

SUN'IIY INTELLEKT ASOSIDA QANOTNING AERODINAMIK XUSUSIYATLARINI BASHORAT QILISH VA OPTIMAL SHAKLNI CHIZISH

Q. Rahimov

**Farg'ona davlat universiteti, texnika fanlari
bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent**

M. Rahmatjonov

**Farg'ona davlat universiteti,
Amaliy matematika va informatika kafedrası o'qituvchisi
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18502631>**

Annotatsiya

Mazkur tadqiqotda samolyot qanotining aerodinamik ko'rsatkichlarini tezkor va yuqori aniqlik bilan bashorat qilish hamda optimal geometrik shaklini aniqlashga yo'naltirilgan integratsiyalashgan sun'iy intellektga asoslangan hisoblash tizimi taklif etiladi. O'qitish ma'lumotlari fizik qonunlarga asoslangan sintetik belgilash generatori yordamida shakllantirildi. An'anaviy hisoblash suyuqliklar mexanikasi usullariga (CFD) xos bo'lgan katta hisoblash xarajatlari va vaqt sarfini kamaytirish maqsadida ko'tarish koeffitsienti (CL) hamda qarshilik koeffitsienti (CD) ni baholash uchun sun'iy neyron tarmoqqa asoslangan muqobil model ishlab chiqildi.

Shuningdek, qanot geometriyasini tavsiflovchi yuqori o'lchamli nuqtalar to'plamini past o'lchamli ixcham oshkormas fazoda ifodalash uchun autoenkoder modeli qo'llanildi. O'tkazilgan tajribalar natijasida CL koeffitsienti uchun $R^2 = 0.9954$ hamda CD koeffitsienti uchun $R^2 = 0.9673$ aniqlik ko'rsatkichlariga erishildi. Qanot shakli vektori 400 o'lchamdan 8 o'lchamga siqilib, 50:1 kompressiya nisbatiga erishildi. Taklif etilgan yondashuv aerodinamik dizayn iteratsiyalarini sezilarli tezlashtirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: sun'iy neyron tarmoqlar, muqobil model, aerodinamik profil, CL/CD, autoenkoder, shaklni siqish, aeroelastik, oshkormas fazo.

1. Kirish

Samolyot qanotining geometrik shakli uning aerodinamik samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Qanot profili ko'tarish kuchi, qarshilik darajasi, yoqilg'i tejamkorligi hamda parvoz barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli aerodinamik dizayn jarayonida turli geometriya parametrlariga mos holda aerodinamik koeffitsientlarni tezkor va ishonchli baholash muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Amaliyotda bunday tahlillar ko'pincha kompyuter yordamida suyuqliklar mexanikasi (CFD) usullari orqali amalga oshiriladi. Ushbu yondashuv yuqori aniqlikka ega bo'lsa-da, katta hisoblash resurslari va vaqt talab qiladi. Hatto bitta konfiguratsiya simulyatsiyasi bir necha soat yoki kun davom etishi ko'p iteratsiyali optimallashtirish jarayonlarini keskin cheklaydi.

So'nggi yillarda mashinali o'rganish usullari aerodinamik masalalarda muqobil model sifatida keng qo'llanilmoqda. Xususan, sun'iy neyron tarmoqlar yordamida aerodinamik koeffitsientlarni to'g'ridan-to'g'ri bashorat qilish dizayn jarayonlarini sezilarli tezlashtiradi. Biroq qanot geometriyasining yuqori o'lchamli tavsifi optimallashtirish algoritmlarining samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli geometriyani past o'lchamli yashirin fazoda ifodalash yondashuvi muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur ishda aerodinamik bashorat va shaklni siqish jarayonlari yagona integratsiyalashgan hisoblash tizimida birlashtiriladi.

Tadqiqot maqsadi: Tadqiqotning asosiy maqsadi qanotning aerodinamik koeffitsientlarini tezkor bashorat qilish hamda geometrik shaklni optimallashtirish jarayonlarini jadallashtiruvchi sun'iy intellektga asoslangan integratsiyalashgan tizimni ishlab chiqishdan iborat.

Mazkur maqsadni amalga oshirish doirasida NACA to'rt raqamli profil parametrlariga asoslangan aerodinamik ma'lumotlar bazasi shakllantirildi, CL va CD koeffitsientlarini bashorat qiluvchi sun'iy neyron tarmoq modeli yaratildi. Qanot kesimi shakllarini past o'lchamli oshkormas fazoga siqish uchun autoenkoder modeli o'qitildi. Olingan tasvirlar asosida optimal dizayn parametrlarini aniqlash hamda uch o'lchamli qanot geometriyasini generatsiya qilish moduli ishlab chiqildi.

3. Matematik va hisoblash modeli

Aerodinamik ko'tarish koeffitsienti kichik hujum burchaklari sharoitida yupqa profil nazariyasiga muvofiq chiziqli bog'lanish orqali ifodalanadi.

$$C_L \approx 2\pi(\alpha - \alpha_{L0})$$

Qarshilik koeffitsienti esa klassik drag-polyar munosabat asosida modellashtirildi, bunda profil va induksion qarshilik komponentlari hisobga olindi.

$$C_D = C_{D0} + kC_L^2$$

Ushbu yaqinlashuv ko'tarish kuchining holatini tavsiflash imkonini beradi. Qarshilik koeffitsienti esa klassik drag-polyar munosabat asosida modellashtirildi, bunda profil va induksion qarshilik komponentlari hisobga olindi.

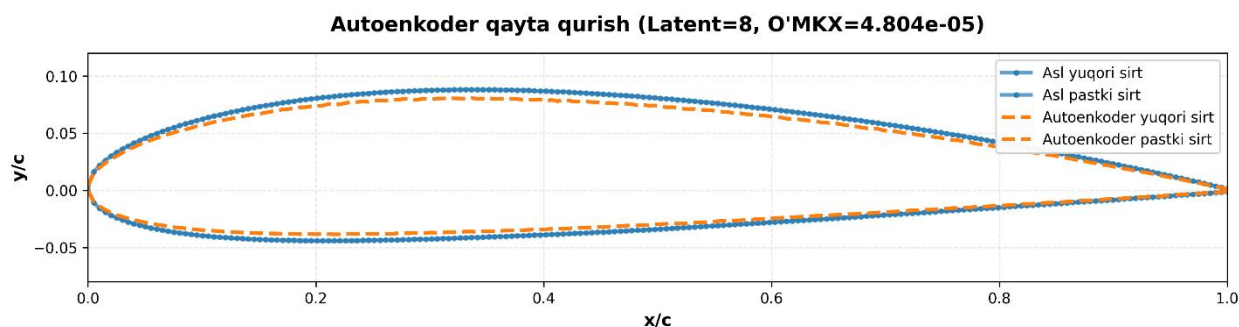
Mazkur tadqiqotda to'liq CFD hisoblashlaridan voz kechilib, fizik qonunlarga asoslangan sintetik ma'lumotlar generatori ishlab chiqildi. Ushbu generator aerodinamik bog'lanishlarni hisobga olgan holda muqobil modelni o'qitish uchun barqaror va hisoblash jihatdan tejamkor ma'lumotlar bazasini yaratish imkonini berdi.

Qanot kesimi geometriyasini parametrizatsiyalashda NACA to'rt raqamli modeli tanlandi. Ushbu model maksimal egilish, egilishning xorda bo'ylab pozitsiyasi va maksimal qalinlik parametrlariga asoslanadi. Mazkur parametrlar asosida airfoilning yuqori va pastki sirt koordinatalari hisoblab chiqildi hamda dataset generatsiyasida qo'llanildi.

4. Sun'iy intellektga asoslangan integratsiyalashgan tizim

Taklif etilgan sun'iy intellektga asoslangan integratsiyalashgan hisoblash tizimi qanotning aerodinamik tahlili, geometrik shaklni siqish va uch o'lchamli geometriyasini generatsiya qilish jarayonlarini yagona arxitektura doirasida birlashtiradi. Tizimning birinchi modulida aerodinamik koeffitsientlarni tezkor bashorat qiluvchi muqobil model ishlab chiqildi. Model kirish parametrlari sifatida NACA profil ko'rsatkichlari va hujum burchagini qabul qilib, chiqishda ko'tarish hamda qarshilik koeffitsientlarini hosil qiladi. U ko'p qatlamli perseptron asosida qurilib, 4-64-64-32-2 konfiguratsiyada tashkil etildi; faollashtirish funksiyasi sifatida ReLU qo'llanildi, ortiqcha moslashishni kamaytirish uchun Dropout = 0.1 joriy etildi. O'qitish jarayoni Adam optimizatori yordamida amalga oshirilib, o'rganish barqarorligi ReduceLROnPlateau algoritmi orqali ta'minlandi. Ikkinchi modul geometrik shaklni siqishga mo'ljallangan autoenkoder modelidan iborat bo'lib, airfoil profili 400 nuqta orqali ifodalanib,

kodlash bosqichida 8 o'lchamli yashirin fazoga akslantirildi va dekodlash jarayonida qayta tiklandi.



1-rasm. Autoenkoder natijasi

Ushbu yondashuv optimallashtirish jarayonlarini past o'lchamli fazoda bajarish imkonini beradi. Yakuniy bosqichda planforma parametrlariga asosanib uch o'lchamli qanot geometriyasi generatsiya qilindi hamda vizual ko'rinishda taqdim etildi. Mazkur integratsiyalashgan tizim aerodinamik bashorat, shaklni siqish va geome

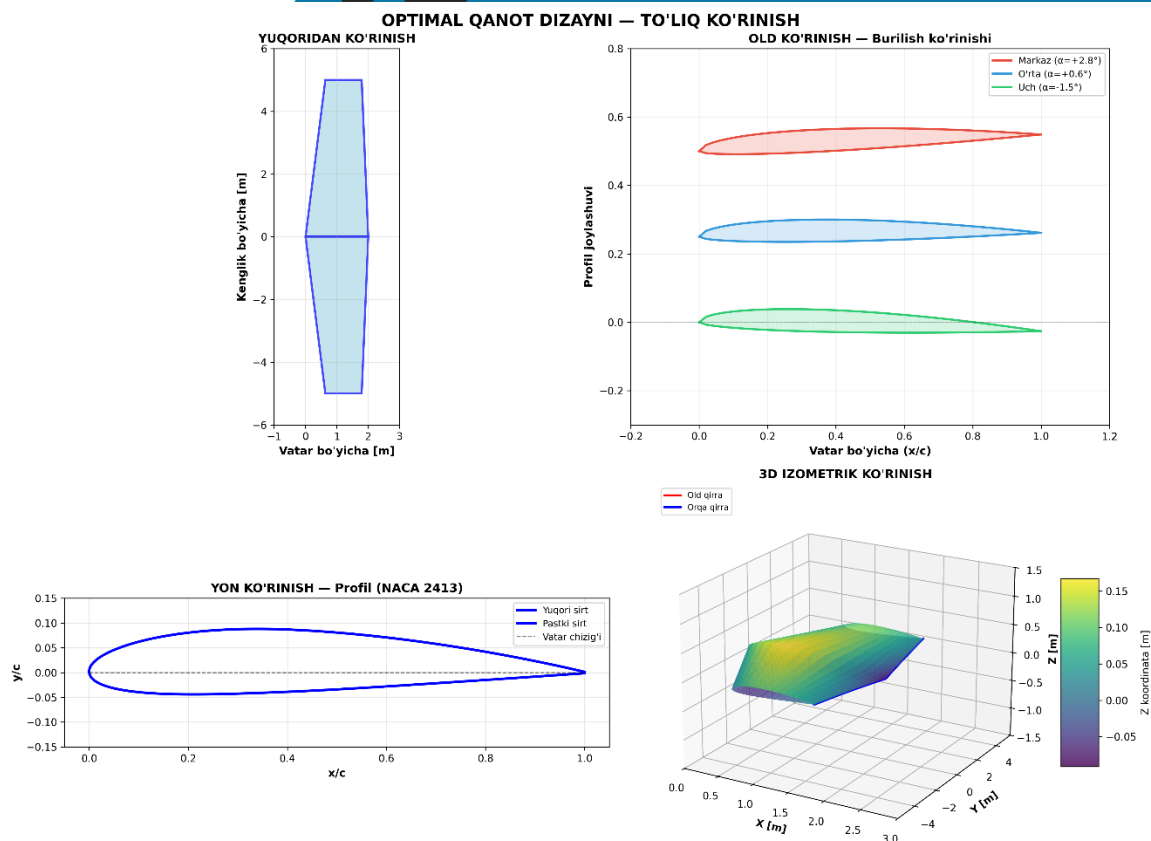
5. Tajriba natijalari

Hisoblash tajribalari Google Colab muhitida CPU resurslaridan foydalangan holda amalga oshirildi. CL/CD muqobil modelini o'qitish natijasida yo'qotish funksiyasi barqaror kamayuvchi xatti-harakatni namoyish etdi. Yakuniy validatsiya bosqichida model yuqori aniqlik ko'rsatkichlariga erishdi.

Ko'tarish koeffitsienti uchun aniqlik darajasi $R^2 = 0.9954$ ni tashkil etdi. Qarshilik koeffitsienti uchun esa $R^2 = 0.9673$ natija olindi. Bashorat qilingan va haqiqiy qiymatlar o'rtasidagi moslik yuqori darajada ekanligi grafik taqqoslashlarda ham tasdiqlandi.

Autoenkoder modeli 400 o'lchamli shakl vektorini 8 o'lchamli oshkormas fazoga siqib, 50:1 kompressiya nisbatiga erishdi. Qayta tiklash xatosi $MSE \approx 4.8 \times 10^{-5}$ qiymatda saqlanib, shaklning asosiy geometrik xususiyatlari yo'qotilmaganligi aniqlandi.

Integratsiyalashgan tizim optimal parametrlar asosida uch o'lchamli qanot sirtini avtomatik generatsiya qildi. Vizual natijalar tizimning nafaqat sonli, balki geometrik dizayn natijalarini ham taqdim eta olishini ko'rsatdi.



3-rasm. Visual natijalar

6. Xulosa

Tadqiqot natijasida qanot aerodinamik tahlili va dizaynini tezlashtiruvchi integratsiyalashgan sun'iy intellekt tizimi ishlab chiqildi. Muqobil model koeffitsientlarni yuqori aniqlikda bashorat qildi, autoenkoder esa shaklni past o'lchamli fazoda ifodalash orqali optimallashtirish jarayonlarini jadallashtirdi. Taklif etilgan yondashuv hisoblash xarajatlarini kamaytirib, CFD va eksperimental tadqiqotlar bilan integratsiyalash imkonini beradi.