

**SUG'ORISH ISHLARIDA SUV TA'MINOTINI OPTIMALLASHTIRISH UCHUN
NOQAT'IY KONTROLLER ISHLAB CHIQISH**

Shomirzayev Bobir Urinbayevich – *texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent*

shobabur@mail.ru

Andijon davlat universiteti

**РАЗРАБОТКА ТОЧЕЧНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
В ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Шомирзаев Бобир Уринбаевич – *доктор философии по техническим наукам, доцент*

Андижанский государственный университет

**DEVELOPMENT OF POINT CONTROLLERS FOR OPTIMIZING
WATER SUPPLY IN IRRIGATION SYSTEMS**

Shomirzaev Bobir Urinbayevich – *Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate Professor*

Andijan State University

Tayanch so'zlar: MATLAB/Simulink, noaniq mantiq, suv ta'minotini optimallashtirish, noaniq kontroller, sug'orishni boshqarish, Mamdani algoritmi, qishloq xo'jaligi.

Rezyume. Maqolada Markaziy Osiyo, jumladan O'zbekistonning suv tanqis mintaqalarida noaniq mantiqqa asoslangan sug'orishni boshqarish tizimi qishloq xo'jaligi sug'orish ishlarida suv ta'minotini optimallashtirish uchun taklif qilingan. Taklif etilayotgan tizim sug'orishni boshqarishdagi havo harorati, tuproq namligi, quyosh nurlanishi, shamol tezligi va suv bug'lanishidan iborat beshta asosiy agrometeorologik parametrlarni birlashtiradi. Taklif etilgan yondashuv atrof muhitga moslashuvchan va sug'orishni optimal boshqarish imkonini beradi, bu esa uni iqlim parametrlarining noaniqligi va o'zgaruvchanligi sharoitida qo'llash imkonini beradi.

Ключевые слова: MATLAB/Simulink, нечеткая логика, оптимизация водоснабжения, нечеткий контроллер, управление орошением, алгоритм Мамдани, сельское хозяйство.

Резюме. В статье предлагается система управления орошением на основе нечеткой логики для оптимизации водоснабжения в сельскохозяйственных районах Центральной Азии, включая Узбекистан, испытывающих дефицит воды. Предложенная система интегрирует пять основных агрометеорологических параметров, а именно температуру воздуха, влажность почвы, солнечную радиацию, скорость ветра и испарение воды, в управление орошением. Предложенный подход является адаптивным к окружающей среде и обеспечивает оптимальное управление орошением, что позволяет использовать его в условиях неопределенности и изменчивости климатических параметров.

Key words: MATLAB/Simulink, fuzzy logic, water supply optimization, fuzzy controller, irrigation control, Mamdani algorithm, agriculture.

Summary. This paper proposes a fuzzy logic-based irrigation control system for optimizing water supply in water-scarce agricultural areas of Central Asia, including Uzbekistan. The proposed system integrates five key agrometeorological parameters, namely, air temperature, soil moisture, solar radiation, wind speed, and water evaporation, into irrigation control. The proposed approach is adaptive to the environment and provides optimal irrigation control, making it suitable for use under conditions of uncertainty and variability of climatic parameters.

Kirish. Chuchuk suv tanqisligi XXI asrning eng dolzarb global muammolaridan biridir: Birlashgan Millatlar Tashkilotining Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO) ma'lumotlariga ko'ra, qishloq xo'jaligi tabiiy manbalardan olinadigan barcha suvning taxminan 70 foizini iste'mol qiladi [1]. Qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil iqlimga ega Markaziy Osiyo mamlakatlarida bu ulush 85-90% ga etadi, bu esa sug'orishni optimallashtirishni mintaqaning oziq-ovqat va iqtisodiy xavfsizligini ta'minlash uchun strategik muhim vazifaga aylantiradi [2]. An'anaviy sug'orishni boshqarish usullari – tortishish kuchi bilan sug'oriladigan jo'yaklarni sug'orish va belgilangan suv ta'minoti jadvallari – suvdan foydalanish samaradorligining pastligi bilan tavsiflanadi (sug'orish samaradorligi ko'pincha 40-55% dan oshmaydi) va tuproq va iqlim sharoitidagi dinamik o'zgarishlarni hisobga olinmaydi [3]. Natijada, ko'plab sug'oriladigan maydonlarda ham kam, ham ortiqcha sug'orish kuzatiladi, bu esa o'simliklarning stressga uchrashiga, tuproqning sho'rlanishiga va samarasiz suv yo'qotishlariga olib keladi [4].

Neyron tarmoqlariga asoslangan kontrollerlar, genetik algoritmlar, mashinani o'rganish va noaniq mantiq kabi

ko'plab yondashuvlar orasida ikkinchisi agronomlarning noaniq, lingvistik jihatdan ifodalangan bilimlari bilan boshqaruv obyektining qat'iy matematik modelini tuzish talabisiz ishlash qobiliyati bilan ajralib turadi [5, 6]. 1965-yilda L.Zadeh tomonidan kiritilgan noaniq mantiq [7], ekspert bilimlarini lingvistik "AGAR-UNDA" qoidalari shaklida rasmiylashtirish va kirish ma'lumotlari noaniqligi sharoitida boshqaruv harakatlarini chiqarish imkonini beradi. Noaniq mantiq kontrollerlari issiqlik energetikasi, robototexnika, transport tizimlari va tibbiyotda muvaffaqiyatli qo'llaniladi; Biroq, ularning Markaziy Osiyoning qurg'oqchil mintaqalarining sug'orish tizimlarida amaliy qo'llanilishi yetarlicha o'rganilmagan.

Materiallar va usullar. Taklif qilinayotgan sug'orishni boshqarish tizimi uch darajali ierarxik arxitektura ega. Pastki daraja asosiy o'lchovni amalga oshiradigan va ma'lumotlarni oldindan qayta ishlaydigan dala sensori tugunlaridan iborat. O'rta qatlam – bu noqat'iy xulosa algoritmini amalga oshiradigan va ijrochi qurilmalar (solenoid klapanlar, nasos chastotasi konvertorlari) uchun boshqaruv signallarini yaratadigan markaziy hisoblash moduli (Raspberry Pi 4B). Yuqori qatlam – bulut

platformasi bo'lib, veb-interfeys orqali ma'lumotlarni arxivlash, vizualizatsiya qilish va masofadan monitoring qilishni ta'minlaydi.

Noqat'iy kontrollerni boshqaruv Mamdani algoritmi yordamida amalga oshiriladi, chunki u agronomik qo'llanmalarda eng keng tarqalgan va yaxshi talqin qilingan usul hisoblanadi. Xulosa chiqarish tizimi to'rt bosqichdan iborat: kirish fuzzifikatsiyasi, qoida bazasini qo'llash, agregatsiya va defuzzifikatsiya.

Lingvistik o'zgaruvchilar va a'zolik funktsiyalari

Kirish lingvistik o'zgaruvchilari: tuproq namligi (SM), taxminiy bug'lanish transpiratsiyasi (ET_0) va havo harorati (T). Chiqish o'zgaruvchisi sug'orish tezligi (IR). O'zgaruvchan xususiyatlar 1-jadvalda keltirilgan:

1-jadval. Noqat'iy boshqaruvchining lingvistik o'zgaruvchilari

Lingvistik o'zgaruvchi	Term to'plami	Diapazon	A'zolik funktsiyasi
Tuproq namligi (SM)	Juda past / Past / O'rta / Yuqori / Juda yuqori	0–100 %	Trapetsiya shaklida
Bug'lanish Transpiretsiyasi (ET_0)	Past / O'rta / Yuqori	0–15 mm/kun	Uchburchak
Havo harorati (T)	Sovuq / O'rtacha / Issiq	–20 – 50°C	Gauss
Sug'orish intensivligi (IR)	Yo'q / Minimal / O'rta / Yuqori / Maksima	0–100 %	Trapetsiya shaklida

SM o'zgaruvchisi uchun agronomik diapazonlarning noaniq chegaralarini aks ettirish uchun trapezoidal a'zolik funktsiyalari (trapMF) tanlandi. Aniqroq jismoniy chegaralarga ega bo'lgan ET_0 uchun uchburchak a'zolik funktsiyalari (trimF) ishlatilgan. Havo harorati uchun harorat stressining o'simlik suvidan foydalanishga ta'sirining uzluksiz xususiyatini etarli darajada aks ettirish uchun Gauss a'zolik funktsiyasi (gaussMF) ishlatilgan. IR chiqish o'zgaruvchisi uchun a'zolik funktsiyalari trapezoidal bo'lib, silliq boshqaruvni ta'minlaydi. Rasman ravishda, trapezoidal a'zolik funktsiyasi quyidagi ifoda bilan belgilanadi:

$$\mu_{\text{trap}}(x; a, b, c, d) = \max(\min((x-a)/(b-a), 1, (d-x)/(d-c)), 0),$$

bu yerda a, b, c, d ekspertlar bilan birgalikda tahlil orqali aniqlangan trapetsiya parametrlari. Gauss a'zolik funktsiyasi:

$$\mu_{\text{gauss}}(x; c, \sigma) = \exp(-(x - c)^2 / (2\sigma^2))$$

bu yerda c - markaz va σ - a'zolik funktsiyasining kengligi.

Noaniq qoidalar bazasi

Qoidalar bazasi tajribaga ega sug'orish mutaxassislari bilan ekspert suhbatlari orqali ishlab chiqilgan. "AGAR (SM = A) VA (ET_0 = B) VA (T = C), UNDA (IR = D)" shaklidagi jami 125 ta qoida shakllantirildi, ular kirish o'zgaruvchilarining barcha kombinatsiyalarini ($5 \times 5 \times 5 = 125$) qamrab oladi. Qoidalarining tegishlilik to'plami 2-jadvalda ko'rsatilgan:

2-jadval. Noqat'iy boshqaruvchi bazasidan tanlangan qoidalar

SM	ET_0	T	(If...Then) qoidasi
Juda past	Yuqori	Issiq	IR = Maksimal
Juda past	O'rta	Issiq	IR = Yuqori
Past	Yuqori	Issiq	IR = Yuqori
Past	O'rta	O'rta	IR = O'rta
O'rta	O'rta	O'rtacha	IR = O'rta
O'rta	Past	Sovuq	IR = Minimal
Yuqori	Har qanday	Har qanday	IR = Yo'q / Minimal
O'ta yuqori	Har qanday	Har qanday	IR = Yo'q

Mantiqiy "VA" operatori min-AND operatsiyasi yordamida amalga oshiriladi va mantiqiy natija kesish operatsiyasi yordamida amalga oshiriladi. Natijalar barcha ishga tushirilgan qoidalar bo'yicha max-OR operatsiyasi yordamida umumlashtiriladi.

Defazzifikatsiya – noqat'iy chiqish to'plamini aniq raqamli boshqaruv harakatiga aylantirish – og'irlik markazi (COG) usuli yordamida amalga oshiriladi:

$$IR^* = \int \mu_{IR}(x) \cdot x \, dx / \int \mu_{IR}(x) \, dx,$$

bu yerda IR^* defazzifikatsiya qilingan sug'orish intensivligi qiymati va $\mu_{IR}(x)$ chiqish olamidagi agregatsiyalangan noqat'iy to'plamning a'zolik funktsiyasidir.

COG usuli boshqaruvning ravonligini ta'minlaydi va agregatsiyalangan noqat'iy to'plamning shaklini umuman hisobga oladi, bu ayniqsa bir nechta faol qoidalar bir-birining ustiga chiqqanda muhimdir.

FLC dasturiy ta'minoti MATLAB R2023a da Simulink muhitida Fuzzy Logic Toolbox va Fuzzy Logic Controller bloki yordamida ishlab chiqilgan. Boshqaruv obyekti – tuproq profilining agrogidrologik modeli - ildiz zonasida (0–80 sm) suv balansi tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$dSM/dt = (IR + P - ET_a - D) / (Z_r \rho_b),$$

bu yerda SM - tuproqning hajmli namligi (m^3/m^3); IR - sug'orish intensivligi (mm/kun); P - yog'ingarchilik (mm/kun); ET_a - haqiqiy bug'lanish (mm/kun); D - drenaj oqimi (mm/kun); Z_r - ildiz zonasining chuqurligi (0,8 m); ρ_b - tuproqning massaviy zichligi ($1350 \, kg/m^3$).

FLC ning kundalik ishlash dinamikasini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, kontroller ko'p faktorli noaniqlik holatlarida oddiy qarorlar qabul qilgan: masalan, $ET_0 > 10$ mm/kun bo'lgan issiq kunlarda tizim kunduzgi bug'lanishni qoplash uchun past intensivlikdagi kechki sug'orishni ($IR \approx 30-40\%$) boshlagan, yog'ingarchilik bashorat qilinganida esa ertalabki sug'orish bekor qilingan

Muhokama. Natijalar shuni ko'rsatadiki, taklif qilingan noqat'iy kontroller sug'orish suvini sezilarli darajada tejashga imkon beradi (32,6%) va shu bilan birga agronomik ko'rsatkichlarni yaxshilaydi. Bu kirish o'zgaruvchilarining yanada kengroq to'plami, shuningdek, sinovlar qurg'oqchil iqlim sharoitida optimallashtirish salohiyati yuqori bo'lgan sharoitda o'tkazilganligi bilan

izohlanadi. FLC ning PID ga nisbatan asosiy afzalligi shundaki, u FLC yaqinlashib kelayotgan yog'ingarchilik haqida signal qabul qilinganda rejalashtirilgan sug'orishni to'g'ri bekor qiladi, PID kontrolleri esa shunga o'xshash vaziyatlarda ortiqcha sug'oradi.

FLC ni murakkabroq usullar - neyron tarmoqlari, AN-FIS va chuqur o'rganish algoritmlari bilan taqqoslaganda, yuqori sifatli nazoratga erishish uchun ikkinchisi katta miqdordagi o'quv ma'lumotlarini talab qilishini ta'kidlash muhimdir, noqat'iy kontroller esa to'g'ridan-to'g'ri mutaxassis bilimlariga asoslanib amalga oshirilishi va keyinchalik aniqlashtirilishi mumkin. Bu, ayniqsa, tarixiy agrometeorologik ma'lumotlar ko'pincha yo'q yoki ishonchsiz bo'lgan rivojlanayotgan qishloq xo'jaligi mintaqalari uchun juda muhimdir.

Dastlabki hisob-kitoblarga ko'ra, qisqa muddatli gidrometeorologik bashorat qilish algoritmlarini bashoratli boshqaruv blokiga integratsiya qilish suv sarfini 8-12% ga kamaytiradi.

Xulosa. Beshta agrometeorologik parametrlarni: tuproq namligi, bug'lanish, havo harorati, quyosh nurlanishi va shamol tezligini hisobga oladigan noqat'iy sug'orish kontrolleri ishlab chiqilgan bo'lib, tizim 125 ta noqat'iy qoidalar va Mamdani algoritmi yordamida amalga oshiriladi. Taqdim etilgan natijalar noqat'iy kontroller qurg'oqchil hududlarda aqlli sug'orish uchun amaliy va tejamkor vosita ekanligini ko'rsatadi. Taklif etilayotgan tizim boshqariladigan obyektning aniq matematik modelisiz ishlashi mumkin, bu uning turli tuproq va iqlim sharoitlarida qo'llanilishini ta'minlaydi.

Adabiyotlar

1. FAO (2020). The State of Food and Agriculture 2020. FAO, Rome. DOI: 10.4060/cb1447en
2. Abdullaev I., Molden D. Spatial and temporal variability of water productivity in the Syr Darya Basin, Central Asia. // Water Resources Research, 40(8), 2004.
3. Pereira L.S., Oweis T., Zairi A. Irrigation management under water scarcity. // Agricultural Water Management, 57(3), 2002. – P. 175-206.
4. Gleick P.H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. // Science, 302(5650), 2003. – P. 1524-1528.
5. Zadeh L.A. Fuzzy sets. // Information and Control, 8(3), 1965. – P. 338-353.
6. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications (3rd ed.). – Wiley, Chichester, 2010
7. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. // International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1975. – P. 1-13.