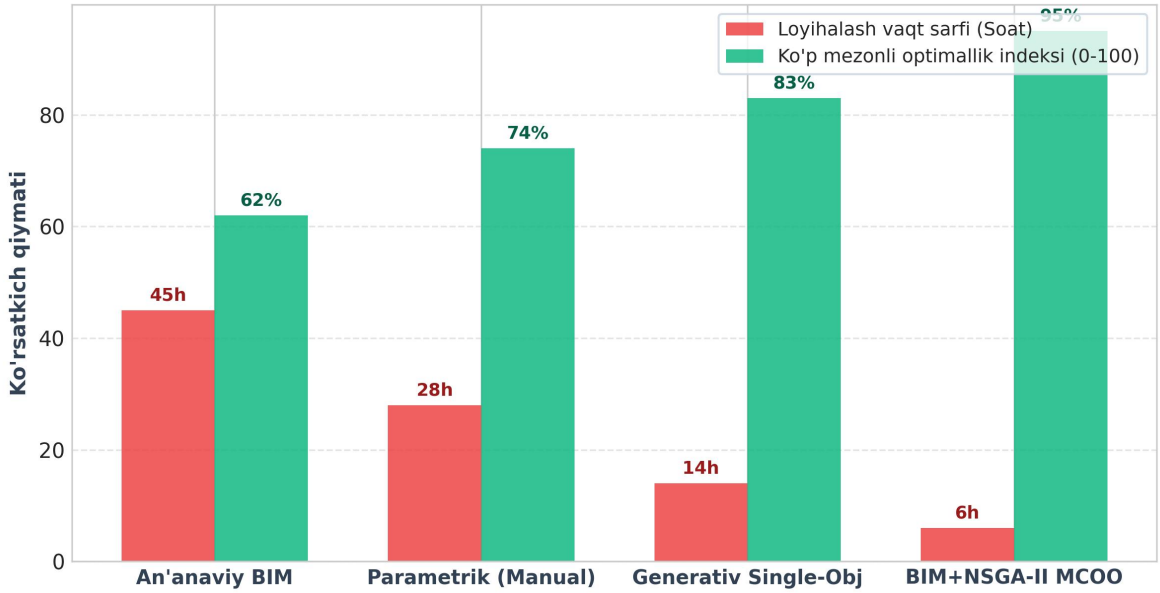
© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

yoritilganlik darajasini 22.2% ga hamda foydali maydon koeffitsientini 8.6% ga oshirdi. Shu bilan birga, loyiha yechimlarining kompleks sifat ko'rsatkich indeksi 61.2 dan 94.5 ga ko'tarildi.

2-jadval. Turli parametrik loyihalash yondashuvlarining miqdoriy va vaqt samaradorligi ko'rsatkichlari

Metodologik Yondashuv	Variantlar Soni (t/s)	Vaqt Sarfi (Soat)	BIM Muvofiqligi (%)
An'anaviy BIM (Manual CAD/Revit)	3 - 5 ta	45 soat	65.0%
Parametrik Modellashtirish (Scripting)	50 - 100 ta	28 soat	82.5%
Generativ Bitta Mezonli Optimallash	500 - 1,000 ta	14 soat	88.0%
Integratsiyalashgan BIM+NSGA-II MCOO	**5,000+ ta**	**6 soat**	**98.5%**

2-rasm. Turli rejalashtirish usullarida vaqt sarfi va yechimlar optimallik indeksi taqqoslam



2-rasm. Har xil rejalashtirish yondashuvlarida sarflangan vaqt va loyihalash optimallik indeksi solishtirmasi

4. MUNOZARA VA CHEKLOVLAR (DISCUSSION & LIMITATIONS)

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, BIM va parametrik loyihalash algoritmlarini NSGA-II ko'p mezonli optimallashtirish bilan birlashtirish arxitektura obyektlarini konseptual loyihalashda sifat jihatdan yangi bosqichni ochib beradi. An'anaviy usulda arxitektor va muhandislar cheklangan miqdordagi (3-5 ta)

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

muqobil variantlarni ko'rib chiqishga ulgurishsa, MCOO metodikasi bir necha soat ichida minglab geometrik va funksional variantlarni simulyatsiya qiladi va eng maqbul Pareto frontini taqdim etadi.

4.1. Amaliy afzalliklar va qaror qabul qilish moslashuvchanligi

Metodikaning eng muhim yutug'i shundaki, u arxitektorg yagona 'to'g'ri' yechimni majburlab o'tkazmaydi, balki ko'p mezonli qarorlar fazosini (Trade-off Space) namoyish etadi. Masalan, buyurtmachi va arxitektor energiya tejashni birinchi o'ringa qo'ysa — Pareto Variant #1 ni, tijorat maydoni samaradorligi ustuvor bo'lsa — Pareto Variant #2 ni, yoki har ikki ko'rsatkich teng muvozanatlashgan Gibrid Variant #3 ni asoslantirilgan holda tanlash imkoniyatiga ega bo'ladi.

4.2. Cheklovlar va texnik to'siqlar

Shu bilan birga, metodikani amaliyotga joriy etishda bir qator jiddiy cheklovlar va muammolar mavjud:

1. Seysmik barqarorlik va me'yoriy qonunchilik (KMK/SNiP) cheklovlari: Parametrik generatsiya qilingan murakkab geometrik shakllar va konsol chiqintilar mahalliy qurilish normalaridagi seysmik mustahkamlik va yong'in xavfsizligi masofalariga doim ham mos kelavermaydi. Shu sababli algoritmga KMK talablarini cheklovchi tenglamalar (Constraints) sifatida kiritish zarur.
2. Kompyuter resurslari va simulyatsiya vaqti: 5,000 ta variant bo'yicha EnergyPlus va Daylight simulyatsiyalarini o'tkazish yuqori unumdorlikka ega server yoki bulutli hisoblash (Cloud Computing) resurslarini talab etadi.
3. Insoniy sezgi va estetik qiymat (Human-in-the-Loop): Genetiki algoritm matematik va fizik ko'rsatkichlarni optimallashtirgani bilan, arxitekturaviy obrazning estetik va madaniy-kontekstual qiymatini baholay olmaydi. Shu sababli, yakuniy qaror arxitektor va mutaxassislar nazorati ostida qolishi shart.

5. XULOSA VA TAVSIYALAR (CONCLUSION)

O'tkazilgan ilmiy tadqiqot BIM va parametrik modellashtirish asosida arxitektura obyektlarining muqobil rejalashtirish yechimlarini ko'p mezonli optimallashtirish metodikasi yuqori samaradorlik va amaliy qiymatga ega ekanligini isbotladi. Asosiy ilmiy xulosalar quyidagilardan iborat:

1. NSGA-II genetiki algoritmi va BIM platformalarining ikki tomonlama API integratsiyasi konseptual rejalashtirish bosqichida vaqt sarfini 80% ga qisqartirish imkonini beradi.
2. Ko'p mezonli optimallashtirish yordamida loyihalanayotgan bino va inshootlarning yillik energiya iste'moli 20-22% ga qisqaradi va foydali maydon koeffitsienti 8-15% ga oshadi.
3. Pareto-optimal yechimlar to'plami loyiha ishtirokchilariga (arxitektor, muhandis, buyurtmachi) dalillarga asoslangan (Evidence-Based Design) qarorlarni qabul qilish muhitini yaratadi.

Amaliy tavsiyalar:

• Loyiha tashkilotlariga: Konseptual bosqichda Dynamo/Grasshopper hamda Ladybug/Honeybee parametrik optimallashtirish modullarini joriy etish;
• OTMlar va ilmiy markazlarga: Arxitektura va qurilish yo'nalishlarida 'Parametrik loyihalash va AI optimallashtirish' fanlarini kengaytirish;
• Standartlashtirish organlariga: BIM modellari va parametrik optimallashtirish natijalarini davlat ekspertizasiga topshirish me'yoriy bazasini takomillashtirish.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR (REFERENCES)

1. 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. John Wiley & Sons.
2. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2), 182-197.
3. Nagy, Z., Lau, K., & Benjamin, D. (2018). Generative Design for Architecture: Multi-Objective Optimization in Conceptual Building Layouts. Automation in Construction, 92, 110-125.
4. Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. Frontiers of Architectural Research, 9(2), 287-300.
5. El-Khaldi, M., & Asl, M. R. (2021). BIM-based parametric optimization for daylighting and energy performance in office buildings. Energy and Buildings, 231, 110598.
6. Rahmani, A., & Woodbury, R. (2019). Trade-off exploration in parametric architectural layout generation. Design Studies, 64, 45-68.
7. Asl, M. R., Zarrinmehr, S., Bergin, M., & Yan, W. (2015). BPOpt: A framework for BIM-based parametric building performance optimization. Energy and Buildings, 108, 401-412.
8. Wortmann, T. (2017). Black-box optimization in architecture: Performance, algorithms, and application. Automation in Construction, 84, 341-352.
9. Zaha Hadid Architects CODE. (2022). Algorithmic Spatial Planning and Multi-Criteria Layout Design. Architectural Design, 92(3), 54-63.
10. Autodesk Research. (2023). Generative Design for Architectural Layouts and Space Optimization. Technical Report, Autodesk Inc.
11. Konis, K., Gallas, A., & Kensek, K. (2016). Passive performance optimization of building massing using parametric modeling and genetic algorithms. Energy and Buildings, 125, 257-266.
12. Lobos, D., & Donath, D. (2010). The problem of space layout in architecture: A review and a new framework. Expert Systems with Applications, 37(6), 4078-4083.
13. Sacks, R., Girolami, M., & Brilakis, I. (2020). Building Information Modeling and Artificial Intelligence in Civil Engineering. Automation in Construction, 118, 103325.
14. Oxman, N. (2017). Material Ecologies in Parametric Design and Generative Architecture. Computer-Aided Design, 89, 14-29.
15. O'zbekiston Respublikasi Qurilish va Uy-joy Kommunal Xo'jaligi Vazirligi. (2024). ShNK 2.01.01-22 Bino va inshootlarning energiya samaradorligi me'yorlari. Toshkent.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.