HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

RAQAMLI QISHLOQ XO‘JALIGIDA GEOKUZATUV TEXNOLOGIYALARINING O‘RNI: SUN’IY YO‘LDOSH MONITORINGI ASOSIDA AGRAR RESURSLARNI SAMARALI BOSHQARISH

Ismoilov Avazbek Abdusamat ugli

BSc Agrologistics, 2nd year student
International Agriculture University
E-mail: avazbeki733@gmail.com
ORCID: 0009-0009-9659-1514



Annotatsiya: Mazkur maqolada raqamli qishloq xo‘jaligi sharoitida geokuzatuv (Earth Observation) va sun’iy yo‘ldosh monitoringi texnologiyalarining agrar resurslarni samarali boshqarishdagi o‘rni tizimli ravishda tahlil qilinadi. Tadqiqot yigirmata ilmiy manbadan iborat korpusni qamrab oluvchi tuzilgan adabiy sintez usuliga asoslanadi. Ishda sensor platformalari, spektral indekslar, mashinaviy va chuqur o‘qitish algoritmlari hamda qaror qo‘llab quvvatlash tizimlaridan iborat texnologik stek yagona analitik ramkada birlashtirildi. **Asosiy natijalar ko‘rsatadiki**, optik va radar ma’lumotlarini birlashtirgan ko‘p sensorli yondashuvlar ekin maydonlarini aniqlashda eng yuqori aniqlikni ta’minlaydi: tahlil qilingan ishlardan birida umumiy aniqlik 98,8 foiz, Kappa koeffitsienti esa 0,97 darajaga yetgan. Maqolada texnologiyalarning kompromislari, chekka holatlari va xatolik manbalari ochib berilgan, O‘zbekiston va Markaziy Osiyoning sug‘oriladigan dehqonchiligi uchun amaliy oqibatlar ko‘rsatilgan hamda butun dunyo miqyosida qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan yechimlar taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: geokuzatuv, sun’iy yo‘ldosh monitoringi, raqamli qishloq xo‘jaligi, masofadan zondlash, spektral indekslar, NDVI, ko‘p sensorli sintez, mashinaviy o‘qitish, sug‘oriladigan dehqonchilik, agrar resurslarni boshqarish, oziq-ovqat xavfsizligi.

THE ROLE OF EARTH OBSERVATION TECHNOLOGIES IN DIGITAL AGRICULTURE: EFFICIENT MANAGEMENT OF AGRARIAN RESOURCES BASED ON SATELLITE MONITORING

Abstract: This article systematically analyses the role of Earth observation and satellite monitoring technologies in the efficient management of agrarian resources within digital agriculture. The study uses a structured narrative synthesis of a corpus of twenty scientific sources. Sensor platforms, spectral indices, machine and deep learning algorithms, and decision support systems are integrated into a single analytical framework describing the end to end technology stack. The findings show that multi sensor approaches fusing optical and radar data deliver the highest accuracy in cropland identification, with one reviewed study reaching an overall accuracy of 98.8 percent and a Kappa of 0.97. The paper exposes the trade offs, edge cases and error sources of these technologies, draws implications for the irrigated agriculture of Uzbekistan and Central Asia, and proposes globally applicable solutions.

Keywords: Earth observation, satellite monitoring, digital agriculture, remote sensing, spectral indices, NDVI, multi sensor fusion, machine learning, irrigated agriculture, agrarian resource management, food security.

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

РОЛЬ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА И ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ЭФФЕКТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ АГРАРНЫМИ РЕСУРСАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Аннотация: В данной статье системно анализируется роль технологий геонаблюдения (Earth Observation) и спутникового мониторинга в эффективном управлении аграрными ресурсами в условиях цифрового сельского хозяйства. Исследование основано на методе структурированного синтеза литературы, охватывающего корпус из двадцати научных источников. В работе в единую аналитическую рамку объединены сенсорные платформы, спектральные индексы, алгоритмы машинного и глубокого обучения, а также системы поддержки принятия решений. Основные результаты показывают, что мультисенсорные подходы, основанные на интеграции оптических и радиолокационных данных, обеспечивают наивысшую точность идентификации сельскохозяйственных угодий: в одном из проанализированных исследований общая точность достигла 98,8 %, а коэффициент Каппа составил 0,97. В статье раскрываются компромиссы технологий, пограничные случаи их применения и источники ошибок, рассматриваются практические последствия для орошаемого земледелия Узбекистана и Центральной Азии, а также предлагаются решения, пригодные для масштабного применения на глобальном уровне.

Ключевые слова: геонаблюдение, спутниковый мониторинг, цифровое сельское хозяйство, дистанционное зондирование Земли, спектральные индексы, NDVI, мультисенсорная интеграция, машинное обучение, орошаемое земледелие, управление аграрными ресурсами, продовольственная безопасность.

Kirish

Muammoning umumiy holati va dolzarbligi

Jahon aholisining o‘sishi, iqlim o‘zgarishi va tabiiy resurslarning cheklanganligi oziq-ovqat tizimlari oldiga misli ko‘rilmagan talablarni qo‘ymoqda. Ekin turlarini o‘z vaqtida va aniq aniqlash oziq-ovqat xavfsizligi, resurslarni taqsimlash va siyosat ishlab chiqish uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega [18]. An’anaviy yer usti kuzatuvlari va statistik so‘rovlar ko‘p mehnat talab qiladi, kechikib boradi va katta hududlarni bir xil aniqlikda qamrab ololmaydi. Aynan shu bo‘shliqni geokuzatuv, ya’ni Yerni masofadan zondlash texnologiyalari to‘ldiradi.

Raqamli qishloq xo‘jaligi tushunchasi sensorlar, sun’iy yo‘ldoshlar, uchuvchisiz uchish apparatlari, geografik axborot tizimlari va ma’lumotlarni tahlil qilish vositalarini yagona qaror qabul qilish zanjirida birlashtiradi [6]. Ushbu paradigmaning markazida sun’iy yo‘ldosh monitoringi turadi, chunki u keng makonni muntazam, takrorlanadigan va xolis tarzda qamrab oladi. Mulla yigirma besh yillik rivojlanish tajribasini umumlashtirar ekan, masofadan zondlash dastlab tuproq organik moddasini o‘lchovchi sensorlardan boshlanib, keyinchalik sun’iy yo‘ldosh, aviatsion va traktorga o‘rnatilgan sensorlargacha tez kengayganini, spektral diapazon ultrabinafshadan mikroto‘lqingacha yetib borganini ta’kidlaydi [2].

Mintaqaviy kontekst: O‘zbekiston va Markaziy Osiyo

O‘zbekiston qishloq xo‘jaligi deyarli to‘liq sug‘orishga bog‘liq bo‘lib, paxta va bug‘doy yetakchi ekinlar hisoblanadi. Amudaryo va Sirdaryo havzalaridan suv olishga tayanish, Orol dengizi fojiasi, tuproq sho‘rlanishi va qurg‘oqchilik xavfi mintaqani suv resurslarini aniq hisobga olishga muhtoj qiladi. Sug‘oriladigan dehqonchilik qurg‘oqchilik davrida suv taqsimotida eng past

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

ustuvorlikka ega bo‘ladi va suv cheklovlarining agronomik hamda iqtisodiy oqibatlari katta bo‘ladi [20]. Shu sababli geokuzatuvga asoslangan suv va ekin monitoringi mintaqa uchun nazariy emas, balki amaliy zaruriyatdir.

Tadqiqot maqsadi, vazifalari va ilmiy yangiligi

Tadqiqotning maqsadi geokuzatuv texnologiyalarining agrar resurslarni samarali boshqarishdagi imkoniyatlari, cheklovlari va istiqbollarini yaxlit analitik ramkada baholashdan iborat. Buning uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

• sun’iy yo‘ldosh platformalari va sensorlarni fazoviy, spektral hamda vaqtinchalik ajratish bo‘yicha tizimlashtirish;
• qishloq xo‘jaligida qo‘llaniladigan spektral indekslar va ularning fiziologik asoslarini umumlashtirish;
• ekin maydonlarini tasniflash va baholashda mashinaviy hamda chuqur o‘qitish usullarini hisobotlardagi aniqlik ko‘rsatkichlari bilan qiyoslash;
• texnologiyalarning kompromislari, chekka holatlari va xatolik manbalarini tanqidiy tahlil qilish;
• butun dunyoda qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan, ayniqsa sug‘oriladigan mintaqalar uchun dolzarb yechimlarni ishlab chiqish.

Ishning ilmiy yangiligi shundaki, oldingi sharhlar ko‘pincha bitta o‘lchovga, masalan faqat spektral indekslar yoki faqat algoritmlarga e’tibor qaratgan bo‘lsa, mazkur maqola sensordan qaror chiqarishgacha bo‘lgan butun zanjirni yagona ramkada birlashtiradi va uni Markaziy Osiyoning suv tanqis sug‘oriladigan agrotizimlari kontekstida talqin qiladi.

Adabiyotlar sharhi

Ushbu bo‘lim tahlil qilingan korpusni mavzular bo‘yicha guruhlab, har bir yo‘nalishdagi asosiy yutuqlar va ochiq savollarni bayon etadi. Sharh oddiy ro‘yxatlash emas, balki manbalar o‘rtasidagi bog‘liqlik va ziddiyatlarni ko‘rsatishga qaratilgan.

Geokuzatuvning rivojlanishi va pretsizion dehqonchilik

Pretsizion dehqonchilikning ildizi o‘tgan asrning saksoninchi yillari o‘rtasiga borib taqaladi [2]. Mulla bu sohaning yigirma besh yillik taraqqiyotini umumlashtirib, giperspektral zondlash spektral o‘tkazuvchanlikni keskin toraytirgani, bu esa o‘simlik stressi va biokimyoviy xususiyatlarni nozik tahlil qilish imkonini berganini ko‘rsatadi [2]. Saito va hamkasblari esa amaliy operatsion tizimni taqdim etib, NOAA/AVHRR hamda Terra va Aqua sun’iy yo‘ldoshlarining MODIS sensorlaridan deyarli real vaqt rejimida foydalanib, o‘n kunlik maksimal NDVI kompozitlari orqali Sharqiy Osiyoda o‘simlik holatini kuzatishni tasvirlaydi [4]. Morton yer foydalanishi va yer qoplamining o‘zgarishini, jumladan ekin maydonlarining kengayishi va o‘rmonlarning kesilishini sun’iy yo‘ldosh yordamida monitoring qilishni global miqyosda yoritadi [12].

Sun’iy yo‘ldosh platformalari va sensorlar

Platformalar fazoviy ajratish, spektral diapazon va qaytish davri bo‘yicha farqlanadi. Kumawat va hamkasblari Sentinel-2 ko‘p spektrli sensorining ko‘rinuvchi va yaqin infraqizil diapazonda 10 metr, qizil chegara hamda qisqa to‘lqinli infraqizilda 20 metr ajratishga ega ekanini keltiradi [13]. Raza va hamkasblari optik va radar ma’lumotlarini birlashtirib, Sentinel-1 ning C diapazonli sintetik

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

apertura radari (SAR), Sentinel-2 ko‘p spektrli asbobi, Radarsat-2, Landsat-7 va Landsat-8 hamda MODIS dan foydalanishni tahlil qiladi [10]. Held operatsion amaliyotda LiDAR, NovaSAR radari va NASA ning GEDI asbobidan dron va sun’iy yo‘ldoshgacha bo‘lgan ko‘p darajali kuzatuvni ko‘rsatadi [17]. Bu manbalar birgalikda hech bir sensor barcha ehtiyojlarni qondira olmasligini, shuning uchun to‘ldiruvchi platformalarni birlashtirish zarurligini tasdiqlaydi.

Spektral indekslar va ularning fiziologik asoslari

Spektral indekslar o‘simlik qoplamining biofizik va biokimyoviy holatini miqdoriy baholash vositasidir. Sog‘lom o‘simlik yaqin infraqizilda kuchli aks ettiradi va qizil diapazonda xlorofill tomonidan kuchli yutiladi; aynan shu kontrast normallashtirilgan o‘simlik indeksi (NDVI) asosini tashkil etadi [13]. Mulla NDVI dan tashqari EVI, SAVI oilasi (OSAVI, MSAVI), GNDVI, barg yuzasi indeksi (LAI), azot yetarliligi indeksi kabi ko‘plab indekslar mavjudligini va faqat NDVI ga tayanmaslik kerakligini ta’kidlaydi [2]. Kumawat va hamkasblari indekslarni qo‘llanilishi bo‘yicha tizimlashtiradi: qizil chegara indekslari o‘simlik stressini, xlorofill indekslari pigment miqdorini, suv indekslari (NDWI, NWI oilasi) barg suv potensiali va don hosilini suv stressi sharoitida baholashda samarali ekanini ko‘rsatadi [13]. Bu bo‘lim suv indekslarining ahamiyatini ochib berib, sug‘oriladigan dehqonchilik uchun bevosita amaliy qiymatga ega.

Ekin maydonlarini aniqlash va tasniflash usullari

Tasniflash uchun mashinaviy o‘qitish algoritmlari, ayniqsa Tasodifiy o‘rmon (Random Forest) va Qo‘llab quvvatlovchi vektorlar mashinasi (SVM) eng ko‘p qo‘llaniladi [10]. Raza va hamkasblari Sentinel-1 va Sentinel-2 dan iborat qirq besh kanalli ma’lumotlar kubini yaratib, Tasodifiy o‘rmon yordamida umumiy aniqlik 98,8 foiz, Kappa 0,97, foydalanuvchi aniqligi 98,69 foiz va ishlab chiqaruvchi aniqligi 99,13 foizga erishganini xabar qiladi va bu natijani ESRI, ESA hamda MODIS ekin qatlamlari bilan qiyoslaydi [10]. Dimou va hamkasblari Sentinel vaqt qatorlari va mashinaviy o‘qitish orqali Gretsiyada ekin turlarini xaritalashtiradi [11]. Jia va hamkasblari past va yuqori ajratishli ma’lumotlarni birlashtiruvchi generativ tarmoq taklif etib, qo‘pol ajratishli ma’lumotlardan o‘rganilgan vaqt namunalari yordamida yetishmayotgan yuqori ajratishli ma’lumotlarni qayta tiklaydi va erta aniqlash imkonini beradi [1]. Van Kirk va Addy esa oldindan o‘qitilgan kompyuter ko‘rish modellarini AQSh hukumatining yorliqlangan maydonlari bilan moslab, ekin turlarini semantik segmentatsiya qilishni ko‘rsatadi [7].

Qishloq xo‘jaligi statistikasi va maydonni baholash

Qishloq xo‘jaligi va qishloq statistikasini yaxshilash bo‘yicha Global strategiya doirasidagi qo‘llanma masofadan zondlashni statistik tizimga integratsiya qilish metodologiyasini batafsil bayon etadi [15]. Unda ro‘yxat ramkalari va maydon ramkalari, klasterlangan hamda klasterlanmagan nuqtalar va transektalar asosidagi namuna olish, o‘rta va juda yuqori ajratishli tasvirlardan namuna olish, nazorat ostidagi tasniflash hamda piksel asosidagi va obyekt asosidagi yondashuvlar tasvirlanadi [15]. Shuningdek ekin maydonini baholashda SAR ma’lumotlaridan foydalanish, yer usti haqiqiy ma’lumotlari (ground truth) ning roli, erta ogohlantirish tizimlari va ekin hosilini bashorat qilish yoritiladi [15]. Bu manba geokuzatuvni rasmiy davlat statistikasiga ulashning eng yetuk amaliy asosini taqdim etadi.

Suv resurslari, qurg‘oqchilik va qaror qo‘llab quvvatlash tizimlari

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Chengot va hamkasblari sug‘oriladigan dehqonchilikda suv olish va qurg‘oqchilik xavfini ko‘p masshtabli boshqarish uchun D-Risk qaror qo‘llab quvvatlash veb vositasining takomillashtirilgan versiyasini taqdim etadi [20]. Mualliflar Buyuk Britaniyaning sug‘oriladigan qishloq xo‘jaligini xavf ostidagi tarmoq deb baholaydi, chunki qurg‘oqchilik davrida unga suv eng past ustuvorlik bilan ajratiladi [20]. Vosita ehtimollik asosida suv havzasi va xo‘jalik darajasidagi xavfni baholab, suvni rejalashtirishni qo‘llab quvvatlaydi. Bu yondashuv Markaziy Osiyodagi suv tanqisligi muammosiga bevosita o‘tkaziladigan namunadir.

Institutsional dasturlar va operatsion monitoring

Geokuzatuvning amaliy qiymati institutsional hamkorlik orqali namoyon bo‘ladi. Justice oziq-ovqat xavfsizligi va qishloq xo‘jaligi uchun Yer kuzatuvlari konsorsiumini (EOFSAC) tavsiflaydi; bu NASA ning amaliy fanlar dasturi doirasida ishga tushirilgan va GEOGLAM xalqaro ramkasiga hissa qo‘shadi [9]. Held milliy darajadagi operatsion ekin monitoringi dasturlarini Xitoy, AQSh, Yevropa va Avstraliya misolida ko‘rsatadi [17]. AQSh Yer kuzatuvlari bo‘yicha kichik qo‘mitasining baholash hisoboti MODIS, Landsat OLI, VIIRS va GOES-R kabi platformalarning qishloq xo‘jaligi va o‘rmonchilikdagi qiymatini hamda tadqiqotdan operatsion mahsulotga o‘tishdagi qiyinchiliklarni tahlil qiladi [8]. Skakun va hamkasblari esa Ukraina va qo‘shni mamlakatlarda yer qoplamining o‘zgarishini, jumladan urushning qishloq xo‘jaligiga ta’sirini geokuzatuv orqali miqdoriy baholaydi [16].

UAV, robototexnika, fenotiplash va ekin modellashtirish

Sun’iy yo‘ldosh monitoringini to‘ldiruvchi texnologiyalar ham muhim. Uchuvchisiz uchish apparatlari aqlli dehqonchilikda yuqori ajratishli va moslashuvchan ma’lumot to‘plashda hal qiluvchi rol o‘ynaydi [19]. Robototexnikada Fairchild va hamkasblari nozik mahsulotni shikastlamasdan ushlash uchun arzon piezorezistiv bosim sensorini taklif etadi [3]. Borianne va hamkasblari ildiz tizimini avtomatik o‘lchovchi GT-RootS dasturini ishlab chiqib, fenotiplashda tasvirni qayta ishlash zanjirini avtomatlashtiradi [5]. Krishnan va hamkasblari esa veb asosidagi InfoCrop bug‘doy modeli yordamida o‘sish va hosilni simulyatsiya qiladi [14]. Bu manbalar geokuzatuv ma’lumotlarini agronomik modellar va dala robototexnikasi bilan birlashtirish istiqbolini ko‘rsatadi.

Adabiyotlardagi bo‘shliqlar

Tahlil quyidagi ochiq muammolarni aniqladi. Birinchidan, kichik dehqon xo‘jaliklari qo‘pol ajratishli ma’lumotlarda aniq qamrab olinmaydi, yuqori ajratishli ma’lumotlar esa kam yig‘iladi va bulut hamda buzilishlar tufayli bo‘shliqlarga ega bo‘ladi [1]. Ikkinchidan, mavjud global ekin maydoni mahsulotlari past fazoviy ajratish va noto‘g‘ri tasniflash tufayli takomillashtirishni talab qiladi [10]. Uchinchidan, tadqiqotdan barqaror operatsion mahsulotga o‘tish va qaror vositalariga aylantirish jiddiy to‘siq bo‘lib qolmoqda [8]. To‘rtinchidan, suv tanqis va statistik infratuzilmasi zaif mintaqalar, jumladan Markaziy Osiyo uchun maxsus moslashtirilgan, suv hisobini geokuzatuv bilan bog‘lovchi yaxlit ramkalar yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

Materiallar va usullar

Tadqiqot dizayni

Tadqiqot tuzilgan adabiy sintez (structured narrative synthesis) usuliga asoslanadi. Bu sof empirik dala tajribasi emas, balki mavjud bilimlarni yagona analitik ramkada tanqidiy birlashtirishga qaratilgan sifatiy tadqiqot turidir. Shaffoflik uchun shuni ochiq ta’kidlash zarurki, quyida keltirilgan

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

barcha miqdoriy ko‘rsatkichlar, masalan aniqlik qiymatlari, tahlil qilingan manbalardan olingan bo‘lib, mazkur ish doirasida mustaqil ravishda qayta o‘lchanmagan.

Manbalar korpusi va tanlash mezonlari

Tahlil yigirmata ilmiy manbadan iborat korpusga asoslandi. Korpus xilma xilligi bo‘yicha tanlandi va u quyidagilarni qamrab oladi: tematik sharhlar, empirik tadqiqot maqolalari, kitob boblari, xalqaro tashkilotlarning texnik qo‘llanmalari, davlat baholash hisobotlari hamda ilmiy taqdimotlar. Manbalar mavzu bo‘yicha sakkiz yo‘nalishga ajratildi: rivojlanish tarixi va pretsizion dehqonchilik; platformalar va sensorlar; spektral indekslar; tasniflash algoritmlari; statistik integratsiya; suv va qurg‘oqchilik tizimlari; institutsional dasturlar; hamda to‘ldiruvchi texnologiyalar.

Analitik ramka

Manbalar yagona texnologik stek bo‘ylab tahlil qilindi. Ushbu stek to‘rt bog‘inli zanjirdan iborat: birinchi bog‘in ma’lumot manbai, ya’ni sensor va platforma; ikkinchi bog‘in ma’lumotlarni oldindan qayta ishlash va spektral indekslarni hisoblash; uchinchi bog‘in tasniflash va modellashtirish algoritmlari; to‘rtinchi bog‘in esa qaror qo‘llab quvvatlash va amaliy qo‘llanilish. Har bir manba ushbu zanjirning qaysi bog‘inlariga hissa qo‘shishi bo‘yicha kodlandi va keyin bog‘inlar bo‘yicha sintez qilindi.

Baholash mezonlari

Texnologiyalarni qiyoslashda quyidagi mezonlar qo‘llandi: fazoviy ajratish (piksel o‘lchami), spektral ajratish (kanallar soni va diapazoni), vaqtinchalik ajratish (qaytish davri), tasniflash aniqligi (umumiy aniqlik va Kappa koeffitsienti), bulutlilikka chidamlilik (optik va radar), ma’lumot mavjudligi va narxi hamda operatsion yetuklik darajasi, ya’ni texnologiyaning tajribadan barqaror xizmatga o‘tganlik darajasi.

Tadqiqot cheklovlari

Usulning bir necha cheklovi mavjud. Korpus tanlangan bo‘lib, butun adabiyotni qamrab olmaydi, shuning uchun nashr qilish tarafkashligi (publication bias) ehtimoli saqlanib qoladi. Manbalardagi aniqlik ko‘rsatkichlari turli hududlar, ekinlar va metodologiyalarda olingani uchun bevosita qiyoslash ehtiyotkorlikni talab qiladi. Ba’zi manbalar taqdimot yoki hisobot shaklida bo‘lib, to‘liq metodologik tafsilotlarga ega emas. Bu cheklovlar muhokama qismida hisobga olinadi.

Natijalar

Sun’iy yo‘ldosh platformalari taksonomiyasi

1-jadval tahlil qilingan asosiy platformalarni umumlashtiradi. Ko‘rinib turibdiki, fazoviy va vaqtinchalik ajratish o‘rtasida muntazam kompromis mavjud: keng qamrovli, tez qaytadigan platformalar past fazoviy ajratishga ega, yuqori ajratishli platformalar esa kamroq tez qaytadi.

1-jadval

Tahlil qilingan asosiy sun’iy yo‘ldosh platformalari va ularning qishloq xo‘jaligidagi qo‘llanilishi. [21]

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Platforma	Sensor turi va ajratish	Qaytish davri	Asosiy qo‘llanilishi	Manba
NOAA/AVHRR	Optik, ko‘rinuvchi va infraqizil, qo‘pol (kilometr darajasida)	Kunlik	O‘simlik holatining mintaqaviy monitoringi, NDVI kompozitlari	[4]
MODIS (Terra, Aqua)	Optik, ko‘p spektrli, 250 m dan 1 km gacha	Deyarli kunlik	Erta ogohlantirish, fenologiya, global ekin qatlamlari	[4],[8],[10]
Landsat-7 / Landsat-8	Optik, ko‘p spektrli, taxminan 30 m	16 kun	Ekin xaritalash, yer qoplami o‘zgarishi	[10],[8]
Sentinel-2	Ko‘p spektrli; 10 m (ko‘rinuvchi va NIR), 20 m (qizil chegara va SWIR)	Bir necha kun	Ekin turlarini tasniflash, stress va suv indekslari	[13],[10],[11]
Sentinel-1	C diapazonli SAR (VV va VH), radar	Bir necha kun	Bulutdan mustaqil monitoring, sug‘orish va sholi kuzatuvi	[10]
SPOT-5, FORMOSAT-2	Optik, ko‘p spektrli, 2 m dan 10 m gacha	Bir necha kun	Ekin o‘sishi, yuqori detalli kuzatuv	[13]
VIIRS, GOES-R	Optik va geostatsionar	Soatlik dan kunlikgacha	Hosil kamayishidan erta	[8]

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Platforma	Sensor turi va ajratish	Qaytish davri	Asosiy qo‘llanilishi	Manba
	, qo‘poldan o‘rtagacha		ogohlantirish	
NovaSAR, GEDI (LiDAR)	Radar va lazerli balandlik o‘lchovi	O‘zgaruvchan	Biomassa, balandlik tuzilmasi, validatsiya	[17]

Qishloq xo‘jaligida muhim spektral indekslar

2-jadval korpusda eng ko‘p tilga olingan indekslarni jamlaydi. Formulalarda R harfi tegishli to‘lqin uzunligi yoki kanaldagi aks ettirishni bildiradi. Suv indekslari guruhining keng tarmoqlanishi suv stressini baholash naqadar muhim ekanini ko‘rsatadi, bu esa sug‘oriladigan dehqonchilik uchun bevosita ahamiyatlidir.

2-jadval

Qishloq xo‘jaligida keng qo‘llaniladigan spektral indekslar (manba korpusi asosida). [21]

Indeks	Formulasi	Asosiy qo‘llanilishi	Manba
NDVI	(R(NIR) − R(Red)) / (R(NIR) + R(Red))	O‘simlik qoplami, biomassa, umumiy holat	[13],[2],[4]
EVI	2,5 × (R(NIR) − R(Red)) / (R(NIR) + 6R(Red) − 7,5R(Blue) + 1)	Zich qoplamda sezgirlikni oshirish	[13],[2]
SAVI oilasi (OSAVI, MSAVI)	Tuproq ta’sirini tuzatuvchi NDVI variantlari	Siyrak qoplam, ochiq tuproq sharoiti	[2]
GNDVI	(R(NIR) − R(Green)) / (R(NIR) + R(Green))	Xlorofill va azot holati	[2]
NDRE	(R(NIR) − R(RedEdge)) / (R(NIR) + R(RedEdge))	O‘simlik stressini erta aniqlash	[13]

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Indeks	Formulasi	Asosiy qo‘llanilishi	Manba
CI red-edge	[(R750 − R800) / (R695 − R740)] − 1	Xlorofill miqdori	[13]
NDWI	(R857 − R1241) / (R857 + R1241)	Barg suv potensiali	[13]
NWI oilasi (1, 2, 3)	(R970 − R900) / (R970 + R900) va variantlari	Suv stressida don va biomassa hosili	[13]
LAI	Barg yuzasi indeksi (modellashtiriladi)	Qoplam zichligi, fotosintez salohiyati	[2]

Tasniflash usullari va hisobotdagi aniqlik

3-jadval algoritmlar va ular bo‘yicha xabar qilingan natijalarni qiyoslaydi. E’tibor bering, eng yuqori aniqlik ko‘p sensorli sintezga, ya’ni optik va radar ma’lumotlarini birlashtirishga to‘g‘ri keladi. Bu natija bitta hudud va metodologiyaga tegishli bo‘lgani uchun universal kafolat sifatida emas, balki sintez yondashuvining salohiyati sifatida talqin qilinishi lozim.

3-jadval

Tasniflash va modellashtirish usullari hamda korpusda xabar qilingan natijalar.[21]

Usul / yondashuv	Ma’lumot manbai	Xabar qilingan natija	Manba
Tasodifiy o‘rmon va ko‘p sensorli sintez (45 kanalli kub)	Sentinel-1 va Sentinel-2	Umumiy aniqlik 98,8%, Kappa 0,97, foydalanuvchi aniqligi 98,69%, ishlab chiqaruvchi aniqligi 99,13%	[10]
Nazorat ostidagi tasniflash, SVM va Tasodifiy o‘rmon	Sentinel vaqt qatorlari	Yuqori aniqlikdagi ekin turlari xaritasi	[11],[10]
CART (qaror daraxtlari)	Sentinel-1 SAR (VV va VH)	Sholi ekinini aniqlash	[10]
Generativ rekurrent tarmoq (chuqur o‘qitish)	Ko‘p masshtabli optik ma’lumot	Yetishmayotgan yuqori ajratishli ma’lumotni tiklash, erta aniqlash	[1]

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Usul / yondashuv	Ma'lumot manbai	Xabar qilingan natija	Manba
Semantik segmentatsiya (oldindan o'qitilgan CV modellar)	O'rta ajratishli optik ma'lumot va yorliqlangan maydonlar	Ekin turlarini avtomatik segmentatsiya qilish, xarajatlarni kamaytirish	[7]
Piksel asosidagi va obyekt asosidagi tasniflash	O'rta va juda yuqori ajratishli tasvirlar	Statistik ekin maydonini baholash	[15]

Qo'llanilish sohalarining sintezi

4-jadval geokuzatuvning agrar resurslarni boshqarishdagi asosiy qo'llanilish sohalarini va ularni qo'llab quvvatlovchi manbalarni umumlashtiradi. Sintez ko'rsatadiki, texnologiya alohida vazifalarda emas, balki bir butun boshqaruv tsiklida, ya'ni rejalashtirish, monitoring, ogohlantirish va baholashda qiymat yaratadi.

4-jadval

Geokuzatuvning agrar resurslarni boshqarishdagi qo'llanilish sohalari. [21]

Qo'llanilish sohasi	Geokuzatuvning hissasi	Manba
Ekin maydoni va turini xaritalash	Tasniflash va ko'p sensorli sintez orqali aniq maydon hisobi	[10],[11],[1],[7]
Hosilni bashorat va erta ogohlantirish	NDVI kompozitlari va fenologiya orqali hosil kamayishini oldindan aniqlash	[4],[8],[15]
Suv va sug'orish boshqaruvi	Suv indekslari va qurg'oqchilik xavfini baholovchi qaror vositalari	[13],[20]
Rasmiy qishloq xo'jaligi statistikasi	Maydon ramkalari va namuna olishni masofadan zondlash bilan kuchaytirish	[15]
Yer foydalanishi o'zgarishi monitoringi	Ekin kengayishi, o'rmon kesilishi va inqiroz ta'sirini kuzatish	[12],[16]
Oziq-ovqat xavfsizligi siyosati	Institutsional dasturlar orqali qaror qabul qilishni qo'llab quvvatlash	[9],[8],[17]

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Muhokama

Natijalarning umumiy talqini

Sintez yaqqol bir xulosani ilgari suradi: geokuzatuvning qiymati alohida sensor yoki algoritmda emas, balki butun zanjirning uyg‘unlashuvida yotadi. Eng yuqori aniqlik ko‘rsatkichlari optik va radar ma’lumotlarini birlashtirgan, ko‘p vaqtli kuzatuvga tayangan va kuchli tasniflash algoritmlaridan foydalangan ishlarda kuzatildi [10]. Shu bilan birga, statistik integratsiya manbasi ko‘rsatadiki, texnik aniqlik yer usti haqiqiy ma’lumotlari va to‘g‘ri namuna olish dizayni bilan qo‘llab quvvatlanmasa, rasmiy qaror uchun yetarli emas [15].

Asosiy kompromislar

Birinchi kompromis fazoviy va vaqtinchalik ajratish o‘rtasida. Tez qaytadigan platformalar fenologiyani kuzatishga qulay, biroq kichik dala chegaralarini ajrata olmaydi; yuqori ajratishli platformalar esa kamroq tez qaytadi va bulut tufayli bo‘shliqlar paydo bo‘ladi [1]. Ikkinchi kompromis optik va radar o‘rtasida: optik sensorlar spektral boy ma’lumot beradi, lekin bulutga sezgir; radar bulutdan mustaqil ishlaydi, biroq talqini murakkabroq. Ko‘p sensorli sintez aynan shu kompromisni yumshatadi [10]. Uchinchi kompromis aniqlik va xarajat o‘rtasida: juda yuqori ajratishli tijorat ma’lumotlari qimmat, ochiq Sentinel va Landsat ma’lumotlari esa bepul, ammo ajratishi cheklangan.

Chekka holatlar va xatolik manbalari

Bir necha chekka holat tizimning ishonchliligini pasaytirishi mumkin. Bulutli va yomg‘irli mavsumlarda optik ma’lumot uzilib qoladi; bunday hollarda radar yoki ma’lumotni tiklash modellari zarur bo‘ladi [1]. Kichik va parchalangan dehqon xo‘jaliklarida aralash piksellar tasniflash xatosini oshiradi, bu Markaziy Osiyodagi mayda yer uchastkalari uchun dolzarb. Yer usti haqiqiy ma’lumotlari yetishmaganda model bir hududda yaxshi ishlasa ham, boshqa hududga ko‘chirilganda aniqligi keskin tushadi. Shuningdek, atmosfera tuzatishidagi xatolar va sensorlararoki kalibrlash farqlari spektral indekslarni buzishi mumkin. Shu sababli yuqori aniqlik raqamlari doimo validatsiya konteksti bilan birga talqin qilinishi shart.

O‘zbekiston va Markaziy Osiyo uchun amaliy oqibatlar

Mintaqaning sug‘oriladigan agrotizimi geokuzatuvdan eng katta foyda olishi mumkin bo‘lgan sohalardan biridir. Suv indekslari va radar asosidagi sug‘orish monitoringi suvdan foydalanishni dala darajasida hisobga olish imkonini beradi, qurg‘oqchilik xavfini baholovchi qaror vositalari esa suvni adolatli taqsimlashni qo‘llab quvvatlaydi [13],[20]. Paxta va bug‘doy maydonlarini ko‘p vaqtli Sentinel ma’lumotlari bilan xaritalash rasmiy statistikani xolislashtiradi va subsidiyalar nazoratini mustahkamlaydi [11],[15]. Tuproq sho‘rlanishi va Orol mintaqasidagi yer degradatsiyasini kuzatish yer qoplami o‘zgarishi monitoringi metodlari bilan amalga oshirilishi mumkin [12]. Biroq mintaqada yer usti tarmog‘i va kadrlar salohiyatining cheklanganligi modellarni mahalliylashtirishni qiyinlashtiradi, bu esa salohiyatni oshirishga sarmoya kiritishni zaruriy qiladi.

Tadqiqot cheklovlarining ta’siri

Yuqorida aytilganidek, korpus tanlangani va aniqlik ko‘rsatkichlari turli kontekstlardan olingani uchun mazkur muhokama umumiy yo‘nalishlarni ko‘rsatadi, ammo har bir mintaqa uchun aniq raqamli kafolat bermaydi. Mahalliy validatsiya va mustaqil sinov har qanday operatsion joriy etishning ajralmas qismi bo‘lishi kerak.

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Butun dunyo uchun yechim bo‘la oladigan takliflar

Quyidagi takliflar tahlil natijalaridan kelib chiqadi va alohida mamlakatga emas, balki global miqyosda, ayniqsa rivojlanayotgan va suv tanqis mintaqalarda qo‘llanilishi mumkin. Har bir taklif uchun asos va ehtimoliy kompromislar ko‘rsatilgan.

Ochiq va birlashgan ko‘p sensorli ma’lumotlar kublari

Optik va radar ma’lumotlarini, masalan Sentinel-1 va Sentinel-2 ni, oldindan moslangan, tahlilga tayyor ma’lumotlar kubi ko‘rinishida ochiq taqdim etish tavsiya etiladi [10]. Bu har bir foydalanuvchini murakkab oldindan qayta ishlashdan ozod qiladi va aniqlikni oshiradi. Kompromis shundaki, kub yaratish va saqlash katta hisoblash hamda saqlash resurslarini talab qiladi, shuning uchun u bulutli infratuzilma bilan birga joriy etilishi maqsadga muvofiq.

Bulutli geofazoviy platformalar orqali demokratlashtirish

Hisoblash quvvatini ma’lumot yoniga keltiradigan bulutli geofazoviy platformalar resurslari cheklangan davlatlarga ham ilg‘or tahlilni ochadi. Bu tadqiqotdan operatsiyaga o‘tishdagi asosiy to‘siqni, ya’ni infratuzilma yetishmovchiligini kamaytiradi [8]. Kompromis sifatida tashqi platformaga bog‘liqlik va ma’lumot suvereniteti masalalari paydo bo‘ladi, shuning uchun mahalliy nusxa va ochiq kodli muqobillar saqlanishi lozim.

Yer usti haqiqiy ma’lumotlari tarmoqlarini institutsionallashtirish

Har qanday yuqori aniqlik yer usti haqiqiy ma’lumotlariga tayanadi [15]. Mobil ilovalar va fuqaro fani orqali standartlashtirilgan, geolokatsiyalangan dala ma’lumotlarini muntazam yig‘uvchi milliy tarmoqlar barpo etish tavsiya etiladi. Bu modellarni mahalliylashtirish va validatsiya qilish uchun zarur. Kompromis: ma’lumot sifatini nazorat qilish va dehqonlarning maxfiyligini ta’minlash mexanizmlari kerak.

Ma’lumot tanqis hududlar uchun transfer o‘qitish

Yorliqlangan ma’lumot kam bo‘lgan mintaqalarda boy ma’lumotli hududlarda o‘qitilgan modellarni moslashtirish, ya’ni transfer o‘qitish va domenni moslashtirish qo‘llanilishi kerak [7],[1]. Bu yangi hududda noldan boshlash zaruratini kamaytiradi. Kompromis shundaki, hududlar o‘rtasidagi agronomik va iqlimiy farqlar tufayli ko‘chirilgan modellar mahalliy sinovsiz ishonchsiz bo‘lishi mumkin.

Sug‘oriladigan tizimlar uchun geokuzatuvga asoslangan suv hisobi

Suv indekslari va radar monitoringini qurg‘oqchilik xavfini baholovchi qaror vositalari bilan birlashtirib, havza darajasida ochiq suv hisobi tizimini joriy etish tavsiya etiladi [13],[20]. Bu suvni adolatli taqsimlash va tanqislikka oldindan tayyorlanish imkonini beradi, bu Markaziy Osiyo, Yaqin Sharq va Janubiy Osiyo uchun bevosita dolzarb. Kompromis: suv hisobi siyosiy jihatdan sezgir, shuning uchun shaffof metodologiya va kelishilgan standartlar zarur.

Erta ogohlantirishni qaror tsikliga integratsiya qilish

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

Hosil kamayishidan erta ogohlantirish tizimlarini, masalan GEOGLAM ramkasidagi yondashuvlarni, milliy oziq-ovqat zaxirasi va import rejalashtirish jarayonlariga bevosita ulash kerak [9],[8],[4]. Texnik signal qaror harakatiga aylantirilmasa, qiymat yo‘qoladi. Kompromis: noto‘g‘ri signal xarajat tug‘dirgani uchun ogohlantirish ostonalarini ehtimollik bilan kalibrlash zarur.

Birxillashtirilgan standartlar va salohiyatni oshirish

Ma’lumot formatlari, aniqlikni baholash protokollari va metaberumlar bo‘yicha xalqaro birxillashtirilgan standartlarni qabul qilish hamda davlat statistika idoralari va universitetlarda kadrlar salohiyatini oshirishga sarmoya kiritish tavsiya etiladi [15],[17]. Bu mahsulotlarni qiyoslash va takrorlash imkonini beradi. Kompromis: standartlashtirish vaqt va xalqaro muvofiqlashtirishni talab qiladi, biroq uzoq muddatli foydasi joriy xarajatdan ustun.

Xulosa

Mazkur maqola geokuzatuv va sun’iy yo‘ldosh monitoringi texnologiyalarini raqamli qishloq xo‘jaligi kontekstida, sensordan qaror chiqarishgacha bo‘lgan yagona zanjir sifatida tahlil qildi. Yigirmata manbadan iborat korpus sintezi ko‘rsatadiki, agrar resurslarni samarali boshqarishning kaliti alohida texnologiyada emas, balki ko‘p sensorli ma’lumot, kuchli algoritmlar, ishonchli yer usti validatsiyasi va institutsional integratsiyaning uyg‘unlashuvidadir. Optik va radar ma’lumotlarini birlashtirgan yondashuvlar ekin maydonini aniqlashda eng yuqori aniqlikni, tahlil qilingan bir ishda umumiy aniqlik 98,8 foiz va Kappa 0,97 darajasini namoyish etdi [10].

Shu bilan birga, bulutlilik, kichik dehqon xo‘jaliklari, ma’lumot tanqisligi va validatsiya muammolari texnologiyaning chegaralarini belgilaydi. O‘zbekiston va Markaziy Osiyoning suv tanqis sug‘oriladigan agrotizimi uchun geokuzatuvga asoslangan suv hisobi, paxta va bug‘doy maydonlarini xolis xaritalash hamda qurg‘oqchilikdan erta ogohlantirish eng yuqori amaliy qiymatga ega. Taklif etilgan yetti yo‘nalish, ochiq ma’lumot kublaridan tortib birxillashtirilgan standartlargacha, butun dunyoda, ayniqsa resurslari cheklangan mintaqalarda qo‘llanilishi mumkin. Kelgusi tadqiqotlar mazkur ramkani O‘zbekiston dalalarida mustaqil validatsiya orqali sinab ko‘rishga qaratilishi maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Jia X., Wang M., Khandelwal A., Karpatne A., Kumar V. Recurrent Generative Networks for Multi-Resolution Satellite Data: An Application in Cropland Monitoring. University of Minnesota va Virginia Tech, IJCAI materiallari.
2. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosystems Engineering, 2013, 114(4), 358–371.
3. Fairchild P., Chen C., Tan X. Efficient Force and Stiffness Prediction in Robotic Produce Handling with a Piezoresistive Pressure Sensor. Michigan State University; Computers and Electronics in Agriculture.
4. Saito G., Nagatani I., Ogawa S., Song X. Agricultural Monitoring Using Satellite Data. Journal of Agricultural Meteorology, 2005, 60(5), 375–378.
5. Borianne P., Subsol G., Fallavier F., Dardou A., Audebert A. GT-RootS: An integrated software for automated root system measurement from high-throughput phenotyping platform images. Computers and Electronics in Agriculture.
6. Sekhar M., Yadav A., Yadav D.K. Precision Agriculture and Remote Sensing Technologies. Chapter 7, Bharatiya Engineering Science and Technology Innovation University.

HSR (LONDON),
HOUGHTON STREET REVIEW JOURNAL
ISSN: 2058-5519|Impact factor-15.9
http://houghtonstreetreview.com/index.php/hsr

7. Van Kirk J., Addy F. Semantic Segmentation of Cropland with Satellite Imagery. Stanford University.
8. Subcommittee on U.S. Earth Observation (USGEO). 2023 Earth Observations Assessment Report: Agriculture & Forestry. NSTC Committee on Environment, July 2024.
9. Justice C. Earth Observations for Food Security and Agriculture Consortium (EOFSAC). University of Maryland; NASA Applied Sciences Agriculture Program, 2017.
10. Raza D., Shu H., Nazeer M., Aslam H., Mirza S., Xiao X., Sardar A., Aeman H. Improved method for cropland extraction of seasonal crops from multi-sensor satellite data. International Journal of Remote Sensing, 2024, 45(18), 6249–6284. DOI: 10.1080/01431161.2024.2388864.
11. Dimou S., Stamou A., Kaimaris D., Patias P. Mapping and monitoring of agricultural land with time-series satellite data. EARSeL Symposium, 2021.
12. Morton D. Monitoring Land Use & Land Cover Change for Agricultural Production. NASA.
13. Kumawat R.K., Tiwari G., Ramakrishnan R.S., Bhayal D., Debnath S., Thakur S., Bhayal L. Remote Sensing Related Tools and their Spectral Indices Applications for Crop Management in Precision Agriculture. International Journal of Environment and Climate Change, 2023, 13(1), 171–188. DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i11665.
14. Krishnan P. va boshqalar. Web-based crop model: Web InfoCrop – Wheat to simulate the growth and yield of wheat. Computers and Electronics in Agriculture, 2016. DOI: 10.1016/j.compag.2016.06.008.
15. Global Strategy to improve Agricultural and Rural Statistics (GSARS). Handbook on remote sensing for agricultural statistics.
16. Skakun S. va boshqalar. High-Impact Hot Spots of Land Cover Land Use Change: Ukraine and Neighboring Countries. University of Maryland; Space Research Institute NAS Ukraine, 2021–2023.
17. Held A. Earth Observation for Agriculture. CSIRO Centre of Earth Observation.
18. Doggalli G., Modi R., Mistry D.Y., Rathwa M.K., Mali P.D. (muharrirlar). Remote Sensing Applications in Agriculture. In: Recent Trends in Agriculture (Vol. 13), 9-bob. Integrated Publications, New Delhi, 2024. ISBN 978-93-5834-170-6.
19. UAV Remote Sensing for Smart Agriculture: Different Data Collection Sensors for a Range of Applications. Tematik maqola.
20. Chengot R., Knox J.W., Coxon G., Cojocaru G., Holman I.P. An enhanced version of the D-Risk decision support webtool for multi-scale management of water abstraction and drought risks in irrigated agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 204, 107516.
21. Muallif tahlillari natijasida ishlab chiqilgan.