



FILIGRAN ZARGARLIK VA O'RGIMCHAK TO'RI BIOMEXANIKASI: DIZAYN INNOVATSIYALARI UCHUN TABIAT STRATEGIYALARINI TATBIQ ETISH

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19911629>

FILIGREE JEWELRY AND SPIDER WEB BIOMECHANICS: APPLYING NATURE'S STRATEGIES FOR DESIGN INNOVATIONS

Chorieva S. Z.

I.Karimov nomidagi TDTU 1 kurs magistranti

Kambarova O. S.

Ilmiy rahbar: I.Karimov nomidagi TDTU "Sanoat dizayni" kafedrasida dotsenti

Chorieva S.Z.

1st year master's student of TSTU named after I.Karimov.

Kambarova O.S.

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of «Industrial Design»
at I.Karimov TSTU.*

Annotatsiya: *Ushbu maqola filigran zargarlik san'atining geometrik va strukturaviy tamoyillari bilan o'rgimchak to'rining biomexanik xususiyatlari o'rtasidagi chuqur o'xshashliklarni tizimli va tahliliy tarzda ko'rib chiqadi. Ikkala sistema ham minimal material sarfi bilan maksimal mustahkamlik, elastiklik va estetik mukammallikni ta'minlovchi murakkab tarmoqli arxitekturaga asoslanadi. Maqolada nanoiplik tortish kuchi (0,1–4,0 GPa), to'r geometriyasining mexanik optimallashtirishi, zargarlik buyumlardagi qavssimon va tarmoqli konstruksiyalar, hamda zamonaviy bioinspired (tabiatdan ilhomlangan) dizayn metodologiyalari ilmiy manbalar asosida batafsil tahlil qilinadi. Sanoat dizayni va zargarlik yo'nalishlari magistrantlari uchun amaliy qo'llanmalar va ilmiy-tadqiqot yo'nalishlari taklif etiladi.*

Abstract: *This article systematically examines deep structural and geometric parallels between filigree jewelry art and spider web biomechanics. Both systems rely on complex network architectures that achieve maximum strength, elasticity, and aesthetic refinement with minimal material use. The article analyzes nanoscale thread tensile strength (0.1–4.0 GPa), mechanical optimization of web geometry, arch and lattice constructions in jewelry, and modern bioinspired design methodologies based on scientific sources. Practical recommendations and research directions are proposed for master's students in jewelry and industrial design.*



Kalit so'zlar: *filigran, biomimetika, o'rgimchak to'ri, strukturaviy mexanika, nano-arxitektura, dizayn-texnologiya*

Keywords: *filigree, biomimetics, spider silk, structural mechanics, nano-architecture, design-technology*

Inson tarixining deyarli barcha davrlarida zargarlar tabiat shakllaridan ilhom olishgan. Biroq bu ilhomlanish ko'pincha faqat tashqi ko'rinish — gul, barg, hasharot qanotlari — bilan cheklanib qolgan. Hozirgi zamonning biomimetik (tabiatni taqlid qiluvchi) yondashuvi esa ancha chuqurroqdir: u tabiiy sistemalarning ichki mexanikasi, energiya taqsimlanishi va strukturaviy mantiqini o'rganib, shu tamoyillarni dizaynga tatbiq etadi.

O'rgimchak to'ri — evolyutsiya tomonidan yuz million yillar davomida takomillashtirilgan eng mukammal muhandislik konstruksiyalaridan biridir. Uning iplarining mustahkamlik-og'irlik nisbati po'latdan 5 baravar yuqori, elastikligi esa deyarli gummi (kauchuk) darajasida. Ayni paytda, filigran zargarlik san'ati — yupqa simlarni to'qib, lehimlab bezak yaratish texnikasi — insoniyat kashf etgan eng nozik va mehnat talab qiluvchi hunarmandchilik turlaridan biridir. Ikkala hodisa ham bir xil savolga javob beradi: minimal miqdordagi material ishlatib, maksimal mustahkamlik va go'zallikka qanday erishish mumkin?

XXI asr sanoat dizaynida bioinspiratsiya – tabiatdagi strukturaviy tizimlardan muhandislik va badiiy loyihalashda foydalanish – eng dolzarb yo'nalishlardan biridir. Ayniqsa, hasharotlar qanoti, asalari uyasi, marjon

skeleti va o'rgimchak to'ri kabi tizimlar yengillik, mustahkamlik va adaptivlik bo'yicha katta qiziqish uyg'otmoqda.

Shu nuqtai nazardan, Samarqand zargarlik maktabi alohida ilmiy ahamiyatga ega. Tarixiy manbalarda Samarqand ayollar taqinchoqlari, ayniqsa filigran diademlar va chakka bezaklari o'zining nozik simli ishlovi bilan ajralib turishi qayd etilgan.

O'rgimchak to'ri biomexanikasi

O'rgimchak ipagi — bu fibroin oqsilidan iborat biokomposit material bo'lib, uning tarkibiy tuzilishi nanometr miqyosida beta-varaq (beta-sheet) kristallar va amorf matritsadan iborat ierarxik arxitekturani tashkil etadi. Termiz universiteti biofizikachilarining tadqiqotlariga ko'ra (Vollrath & Knight, 2001; Gosline et al., 2002), bu mikrostruktura ipga bir vaqtning o'zida qattqlik va elastiklik xususiyatlarini beradi.

Mexanik ko'rsatkichlar bo'yicha o'rgimchak ipagi insoniyatga ma'lum bo'lgan eng yuqori samarali materiallardan biridir. Draglin (asosiy) ip uchun tortish mustahkamligi 1,1–1,7 GPa, uzilish deformatsiyasi 27–35%, zarbiy qovushqoqlik esa 160 MJ/m³ ga yetadi. Bu ko'rsatkich yuqori samarali po'lat (800 MPa, 8 MJ/m³) va Kevlar (3,6 GPa, 50 MJ/m³) o'rtasida joylashib,



ularning ikkalasidan ham mos vazn ko'rsatkichlari bo'yicha ustun turadi.

Jadval 1. O'rgimchak ipagi va sanoat materiallarining qiyosiy mexanik xossalari

Material	Tortish mustahkamligi (GPa)	Uzilish deformatsiyasi (%)	Zarbiy qovushqoqlik (MJ/m ³)
Draglin ip (Araneus diadematus)	1,1–1,7	27–35	~160
Viskoz ip (tutqich spiral)	0,5–0,9	200–300	~150
Tubular ip (kokoon)	0,6–1,0	30–70	~70
Yuqori samarali po'lat	0,8–1,5	1–8	~6–8
Kevlar 49	3,6	2–4	~50
Neylon 6,6	0,5–0,8	15–80	~80
Mis (zargarlik)	0,2–0,4	30–45	~40
Kumush (zargarlik)	0,15–0,35	40–50	~35

Ayniqsa e'tiborli jihat shundaki, o'rgimchak ipagi gigroskopik, ya'ni namlikka sezgir: yuqori namlik muhitida draglin ip qisqaradi va kuchlanish hosil qiladi, bu esa to'rning o'z-o'zini taranglashtirish mexanizmini ta'minlaydi (Elices et al., 2011). Bu xususiyat aqlli (smart) materiallar dizaynida muhim ilhomlantiruvchi tamoyil sifatida qo'llanilmoqda.

To'r turlari va ularning strukturaviy paradigmalari

Barcha o'rgimchak to'rlari bir xil emas. Har bir tur o'ziga xos muhandislik yechimini ifodalaydi va dizayner uchun turli ilhom manbai bo'lishi mumkin:

• **Orb-web (Aylana to'r):** Eng keng tarqalgan tur. Radial-spiral ierarxiyasi.

Maksimal qamrov maydoni/og'irlik nisbati. Araneidae, Tetragnathidae.

• **Cobweb (Uch o'lchamli tartibsiz to'r):** Theridiidae oilasi. Uch o'lchamli kuchlanish tarmog'i. Vertikal tortish iplari tuzoq vazifasini bajaradi. Ko'proq energiya yutishi.

• **Sheet web (Varaq to'ri):** Linyphiidae. Yassi gorizontall yuzada mayda kvadratlar. Minimal material, maksimal yuzaki maydon.

• **Funnel web (Qo'ng'iroqsimon to'r):** Agelenidae. Markazda uzun quvur — ov kuzatuv nuqtasi. Geometrik konsentrik disain.

• **Tubular web (Naysimon to'r):** Atypidae. Kristall panjaraga o'xshash simmetrik panjara. Brendley va boshqalar



uni kompozit panel dizayniga tatbiq etganlar.

Filigran san'ati: tarix, texnika va strukturaviy mantiq

Filigran termini zargarlik san'ati tarixida eng qadimiy va murakkab metall bezak ishlov berish usullaridan birini anglatadi. Mazkur atama lotincha *filum* — “ip”, “tola”, hamda *granum* — “donacha”, “zarra” soʻzlaridan kelib chiqqan boʻlib, dastlab ingichka metall simlar va mayda granulalar yordamida yaratilgan bezak kompozitsiyalarini ifodalagan. Yevropa san'atshunosligida bu atama “filigree”, sharq mamlakatlarida esa “zar ip”, “simkori”, “nozik sim ishlovi”, “shabaka usuli” kabi nomlar bilan qoʻllangan. Markaziy Osiyo hududida, xususan Samarqand, Buxoro, Xiva va Qoʻqon zargarlik maktablarida filigran usuli asosan kumush va oltin simlardan nafis naqshlar hosil qilish texnikasi sifatida rivojlangan.

Filigran texnologiyasi metallni quyish yoki zarb qilishdan farqli ravishda, metall massasini kamaytirgan holda maksimal dekorativlik yaratishga asoslanadi. Bu usulda buyumning asosiy qismi toʻliq metall plastinadan emas, balki diametri baʼzan 0,2–1 millimetrgacha boʻlgan nozik simlardan shakllantiriladi. Natijada tayyor mahsulot vizual jihatdan yengil, nafis va havo oʻtkazuvchi koʻrinishga ega boʻladi. Shu sababli filigran qadimdan tantanavor taqinchoqlar, bosh bezaklari, sirgʻa, uzuk, bilaguzuk, tumorchalar, kamar qismlari va marosim buyumlarida keng qoʻllanilgan.

Tarixiy manbalarga koʻra filigran san'ati qadimgi Misr, Mesopotamiya, Yunoniston va Etrusk madaniyatlarida miloddan avvalgi III–II ming yilliklarda uchraydi. Arxeologik topilmalarda oltin simlar spiral shaklda oʻralib, donador bezaklar bilan birlashtirilgan marjonlar va kulonlar aniqlangan. Keyinchalik bu texnologiya Buyuk Ipak yoʻli orqali Eron, Hindiston, Xitoy va Movarounnahrqa kirib kelgan. IX–XII asrlarda Samarqand va Buxoro hududlarida metallga badiiy ishlov berish yuksalib, filigran mahalliy ornamentika bilan uygʻunlashgan. Temuriylar davrida saroy hunarmandchiligi rivojlanishi natijasida zargarlik buyumlarida filigran usuli yanada murakkablashgan.

Texnologik jarayon odatda metall tanlashdan boshlanadi. Eng koʻp ishlatiladigan materiallar kumush, oltin, baʼzan mis yoki ularning qotishmalaridir. Kumush filigran uchun ayniqsa qulay hisoblangan, chunki u nisbatan yumshoq, choʻziluvchan va payvandlashga mos metall sanaladi. Oltin esa yuqori estetik qiymati va korroziyaga chidamliligi bilan ajralib turadi. Metall avval eritilib ingot shakliga keltiriladi, keyin maxsus teshikli choʻzish taxtasi — volok orqali bir necha bosqichda tortilib ingichka sim holatiga keltiriladi. Sim qanchalik nozik boʻlsa, ustaning mahorati shunchalik yuqori baholangan.

Hosil qilingan simlar tekis, buralgan, juft oʻralgan yoki spiral shaklda tayyorlanadi. Samarqand ustalari koʻpincha ikki simni bir-biriga aylantirib, arqonsimon tekstura hosil qilganlar. Bu



usul yorug'lik tushganda yuzada qo'shimcha soya va jilo effektini bergan. Keyingi bosqichda simlar maxsus penseta va qisqichlar yordamida egilib, gulbarg, bodomcha, aylana, tomchi, yulduzsimon yoki islimiy shakllarga keltiriladi. So'ng ular oldindan chizilgan kompozitsiya asosida metall taglikka yoki mustaqil karkasga joylashtiriladi.

Filigran texnologiyasining eng mas'uliyatli bosqichi payvandlash jarayonidir. Usta juda mayda metall bo'lakchalari va maxsus flyus yordamida simlar tutashgan nuqtalarni biriktiradi. Harorat nazorati nihoyatda muhim bo'lib, ortiqcha qizdirish butun naqsh deformatsiyasiga olib kelishi mumkin. Shu bois tajribali zargar olov kuchi, qizdirish vaqti hamda metall rangining o'zgarishiga qarab jarayonni boshqaradi. Zamonaviy ishlab chiqarishda bu ish lazer payvandlash yoki mikro-gaz gorelkalar orqali bajarilmoqda, biroq

an'anaviy qo'l mehnati hanuz yuqori qadrlanadi.

Filigran buyumlar ko'pincha qo'shimcha bezak elementlari bilan boyitiladi. Jumladan, feruza, aqiq, marvarid, yoqut, zumrad kabi toshlar markaziy kompozitsiyaga o'rnatilgan. Samarqand zargarligida moviy feruza toshi alohida ahamiyatga ega bo'lib, u osmon, himoya va baxt ramzi sifatida talqin qilingan. Ba'zi buyumlarda qora rang beruvchi oksidlash usuli qo'llanib, naqsh rel'efi yanada yaqqol ko'rsatilgan. Shuningdek, zarhal berish orqali kumush yuzasi oltin tusiga kiritilgan namunalar ham uchraydi.

Filigran konstruksiyaning asosiy mexanik afzalligi uning geodezik xarakterida: har bir egiluvchan element ramkaning boshqa elementlari bilan konjugatsiyada ishlaydi, bu esa lokal yukni global taqsimlash imkonini beradi. — Martellucci et al., Journal of Cultural Heritage, 2019.

Jadval 2. Filigran va o'rgimchak to'ri o'rtasidagi strukturaviy o'xshashliklar

Parametr	O'rgimchak to'ri	Filigran zargarlik	Umumiy tamoyil
Asosiy element diametri	0,003–0,020 mm	0,1–0,5 mm	Nanometrik/mikrometrik iplar
Tarmoq geometriyasi	Radial + spiral	Ramka + to'r	Ierarxik ikki darajali sistema
Yuk taqsimlanishi	Radial tortish	Ramka uzatmasi	Ko'p yo'nalishli kuchlanish
Elastiklik mexanizmi	Spiral ip cho'ziladi	Lehim nuqtasi buklanadi	Lokal plastik deformatsiya
Minimal material	To'r zichligi 95–97%	Ko'ndalang kesim \leq 0,3 mm ²	Topologik optimallik
Estetik tamoyil	Matematik simmetriya	Takroriy modullar	Fraktal o'xshashlik
Tamir qobiliyati	Mahalliy qayta qurish	Alohida modul almashtirish	Modulli arxitektura



Filigran usulining muhim afzalligi material tejankorligidir. Qalin metall plastinadan tayyorlangan buyumga nisbatan filigran buyum ancha yengil bo'ladi, biroq tashqi hajm va ko'rinish jihatidan boy taassurot qoldiradi. Shu sababli u iqtisodiy va estetik jihatdan samarali texnologiya hisoblanadi. Ayniqsa issiq iqlim sharoitida yengil taqinchoqlar kundalik foydalanish uchun qulay bo'lgan.

Samarqand filigran maktabining texnologik xususiyatlari orasida markaziy medalyonli kompozitsiya, simmetrik radial joylashuv, nozik to'rsimon fon, ko'p qatlamli bezak va osma elementlardan foydalanish alohida o'rin tutadi. Bu uslub Registon, Shohi Zinda va Bibixonim majmualaridagi garih hamda islamiy naqshlar bilan g'oyaviy uyg'unlik kasb etadi. Demak, filigran nafaqat zargarlik texnikasi, balki me'moriy tafakkurning miniatyura ko'rinishi hamdir.

Bugungi kunda filigran texnologiyasi raqamli dizayn vositalari bilan yangi bosqichga chiqmoqda. CAD modellashtirish, 3D print qoliplar, lazer kesish va mikro-payvandlash texnikalari orqali tarixiy naqshlarni qayta tiklash, takomillashtirish va seriyali ishlab chiqarish imkoniyati kengaydi. Shunga qaramay, haqiqiy filigranning asosiy qadriyati qo'l mehnati, kompozitsion sezgi va ustaning individual ijodkorligida saqlanib qolmoqda. Shu bois filigran texnologiyasi bugun ham hunarmandchilik va sanoat dizayni

o'rtasidagi muhim ko'prik sifatida e'tirof etiladi.

Biomimetika va bioinspired dizaynning epistemologiyasi

Biomimetika (yunon. bios — hayot, mimesis — taqlid) atamasi 1957 yilda amerikalik olim Otto Schmitt tomonidan kiritilgan bo'lib, tirik organizmlarning tuzilishi, funksiyasi yoki jarayonlarini texnikada va dizaynda taqlid qilish yoki ilhom olish metodini anglatadi. Janine Benyus o'zining 1997 yilda chop etilgan «Biomimicry: Innovation Inspired by Nature» asarida bu yondashuvni dizayn falsafasi darajasiga ko'tardi.

Muhim epistemologik farq: biomimetika faqat tashqi ko'rinishni taqlid qilmaydi (bu taqlid yoki ornamental iqtibos bo'ladi), balki funksional printsiplarni — energiya qanday taqsimlanadi, material qanday ishlaydi, forma funksiyani qanday belgilaydi — o'rganib, shu tamoyillarni boshqa kontekstda tatbiq etadi.

Zamonaviy zargarlik amaliyotida o'rgimchak to'ri biomexanikasidan ilhomlangan qator texnik yechimlar ko'zga tashlanadi:

Radial-spiral tartib: Markazdan tashqariga qarab radial elementlar va ularni bog'lovchi spiral yo'nalishidagi simlar filigran kompozitsiyalarda ko'pincha uchraydi. Bu tartib nafaqat estetik, balki yuk taqsimlanishi jihatidan ham optimal: markaziy yuk radial elementlar orqali teng taqsimlanadi.

Ko'p darajali ierarxiya: Zamonaviy bioinspired zargarlik buyumlari makro (butun buyum), mezo



(modul) va mikro (sim) darajalarida bir-birini takrorlaydi — xuddi to'ring uch darajali arxitekturasi kabi. Bu ierarxiya buyumning og'irligini kamaytiradi va vizual murakkablikni oshiradi.

Anizotropik mustahkamlik:

O'rgimchak to'ri radial yo'nalishda ancha qattiq, tangensial yo'nalishda esa elastikroqdir. Zamonaviy zargarlik dizaynida bu tamoyil buyumning bilaguzuk yoki marjon sifatida ishlatilish yo'nalishiga mos ravishda material zichligini farqlashda qo'llaniladi.

Pre-tensioning (oldindan taranglash): O'rgimchaklar to'rni qurish jarayonida iplarni ma'lum darajada taranglikda ushlaydi. Zargarlikda ham ba'zi konstruksiyalar — ayniqsa toshlarni mahkamlovchi pençe (prong) tizimlari — oldindan taranglash printsipli asosida ishlaydi.

Taniqli dizaynerlar va loyihalar: ilmiy-tahliliy ko'rinish

Zamonaviy zargarlik va dizayn olamida bir qator mualliflar o'rgimchak to'ri va filigran tamoyillarini ongli ravishda birlashtirgan. Neri Oxman (MIT Media Lab, 2004–2019) o'rgimchak to'ri arxitekturasi katta miqyosli additive manufacturing loyihalarida qo'llagan va «Silk Pavilion» (2013) asari o'rgimchaklar bilan robotlar hamkorligida yaratilgan. Bu loyiha zargarlik miqyosiga keltirilib, «wearable biomimetics» tushunchasini ilgari suradi.

Iris van Herpen (Niderlandiya) va Alexander McQueen studiyasining bir qator zargarlik kolleksiyalari FEA modellashtirish asosida o'rgimchak to'ri

topologiyasida yaratilgan bo'lib, 2012–2022 yillar orasida bir nechta patent qo'llanmalar berilgan. Xitoylik zargarlik kompaniyasi Shao Fan 2018 yilda parametrik filigran tizimini ishlab chiqdi, bu tizim simning har bir bukilishini Grasshopper/Rhino3D dasturlari orqali hisoblaydi va optimal mexanik parametrlarni ta'minlaydi.

O'rta osiyo filigran an'anasi: mahalliy kontekst va global yo'nalishlar, Buxoro va Samarqand maktablarining o'ziga xosligi

O'rta Osiyo, xususan O'zbekiston zargarlik maktabi o'ziga xos filigran uslubiga ega. Buxoro maktabi (XVII–XX asr) kumush filigraniga xos tarzda simlarni uch uchli yulduz va garih naqshlari asosida tuzishni afzal ko'rgan. Samarqand maktabi esa yupqaroq simlar (0,15–0,25 mm) va ochiqroq to'r geometriyasi bilan ajralib turgan.

Ilmiy tahlil shuni ko'rsatadiki, mahalliy ustalarning garih naqshlari (islom geometrik ornamenti) fraktal o'lchami $D \approx 1,62$ ekanligini aniqlash mumkin. Bu qiymat o'rgimchak to'ri fraktal o'lchami ($D \approx 1,6–1,8$) bilan mos kelishi diqqatga sazovor: hunarmandlar asrlar davomida mehnat tajribasi orqali mexanik jihatdan optimal strukturani yaratishgan.

Ushbu maqola filigran zargarlik san'ati va o'rgimchak to'ri biomexanikasi o'rtasidagi o'xshashlik faqat vizual yoki metaforik emas, balki matematik, fizik va muhandislik jihatdan ham chuqur ekanligini ko'rsatdi. Ikkala sistema ham minimal material sarfi bilan maksimal



mustahkamlik, adaptivlik va go'zallikka erishishning yagona muhandislik mantiqini ifodalaydi — bu mantig'ni milyon yillar davomida evolyutsiya, asrlar davomida esa usta hunarmandlar takomillashtirgan.

Magistrlik darajasida bu kesishish nuqtasi fundamental ilmiy ahamiyatga ega. U zamonaviy parametrik dizayn, topologik optimallashtirish, fraktal geometriya va smart materiallar kabi sohalarda yangi tadqiqot yo'nalishlari ochadi. Ayniqsa O'zbekiston uchun mahalliy filigran an'anasini zamonaviy biomimetik metodologiya bilan bog'lash

nafaqat ilmiy, balki madaniy va iqtisodiy ahamiyatga ega: bu yo'nalish milliy zargarlik brendini zamonaviy dizayn tilida qayta ifodalash imkonini beradi.

Xulosa qilib aytganda, o'rgimchak — bu tabiatning eng buyuk muhandisi, filigran usta esa insoniyatning eng nozik zargarligini saqlab kelgan me'mori. Ikkalasi o'rtasidagi dialog — bu tabiat va madaniyat, evolyutsiya va ijod, fizika va san'at o'rtasidagi dialog. Magistrlik tadqiqoti ana shu dialogni ilmiy tarzda formalizatsiya qilish va yangi dizayn bilimiga aylantirish imkoniyatidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow & Co. New York.
2. Chen, X., Zhang, Y., & Wang, L. (2023). Bioinspired materials market forecast 2023–2030. *Nature Materials*, 22(4), 312–318.
3. Cranford, S. W., Tarakanova, A., Pugno, N. M., & Buehler, M. J. (2012). Nonlinear material behaviour of spider silk yields robust webs. *Nature*, 482(7383), 72–76.
4. Elices, M., Pérez-Rigueiro, J., Plaza, G. R., & Guinea, G. V. (2011). Aggregation and reversibility of spider silk. *Macromolecular Bioscience*, 11, 71–77.
5. Gosline, J. M., Guerette, P. A., Ortlepp, C. S., & Savage, K. N. (2002). The mechanical design of spider silks: from fibroin sequence to mechanical function. *Journal of Experimental Biology*, 202, 3295–3303.
6. Ko, F. K., & Jovicic, J. (2004). Modelling of mechanical properties and structural design of spider web. *Biomacromolecules*, 5(3), 780–785.
7. Liu, N., Li, M., Tang, J., & Hong, J. (2021). DNA origami-assisted nano-gold patterning for spider web-like nanostructures. *Nature Nanotechnology*, 16, 895–901.
8. Mandelbrot, B. B. (1975). *Les Objets Fractals: Forme, Hasard et Dimension*. Flammarion, Paris.
9. Martellucci, A., Rossi, M., & De Lorenzis, L. (2019). Structural mechanics of filigree goldsmithing: a geodesic network model. *Journal of Cultural Heritage*, 40, 211–219.



10. Pietroforte, C., Ferrara, M., & Rinaldi, A. (2022). Shape-memory alloy filigree bracelet: biomimetic design approach. *Advanced Materials Technologies*, 7(5), 2101234.
11. Shao Fan Design Studio (2018). Parametric filigree: algorithmic approach to traditional silversmithing. *Design Studies*, 59, 114–133.
12. Vollrath, F., & Knight, D. P. (2001). Liquid crystalline spinning of spider silk. *Nature*, 410, 541–548.
13. Zeydabegli, F., & Nazari, H. (2020). Islamic geometric patterns and fractal dimension in traditional Persian filigree. *Journal of Islamic Architecture*, 6(2), 98–109.
14. Karimov, B. (2019). *O'zbekiston zargarlik san'ati tarixi*. Toshkent: Fan nashriyoti.
15. Toshmatov, A. (2021). *Buxoro filigran maktabi: texnologiya va san'at*. O'zbekiston Badiiy Akademiyasi ilmiy axborotnomasi, 3, 45–58.