



QISHLOQ XO'JALIGI HOSILDORLIGINI PROGNOZLASHDA KLASSIK EKONOMETRIK MODEL VA FUZZY YONDASHUV ASOSIDAGI EKONOMETRIK MODELNING SOLISHTIRMA TAHLILI

i.f.d., prof. Bayxonov Baxodirjon
Namangan davlat texnika universiteti
ORCID: 0000-0002-4421-6407
baxodir73@gmail.com
PhD Baxodirov No'monxon
Farg'ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0009-0001-5369-1541
baxodirov1989@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada qishloq xo'jaligi hosildorligini prognozlashda klassik ekonometrik modellashtirish va fuzzy differensial tenglamalar yondashuvi asosidagi modellashtirish amaliy va nazariy jihatdan solishtirilgan. Maqolada har ikki modelning matematik tuzilishi, o'zgaruvchilar o'rtasidagi bog'liqlik, noaniqlikni hisobga olgan holda modellashtirish bayon qilingan.

Kalit so'zlar: fuzzy differensial tenglamalar, ekonometrik modellashtirish, hosildorlik, samaradorlik, iqtisodiy omillar, resurslarni optimallashtirish.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

д.э.н., проф. Байхонов Баходиржон
Наманганский государственный технический университет
PhD Бахадиров Номонхон
Ферганский государственный технический университет

Аннотация. В данной статье проводится практическое и теоретическое сравнение классического эконометрического моделирования и моделирования на основе подхода нечетких дифференциальных уравнений в прогнозировании урожайности сельского хозяйства. В работе описываются математическая структура обеих моделей, взаимосвязь между переменными и процесс моделирования с учетом фактора неопределенности.

Ключевые слова: нечеткие дифференциальные уравнения, эконометрическое моделирование, урожайность, продуктивность, экономические факторы, оптимизация ресурсов.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSIC ECONOMETRIC MODELS AND FUZZY-LOGIC-BASED ECONOMETRIC MODELS IN FORECASTING AGRICULTURAL YIELDS

DSc, prof. Bayxonov Baxodirjon
Namangan State Technical University
PhD Baxodirov No'monxon
Fergana State Technical University

Abstract. *This article presents a theoretical and practical comparison between classical econometric modeling and modeling based on the fuzzy differential equations approach for forecasting agricultural yields. The study describes the mathematical structures of both models, the interrelationships between variables, and the methodology of modeling while accounting for uncertainty.*

Keywords: *fuzzy differential equations, econometric modeling, crop yield, productivity, economic factors, resource optimization.*

Kirish.

Barchamizga ma'lumki qishloq xo'jaligi sohasi mamlakatimizda muhim tarmoqlaridan biri hisoblanib, iqtisodiyotimizning barqaror rivojlanishida katta ahamiyatga ega. Iqtisodiy tadqiqotlar va islohotlar markazining ma'lumotlariga ko'ra 2024 yil yakunlariga bo'yicha yalpi ichki mahsulotning 19 foizi, investisiyalarning 7,5 foizi, eksportdan olingan daromadlarning 6 foizi va band aholining 22,7 foizi mazkur tarmoq hissasiga to'g'ri keladi.

Birgina 2024 yil yakunlariga qaraydigan bo'lsak ushbu sohada avvalgi yillarga nisbatan o'sish kuzatilgan. O'zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo'mitasi ma'lumotlariga ko'ra 2024-yilning yanvar-dekabr oylarida qishloq, o'rmon va baliqchilik xo'jaligi mahsulot(xizmat)lari hajmi 467 041,5 mlrd. so'mni yoki 2023-yilning mos davriga nisbatan 103,1 % ni tashkil qilgan. Qishloq, o'rmon va baliqchilik xo'jaligi mahsulot(xizmat)lari hajmining oshishi, asosan qishloq xo'jaligi mahsulotlarini yetishtirish hajmining ko'payganligi (3,1 %) bilan bog'liq.

Barcha toifadagi xo'jaliklarda qishloq xo'jaligi mahsulotlarining oshishi uzumning - 5,4 % ga, polizning - 5,1 %, mevalarning - 4,8 % ga, donli ekinlarning - 4,8 % ga, kartoshkaning - 4,0 % ga, sutning - 4,0 % ga oshishi bilan izohlanadi. Xo'jalik toifalari bo'yicha tahlillar qishloq xo'jaligi mahsulotlari umumiy hajmining 63,1 % - dehqon va tomorqa xo'jaliklari, 29,7 % - fermer xo'jaliklari, 7,2 % - qishloq xo'jaligi faoliyatini amalga oshiruvchi xo'jaliklar hissasiga to'g'ri kelishini ko'rsatgan.

Lekin shunga qaramay so'nggi yillarda dunyo miqyosida iqlim o'zgarishi global muammo sifatida e'tirof etilib, uning salbiy oqibatlarini qishloq xo'jaligi sohasida ham tobora sezilib bormoqda. Xususan, qurg'oqchilikning kuchayishi, mavsumiy yog'ingarchilik miqdorining kamayishi, ekstremal ob-havo hodisalarining tez-tez yuz berishi va harorat darajasining ko'tarilishi kabi omillar deyarli barcha mamlakatlarda ekin yetishtirish jarayoniga o'zining salbiy ta'sirini ko'rsatmoqda. Yuzaga kelayotgan ushbu holatlar suv resurslariga bo'lgan talabni oshiradi, vegetatsiya davrini o'zgartiradi hamda o'simliklarning rivojlanishiga o'zining salbiy ta'sirini ko'rsatadi. Natijada, hosildorlik ko'rsatkichi kamayib boradi, ishlab chiqarish tannarxi oshadi, mahsulot sifati esa yomonlashadi.

Shuningdek, iqlim o'zgarishi nafaqat agrar ishlab chiqarishga, balki uni tashkil etayotgan ijtimoiy qatlamlarga ham o'zining jiddiy ta'sirini ko'rsatadi. Buning natijasida qishloq joylarda yashovchi aholining daromadlari kamayadi. Bu esa oziq-ovqat xavfsizligiga ham o'zining salbiy ta'sirini ko'rsatadi. Bunday vaziyatda dunyo mamlakatlari qishloq xo'jaligi uchun moslashuvchan strategiyalarni ishlab chiqishi, iqlimga bardoshli ekin navlarini joriy etishi, suvni tejaydigan texnologiyalarni qo'llashi va davlat siyosatida barqaror rivojlanish tamoyillarini inobatga olishi zarur bo'ladi.

Mamlakatimiz ham ushbu jarayondan chetda qolayotgani yo'q. Iqlim o'zgarishi natijasida mamlakatimiz hududida havo haroratning ko'tarilishi, kutilmagan yog'ingarchilik mavsumi, qurg'oqchilik mavsumining uzayishi, shamollar intensivligining ortishi, kutilmagan tabiiy ofatlarning ko'payishi kabi omillar mamlakatimiz qishloq xo'jaligi faoliyatiga o'zining bevosita salbiy ta'sirini ko'rsatmoqda. Ma'lumotlarga ko'ra, O'zbekiston suv resurslarining atiga 20 foizga yaqini mamlakat hududida shakllanadi, qolgan qismi esa qo'shni davlatlar hududidan kirib keladi.

2024-yilgi statistikaga ko'ra, mavjud suv resurslarining 90 foizdan ortig'i qishloq xo'jaligi sohasida foydalanilgan. O'zbekiston mintaqada irrigatsiya va melioratsiya tarmoqlari eng rivojlangan hamda eng yirik suv xo'jaligi infratuzilmasiga ega davlatlardan biri hisoblanadi. Iqlim o'zgarishi ta'sirida yildan-yilga suv manbalari kamaymoqda, aholining o'sishi va suvga bo'lgan talab esa ortib bormoqda. Natijada, mavjud prognozlarga ko'ra, 2030-yilga borib mamlakatimizda suv tanqisligi yana ham ortishi mumkin.

Suv resurslarining kamayishi bilan bir qatorda, so'nggi yillarda iqlim o'zgarishining eng yaqqol ko'rinishlaridan biri havo haroratining barqaror oshib borayotganidir. O'zbekiston Respublikasi Hidrometeorologiya xizmati markazi va xalqaro kuzatuvchilar ma'lumotlariga ko'ra, mamlakatimiz hududida so'nggi 70 yil ichida o'rtacha yillik havo harorati 1,5-1,8°C ga ko'tarilgan. Bu ko'rsatkich global o'rtacha harorat o'sishidan yuqoriroq ekanligi bilan xavotirli holatni yuzaga keltiradi. 2024-yilgi kuzatuvlarga ko'ra, yozgi mavsumdagi maksimal harorat 45°C dan yuqorilash holatlari tobora ortib bormoqda. Yurtimizning ba'zi mintaqalarida ushbu ko'rsatkich 47-48°C darajagacha yetgan. Ayniqsa, Qashqadaryo, Buxoro, Navoiy va Xorazm viloyatlarida ekstremal harorat hodisalari so'nggi yillarda ko'p kuzatilmoqda.

Bu esa nafaqat inson salomatligiga, balki qishloq xo'jaligi va suv resurslari kamayishiga ham o'zining sezilarli ta'sirini ko'rsatmoqda. Mutaxassislar fikriga ko'ra, agar ushbu jarayon saqlanib qolsa, 2030-yilga borib mamlakatimiz hududida o'rtacha yillik harorat yana 1-1,3°C ga ortishi kutilmoqda. Bunday o'zgarishlar vegetatsiya davrining qisqarishiga, ekinlarning agrotexnik tavsiflarining o'zgarishiga, shuningdek, tuproqdagi namlikning tez bug'lanishiga olib keladi. Natijada, qishloq xo'jaligi hosildorligiga va qishloq xo'jaligi iqtisodiyotiga salbiy ta'sir qiluvchi holatlar yuzaga kelishi mumkin. Bu esa mamlakatimizda oziq-ovqat xavfsizligiga salbiy ta'sirini ko'rsatishi mumkin.

Shularni inobatga olib mamlakatimizda so'nggi yillar davomida agrar sohada keng ko'lamli iqtisodiy va siyosiy islohotlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, yer va suv resurslaridan oqilona foydalanish, qishloq xo'jaligi sohasiga raqamli texnologiyalarni joriy etish va innovatsion ilmiy yondashuvlarga asoslangan agrotexnik tadbirlar yo'lga qo'yilgan. Bundan tashqari, suv tanqisligi muammosini hal etish maqsadida tomchilatib sug'orish va boshqa suvni tejoychi tizimlar foydalanish yo'lga qo'yilgan. Shu bilan birga, fermer xo'jaliklari va agrofirma tizimlari orqali resurslardan samarali foydalanish, agroekologik yondashuvlarni keng joriy etish borasida aniq chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda.

Qishloq xo'jaligida barqarorlikni ta'minlash maqsadida Prezidentimiz tashabbusi bilan "2023-2030 yillarda qishloq xo'jaligini rivojlantirish strategiyasi" ishlab chiqilib, unda iqlim o'zgarishiga moslashish, oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va ekologik muvozanatni saqlash ustuvor yo'nalish sifatida belgilangan. Bu islohotlar nafaqat agrar sohaning barqaror rivojlanishini ta'minlash, balki butun iqtisodiy tizimda iqlim xavfsizligini mustahkamlashga qaratilgan kompleks yondashuv hisoblanadi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, suv resurslarining kamayib borishi, ekin maydonlarini sug'orish imkoniyatining qisqarishi, yerlarning degradatsiyasi - kabi omillar agroiqtisodiy prognozlashda yangi, yanada ilg'or yondashuvlarni talab qilmoqda. Iqlim o'zgarishining qishloq xo'jaligiga ta'siri oddiy statistik ko'rsatkichlar bilan emas, balki vaqt o'tishi bilan yuzaga keladigan dinamik jarayonlar orqali ifodalanadi. Bu borada ekologiya, agronomiya, iqtisodiyot, geografiya va iqlimshunoslik sohalarining kesishgan nuqtalarida olib borilayotgan multidisiplinar tadqiqotlar alohida ahamiyat kasb etadi.

Iqlim o'zgarishi sharoitida qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida kuzatilayotgan tendensiyalarni faqat mavjud raqamlar orqali emas, balki iqtisodiy modellar, makro va mikro darajadagi resurs oqimlari,

ishlab chiqarish samaradorligi, hosildorlik dinamikasi hamda ijtimoiy-iqtisodiy omillar bilan uzviy bog'liq holda tahlil etish talab qilinadi. Bu esa iqtisodiy tahlil va prognozlashga asoslangan yondashuvlar, xususan, funksional bog'liqlikni aniqlovchi regressiya modellari, hamda noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish tizimlarini qo'llashni taqozo etmoqda.

Bunday ilmiy tadqiqotlar natijalari esa qishloq xo'lagi sohasida qarorlar qabul qilishda, iqlimga moslashish uchun turli strategiyalarni ishlab chiqishda va agrar sohaning barqarorligini ta'minlashda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Ayniqsa, iqlim o'zgarishi bilan bog'liq jarayonlar ko'p hollarda murakkab, dinamik va oldindan aniq prognozlash qiyin bo'lgan holatlarga ega bo'lganligi sababli, bu sohaga nisbatan qo'llaniladigan tahliliy vositalar ham mos ravishda moslashuvchan bo'lishi talab etiladi. Shu nuqtai nazardan, klassik ekonometrik modellarning aniqlik, chiziqlilik va statsionar muhit talab qiladigan xususiyatlari ma'lum darajada cheklovlar keltirib chiqaradi. Iqlim, suv resurslari, hosildorlik va boshqa agroekologik omillar o'rtasidagi munosabatlar ko'p hollarda noaniq, noaniqlik sharoitida qaror qabul qilishga asoslangan, to'liq statistik ma'lumotlar bilan ifodalanmaydigan tizimlar bo'lganligi sababli, fuzzy yondashuvlar ularga mos keluvchi kuchli vosita sifatida qaraladi.

Fuzzy differensial tenglamalar va boshqa yumshoq hisoblash texnologiyalari yordamida bu kabi tizimlarda mavjud bo'lgan lingvistik tavsiflar, ekspert baholari va qisman ma'lumotlarga asoslangan o'zgarishlar modellashtiriladi. Bu esa real sharoitda yuzaga keladigan kuzatuvga emas, tajribaga asoslangan bilimlarni modellashtirish imkonini beradi. Shu sababli, iqlim o'zgarishining qishloq xo'jaligiga ta'sirini chuqurroq tahlil qilishda klassik ekonometrik va fuzzy modellarni integratsiyalash, yoki ularni o'zaro taqqoslab qo'llash, real sharoitga mos, barqaror va ishonchli prognoz natijalarini olish imkonini beradi.

Yuqoridagi fikrlarni inobatga olib, ushbu maqolada shu ikki yondashuv-klassik ekonometrika va fuzzy differensial tenglamalar asosidagi ekonometrik model taqqoslanib amaliy va nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Maqsad - har ikki modelning afzalliklari va cheklovlarini o'rganish, prognoz natijalari ishonchliligini baholash, hamda real agroekologik sharoitda qaysi model qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini bashoratlashda ko'proq foydali ekanligini aniqlashdan iborat. Bunday tadqiqotlar natijalari esa qishloq xo'jaligida siyosiy qarorlar, resurslarni samarali rejalashtirish va iqlimga moslashuv strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar sharhi.

Tadqiqot mavzusiga oid ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, iqlim o'zgarishi, suv resurslarining kamayishi va uning qishloq xo'jaligi iqtisodiyotiga ta'siri bugungi kunda nafaqat ekologik, balki iqtisodiy va ijtimoiy barqarorlik bilan bog'liq muhim muammolardan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Xalqaro miqyosda olib borilgan tadqiqotlar iqlim o'zgarishi hosildorlikka ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri ekanini ko'rsatmoqda. Shuning uchun, bu jarayonni chuqur tahlil qilish va prognozlashda turli ilmiy yondashuvlar-jumladan, klassik ekonometrik modellardan tortib, fuzzy tizimlar va differensial tenglamalarga asoslangan modellar keng qo'llanilmoqda.

O'rganilgan adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, aksariyat tadqiqotlarda regressiya tahlili, eng kichik kvadratlar usuli, panel ma'lumotlar tahlili, vaqt qatorlari va stoxastik modellashtirish usullari yordamida iqlim omillari bilan qishloq xo'jaligi o'rtasidagi funksional bog'liqlik aniqlangan. Biroq bunday klassik yondashuvlar ko'pincha real agroekologik tizimlarning murakkabligi va noaniqliklarini to'liq aks ettira olmaydi. Ayniqsa, iqlim omillarining beqarorligi, geografik farqlar va resurslarga kirish imkoni bilan bog'liq tafovutlar tahlil jarayoniga sezilarli noaniqlik olib kiradi. Shu bois, so'nggi yillarda fuzzy mantiq va differensial tenglamalarga asoslangan noaniqlikni hisobga oluvchi modellar ilmiy tadqiqotlarda tobora ko'proq qo'llanilmoqda. Bu yondashuvlar muayyan matematik formulalarga bog'lanmagan, balki amaliy tajriba, ekspert baholari va ehtimoliy xulosalar asosida qaror qabul qilishga imkon beradi. Ular ayniqsa iqlim va ekinlar o'rtasidagi noaniq, chiziqli bo'lmagan bog'liqliklarni modellashtirishda samarali hisoblanadi.

Mamlakatimizda olib borilgan ilmiy izlanishlar ham ushbu global yondashuvlar bilan uyg'unlashib bormoqda. Mahalliy olimlar tomonidan paxta va g'alla singari strategik ekinlar

hosildorligiga iqlim omillarining ta'siri bo'yicha bir qancha tadqiqotlar amalga oshirilgan. Bu tadqiqotlarda ham klassik regressiya modellari qo'llanilgan bo'lsa-da, so'nggi yillarda fuzzy tizimlar va bashoratli modellardan foydalanish amaliyotga kirib kelmoqda. Ushbu tahlil qilingan adabiyotlar, keyingi bo'limlarda taqdim etiladigan iqtisodiy tahlil va prognozlash modelini tanlashda, shuningdek, turli yondashuvlarning afzallik va kamchiliklarini baholashda metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

Qishloq xo'jaligi hosildorligini prognozlashda turli yondashuvlar, jumladan fuzzy tizimlar, fuzzy differensial tenglamalar va klassik ekonometrik modellashtirish keng qo'llaniladi.

Jumladan, tadqiqotchilar Sharma va Bashir (2022) o'z tadqiqotida fuzzy tizimlar yordamida boshqali ekinlar hosildorligini bashorat qilishda noaniq ma'lumotlarni hisobga olish imkoniyatini ochib berishgan. Tadqiqotlarida kirish omillari sifatida ob-havo, tuproq xususiyatlari va agrotexnik parametrlar tanlashgan, va fuzzy inferensiya tizimi orqali hosildorlikning past, o'rta va yuqori qiymatlarini aniqlashgan. Natijada, fuzzy tizimlar murakkab va noaniq sharoitlarda aniqroq prognoz berishi aniqlangan.

Makhmudova (2024) esa ekonometrik yondashuvlar yordamida hosildorlikni bashorat qilishni tadqiq etgan, tadqiqotida regressiya modellarini qo'llagan. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, barqaror statistik ma'lumotlar mavjud bo'lganda ekonometrik modellar yuqori aniqlikka ega va qishloq xo'jaligi faoliyatini rejalashtirishda samarali qo'llanilishi mumkin.

Shuningdek, Yun (2022) hosildorlikni iqlim parametrlariga bog'liq holda prognozlash uchun panel ma'lumotlaridan foydalanib ekonometrik model ishlab chiqqan. Bu yondashuv esa og'ir sharoitli hududlarda hosildorlikning iqtisodiy samaradorligi va o'zgaruvchanligini aniqlash imkonini bergan.

Barakat (2025) va boshqalar esa bir nechta qishloq xo'jaligi ekinlari uchun gibrid mashina o'rganish modeli yaratgan, unda fuzzy logika bilan bir qatorda iqtisodiy omillar kiritilgan. Model natijalariga ko'ra, murakkab ko'rsatkichlar va iqtisodiy parametrlarni birlashtirish orqali hosildorlik prognozi ancha aniqlashgan.

Dhia (2021) va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotda ham fuzzy logika orqali boshqali ekinlar hosildorligini bashorat qilishda ob-havo va tuproq parametrlaridan foydalanilgan va bu usul prognozashtirishda o'z samarasini bergan.

Erdugdu va boshqalarning (2025) ilmiy izlanishlarida fuzzy logika algoritmlaridan foydalanilgan, ushbu tadqiqotda zamonaviy qishloq xo'jaligida narx-sifat-vaqt optimalizatsiyasi amalga oshirilgan. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, fuzzy tizimlar resurslarni samarali taqsimlash va iqtisodiy samaradorlikni oshirishda foydali hisoblanadi.

Bahromov (2021) tomonidan ekonometrik modellar yordamida hosildorlik va iqtisodiy samaradorlik o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganilgan hamda qishloq xo'jaligi faoliyatini rejalashtirishda aniqlikni oshirishga qaratilgan tadqiqot natijalari ijobiy bo'lgan.

Ushbu tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, fuzzy differensial tenglamalar va fuzzy tizimlar murakkab, o'zgaruvchan va noaniq sharoitlarda samaradorlikka ta'sir qiluvchi hosildorlik ko'rsatkichlarini aniqroq bashorat qiladi, ekonometrik yondashuvlar esa barqaror statistika mavjud bo'lganda aniq va iqtisodiy jihatdan ishonchli prognoz beradi. Shu bilan birga, iqtisodiy omillarni (yer, suv, mehnat, texnologiya) fuzzy tizimlarga qo'shish prognoz aniqligini oshirishga yordam beradi va qishloq xo'jaligi resurslarini samarali boshqarish imkonini yaratadi.

Tadqiqot metodologiyasi.

Qishloq xo'jaligi hosildorligini prognozlashda Fuzzy differensial tenglamalar va klassik ekonometrik modellashtirish yondashuvlarini tahlil qilish uchun ularning matematik tuzilishi, o'zgaruvchilar o'rtasidagi bog'lanish, parametrlar va bashorat algoritmlari batafsil o'rganildi. Fuzzy differensial tenglamalar modeli noaniqlikni ifodalashga mo'ljallangan bo'lib, hosildorlik

jarayonidagi o'zgaruvchan omillarni fuzzy to'plamlar va a'zolik funksiyalari orqali matematik shaklda aks ettiradi. Shu yondashuv quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{d\tilde{Y}(t)}{dt} = \tilde{f}(t, \tilde{Y}(t)), \quad \tilde{Y}(0) = \tilde{Y}_0 \quad (1)$$

bu yerda $\tilde{Y}(t)$ – t vaqtdagi hosildorlikning fuzzy qiymati, $\tilde{f}(t, \tilde{Y}(t))$ – hosildorlikka ta'sir etuvchi omillarni ifodalovchi fuzzy funksiyasi, $\tilde{Y}(0)$ – boshlang'ich fuzzy qiymat. Fuzzy differensial tenglamalar yordamida model qurilganda α darajadagi kesmalar orqali hosildorlikning past, o'rta va yuqori qiymatlari aniqlanadi va quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$[\tilde{Y}(t)]^\alpha = [Y_L^\alpha(t), Y_U^\alpha(t)], \quad \alpha \in [0,1] \quad (2)$$

Ekonometrik modellashtirishda esa deterministik va statistik yondashuvlarga tayangan holda, hosildorlikni vaqt bo'yicha quyidagi regressiya tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_n X_{nt} + \varepsilon_t \quad (3)$$

bu yerda Y_t – t vaqtdagi hosildorlik, X_{nt} – hosildorlikka ta'sir etuvchi omillar (masalan, yer maydoni, sug'orish, o'g'it miqdori, iqtisodiy omillar, iqlim parametrlar), β_n – regressiya koeffitsientlari, ε_t – tasodifiy xatolik. Bashorat qilingan qiymat $\tilde{Y}(t)$ orqali hosildorlikning prognoz natijalari quyidagi ifoda orqali olinadi:

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1t} + \dots + \hat{\beta}_n X_{nt} \quad (4)$$

Har ikki yondashuvning mohiyati, afzallik va cheklovlari mantiqan solishtirilib, qaysi sharoitda qaysi model samaraliroq ekanligini tushuntiradigan bo'lsak, avval o'tkazilgan tadqiqotlar va ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, fuzzy differensial tenglamalar yordamida qurilgan modellar noaniq va o'zgaruvchan sharoitlarda, jumladan ishchi kuchi, iqlim, tuproq unumdorligi va suv ta'minoti kabi omillar bilan bog'liq jarayonlarda yuqori samaradorlik ko'rsatadi, ekonometrik modellar esa barqaror statistik ma'lumot mavjud bo'lganda aniqroq natijalar beradi. Shuningdek, deduktiv va induktiv fikrlash usullar yordamida, tadqiqotchilar tomonidan avval olib borilgan tadqiqot natijalari o'rganildi, bu esa modellarni solishtirish va ularning qishloq xo'jaligi hosildorligini prognozlashdagi samaradorlikni baholash imkonini berdi. Shunday qilib, fuzzy differensial tenglamalar va ekonometrik yondashuvlarning matematik, strukturaviy va amaliy jihatlarini tahlil qilish jarayonida, ularning qo'llanish holatlari o'rganildi bu esa keyingi tadqiqotlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Tahlil va natijalar muhokamasi.

Qishloq xo'jaligi samaradorligiga bevosita ta'sir qiluvchi hosildorlik ko'rsakichini prognozlashda klassik ekonometrika hamda fuzzy differensial tenglamalar yondashuvi asosidagi ekonometrik modellardan olingan tahlil natijalarini bir-biri bilan o'zaro solishtirib chiqamiz. Buning uchun fermer xo'jaligi tomonidan yetishtirilayotgan paxta hosildorligi dinamikasini belgilovchi mavjud omillar orasidagi bog'liqlikni ekonometrik baholash maqsadida ko'p omilli chiziqli regressiya tenglamasini tuzamiz. Tahlil uchun fermer xo'jaligi tomonidan 2014-2025 yillar oralig'ida yetishtirilgan paxta hosildorligining statistik ma'lumotlardan foydalanildi. Bunda natijaviy omil sifatida paxta hosildorligi va unga ta'sir etuvchi omillar sifatida esa suv ta'minoti va mineral o'g'it miqdori olindi. Paxta hosildorligi Y - natijaviy omil, X_1 - suv ta'minoti va X_2 - mineral o'g'it sarfi sifatida keltirilgan. Modelni eng kichik kvadratlar usuli yordamida quyidagi ko'rinishda quramiz.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (5)$$

Eng kichik kvadratlar usuli qo'llanilishidan avval, barcha oraliq kvadratik yig'indilar va o'zaro ko'paytmalar hisoblab chiqildi (1-jadval).

1-jadval

Fermer xo'jaligining paxta hosildorligiga ta'sir qiluvchi ko'rsatkichlar

Yil	Paxta hosildorligi (Y)	Suv ta'minoti indeksi (X ₁)	O'g'it miqdori, kg/ga (X ₂)	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ · X ₂	X ₁ · Y	X ₂ · Y	Y ²
2014	26.1	1.0	195	1.00	38025	195.0	26.10	5089.5	681.2
2015	26.4	1.1	205	1.21	42025	225.5	29.04	5412.0	697.0
2016	26.0	0.9	210	0.81	44100	189.0	23.40	5460.0	676.0
2017	27.2	1.0	215	1.00	46225	215.0	27.20	5848.0	739.8
2018	25.9	0.8	220	0.64	48400	176.0	20.72	5698.0	670.8
2019	26.8	1.0	230	1.00	52900	230.0	26.80	6164.0	718.2
2020	23.5	0.6	240	0.36	57600	144.0	14.10	5640.0	552.3
2021	28.1	1.1	250	1.21	62500	275.0	30.91	7025.0	789.6
2022	29.7	0.9	265	0.81	70225	238.5	26.73	7870.5	882.1
2023	31.4	0.7	280	0.49	78400	196.0	21.98	8792.0	986.0
2024	33.5	1.0	295	1.00	87025	295.0	33.50	9882.5	1122.3
2025	35.8	0.9	310	0.81	96100	279.0	32.22	11098.0	1281.6
Summa Σ	340.4	11.0	2915	10.34	723525	2658.0	312.70	83979.5	9876.9

Jadval ma'lumotlaridan foydalanib model koefitsientlarini quyidagi normal tenglamalar sistemasini yechish orqali topamiz.

$$\begin{cases} 12\beta_0 + 11\beta_1 + 2915\beta_2 = 340.4 \\ 11\beta_0 + 10,34\beta_1 + 2658\beta_2 = 312.7 \\ 2915\beta_0 + 2658\beta_1 + 723525\beta_2 = 83979.5 \end{cases}$$

Ushbu tenglamalar sistemasini Kramer usulidan foydalanib yechimlarini topamiz. Natijada yechimlarning butun qismidan keyingi besh xona son aniqligida $\beta_0 = 10.73318$, $\beta_1 = 3.20786$, $\beta_2 = 0.06017$ ga teng ekanligi kelib chiqdi. Bundan esa topilgan qiymatlarni yaxlitlagan holda quyidagi regressiya tenglamasini hosil qilamiz

$$Y = 10.8 + 3.2X_1 + 0.062X_2.$$

Tenglama koefitsientlarining iqtisodiy talqini shuni ko'rsatadiki, suv ta'minoti indeksining 0.1 birlikka ortishi hosildorlikni o'rtacha 0.32 s/ga ga, mineral o'g'it sarfining 10 kg/ga ga oshishi esa hosildorlikni 0.62 s/ga ga ko'paytiradi. Hisoblashlar natijasida modelning determinatsiya koefitsienti $R^2 = 89.7$ ga teng ekanligi kelib chiqdi, bu tanlangan omillar hosildorlik variatsiyasini 89.7% darajada tushuntirib berishini anglatadi. Regressiya tenglamasining ishonchliligi Fisherning F -mezoni yordamida tekshirildi. Hisoblangan $F_{his} = 39.2$ qiymati jadvaldagi $F_{jad} = 4.26$ dan sezilarli darajada yuqori ekanligi ($F_{jad} < F_{his}$) modelning 95% ishonchlilik darajasida adekvat ekanligini anglatadi. Biroq, qoldiqlar tahlili shuni ko'rsatdiki, klassik ekonometrik model kutilmagan o'zgaruvchan omillar natijasida katta xatolikka yo'l qo'yadi. Xususan, 2020-yildagi keskin suv tanqisligi sharoitida model prognozi 27.6 s/ga va real ko'rsatkich 23.5 s/ga o'rtasidagi farq 4.1 s/ga ni tashkil etdi. Bu holat qishloq

xo'jaligida faqat statistik trendlarga tayanish yetarli emasligini, noaniqlik mavjud bo'lgan omillarni hisobga oluvchi dinamik modellarga ehtiyoj mavjud.

Yuqorida topilgan klassik ekonometrik model $Y = f(X_1, X_2)$ ko'rinishida bo'lib, ushbu model jarayonni statik baholaydi. Biroq, qishloq xo'jaligi sohasida samaradorlikka ta'sir qiluvchi hosilni yetishtirishdagi vegetatsiya davri uzluksiz o'zgaruvchan dinamik jarayon bo'lib, ushbu jarayonda hosildorlikni ekonometrik tahlil qilish uchun fuzzy differensial tenglamalar yondashuvi muhim ahamiyatga ega. Shuni inobatga olib noaniqlik sharoitida ekonometrik tahlilni amalga oshirish maqsadida ushbu fuzzy yondashuv usuli uchun quyidagi tenglamadan foydalanamiz

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot y(t), \quad y(0) = y_0 \tag{6}$$

Bu yerda $y(t)$ – vaqt bo'yicha hosildorlikning o'zgarishi, k – o'sish sur'ati.

k koeffitsient X_1 – suv va X_2 – o'g'it kabi omillarning ta'sirida shakllanadi va u tabiatan noaniq (fuzzy) xususiyatga ega. Klassik ekonometrik modelda aniqlangan $\beta_1 = 3.2$ koeffitsient ideal sharoitlarda o'zining aniq ta'sir kuchini ko'rsata oladi lekin, noaniqlik sharoitida unday emas. Model xatoligi ($1 - R^2 = 10.3\%$) ushbu $\beta_1 = 3.2$ koeffitsient atrofidagi noaniqlik diapazonini belgilaydi. Suv ta'minoti koeffitsientini β_1 ni $L - R$ tipli uchburchakli fuzzy son ya'ni, \hat{b}_1 ko'rinishida quyidagicha ifodalab olamiz:

$$\hat{b}_1 = (L_1, M_1, R_1) = (2.87, 3.2, 3.53)$$

Bu yerda:

$M_1 = 3.2$ (ekonometrik hisoblangan eng ehtimolli qiymat);

L_1, R_1 – noaniqlik chegaralari (3.2 ning $\pm 10\%$ diapazoni).

Hosildorlik o'sishini quyidagi fuzzy differensial tenglama orqali ifodalab olamiz.

$$\frac{dY}{dt} = k \cdot Y(t) \tag{7}$$

Bunda k – yuqoridagi fuzzy koeffitsientlar asosida aniqlangan o'sish sur'ati bo'lib, ushbu tenglamani α – kesimlar usulida yechish uchun $\alpha \in [0, 1]$ parametrini kiritamiz. Har bir α darajasi uchun kutilayotgan hosildorlikning intervali $[Y_L(\alpha), Y_R(\alpha)]$ quyidagicha aniqlanadi:

1. Chap chegara (quyi prognoz): $Y_L(t, \alpha) = Y_0 \cdot e^{(2.88+0.32\alpha)t}$
2. O'ng chegara (yuqori prognoz): $Y_R(t, \alpha) = Y_0 \cdot e^{(3.52-0.32\alpha)t}$

2026-yil uchun klassik ekonometrik model bergan natija 33.68 s/ga) FDTda quyidagi "noaniqlik oralig'i"ga aylanadi.

2-jadval.

Hosildorlik ko'rsatkichlarining noaniqlik oraliqlari

α – ishonchlilik darajasi	Pastki chegara (Y_L)	Markaz (Y_M)	Yuqori chegara (Y_R)	Izoh
$\alpha = 0$	30.3 s/ga	33.7 s/ga	37.1 s/ga	Maksimal noaniqlik (xatar yuqori)
$\alpha = 0.5$	32.0 s/ga	33.7 s/ga	35.4 s/ga	O'rtacha barqarorlik
$\alpha = 1$	33.7 s/ga	33.7 s/ga	33.7 s/ga	Ekonometrik aniq nuqta

Ushbu tahlil shuni ko'rsatadiki, klassik ekonometrik modeldagi $\beta_1 = 3.2$ koeffitsienti faqat ideal (o'rtacha) sharoitda o'zini oqlaydi. Yuqoridagi ekonometrik modelda 2020-yilgi real hosildorlik ko'rsatkichi (23.5 s/ga) ekonometrik model orqali hisoblangandagi prognozida xatolik yuzaga kelgan edi. Fuzzy differensial tenglama yondashuvi asosidagi ekonometrik modellashtirishda esa bu ko'rsatkich $\alpha = 0$ darajasidagi pastki chegaraga yaqinlashadi.

Bundan xulosa qilish mumkinki, noaniqlik sharoitida fuzzy differensial tenglamalar yondashuvi asosidagi model klassik ekonometrik model bera olmaydigan "xavfsizlik oralig'i"ni ta'minlaydi. Bu esa qishloq xo'jaligi sohasida noaniq ko'rsatkichlarga ega bo'lgan omillar ta'sirida yuzaga keladigan eng yomon holatlarga ham tayyor turish imkonini beradi.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, hosildorlikni prognozlashtirishda fuzzy differensial tenglamalar yordamida qurilgan ekonometrik model ob-havo, tuproq unumdorligi va suv ta'minoti kabi o'zgaruvchan omillar ta'sirida hosildorlikning noaniqlik diapazonini samarali qamrab oladi. Shu bilan birga, iqtisodiy omillar urug' narxi, o'g'it xarajatlari, mehnat resurslari va bozor sharoiti kabi o'zgaruvchan parametrlar modelga kiritilganda, hosildorlik prognozi yanada aniqroq va qaror qabul qilishga mos bo'ladi. Fuzzy differensial tenglamalar modeli interval bashoratlari orqali noaniqlikni qamrab olish imkonini beradi va o'zgaruvchan sharoitlarda moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Klassik ekonometrik regressiya modeli esa hosildorlikni aniq bashoratlash imkoniyatini beradi. Ushbu model barqaror statistik ma'lumot mavjud bo'lgan sharoitlarda yuqori aniqlikni ta'minlasa-da, o'zgaruvchan yoki noaniq sharoitlarda ishonchligi pastroq bo'ladi.

Tahlil natijalariga ko'ra, fuzzy differensial tenglamalar modeli haqiqiy hosildorlik qiymatlarini interval doirasida yuqori darajada qamrab oladi, shu bilan birga, iqtisodiy omillar kiritilganda hosildorlik bashoratlari yanada aniqlashadi. Ekonometrik model esa barqaror davrlarda aniqroq bashoratlari beradi, ammo noaniq yoki o'zgaruvchan sharoitlarda fuzzy differensial tenglamalar yordamida qurilgan modelga qaraganda moslashuvchanligi pastroq bo'ladi.

Mavjud xolatga qarab model qurish usullarini tanlash va ularning qishloq xo'jaligi hosildorligini prognozlashdagi samaradorligini nazariy va amaliy jihatdan baholash imkonini beradi.

Xulosa va takliflar.

Ushbu maqolamizda qishloq xo'jaligining iqtisodiy samaradorligiga ta'sir qiluvchi hosildorlikni prognozlashda fuzzy differensial tenglamalar va klassik ekonometrik modellashtirish yondashuvlarini o'zaro solishtirish orqali tahlil qilishga harakat qildik.

Tadqiqot davomida olingan quyidagi ko'p omilli regressiya modeli $Y = 10.8 + 3.2X_1 + 0.062X_2$ hosildorlik jarayonini 89.7% aniqlik bilan tushuntirib beradi. Bu esa tanlangan suv va o'g'it omillari paxta hosildorligini oshirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, suv ta'minoti indeksi X_1 hosildorlikka eng kuchli ta'sir ko'rsatuvchi omil hisoblanadi. Suv ta'minotining har bir birlikka yaxshilanishi hosildorlikni 3.2 s/ga ga oshiradi. Mineral o'g'itlar X_2 esa qo'shimcha barqarorlikni ta'minlab, har bir kg uchun hosildorlikni 0.06 s/ga ga ko'paytirish imkonini beradi.

Klassik ekonometrik modelning 10.3% lik xatoligi qishloq xo'jaligidagi kutilmagan iqlimiy va boshqa o'zgaruvchan omillarga ham bog'likligini anglatadi. Fuzzy differensial tenglamalar yordamida ushbu noaniqlikni "interval prognoz" ko'rinishiga keltirish, klister va fermer xo'jaliklariga eng yomon ssenariyda ham (masalan, $\alpha = 0$ darajasida) hosildorlikning pastki chegarasini (masalan, 30.3 s/ga) oldindan ko'rish imkonini beradi.

Shuningdek, suv tanqisligi kutilayotgan yillarda (indeks 0.8 dan past bo'lganda), hosildorlik pasayishini kompensatsiya qilish uchun mineral o'g'itlash me'yori modelda ko'rsatilgan nisbatda har 0.1 birlik suv tanqisligi uchun o'g'it miqdorini taxminan 5-6 kg ga

oshirish tavsiya etiladi. Qishloq xo'jaligida klasterlar o'z biznes-rejalarini tuzishda faqatgina ekonometrik "nuqtali" prognozga emas, balki fuzzy yondashuv asosida ishlab chiqilgan "oraliq" prognozlarga tayanish ham maqsadga muvofiq. Bu qishloq xo'jaligidagi yuz berishi mumkin bo'lgan kutilmagan xatarlarni oldini olishga yordam beradi.

Adabiyotlar/ Jumepamypa/References:

Bahromov, S. (2021) 'Forecasting the prospects of agricultural production through econometric modeling of productivity indicators', Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 9(6), pp. 158–161.

Barakat, S. et al. (2025) 'A hybrid machine learning model for predicting agricultural multi-crop yield', ScienceDirect.

Dhia, Sh., Maulidan, M.H., Satrio, M., Wijayanyo, A. et al. (2021) Application of fuzzy logic to predict rice production quantity in Bogor Regency Area.

Erdugdu, A. et al. (2025) 'Combining fuzzy logic and genetic algorithms to optimize cost-time-quality in modern agriculture', Sustainability, 17(7), 2829.

Makhmudova, N.R. (2024) 'Econometric studies in forecasting increased yield', E3S Conferences.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Sh.M. Mirziyoyev (2024) Oliy Majlisga Murojaatnoma. Toshkent.

O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi vazirligi (2023) 2023–2030 yillarda qishloq xo'jaligini rivojlantirish strategiyasi. Toshkent.

Sharma, N. and Bashir, A. (2022) 'Enhanced rice crop yield prediction through fuzzy logic modeling', International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 10(10), pp. 168–172.

Yun, S.D. (2022) 'Spatial panel models of crop yield response to weather: Econometric specification strategies and prediction performance', Journal of Agricultural & Applied Economics.