

QISHLOQ XO'JALIGI YERLARIDA YER TUZISH LOYIHALARINI OPTIMALLASHTIRISHDA GPS-GEODEZIYA TARMOG'I ASOSIDA YONDASHUV

Amonov Anvar Ro'ziqulovich

erkin tadqiqotchi.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16838299>

Annotatsiya. Qishloq xo'jaligida yer tuzish loyihalarini optimallashtirish er resurslarini samarali boshqarish, ishlab chiqarishni barqaror oshirish va ekologik muvozanatni saqlashga xizmat qiladi. Mamlakatimizda traktorlar va boshqa qishloq xo'jaligi texnikalarini yuqori aniqlikda boshqarish hamda maydonlar chegarasini aniq belgilash zarurati ortmoqda. Bu maqolada GPS-geodeziya tarmoqlarining imkoniyatlari ko'rib chiqilib, RTK (Real-Time Kinematic) va PPP (Precise Point Positioning) kabi usullar, tarmoqni loyihalashning asosiy talablari, yer konsolidatsiyasi va ekologik monitoringda masofadan zondlash texnologiyalarining qo'llanilishi tahlil qilindi. Tahlil natijalari GPS asosidagi geodeziya tarmoqlarini ratsional rejalashtirish va qishloq xo'jaligi yerlarida yer tuzish loyihalarini yanada samarali tashkil etish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqishga yordam beradi.

Kalit so'zlar: GPS; geodeziya tarmog'i; RTK; PPP; yer konsolidatsiyasi; masofadan zondlash; qishloq xo'jaligi; ekologik monitoring.

Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishda yer resurslarining tezkor va aniq hisobini yuritish muhim ahamiyatga ega. Yer tuzish loyihalarida dala chegaralarini aniqlash, maydonlarni konsolidatsiya qilish, sug'orish infratuzilmasini rejalashtirish va agrotexnik tadbirlarni ratsional tashkil etish kabi vazifalar texnologik yondashuvni talab etadi. Global navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimlari (GNSS) va geodeziya tarmoqlari bu ehtiyojni qondirib, yer usti va havo o'lchovlarini birlashtirib, maydonlarni metr va hatto santimetr darajasida o'lchash imkonini beradi. Geodeziya tarmoqlarini optimallashtirish esa kuzatish stansiyalari soni va joylashuvini belgilash, troposfera kechikishlarini e'tiborga olish va dastlabki ma'lumotlarni boshqarishni taqozo etadi. Tadqiqotlar natijalariga ko'ra, mavjud GNSS doimiy stansiyalar tarmog'i notekis bo'lib, troposfera kechikishlari sabab RTK aniqligi hudud bo'yicha farqlanadi. Bu muammoni bartaraf etish uchun optimal stansiya oralig'i yoz faslida 52 km, qishda esa 70 km atrofida bo'lishi taklif etilgan [1].

Geodeziya tarmoqlarining optimalligi joylashuv sifatini, qurilish va ekspluatatsiya xarajatlarini belgilaydi. Troposfera kechikishlari ham RTK aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi; ular iqlim sharoiti va balandlikka bog'liq. Sun'iy yo'ldosh signallariga yuzaga keladigan troposfera xatolarini kamaytirish uchun sirt meteorologik ma'lumotlarga asoslangan modellar ishlab chiqilgan bo'lib, bunday model yordamida gorizontaal aniqlik 3,8 %, vertikal aniqlik 4,37 % ga yaxshilanishi ko'rsatilgan [14]. Aslida GNSS tarmog'ini tuzishda stansiyalar orasidagi optimal masofa, meteorologik parametrlar, qamrov hududi va foydalanuvchilar soni kabi faktorlar e'tiborga olinishi lozim. Klassik yer o'lchovlari va GNSS vektor kuzatuvlarini birgalikda qayta ishlaydigan algoritmlar yer o'lchovlarida sun'iy yo'ldosh signallari yetarli bo'lmagan hollarda ham tarmoq aniqligini ta'minlaydi [11]. Bunda barcha kuzatuvlar geotsentrik koordinata tizimida birlashtirilib, GNSS va klassik o'lchovlardan kelib chiqadigan ortiqcha o'lchamlar umumiy tizimga moslashtiriladi.

Real-Time Kinematic (RTK) texnologiyasi geodeziya o'lchovlarida keng qo'llanilib, mobil qabul qilgich bilan asosiy stansiya o'rtasidagi differensial tuzatishlardan foydalanadi.

Ochiq manbalarga ko'ra, ikki chastotali past narxli qabul qilgichlar yordamida RTK natijasida gorizontol xato 2–3 sm, vertikal xato esa 5 sm bo'ladi; bu esa tuproq ishlov berish, urug' sepish va o'g'it solish kabi amaliyotlar uchun yetarli [3]. Ko'p yo'ldoshli PPP usuli esa yagona stansiyasiz ishlaydi; ko'p konstellatsiya va ko'p chastotali kuzatuvlar vaqtni 40 daqiqadan 20 daqiqadan kamga qisqartirib, aniq pozitsiyani 0,5–1 sm yaxshilaydi [4]. Biroq PPP vaqti uzayishi va foydalanuvchi uchun qo'shimcha nazorat mahsulotlarini talab qilishi sababli qishloq xo'jaligi amaliyotlarida RTK keng qo'llaniladi.

RTKning amaliy foydalari juda ko'p. AQSH hukumatining rasmiy ma'lumotiga ko'ra, GPS va RTK texnologiyasi fermalar rejasini tuzish, dala xaritasini yaratish, tuproq namunalarini olish, traktorni yo'naltirish, ekin monitoringi, o'zgaruvchan normada o'g'it solish va hosilni xaritalashda qo'llanilib, xarajatlarni kamaytiradi va hosildorlikni oshiradi [5]. Tarmoq RTKsi (Network RTK) esa bir necha doimiy stansiyalarning differensial tuzatishlarini umumlashtirib, butun hududda santimetr darajasida aniqlik beradi. Bloglarda tarmoq RTKning ish prinsipi – ma'lum koordinatadagi stansiyalar sun'iy yo'ldosh signallarini qabul qilib, tuzatishlarni markaziy serverga uzatadi va server ularni mobil qabul qiluvchilarga real vaqt rejimida yetkazadi, natijada dala ishlari ortiqcha yopishmalarni kamaytiradi, yoqilg'i sarfini kamaytiradi va inson xatosini minimallashtiradi [6]. O'tgan yillardagi tajribalar shuni ko'rsatdiki, BeiDou RTK va inertsiya navigatsiyasi (INS) birlashtirilgan boshqaruv tizimi bilan traktorning holati 3 smgacha aniqlikda va azimut 0,6°gacha xatolik bilan aniqlanadi; tizim past narx va kuchli qarshilikka ega bo'lib, avtomatlashtirilgan qishloq xo'jaligi texnikalari uchun zarur [7].

Tarmoq RTK xizmatini tanlashda aniqlik, stansiyalar soni, tugilmaboslik (uptime), qamrov, qo'llab-quvvatlanadigan yo'ldosh konstellatsiyalari, integratsiya imkoniyati va xarajat kabi omillar e'tiborga olinadi [15]. Xususiy tarmoqlar odatda yuqori aniqlik beradi, ammo ular cheklangan hududda ishlaydi; jamoaviy tarmoqlar kengroq hududni qoplaydi. Masalan, Fransiyada 2019 yilda boshlangan Centipede-RTK loyihasi ochiq ilmiy tamoyillar asosida jamoalar va fermerlarning g'amxo'rliqi bilan GNSS stansiyalarini o'rnatish va bepul tuzatish ma'lumotlarini taqdim etishga qaratilgan. 2025 yilga kelib loyihada Fransiyada 625 ta, butun dunyoda esa 860 dan ortiq stansiya faol bo'lib, urug' sepish, ekin o'tini kultivatsiya qilish va aniq sug'orish kabi vazifalarda santimetr aniqligini ta'minlaydi [8]. Bu kabi tashabbuslar kichik fermer xo'jaliklarining ham precision agriculture texnologiyalaridan foydalanishini osonlashtirmoqda.

Yer konsolidatsiyasi qishloq xo'jaligi yerlarining parchalanishini kamaytirish va infratuzilmani yaxshilash orqali ishlab chiqarishni samarali tashkil etishni nazarda tutadi.

Zamonaviy yer tuzish tizimlarida UAV fotogrametriya va masofadan zondlash ma'lumotlari yaratilayotgan hujjatlarining aniqligini oshiradi. Misol uchun, konsolidatsiya jarayonida fotogrammetrik va masofadan zondlash mahsulotlarini qo'llash to'plangan geoma'lumotlarni yuridik tahlil bilan integratsiya qilib, yer uchastkalari joylashuvining aniq rejasini yaratadi hamda fermer xo'jaliklari infratuzilmasini optimallashtirish imkonini beradi [9].

Yer konsolidatsiyasining murakkabligini baholashda standart kadastr ma'lumotlar to'plami va GIS algoritmlaridan foydalanish ownership strukturasi, maydonlarning parchalanish darajasi va morfologik sharoitlarni raqamli jihatdan tahlil qilishga yordam beradi [10]. Kichik va o'rta fermer xo'jaliklari uchun GNSS xizmatlarining qaysi biri qulay ekani haqidagi savol muhim. Polshada o'tkazilgan tajribada tarmoq RTK, SF3 va SF1 (aniqlik xizmatlari) traktor yo'nalishi bo'yicha sinovdan o'tkazildi.

Natijalar ko'ra, RTK tuzatishlari traktorni belgilangan yo'ldan og'ishini minimumga keltirib, pass-to-pass aniqligi 4,5 smni, SF3 xizmati 8,5 smni va SF1 xizmati 11,5 smni tashkil etdi; yomon sharoitlarda eng yomon aniqlik RTK uchun 22,5 sm, SF3 uchun 65,5 sm, SF1 uchun esa 25,5 sm bo'lgan [12]. Bu raqamlar qishloq xo'jaligida yuqori aniqlik RTKni tanlashni asoslaydi.

RTK tarmog'ida ishlashning o'ziga xos jihatlari ham bor. Italiyada tepalik hududlarida olib borilgan tadqiqotda doimiy RTK stansiyalar tarmog'i topografiya va geodeziya ishlarida differensial tuzatishlarni tarqatish uchun ishlab chiqilgan; ushbu tarmoq qishloq xo'jaligida qo'llanganda qo'shimcha "baza" stansiyasini o'rnatishni talab etmaydi, qamrov hududida masofa ortishidan qat'i nazar doimiy aniqlikni ta'minlaydi, tizim ishonchligi va takrorlanishini oshiradi va internet orqali (NTRIP) tuzatishlar yetkaziladi [19]. VRS (Virtual Reference Station) prinsipi yordamida mobil qabul qiluvchi avval taxminiy koordinatani yuboradi, markaziy server unga mos virtual stansiya yaratadi va centimeter darajada tuzatish yuboradi [19]. Bunday tarmoq GPRS/UMTS signali yomon bo'lgan hududlarda ham RTK-Bridge kabi mahalliy yechimlar yordamida ishlashi mumkin.

Precision agriculture da GPS va sensorlar bilan jihozlangan texnika ish unumini oshiradi.

Avtomatik boshqaruv tizimlari GNSS qabul qilgichlar, yo'lni rejalashtiruvchi dastur va navigatsiya kontrolleridan iborat bo'lib, traktorlarni belgilangan yo'nalishdan chetga chiqmasdan yurishini ta'minlaydi [17]. Bu esa yonilg'i, vaqt va mehnat xarajatlarini qisqartiradi va ekinlarga zarar yetkazishni kamaytiradi. Kichik fermer xo'jaliklarida ham dronlar va masofadan zondlash texnologiyalari oziq-ovqat xavfsizligini yaxshilashga xizmat qilishi mumkin. Malawi va Efiopiyada fermerlar dronlardan olingan ma'lumotlarni tahlil qilib, o'g'it va pestitsidlarni maqsadli qo'llash orqali xarajatlarni kamaytirganlar; siyosat ishlab chiqaruvchilar texnologiyani arzonlashtirish va ma'lumot maxfiylikni ta'minlash bo'yicha choralar ko'rishi kerak [18]. Bundan tashqari, sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida ekin turlarini aniqlashda to'liq poligon chegaralarini yoki burchak nuqtalarini yig'ish ma'lumotlarni aniqligini oshiradi; eksperimentlar ko'ra, makkajo'xori maydonlarini avtomatik tanish uchun taxminan 75 % aniqlikda model qurish mumkin, ammo noto'g'ri georeferensiya qilish ekin maydonini yuqoridan baholashga olib keladi [16].

Keltirilgan tahlillar GPS-geodeziya tarmoqlari qishloq xo'jaligi yerlarini boshqarish va yer tuzish loyihalarini optimallashtirishda katta ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi. GNSS stansiyalarini optimallashtirish modeli troposfera kechikishini inobatga olgan holda stansiya oralig'ini 52–70 km atrofida rejalashtirishni tavsiya qiladi [1]; sirt meteorologik ma'lumotlardan foydalanish esa aniqlikni 4 % gacha yaxshilash imkonini beradi [14]. Tarmoq RTK texnologiyasi bir nechta stansiyalar asosida differensial tuzatishlarni tarqatib, mobil qabul qiluvchilarga santimetr darajasida aniqlik beradi [19]. Bu usul oddiy RTKdan afzal bo'lib, asosiy stansiyani o'rnatishni talab etmaydi, hudud bo'yicha bir xil aniqlikni saqlaydi va tarmoq ishonchligini oshiradi. Ko'p konstellatsiyali PPP esa yagona stansiyasiz ishlash imkoniyatini beradi, lekin konvergentsiya vaqti uzayishi sabab RTK keng tarqalgan. Masofadan zondlash natijalaridan unumli foydalanish orqali har bir konsolidatsiya bosqichining ekologik ta'siri ham baholanadi. 20 yil davomida Xitoyning Liaoning provinsiyasida o'rganilgan tadqiqotda Google Earth Engine platformasida masofadan zondlash ekologik indeksi yordamida yangi konsolidatsiya loyihalarining dastlabki bosqichida ekologik sifat pasaygan bo'lsa da, 2011 yildan boshlab ijobiy ta'sirlar ko'payib borishini ko'rsatdi; masalan, ekologik sifat pasayish ulushi 0–47,7 % oralig'ida, oshish ulushi esa 9,6–46,1 % oralig'ida kuzatildi, 2011 yildan keyin esa ijobiy ta'sir

31,9–72,0 % gacha yetdi. Bunday kuzatishlar konsolidatsiya dasturlarini ekologik mezonlar asosida optimallashtirish zarurligini ko'rsatadi. Yer konsolidatsiyasi jarayonida geodeziya tarmoqlari faqat yer o'lchovida emas, balki ekologik monitoringda ham muhim rol o'ynaydi.

Ko'p mamlakatlarda konsolidatsiya siyosati g'alla hosildorligini oshirish bilan birga tuproq va suv resurslariga salbiy ta'sir ko'rsatishini ta'kidlashadi [20]. Shuning uchun tarmoq RTK, UAV va masofadan zondlash ma'lumotlaridan foydalanish ekologik muvozanatni saqlash hamda tuproq eroziyasini nazorat qilishga yordam beradi.

Yer konsolidatsiyasi jarayonida geodeziya tarmoqlari va masofadan zondlash texnologiyalari yer rejasini aniq tuzish, maydonlarning ekologik ta'sirini kuzatish va konsolidatsiyaning samaradorligini baholashga yordam beradi. UAV va dronlar ishlatilishi qishloq xo'jaligi operatsiyalarini avtomatlashtirish, ekinlarni monitoring qilish va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. Tajribalar GPS/RTK xizmatlari tahlili RTKning yuqori aniqligi va barqarorligini isbotladi, shuningdek, qishloq xo'jaligida avtomatik boshqaruv sistemalari va jamoaviy RTK tarmoqlaridan foydalanish samara va ekologik natijalarni yaxshilaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Optimal CORS network design for homogeneous RTK performance; recommended spacing 52 km in summer, 70 km in winter pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
2. GPS asosidagi yer egaligini aniqlash va o'rmon yerlarini tasniflashda GPS/RTK ish jarayonining afzalliklari; RTK mobil va asosiy stansiya orqali ishlaydi, ish unumdorligi va aniqlikni oshiradi pmc.ncbi.nlm.nih.gov pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
3. Low-cost dual-frequency GNSS tajribasi; RTK aniqligi gorizontaal 2–3 sm, vertikal 5 sm; PPP va RTK texnikasi qishloq xo'jaligi va geodeziyada keng qo'llaniladi pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
4. Multi-constellation PPP; ko'p chastotali kuzatuvlar konvergentsiya vaqtini 40 daqiqadan 20 daqiqadan kamga qisqartirib, aniq pozitsiyani 0,5–1 sm yaxshilaydi satellite-navigation.springeropen.com satellite-navigation.springeropen.com.
5. GPS.gov sayti; GPS texnologiyasi fermerlik rejalashtirish, dala xaritalash, tuproq namunasi, traktor yo'naltirish, o'zgaruvchan dozali o'g'itlash va hosil xaritalash kabi amaliyotlarni aniq va tejamkor qiladi gps.gov gps.gov.
6. RTK tarmoqlari blogi; tarmoq RTK asos stansiyasi, tuzatish uzatish va mobil qabul qiluvchining ish mexanizmini tushuntiradi va kam resurs sarfi bilan aniq ishlash afzalliklarini sanab o'tadi fieldbee.com fieldbee.com.
7. BeiDou RTK/INS integratsiyalashgan navigatsiya tizimi; pozitsiya xatosi 3 sm, azimut xatosi 0,6°, tizim past narxda yuqori aniqlik va mustahkamlikni ta'minlaydi mdpi.com.
8. INRAE Centipede-RTK tarmog'i; 625 ta stansiya Fransiyada va 860 dan ortiq dunyo bo'ylab, precision agriculture vazifalari uchun bepul santimetr aniqligi ta'minlaydi inrae.fr.
9. UAV texnologiyasidan foydalangan holda yer konsolidatsiyasini optimallashtirish; fotogrammetriya va masofadan zondlash mahsulotlari yerlarni konsolidatsiya qilish jarayonini zamonaviylashtiradi, geoma'lumotlarni yuridik tahlil bilan birlashtiradi va boshqaruvni yaxshilaydi mdpi.com.

10. Standart kadastr ma'lumotlari va GIS yordamida yer konsolidatsiyasi murakkabligini baholash; egalik tuzilmasi va fragmentatsiya darajasini raqamli o'lchash hamda optimallashtirishni ta'minlaydi mdpi.com.
11. Klassik yer o'lchovlari va GNSS vektor kuzatuvlarini birlashtiradigan geodeziya tarmog'ini sozlash algoritmi; geotsentrik koordinatalarga asoslanib, sun'iy yo'ldosh signali yetarli bo'lmagan vaziyatlarda aniq natijalar beradi mdpi.com.
12. GNSS xizmatlari (SF1, SF3, RTK) tajribasi; pass-to-pass aniqligi RTKda 4,5 sm, SF3 da 8,5 sm, SF1 da 11,5 sm, yomon sharoitda esa RTK 22,5 smga qadar xato ko'rsatadi rgg.edu.pl.
13. Multi-GNSS PPP usuli konvergentsiya vaqtini qisqartirib, pozitsiya aniqligini 0,5–1 smgacha yaxshilaydi, precision agriculture uchun qulaysatellite-navigation.springeropen.com.
14. Troposfera qoldiq xatosini pasaytirish modeli; sirt meteorologik ma'lumotlardan foydalanish gorizontal aniqlikni 3,8 % va vertikal aniqlikni 4,37 % yaxshilaydi mdpi.com.
15. RTK tarmog'i tanlash bo'yicha qo'llanma; aniqlik, stansiyalar soni, qamrov, uptime, konstellatsiyalar, integratsiya va xarajatlar muhim omillar sifatida tavsiya etiladi pointonenav.com.
16. Ma'lumotga asoslangan ekin tasniflash; to'liq poligon chegaralari bilan olingan ma'lumotlar mashina o'rganish modellarini yaxshilaydi, makkajo'xori maydonlarini aniqlashda ~75 % aniqlik beradi, noto'g'ri georeferensiya ekin maydonini yuqori baholaydi mdpi.com.
17. GNSS asosidagi autopilot tizimlari fermer texnikasini avtomatlashtirib, samaradorlikni oshiradi; traktorlarni aniq yo'nalishda yuritib, vaqt, yoqilg'i va mehnatni tejaydi pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
18. Dronlar va precision agriculture texnologiyalarining kichik fermer xo'jaliklaridagi afzalliklari; fermerlar dron ma'lumotlarini tahlil qilib, resurslardan tejamkor foydalanadilar, chiqimlarni kamaytiradilar va oziq-ovqat xavfsizligini yaxshilaydilar mdpi.com.
19. Tepalik hududlarida tarmoq RTKning qo'llanilishi; doimiy stansiyalar tarmog'i qo'shimcha baza stansiyasiga ehtiyojni bartaraf etadi, masofadan qat'i nazar bir xil aniqlik beradi, tizim ishonchliligini oshiradi va internet orqali tuzatishlar uzatadi mdpi.com.
20. Google Earth Engine asosida ekotizim sifatining masofadan zondlash bo'yicha baholanishi; 2006–2018 yillardagi konsolidatsiya davrida ekologik sifatning dastlabki pasayishidan so'ng 2011 yildan keyin ijobiy ta'sirlar oshgani, ekologik indekslar konsolidatsiya bahosi uchun samarali metod ekanligi ko'rsatilgan mdpi.com.