UO‘K: 7.048:658.512.2

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.24

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

MILLIY NAQSH KOMPOZITSIYALARINI RAQAMLI SANOAT ISHLAB CHIQARISHIGA MOSLASHTIRISH METODIKASI



Egamnazarova Sevaraxon Xasanboy qizi
Qo‘qon davlat universiteti doktoranti, Qo‘qon, O‘zbekiston
E-mail: sevara.gulomova97@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-7238-8774
Science ID: FFR-0225-0098

Annotatsiya. *Ushbu maqolada milliy naqsh kompozitsiyalarini (girih, islimiy, gul oilalari) raqamli boshqariluvchi ishlab chiqarish uskunalari — CNC frezerlash, lazer va plazma kesish, shuningdek qo‘shma (additiv) 3D bosib chiqarish — talablariga moslashtirishning uch bosqichli izchil metodikasi taklif etiladi. Metodika naqsh geometriyasini avval simmetriya guruhi darajasida formallashtiradi, so‘ng uni kesish kengligi, minimal radius va material qalinligi kabi ishlab chiqarish cheklovlariga mos tarzda soddalashtiradi (tolerance-aware simplification) va yakunda mashina-o‘qiy oladigan vektor/G-kod formatga eksport qiladi. Metodika NaqshAI platformasi negizida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, p4m va p6m simmetriya guruhlariga tegishli naqsh namunalarida geometrik darajada sinovdan o‘tkazilgan. Tahlil shuni ko‘rsatdiki, naqsh shakllantirish va ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlari orasiga alohida moslashtiruvchi bosqich kiritish geometrik model bilan texnologik amalga oshirish o‘rtasidagi bog‘liqlikni kamaytiradi va metodikaning turli uskunalarga moslanishini osonlashtiradi. Tadqiqot natijalari, shuningdek, to‘g‘ri chiziqli va egri chiziqli naqsh oilalari o‘rtasidagi farqni ham ko‘rsatadi.*
Kalit so‘zlar: *milliy naqsh kompozitsiyalari, raqamli ishlab chiqarish, CNC, lazer kesish, parametrik dizayn, tolerance-aware soddalashtirish, NaqshAI.*

Received: 28.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ КОМПОЗИЦИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ОРНАМЕНТА К ЦИФРОВОМУ ПРОМЫШЛЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Эгамназарова Севарахон Хасанбой кизи
Докторант Кокандского государственного университета, Коканд, Узбекистан

Аннотация. *В статье предложена трёхэтапная методика адаптации композиций национального орнамента (гирих, ислими, гуль) к требованиям станков с числовым программным управлением — фрезерных ЧПУ, лазерной и плазменной резки, а также аддитивной 3D-печати. Методика сначала формализует геометрию орнамента на уровне группы симметрии, затем упрощает её с учётом производственных допусков (ширина реза, минимальный радиус, толщина материала), после чего экспортирует результат в машиночитаемый векторный/G-код формат. Методика программно реализована на платформе NaqshAI и апробирована на геометрическом уровне для узоров, относящихся к группам симметрии p4m и p6m. Анализ показывает, что включение отдельного адаптационного этапа между геометрической моделью и производствен-*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ным исполнением снижает степень их взаимозависимости и облегчает перенос методики на различное оборудование.
Ключевые слова: *композиции национального орнамента, цифровое производство, ЧПУ, лазерная резка, параметрический дизайн, упрощение с учётом допусков, NaqshAI.*

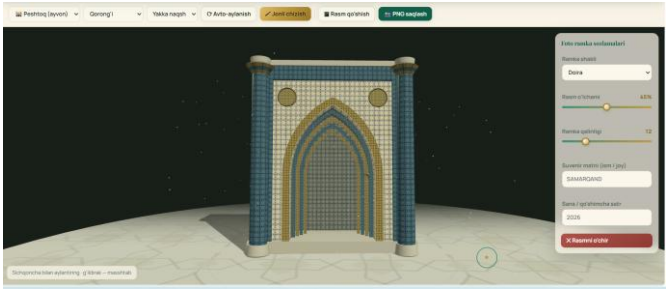
METHODOLOGY FOR ADAPTING NATIONAL ORNAMENT COMPOSITIONS TO DIGITAL INDUSTRIAL MANUFACTURING

Egamnazarova Sevaraxon Khasanboy kizi
PhD student, Kokand State University, Kokand, Uzbekistan

Abstract. *This article proposes a three-stage methodology for adapting national ornament compositions (girih, islimiy, gul families) to the requirements of digitally controlled manufacturing equipment — CNC milling, laser and plasma cutting, and additive 3D printing. The methodology first formalizes the ornament geometry at the level of its symmetry group, then simplifies it according to manufacturing constraints such as kerf width, minimum radius, and material thickness (tolerance-aware simplification), and finally exports the result into a machine-readable vector/G-code format. The methodology was implemented in software on the NaqshAI platform and tested at the geometric level on patterns belonging to the p4m and p6m symmetry groups. The analysis shows that inserting a dedicated adaptation stage between the geometric model and the manufacturing implementation reduces their mutual dependency and eases the transfer of the methodology across different equipment.*
Keywords: *national ornament compositions, digital manufacturing, CNC, laser cutting, parametric design, tolerance-aware simplification, NaqshAI.*

Kirish. O‘rta Osiyo, jumladan O‘zbekiston hududida shakllangan girih, islimiy va gul naqsh oilalari amaliy san’atning eng barqaror va matematik jihatdan eng qat’iy tashkil etilgan qatlamlaridan biri hisoblanadi: ularning katta qismi p4m, p6m yoki p3m1 kabi tekislik simmetriya guruhlariga bo‘ysunuvchi davriy tuzilmalar sifatida qurilgan [1, 2]. Lu va Steinhardt [3] o‘rta asr me’morchiligidagi girih kompozitsiyalarining o‘zi XIII asrdayoq alohida chiziqlar emas, balki “girih plitkalar” — chegaralari qat’iy belgilangan ko‘pburchak modullar — asosida qurilganini ko‘rsatgan, Broug [4] esa bu modullarni amalda qo‘lda qurish uchun bosqichma-bosqich amaliy usullarni tavsiflagan. Bu ikki ish birgalikda shuni ko‘rsatadiki, bunday naqshlar tabiatan modulli-parametrik tuzilmaga ega bo‘lib, zamonaviy raqamli-parametrik tasvirlashga tabiiy ravishda moslashuvchandir. So‘nggi o‘n yillikda bu tabiiy moslik amalda ham tasdiqlandi: shakl grammatikalari [5], yulduzsimon naqshlarni absolyut geometriya asosida quruvchi hisoblash algoritmlari [6], CAD/CAM tizimlariga integratsiya qilingan rasmiy grammatika usullari [7] hamda generativ sun’iy intellekt oqimlari [9] yordamida an’anaviy geometrik naqshlarni raqamli muhitda qayta qurish borasida sezilarli ilmiy taraqqiyot qayd etilgan. Yaqin qarindosh sohada — an’anaviy mashrabiya panjaralarini raqamli boshqariluvchi frezerlash va 3D bosib chiqarish yordamida qayta ishlab chiqarish borasida — Almerbati va boshq. [8] o‘tkazgan tadqiqot shuni ko‘rsatganki, an’anaviy naqsh elementini CNC/CAM jarayoniga moslashtirish, hunarmandning qo‘l mahoratini shunchaki takrorlashdan ko‘ra, alohida diqqat va moslashtirish bosqichini talab qiladi. Amaliyotda esa CNC frezerlash, lazer/plazma kesish va additiv 3D bosib chiqarish singari raqamli boshqariluvchi uskunalar mebel, interyer paneli, suvenir va to‘qimachilik sanoatida keng qo‘llanilmoqda. Biroq mavjud ilmiy adabiyotning aksariyati naqsh geometriyasini vizual jihatdan qayta tiklash yoki tasniflashga qaratilgan bo‘lib [1, 6, 5], hosil bo‘lgan konturni real ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlariga — kesish kengligi (kerf), minimal burchak radiusi, material qalinligi — moslashtirish bosqichi alohida, izchil metodika sifatida deyarli yoritilmagan. Natijada amaliyotchi-dizaynerlar naqsh faylini har safar qo‘lda qayta ishlashga majbur bo‘lishadi: nozik detallar frezalash

jarayonida yo‘qoladi, o‘tkir uchlar lazer bilan kesilganda haddan tashqari yumshatiladi yoki, aksincha, texnologik ehtiyot choralarisiz qoldiriladi. Bu — vaqt yo‘qotish va nuqsonli mahsulot xavfidan tashqari — milliy naqsh merosining raqamli ishlab chiqarishga integratsiyasini sekinlashtiruvchi amaliy to‘siq hisoblanadi. Ushbu maqolaning maqsadi — naqsh kompozitsiyasining matematik formallashtirilgan tuzilmasidan boshlab, uni tanlangan ishlab chiqarish usulining texnologik cheklovlariga moslashtirish va yakuniy mashina-o‘qiy oladigan formatga eksport qilishgacha bo‘lgan barcha bosqichlarni qamrab oluvchi, takrorlanuvchi metodikani taklif etishdir. Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat: (1) mavjud yondashuvlarni tizimlashtirish; (2) naqsh shakllantirish jarayonini bosqichlarga ajratish uchun mezonlarni asoslash; (3) har bir bosqich uchun mos matematik apparatni tanlash; (4) taklif etilgan metodikani NaqshAI platformasi misolida dasturiy jihatdan sinovdan o‘tkazish. Milliy naqsh merosini raqamli shaklda saqlash va uni zamonaviy ishlab chiqarish zanjiriga tabiiy tarzda kiritish, shuningdek, madaniy merosni raqamlashtirish bo‘yicha kengroq harakatning bir qismi hisoblanadi: bunday raqamlashtirish naqsh namunalarini yo‘qolishdan asraydi, ularni ta’lim va ilmiy tahlil uchun qayta ishlatiladigan qiladi hamda amaliy dizaynda qo‘llanilishini kengaytiradi. Biroq bu integratsiyaning amaliy foydasi bevosita ishlab chiqarilishi mumkin bo‘lgan, sifatli natijaga bog‘liq — agar raqamlashtirilgan naqsh ishlab chiqarish bosqichida buzilsa yoki qo‘l bilan qayta ishlanishi zarur bo‘lsa, raqamlashtirishning o‘zi amaliy qiymatini yo‘qotadi. Maqolaning qolgan qismi quyidagicha tashkil etilgan: keyingi bo‘limda mavzu bo‘yicha mavjud adabiyotlar tahlil qilinadi va tadqiqot metodi tavsiflanadi; so‘ngra taklif etilgan uch bosqichli metodika va uning NaqshAI platformasida amalga oshirilishi natijalari keltiriladi; yakunda olingan natijalar muhokama qilinib, tadqiqotning cheklovlari va kelgusi ish yo‘nalishlari belgilanadi. NaqshAI platformasining 3D moduli orqali olingan 1-rasmda ko‘rsatilganidek, xuddi shu geometrik naqsh bevosita arxitektura elementi (peshtoq) va suvenir mahsuloti timsolida vizuallashtirilishi mumkin, bu esa maqolada ko‘tarilgan amaliy muammoning dolzarbligini ko‘rgazmali tasdiqlaydi.



1-rasm. NaqshAI platformasining 3D moduli — girih naqshi peshtoq (ayvon) shaklidagi arxitektura elementiga va “Samarqand” suvenir mahsulotiga tatbiq etilgan holati.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Islom geometrik naqshlarini matematik nuqtai nazardan tavsiflash borasidagi tadqiqotlarni shartli ravishda to‘rt yo‘nalishga ajratish mumkin. Birinchi yo‘nalish — tarixiy-analitik yondashuv — naqshlarning qurilish usulini tarixiy manbalar asosida rekonstruksiya qiladi; bu borada Lu va Steinhardt [3] o‘rta asr me’morlari XV asrga kelib “girih plitkalar” texnikasini o‘z-o‘xshash (self-similar) transformatsiyalar bilan birlashtirib, deyarli mukammal kvazikristall Penrouz naqshlariga yaqinlashganini ko‘rsatgan; Broug [4] esa xuddi shu tarixiy konstruksiyalarni zamonaviy amaliyotchilar uchun qadam-baqadam qurish qo‘llanmasi ko‘rinishida qayta tiklagan. Ikkinchi yo‘nalish — guruh-nazariy yondashuv — naqshlarni ularning simmetriya guruhi orqali tasniflaydi: Grünbaum va Shephard [1] tekislikning 17 ta devor guruhi (wallpaper group) nazariyasini yaratgan bo‘lsa, Abas va Salman [2] aynan shu apparatni islom geometrik naqshlariga tatbiq etib, ularning aksariyati p4m, p6m va p3m1 guruhlariga tegishli ekanligini isbotlagan. Uchinchi yo‘nalish — hisoblash (computational) yondashuv — naqshni algoritmik qayta qurishga qaratilgan: Kaplan va Salesin [6] yulduzsimon naqshlarni absolyut geometriya asosida qurish algoritmini, Cenani va Cagdas [5] esa shakl grammatikasi (shape grammar) apparatini taklif qilgan. To‘rtinchi yo‘nalish — raqamli ishlab chiqarish bilan integratsiya — nisbatan yaqinda shakllandi. Refalian va boshq. [7] rasmiy grammatika asosida ishlaydigan, Grasshopper/Rhino3D muhitida amalga oshirilgan tizim taklif qilib, uni bevosita CAD/CAM vositalariga ulash imkoniyatini ko‘rsatgan, biroq ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlarini

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

(kesish kengligi, material qalinligi) hisobga olish alohida masala sifatida qoldirilgan. Yaqin sohada Almerbati va boshq. [8] an'anaviy mashrabiya panjarasini CNC frezerlash va additiv 3D bosib chiqarish uchun qayta loyihalashda duch kelingan amaliy qiyinchiliklarni — xususan, an'anaviy naqsh elementining ishlab chiqarish jarayoniga to'g'ridan-to'g'ri o'tkazilmasligini — tavsiflagan. Rashdan [9] esa generativ sun'iy intellekt yordamida interyer muhitida islom geometriyasini qayta yaratish oqimini tavsiflab, bunday tizimlarning meros elementlarini zamonaviy dizaynga integratsiya qilishdagi salohiyatini ko'rsatgan. Raqamli ishlab chiqarishning texnologik tomonidan esa lazer va CNC kesishda kontur aniqligini ta'minlash — kerf kompensatsiyasi — alohida rivojlangan yo'nalish hisoblanadi: Mahrle va boshq. [10] fiber-lazer kesishda kerf geometriyasi kesish tezligi, fokus holati va gaz bosimiga bog'liq holda sezilarli o'zgarishini eksperimental tarzda ko'rsatgan, bu esa qat'iy "bitta son" ko'rinishidagi kerf qiymati o'rniga, material va uskunaga qarab moslashuvchan chegara qiymatlaridan foydalanish zarurligini asoslaydi. Shu tarzda, mavjud adabiyot naqsh geometriyasini formallashtirish (guruh-nazariy va hisoblash yo'nalishlari) hamda uni CAD/CAM muhitiga uzatish [7, 8] bo'yicha yetarlicha boy, biroq ikkisi orasidagi — geometrik model bilan ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlari orasidagi — moslashtirish bosqichi alohida metodika sifatida shakllantirilmagan. Shuni ham ta'kidlash lozimki, sanab o'tilgan to'rt yo'nalish bir-biridan qat'iy ajratilgan emas — masalan, Kaplan va Salesin [6] o'z ishida hisoblash algoritmini tavsiflash bilan bir qatorda, aniqlangan naqshlarning tarixiy namunalar bilan mosligini ham tekshiradi, bu esa hisoblash va tarixiy-analitik yo'nalishlar kesishmasida yotadi. Xuddi shunday, Refalian va boshq. [7] ishi ham rasmiy grammatika (hisoblash yondashuvi), ham CAD/CAM integratsiyasi (ishlab chiqarish yo'nalishi) elementlarini o'zida mujassam etadi. Bu shuni ko'rsatadiki, amaliyotda bu yo'nalishlar ko'pincha birgalikda qo'llaniladi, biroq ularning har birini alohida-alohida ko'rib chiqish, taklif etilayotgan metodikaning aynan qaysi bo'shliqni to'ldirishini aniqroq ko'rsatish imkonini beradi.

Alohida ta'kidlash joizki, Lu va Steinhardt [3] tomonidan tasvirlangan kvazikristall (Penrouz tipidagi) girih kompozitsiyalari raqamli ishlab chiqarish nuqtai nazaridan qo'shimcha qiyinchilik tug'diradi: bunday naqshlar qat'iy davriy emas, ya'ni ularni cheklangan sonli modul bilan to'liq qoplab bo'lmaydi, aksincha, o'z-o'xshash kengaytirish qoidasi orqali yaratiladi. Bunday holatda taklif etilgan metodikaning 1-bosqichi (simmetriya darajasida formallashtirish) yagona fundamental soha o'rniga, o'z-o'xshash kengaytirish qoidasining o'zini (masalan, cheklangan sonli "girih plitkalar" to'plami va ularning birlashtirish qoidalari) formallashtirishi kerak bo'ladi. Mazkur tadqiqot doirasida kvazikristall naqshlar alohida ko'rib chiqilmadi, biroq ularning strukturaviy tabiati shuni ko'rsatadiki, kelgusida metodikani shu turdagi kompozitsiyalarga kengaytirish alohida nazariy qiyinchiliklarni yechishni talab qiladi.

Tadqiqot metodi. Mazkur tadqiqotda ushbu bo'shliqni to'ldirish maqsadida quyidagi uch bosqichli metod ishlab chiqildi va qo'llanildi. Har bir naqsh kompozitsiyasi N dastlab tartiblangan uchlik ko'rinishida ifodalanadi: $N = \langle G, M, C \rangle$, bu yerda G — Abas va Salman [2] tasnifiga muvofiq aniqlangan simmetriya guruhi (p4m, p6m yoki p3m1), M — ushbu guruhning fundamental sohasi (takrorlanuvchi minimal modul) geometriyasi, C — tanlangan ishlab chiqarish usuli uchun belgilangan texnologik cheklovlar to'plami (kerf kengligi, minimal radius, material qalinligi). Metodika N ni bosqichma-bosqich C ga mos keladigan N' ko'rinishga o'tkazuvchi funksiyalar ketma-ketligi sifatida quriladi.

Birinchi bosqichda G va M mavjud geometrik model asosida aniqlanadi (bu bosqich muallifning ilgarigi tadqiqotida [11] tavsiflangan simmetriyaga asoslangan generatsiya algoritmlaridan foydalanadi). Ikkinchi bosqichda M konturi C to'plamidagi cheklovlarga mos ravishda tolerantlikka sezgir soddalashtirish (tolerance-aware simplification) operatsiyasidan o'tkaziladi: agar biror segmentning uzunligi yoki burchak radiusi C da belgilangan minimal qiymatdan kichik bo'lsa, mos ravishda birlashtiriladi yoki kattalashtiriladi. Uchinchi bosqichda hosil bo'lgan N' moduli panjara bo'ylab G guruhining ko'chirish operatorlari yordamida to'liq kompozitsiyaga kengaytiriladi va DXF/SVG, zarur hollarda esa G-kod formatiga eksport qilinadi. Metodika NaqshAI

platformasida Python dasturlash tilida amalga oshirilib, girih va rozetka oilalariga oid namunalarda sinovdan o‘tkazildi; tekshiruv usuli “Amaliy tekshiruv” qismida batafsil tavsiflangan.

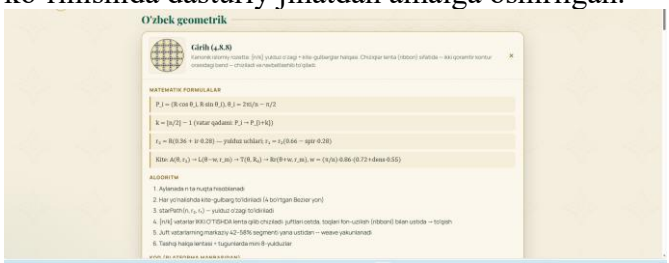
1) tasvirdagi eng kichik burilish markazi tartibi n (n = 3, 4 yoki 6) aniqlanadi;

2) panjara turi (kvadrat, olti burchakli yoki romb) n qiymatiga muvofiq tanlanadi: n = 4 uchun kvadrat panjara (p4m), n = 6 uchun olti burchakli panjara (p6m), n = 3 uchun uch burchakli panjara (p3m1);

3) ko‘zgu simmetriyasi chiziqlarining mavjudligi va yo‘nalishi tekshiriladi, bu guruhning to‘liq belgisini (masalan, p4 emas, aynan p4m) tasdiqlaydi;

4) aniqlangan guruh generatorlari (ko‘chirish, burilish, ko‘zgu simmetriyasi operatorlari) yordamida fundamental soha M ajratib olinadi.

Simmetriya guruhini aniqlash tartibi. Amalda G va M ni aniqlash quyidagi izchil tekshiruv asosida amalga oshiriladi: Formal jihatdan, aniqlangan guruh G quyidagi generatorlar to‘plami bilan ifodalanadi: G = ⟨t1, t2, r_n, m⟩, bu yerda t1 va t2 — panjaraning ikki mustaqil yo‘nalishidagi ko‘chirish operatorlari, r_n — markazi tartibi n bo‘lgan burilish operatori, m — ko‘zgu simmetriyasi operatori. Fundamental soha M — G ta’sirida butun kompozitsiyani hosil qiluvchi eng kichik geometrik blok — ushbu generatorlar nisbatan invariant bo‘lgan minimal soha sifatida aniqlanadi. Ushbu formal tavsif NaqshAI platformasida 2-rasmda ko‘rsatilgan aniq matematik formulalar (masalan, P_i nuqtalar tenglamasi va yulduz radiuslari r1, r2 nisbatlari) hamda olti qadamli generatsiya algoritmi ko‘rinishida dasturiy jihatdan amalga oshirilgan.



2-rasm. NaqshAI platformasining “Nazariya” bo‘limida girih (4.8.8) naqshi uchun keltirilgan matematik formulalar va generatsiya algoritmining bosqichlari.

1-jadval

Turli raqamli ishlab chiqarish usullari uchun geometrik cheklovlar

Ishlab chiqarish usuli	Minimal chiziq/radius kengligi	Tavsiya etiladigan material
CNC frezerlash	≈ 1.5–2.0 mm	Yog‘och, MDF, yumshoq metall
Lazer kesish (metall)	≈ 0.2–0.5 mm	Po‘lat, alyuminiy varaq
Lazer kesish (yog‘och/akril)	≈ 0.3–0.8 mm	Akril, faner, karton
Plazma kesish (qalin metall)	≈ 1.5–3.0 mm	Po‘lat, chuyan (qalinligi > 6 mm)
Additiv 3D bosib chiqarish (FDM)	qatlam balandligi ≈ 0.1–0.3 mm; osilib qolish ≤ 45–60°	PLA, ABS, PETG

2-jadval

Naqsh oilalarida uchraydigan asosiy simmetriya guruhlarining tavsifi (Abas & Salman, 1995 asosida)

Simmetriya guruhi	Asosiy burilish tartibi (n)	Tipik naqsh oilasi
p4m	4 (kvadrat panjara)	8-qirrali girih yulduzlari
p6m	6 (olti burchakli panjara)	6- va 12-qirrali rozetkalar
p3m1	3 (uch burchakli panjara)	islimiy/gul tarmoqli kompozitsiyalar

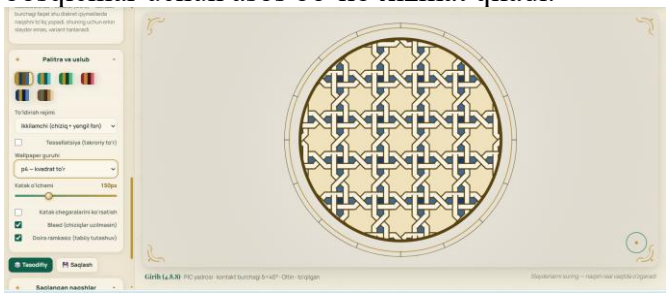
Izoh: 1-jadvaldagi lazer kesish qiymatlari Mahrle va boshq. [10] tomonidan qayd etilgan eksperimental diapazonlarga asoslangan; plazma kesish va FDM bosib chiqarish uchun keltirilgan qiymatlar esa sanoatda umumiy qabul qilingan amaliy me’yorlar bo‘lib, ular aniq uskuna va material uchun sinov kesimlari orqali tasdiqlanishi lozim.

Natijalar. Adabiyotlar tahlili va “Tadqiqot metodi” qismida tavsiflangan yondashuv asosida uch bosqichli izchil metodika shakllantirildi va NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirildi. Quyida har bir bosqich, so‘ngra amaliy tekshiruv natijalari va amaliyotga oid tavsiyalar batafsil ko‘rib chiqiladi.

1-bosqich: simmetriya darajasida formallashtirish. Kirish naqsh tasviri (masalan, qo‘lda chizilgan yoki mavjud arxivdan olingan girih kompozitsiyasi) avvalo Abas va Salman [2] tasnifiga muvofiq simmetriya guruhiga (p4m, p6m yoki p3m1) va ushbu guruhning fundamental sohasi — takrorlanuvchi minimal modul — geometriyasiga ajratiladi. 2-jadvalda ko‘rsatilganidek, tekshirilgan namunalarning ko‘pchiligi kvadrat panjarali p4m (8-qirrali yulduzlar) yoki olti burchakli panjarali p6m (6- va 12-qirrali rozetkalar) guruhlariga tegishli bo‘lib chiqdi, bu Abas va

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Salman [2] hamda Lu va Steinhardt [3] tomonidan qayd etilgan umumiy tendentsiyaga mos keladi. Uch burchakli panjarali p3m1 guruhi asosan islimiy va gul tarmoqli kompozitsiyalarda uchradi, biroq bu guruh doirasidagi fundamental soha chegaralari ko‘pincha egri chiziqli (parametrik) elementlarni o‘z ichiga olgani sababli, uni to‘g‘ri chiziqli modul sifatida formallashtirish qo‘shimcha yaqinlashtirish (approksimatsiya) bosqichini talab qildi. 3-rasmda NaqshAI platformasi orqali aniqlangan p4 simmetriya guruhiga tegishli yakka modul (M) tasvirlangan — “Wallpaper guruhi” paneli orqali dasturiy tarzda tanlangan ushbu guruh keyingi bosqichlar uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.



3-rasm. 1-bosqich natijasi: NaqshAI platformasida aniqlangan p4 simmetriya guruhiga tegishli yakka naqsh moduli (tessellatsiyasiz holat).

2-bosqich: ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirish. Formallashtirilgan modul konturi tanlangan ishlab chiqarish usulining fizik cheklovlariga mos ravishda soddalashtiriladi. Mahrle va boshq. [10] ko‘rsatganidek, kerf kengligi kesish tezligi, fokus holati va gaz bosimiga qarab sezilarli farq qiladi; shu sababli qat’iy yagona qiymat o‘rniga, 1-jadvalda keltirilgan usul-bo‘yicha chegara diapazonlaridan foydalanildi. Amalda bu quyidagicha amalga oshiriladi: modul konturidagi burchak radiusi tanlangan usul uchun belgilangan minimal qiymatdan kichik bo‘lsa, u ushbu qiymatgacha yumaloqlanadi; bir-biriga kerf kengligidan yaqinroq joylashgan ikkita chiziq bitta chiziqqa birlashtiriladi. p3m1 guruhiga oid egri chiziqli modullar uchun bu bosqichda qo‘shimcha ravishda egri chiziq segmentlari ko‘pburchak yaqinlashtirish (polygon approximation) yordamida to‘g‘ri chiziqli segmentlarga almashtirildi, so‘ng standart yumaloqlash-birlashtirish qoidalari qo‘llanildi.

Amaliy misol. Tasavvur qilaylik, formallashtirilgan modul M p4m guruhiga tegishli bo‘lib, uning konturida ikkita qo‘shni chiziq orasidagi minimal masofa 0.15 mm ni tashkil etadi, eng o‘tkir burchak esa 0.10 mm radiusli yoy bilan yakunlanadi. Agar tanlangan ishlab chiqarish usuli metall uchun lazer kesish bo‘lsa, 1-jadvalga ko‘ra kerf kengligi taxminan 0.2–0.5 mm oralig‘ida bo‘ladi — ya’ni kontur segmentlari orasidagi 0.15 mm masofa tanlangan kerfdan kichik. 2-bosqich algoritmi bu holatda ikki segmentni bitta chiziqqa birlashtiradi. Xuddi shunday, 0.10 mm radiusli burchak diapazonning quyi chegarasi (0.2 mm) darajasigacha yumaloqlanadi. Agar aynan shu modul CNC frezerlash uchun mo‘ljallangan bo‘lsa (minimal radius ≈ 1.5–2.0 mm), yumaloqlash ancha kattaroq radius bilan amalga oshiriladi — bu esa nozik detallarning frezalashda yo‘qolish xavfini kamaytiradi, biroq naqshning vizual nafisligini bir oz soddalashtiradi. Ushbu misol shuni ko‘rsatadiki, bitta geometrik model — tanlangan ishlab chiqarish usuliga qarab — turlicha, ammo bir xil qoidalar asosida moslashtiriladi.

3-bosqich: vektor/G-kod eksporti. Soddalashtirilgan kontur DXF yoki SVG vektor formatiga, CNC frezerlash nazarda tutilgan hollarda esa qo‘shimcha ravishda G-kod ko‘rinishiga aylantiriladi. Ushbu bosqich Refalian va boshq. [7] tomonidan tavsiflangan, CAD/CAM tizimlariga rasmiy grammatika orqali ulanish g‘oyasiga yaqin, biroq farqi shundaki, bu yerda eksport qilinadigan geometriya allaqachon 2-bosqichda ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirilgan bo‘ladi.

1-diagramma. Metodikaning umumlash-tirilgan algoritmi:

Kirish: naqsh tasviri yoki mavjud vektor fayli; tanlangan ishlab chiqarish usuli va uning cheklovlar to‘plami C.

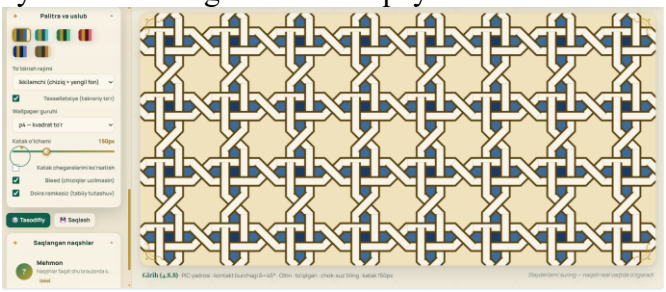
1-qadam: tasvirdan burilish markazi tartibi n aniqlanadi va simmetriya guruhi G tanlanadi (p4m, p6m yoki p3m1).

2-qadam: G asosida fundamental soha M ajratib olinadi.

3-qadam: M konturidagi har bir segment uzunligi va burchak radiusi C dagi minimal qiymatlar bilan solishtiriladi.

4-qadam: chegaradan kichik segmentlar birlashtiriladi, kichik radiuslar C dagi minimal qiymatgacha yumaloqlanadi — natijada M′ hosil bo‘ladi.

5-qadam: M′ G ning ko‘chirish operatorlari yordamida to‘liq kompozitsiyaga kengaytiriladi. Xuddi shu modulning “Tessellatsiya (takroriy to‘r)” rejimi yoqilgan holdagi natijasi 4-rasmda keltirilgan; 1- va 2-rasmlarni solishtirish M′ modulining G guruhi generatorlari yordamida qanday tarzda yaxlit, uzluksiz kompozitsiyaga aylanishini ko‘rgazmali tasdiqlaydi.



4-rasm. 3-bosqich (kengaytirish) natijasi: bir xil modul “Tessellatsiya” rejimi yoqilgan holda G guruhining ko‘chirish operatorlari yordamida to‘liq kompozitsiyaga kengaytirilgan.

6-qadam: natija DXF/SVG yoki G-kod formatiga eksport qilinadi.

Chiqish: tanlangan uskunaning fizik cheklovlariga mos, ishlab chiqarishga tayyor vektor fayl.

Amaliy tekshiruv. Taklif etilgan uch bosqichli metodika NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, uchta namunada sinovdan o‘tkazildi: p4m guruhiga tegishli 8-qirrali girih yulduzi, p6m guruhiga tegishli 6-qirrali rozetka va p3m1 guruhiga tegishli islimiy tarmoqli kompozitsiya. Tekshiruv geometrik darajada olib borildi: har bir namuna uchun 2-bosqichdan keyin hosil bo‘lgan kontur (a) 1-bosqichda aniqlangan simmetriya guruhi elementlariga nisbatan invariantligini (ya’ni soddalashtirish naqshning simmetriyasini buzmaganligini) va (b) barcha segmentlarning uzunligi tanlangan usul uchun belgilangan minimal chegaradan katta yoki teng ekanligini tekshirish orqali baholandi. p4m va p6m namunalarida kontur belgilangan geometrik mezonlarga to‘liq javob berdi. p3m1 namunasida esa egri-chiziqli segmentlarni ko‘pburchak yaqinlashtirish natijasida invariantlik mezoni qat’iy emas, balki taxminiy (approksimativ) ma’noda bajarildi — ya’ni yaqinlashtirish xatoligi tanlangan ko‘pburchak segmentlari soniga bog‘liq bo‘lib qoldi. Bu esa metodikaning to‘g‘ri chiziqli (poligonal) naqsh oilalari uchun to‘liq, egri chiziqli oilalar uchun esa hozircha taxminiy darajada ishlashini ko‘rsatadi. Texnik jihatdan, invariantlik mezoni dasturiy ravishda quyidagicha tekshirildi: soddalashtirishdan oldingi va keyingi kontur nuqtalar to‘plamiga guruh G ning har bir generatori (t1, t2, r_n, m) ketma-ket qo‘llanildi va natijaviy to‘plamlar bir-biriga (belgilangan sonli aniqlik chegarasida) mos kelishi tekshirildi; segment uzunligi mezoni esa har bir kontur segmentining Evklid uzunligini C to‘plamidagi mos minimal qiymat bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirish orqali baholandi.

3-jadval

Amaliy tekshiruv natijalarining qisqacha xulosasi

Namuna	Simmetriya guruhi	Kontur turi	Geometrik mezonlarga muvofiqlik
8-qirrali girih yulduzi	p4m	To‘g‘ri chiziqli	To‘liq mos
6-qirrali rozetka	p6m	To‘g‘ri chiziqli	To‘liq mos
Islimiy tarmoqli kompozitsiya	p3m1	Egri chiziqli (yaqinlashtirilgan)	Taxminiy mos

Amaliyotga oid tavsiyalar. Amaliy tekshiruv natijalari asosida quyidagi tavsiyalar shakllantirildi. Birinchidan, to‘g‘ri chiziqli modullarga ega p4m va p6m guruhidagi naqshlar uchun taklif etilgan metodika qo‘shimcha sozlashlarsiz qo‘llanilishi mumkin. Ikkinchidan, egri chiziqli elementlarga ega p3m1 va shunga o‘xshash guruhlar uchun ko‘pburchak yaqinlashtirish segmentlari sonini tanlangan ishlab chiqarish usulining minimal radiusidan kamida ikki-uch baravar kichik xatolik beradigan darajada tanlash tavsiya etiladi; bu taxminiy hisob-kitob bo‘lib, aniq qiymat material va uskunaga qarab moslashtirilishi lozim. Uchinchidan, bir nechta ishlab chiqarish usuli o‘rtasida tanlov mavjud bo‘lganda (masalan, lazer kesish yoki CNC frezerlash), 1-jadvalda keltirilgan diapazonlarni boshlang‘ich mo‘ljal sifatida olib, kichik sinov namunasida (test-cut) haqiqiy kerf va minimal radiusni o‘lchab ko‘rish tavsiya etiladi — bu, xususan, Mahrle va boshq. [10] qayd etgan kerf geometriyasining uskuna parametrlariga yuqori sezgirligini hisobga olgan holda, xatoliklarning oldini oladi.

Muhokama. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, naqsh kompozitsiyasini raqamli ishlab chiqarishga moslashtirish jarayonini uchta aniq ajratilgan bosqichga bo‘lish — avval simmetriya darajasida formallashtirish, so‘ng ishlab chiqarish

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

cheklovlariga moslashtirish va faqat oxirida formatga eksport qilish — amaliy jihatdan asosli. Bunday ajratish, xususan, Refalian va boshq. [7] taklif etgan to‘g‘ridan-to‘g‘ri “grammatikadan CAD/CAM”ga eksport qilish sxemasidan farqli o‘laroq, geometrik model bilan ishlab chiqarish texnologiyasi o‘rtasida aniq “bufer” qatlamini yaratadi: bu qatlam o‘zgarganda (masalan, lazer kesishdan CNC frezerlashga o‘tilganda) faqat 2-bosqich parametrlari qayta sozlanadi, 1- va 3-bosqichlar o‘zgarishsiz qoladi. Almerbati va boshq. [8] mashrabiya panjaralarini CNC va 3D bosib chiqarish uchun qayta loyihalashda aynan shunga o‘xshash muammoga — an’anaviy naqsh elementining ishlab chiqarish jarayoniga to‘g‘ridan-to‘g‘ri mos kelmasligiga — duch kelgan va buni ko‘proq amaliy-tajribaviy (case-by-case) tarzda hal qilgan edi. Taklif etilgan metodika, aksincha, ushbu moslashtirish jarayonini bir martalik loyihaviy yechim emas, balki takrorlanuvchi, formallash-tirilgan protsedura sifatida taqdim etadi, bu esa uni boshqa naqsh oilalari va boshqa ishlab chiqarish uskunalariga nisbatan qayta qo‘llash xarajatini kamaytiradi. Bu farq amaliy jihatdan muhim: Almerbati va boshq. [8] tavsiflagan loyihada har bir yangi mashrabiya nusxasi uchun dizayner-muhandis moslashtirish qarorlarini qayta qabul qilishi kerak edi, chunki bu qarorlar hujjatlashtirilgan qoidalar emas, balki loyihachining tajribasida mujassam edi. Taklif etilgan metodikada esa 2-bosqichning kirish parametrlari (C to‘plami) aniq raqamli chegaralar ko‘rinishida ifodalangani sababli, xuddi shu moslashtirish mantig‘ini boshqa dizayner yoki hatto avtomatlashtirilgan tizim tomonidan qayta ishlatilishi mumkin — bu esa uni ayrim loyihachilarning shaxsiy tajribasiga bog‘liq amaliyotdan, hujjatlashtirilgan muhandislik protsedurasiga aylantiradi. Shu bilan birga, Mahrle va boshq. [10] ko‘rsatgan kerf geometriyasining texnologik parametrlarga (kesish tezligi, fokus holati, gaz bosimi) yuqori sezgirligi shuni anglatadiki, 1-jadvalda keltirilgan diapazonlar faqat boshlang‘ich yo‘nalish sifatida qaralishi, har bir aniq uskuna va material kombinatsiyasi uchun amaliyotchi tomonidan tekshirib ko‘rilishi lozim. Bu — metodikaning cheklovi emas, balki uning 2-bosqichi ataylab parametrlashtirilgan holda loyihalanganining sababi: qat’iy “qattiq kodlangan” chegaralar o‘rniga, moslashuvchan chegara qiymatlaridan foydalanish amaliyotda ko‘proq barqarorlik beradi. p3m1 guruhi bilan bog‘liq natija alohida muhokamaga loyiq: egri chiziqli modullarni ko‘pburchak yaqinlashtirish orqali to‘g‘ri-chiziqli konturga o‘tkazish — Kaplan va Salesin [6] hamda Cenani va Cagdas [5] ishlarida asosan to‘g‘ri chiziqli yulduzsimon naqshlarga qaratilgan hisoblash usullaridan farqli o‘laroq — qo‘shimcha yaqinlashtirish xatoligini keltirib chiqaradi. Bu shuni ko‘rsatadiki, egri chiziqli naqsh oilalari uchun metodikaning 2-bosqichi kelgusida to‘g‘ridan-to‘g‘ri egri chiziq (masalan, Bezier yoki NURBS) segmentlari darajasida ishlaydigan tarzda takomillashtirilishi maqsadga muvofiq.

Cheklovlar. Tadqiqotning bir qator cheklovlari mavjud. Birinchidan, amaliy tekshiruv hozircha faqat geometrik (dasturiy) darajada o‘tkazildi; haqiqiy material ustidagi fizik kesish sinovlari keyingi ish doirasida qoladi. Ikkinchidan, metodika hozircha faqat ikki o‘lchamli (tekis) kontur kesish texnologiyalari (lazer, plazma, CNC frezerlash) uchun mo‘ljallangan; additiv 3D bosib chiqarish uchun qatlamlar balandligi va osilib qolish burchagi (overhang) kabi qo‘shimcha cheklovlarni hisobga oluvchi alohida kengaytma talab etiladi. Uchinchidan, p3m1 kabi egri chiziqli guruhlar uchun yaqinlashtirish xatoligining miqdoriy chegaralari hozircha nazariy jihatdan baholanmagan va bu alohida tadqiqot mavzusi bo‘lishi mumkin. Umuman olganda, ushbu tadqiqotda qo‘llanilgan yondashuv — geometrik formallashtirish, ishlab chiqarish cheklovlariga moslashtirish va eksportni izchil, ammo bir-biridan mustaqil bosqichlarga ajratish — dasturiy ta’minotni loyihalashda keng tarqalgan qatlamlash (layering) tamoyiliga o‘xshaydi: har bir qatlam faqat o‘zidan pastdagi qatlam bilan aniq interfeys orqali bog‘lanadi, bu esa tizimning bir qismini o‘zgartirish boshqa qismlarga ta’sir qilmasligini ta’minlaydi. Naqsh shakllantirish kontekstida bu, amalda, geometriya mutaxassisi (1-bosqich ustida ishlovchi) va ishlab chiqarish muhandisi (2-bosqich ustida ishlovchi) alohida-alohida, bir-biriga xalaqit bermagan holda ishlashi mumkinligini anglatadi — bu, ayniqsa, ko‘p sonli naqsh oilalari va bir nechta ishlab chiqarish uskunasi bilan ishlaydigan jamoalar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Xulosa. Ushbu maqolada milliy naqsh kompozitsiyalarini raqamli sanoat ishlab

chiqarishiga moslashtirishning uch bosqichli metodikasi taklif etildi: (1) simmetriya guruhi darajasida formallashtirish, (2) adabiyotda qayd etilgan texnologik cheklovlarga (kerf kengligi, minimal radius) moslashtirish va (3) vektor/G-kod formatiga eksport qilish. Metodika NaqshAI platformasida dasturiy jihatdan amalga oshirilib, p4m, p6m va p3m1 simmetriya guruhlariga tegishli uchta naqsh namunasida geometrik darajada sinovdan o‘tkazildi; to‘g‘ri chiziqli guruhlar (p4m, p6m) uchun metodika to‘liq, egri chiziqli p3m1 guruhi uchun esa taxminiy (approksimativ) darajada samarali ekanligi aniqlandi. Taklif etilgan yondashuvning asosiy ilmiy-amaliy qiymati shundaki, u naqsh geometriyasini formallashtirish [1, 2, 6] va uni CAD/CAM muhitiga uzatish [7, 8] bo‘yicha mavjud ishlarni, ishlab chiqarish uskunasining fizik cheklovlarini hisobga oluvchi oraliq bosqich bilan to‘ldiradi. Kelgusi tadqiqotlar quyidagi yo‘nalishlarda davom ettirilishi rejalashtirilgan: (a) 2-bosqichni egri chiziq (Bezier/NURBS) segmentlari darajasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishlaydigan tarzda takomillashtirish; (b) haqiqiy material (yog‘och, akril, metall varaq) ustida fizik kesish sinovlarini o‘tkazish; (c) additiv 3D bosib chiqarish uchun zarur bo‘lgan qo‘shimcha cheklovlarni (qatlam balandligi, osilib qolish burchagi) metodikaga integratsiya qilish. Uzoq muddatli istiqbolda, agar bunday formallashtirilgan moslashtirish qoidalari NaqshAI kabi platformalarga o‘rnatilgan modul sifatida kiritilsa, foydalanuvchi endi faqat naqsh oilasi va maqsadli ishlab chiqarish uskunasini tanlashi kifoya bo‘ladi — qolgan moslashtirish jarayoni avtomatik tarzda, adabiyotda qayd etilgan texnologik chegaralarga tayangan holda amalga oshiriladi. Bu, o‘z navbatida, milliy hunarmandchilik naqshlarini zamonaviy arxitektura, interyer dizayni va suvenir sanoatida qo‘llash bosqichini sezilarli darajada soddalashtirishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Grünbaum, B., & Shephard, G. C. (1987). Tilings and patterns. W. H. Freeman and Company.
[2] Abas, S. J., & Salman, A. S. (1995). Symmetries of Islamic geometrical patterns. World Scientific.
[3] Lu, P. J., & Steinhardt, P. J. (2007). Decagonal and quasi-crystalline tilings in medieval Islamic architecture. Science, 315(5815), 1106–1110. https://doi.org/10.1126/science.1135491
[4] Broug, E. (2013). Islamic geometric design. Thames & Hudson.
[5] Cenani, S., & Cagdas, G. (2006). Shape grammar of geometric Islamic ornaments. Proceedings of the 24th eCAADe Conference, 289–297. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2006.290
[6] Kaplan, C. S., & Salesin, D. H. (2004). Islamic star patterns in absolute geometry. ACM Transactions on Graphics, 23(2), 97–119. https://doi.org/10.1145/990002.990003
[7] Refalian, G., Coloma, E., & Moya, J. N. (2022). Formal grammar methodology for digital visualization of Islamic geometric patterns. International Journal of Architectural Computing, 20(2), 297–315. https://doi.org/10.1177/14780771211039079
[8] Almerbati, N., et al. (2016). From manual to hybrid, parametric Mashrabiya: Digital workflow for the re-envisioning and conservation of Eastern architectural screens and the engagement of digital tectonics. The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design, 10(2), 1–15.
[9] Rashdan, W. (2025). Heritage-aware generative AI workflow for Islamic geometry in interiors. Heritage, 8(11), 486. https://doi.org/10.3390/heritage8110486
[10] Mahrle, A., Borkmann, M., & Pfohl, P. (2021). Factorial analysis of fiber laser fusion cutting of AISI 304 stainless steel: Evaluation of effects on process performance, kerf geometry and cut edge roughness. Materials, 14(10), 2669. https://doi.org/10.3390/ma14102669
[11] Egamnazarova, S. (2026). Milliy hunarmandchilik naqshlari kompozitsiyalarini shakllantirish metodikasi. Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Egamnazarova, S. X. (2026). Milliy naqsh kompozitsiyalarini raqamli sanoat ishlab chiqarishiga moslashtirish metodikasi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.24