

Cikk

Nem lektorált verzió

Mű holdas adatok felhasználásának elemzése és Drónok szárazföldi megfigyeléshez Kazahsztán

[Olzsasz Kudaibergenov](#) *

Feladás dátuma: 2024. október 15

doi: 10.20944/preprints202410.1229.v1

Kulcsszavak: Mű holdas adatok; Drónok (UAV); Föld megfigyelése; Távérzékelés; Talajromlás; Mező gazdaság;
Öntöző rendszerek; Fenntartható földgazdálkodás; Adatelemzés; Multispektrális képalkotás; Degradációs veszélyek



A Preprints.org egy ingyenes, multidiszciplináris platform, amely nyomtatás előtti szolgáltatást nyújt, és célja a kutatási eredmények korai verzióinak állandó elérhetővé tétele és idézhetővé tétele. A Preprints.org webhelyen közzétett előnyomatok a Web of Science, Crossref, Google Scholar, Scilit, Europe PMC webhelyeken jelennek meg.

Szerzői jog: Ez egy nyílt hozzáférésű cikk, amelyet a Creative Commons Attribution License alapján terjesztenek, és amely lehetővé teszi a korlátlan felhasználást, terjesztést és reprodukálást bármilyen médiában, feltéve, hogy az eredeti műre megfelelően hivatkoznak.

Felelősség kizárása/Kiadó megjegyzése: Az összes publikációban szereplő állítások, vélemények és adatok kizárólag az egyes szerző (k) és közreműködő (k), és nem az MDPI és/vagy a szerkesztő (k). Az MDPI és/vagy a szerkesztő (k) elhárítja a felelősséget az ebből eredő személyi vagy vagyoni sérülésekért a tartalomban hivatkozott ötletekből, módszerekből, utasításokból vagy termékekből.

Cikk

Műholdas adatok és drónok használatának elemzése Földmegfigyelés Kazahsztánban

Olzsasz Kudaibergenov

Független kutató; xenon_2019@mail.ru

Absztrakt: A cikk a műholdas adatok és a drónok földmegfigyelésre való felhasználását tárgyalja Kazahsztánban, hangsúlyozva ezek fontosságát a népességnövekedés és a növekvő mezőgazdasági kereslet összefüggésében. A műholdtechnológiák, mint például a Sentinel-2 és a Landsat, alapvető adatokat szolgáltatnak a földi erőforrások elemzéséhez, beleértve a talajeróziót és a mezőgazdasági területek állapotát. A pilóta nélküli légi járművek (UAV) kiegészítik a műholdadatokat azáltal, hogy részletes kis magasságú képeket készítenek, lehetővé téve az olyan helyi problémák észlelését, mint az öntözőrendszer meghibásodása és a talajtömörödés. A tanulmány azt bizonyítja, hogy a drónok és műholdak adatainak integrálása hatékonyabb földi erőforrás-gazdálkodást tesz lehetővé. Például Kazahsztán déli részén a mezőgazdasági területek 35%-át érinti a talajromlás, míg az északi régiókban túlléptetési problémákat állapítottak meg. Ezek az innovatív megfigyelési módszerek lehetővé teszik a fenyegetések korai felismerését, lehetővé téve a megfelelő időben történő intézkedések meghozatalát a földgazdálkodási gyakorlat javítása érdekében. A következtetés rávilágít arra, hogy a technológiák használatához nemcsak infrastruktúra, hanem képzett szakemberek is szükségesek. A műholdak és drónok integrációja lehetővé teszi a pontosabb és időszertűbb megfigyelést, ami elengedhetetlen a kazahsztáni szárazföldi erőforrások fenntartható kezeléséhez.

Kulcsszavak: Műholdas adatok; Drónok (UAV); Földmegfigyelés; Távérzékelés; Talajromlás; Mezőgazdaság; Öntözőrendszerek; Fenntartható földgazdálkodás; Adatelemzés; Multispektrális képalkotás; Degradációs veszélyek

1. Bevezetés

A Kazah Köztársaság elnökének 2024-es beszédében kulcsfontosságú hangsúlyt fektettek a digitalizációra és a fejlett technológiák bevezetésére a gazdaság különböző ágazataiban, beleértve a földkézületeket is. Az elnök kiemelte a hatékony földgazdálkodás fontosságát az olyan modern technológiák alkalmazásával, mint a távérzékelés (RS) és a pilóta nélküli légi járművek (UAV), közismert nevén drónok. Ennek a témának a jelentősége kulcsfontosságú a növekvő népesség, a mezőgazdasági földterületek intenzív hasznosítása és a fenntartható földterület iránti igény szempontjából rendkívül fontos. Az erőforrás-gazdálkodás a hosszú távú fejlesztési célok elérése érdekében. Az elnök beszédében említett egyik legfontosabb kihívás a pontosság és az időszertűség hiánya a hagyományos földmegfigyelési módszerekben. Ez szükségessé teszi a digitális technológiák integrálását, amelyek növelhetik a földállapot-ellenőrzés hatékonyságát, megakadályozhatják a talajromlást és optimalizálhatják a földhasználatot. A műholdas adatok és a drónok használata új lehetőségeket nyit meg a pontosabb mérések, a valós idejű adatgyűjtés és az automatizált elemzések terén.

A műholdas technológiák szárazföldi megfigyelésre történő alkalmazása Kazahsztánban a 2000-es évek elején kezdődött, de ezeket a technológiákat csak az utóbbi években integrálták olyan élvonalbeli eszközökkel, mint a drónok. A távérzékelés (RS) lehetővé teszi a földviszonyokra, a mezőgazdasági növényekre és a természeti erőforrásokra vonatkozó adatok gyűjtését nagy területeken. A műholdak nagy felbontású adatokat szolgáltatnak, amelyek felhasználhatók a talajerózió elemzésére, a termésviszonyok felmérésére és az illegális földhasználat felderítésére. A drónok mobilitásuk és pontosságuk miatt kiegészítik a műholdak adatait alacsony magassági információkkal, amelyek elengedhetetlenek a finomabb részletek, például az infrastrukturális állapotok és a helyi tájváltozások nyomon követéséhez. A műholdak és drónok együttes alkalmazása jelentősen csökkenti az adatelemzéshez szükséges időt, növeli a mérési pontosságot, és lehetővé teszi a változásokra való gyors reagálást, hozzájárulva a hatékonyabb földi erőforrás-gazdálkodáshoz.

Ennek a cikknek a célja annak elemzése, hogy a mű holdas adatok és a drónok használata hogyan javíthatja a szárazföldi megfigyelést Kazahsztánban, azonosítja azokat a fő kihívásokat, amelyek akadályozzák a technológiák teljes körű alkalmazását, és javaslatokat tesznek ezen akadályok leküzdésére.

A mű holdas megfigyelési technológiák és drónok integrációja nemcsak Kazahsztán földgazdálkodási rendszerét javítja, hanem az országot regionális vezető pozícióba helyezi az innovatív környezetellenőrzési módszerek alkalmazásában. Ehhez azonban nemcsak a technológiai infrastruktúra fejlesztésére van szükség, hanem az ezen technológiák hatékony hasznosítására képes szakemberek képzésére is.

1.1. Irodalmi Szemle

A modern távérzékelési (RS) technológiák kulcsszerepet játszanak a földi erőforrások monitorozásában, hatékony eszközöket biztosítva a természeti erőforrások elemzéséhez és kezeléséhez. Kazahsztánban, ahol a hatalmas terület és a változatos természeti feltételek alkalmazkodó megoldásokat igényelnek, a mű holdas adatok és a pilóta nélküli légi járművek (UAV) használata segíti a mezőgazdaság, a környezetvédelem és a régió fenntartható fejlődésének optimalizálását. A kutatások azt mutatják, hogy a különböző forrásokból, például mű holdakból és drónokból származó adatok integrálása jelentősen javítja a szárazföldi erőforrások felmérésének pontosságát, ahogy Md Muzakkir Quamar megjegyzi tanulmányában, hangsúlyozva ennek a technológiának a jelentőset a modern körülmények között [1].

A mű holdas adatok fontos szerepet játszanak a nagy területű földi erőforrásainak nyomon követésében. Például Kazahsztán aktívan használja a Landsat és a Sentinel-2 mű holdak adatait. Ezek a mű holdak rendszeres és frissített képeket biztosítanak, amelyeket a mezőgazdasági terület és a természeti erőforrások állapotának felmérésére használnak, amint azt a Planet Labs PBC munkája is megjegyzi, amely a mű holdadatokat felhasználásáról beszél az erőforrás-gazdálkodáshoz és a természeti katasztrófákra, például aszályokra és áradásokra való reagálásra [2]. A mű holdadatokat földterképezéshez, földhasználati változások elemzéséhez és környezeti kockázatok előrejelzéséhez is használják [3].

A mű holdas adatok sikeres alkalmazásának példája a dél-kazahsztáni régióban zajló projekt, ahol a Sentinel-2 mű holdak adatait a talajviszonyok felmérésére, a termés hozamok előrejelzésére és a vízhasználat optimalizálására használták. A Moldir Seitkazy kutatása azt mutatja, hogy a pontos adatok nemcsak a földterület felületén, hanem az állami és magánvállalkozások szintjén történő döntéshozatalban is segítenek [4]. Ezenkívül I Onggarbek Alipbeki munkája rávilágít a Landsat adatok felhasználásának fontosságára a jövőbeli földhasználati forgatókönyvek előrejelzésére a Google Earth Engine (GEE) platform segítségével, amely lehetővé teszi a helyi változások és a régióban tapasztalható nagyobb trendek azonosítását [5].

A pilóta nélküli légi járművek a mezőgazdasági terület nyomon követésének fontos eszközeivé váltak, különösen a helyi változásokra vonatkozó pontos adatok hiányában. Ahogy Ravil Mukhamediev megjegyzi, a drónok kiváló minőségű képeket biztosítanak, így nélkülözhetetlenek a kis és közepes méretű terület részletes megfigyeléséhez [6]. A drónok multispektrális adatait használó kutatások nagy pontosságot mutattak a szikes talajok azonosításában Kazahsztán sztyepp régióiban, és segítenek azonosítani a nedvességhiányos területet is, ami különösen fontos száraz körülmények között [7].

A drónokat a legelők megfigyelésére is aktívan használják. A Geopard.tech oldalon megjelent cikk kiemeli, hogy a drónok használata a legelők megfigyelésére lehetővé teszi a kazahsztáni mezőgazdasági szövetkezetek számára a legelők állapotának pontosabb felmérését és a talajromlás megelőzését [8].

Ez a megközelítés segíti a fenntartani az egyensúlyt a földhasználat és a helyreállítás között.

Míg a mű holdas adatok átfogó képet adnak a szárazföldi viszonyokról, ami különösen hasznos nagy területű területek felméréséhez, az MDPI platformon végzett kutatások azt mutatják, hogy a mű holdas adatok nem biztos, hogy elég pontosak kis területű területek vagy felhős viszonyok megfigyelésekor [9]. Ilyen esetekben a drónok a mű holdas megfigyelés hiányosságait kompenzálhatják azzal, hogy helyi szinten jó minőségű képeket biztosítanak.

Másrészt a drónoknak is megvannak a korlátai. Először is, nem tudnak olyan nagy területet lefedni, mint a mű holdak. Másodszor, repülési idejük korlátozva az akkumulátor töltöttsége, ami megnehezíti a megfigyelést a nehezen elérhető helyeken. Amint azt Girich KG említi, a drónok jelentős üzemeltetési és karbantartási költségeket is igényelnek, miközben a mű holdas adatok rendszeresen és automatikusan gyűjthetők [10].

A legjobb eredményeket a mű hold- és drónadatokat integrálásával éri el. Ezeknek a technológiáknak a kombinált alkalmazása makro- és mikroszinten is lehetővé teszi a részletes adatok készítését, ami azért fontos

átfogó földképzlet-elemzés. Amint arra a Spatial Post rámutat, Kazahsztán aktívan vizsgálja az ilyen integráció lehetővé tételeit a mezőgazdasági területi letgazdálkodás és a természeti erőforrások nyomon követésének javítása érdekében [11].

Például egy Észak-Kazahsztánban végzett tanulmány megállapította, hogy a drónok és a műholdadatok kombinációja képes észlelni a talajromlás korai jeleit, és csökkenti a termésveszteség kockázatát. Dastan Janteliyev [12] szerint a gépi tanulás használata az adatok feldolgozására pontosabb előrejelzéseket és javítja a döntéshozatalt. Ezenkívül az adatmegosztás segít csökkenteni az egyetlen technológia használatakor fellépő hibákat. Különösen rossz látási viszonyok között a műholdadatok kiegészíthetők a drónokból nyert információkkal, ami minden körülmények között nagy pontosságú megfigyelést tesz lehetővé [13].

A műholdak és drónok használata tükrözi a mezőgazdaságot. Ezeket a technológiákat a városi területek megfigyelésére is használják, különösen Kazahsztán nagyvárosaiban. Például Almatiban és Nur-Sultanban távérzékelést alkalmaznak a zöldterületek állapotának nyomon követésére és az illegális fejlesztések megelőzésére [14]. A műholdadatok lehetővé teszik a városok növekedési dinamikájának és a területi lehasználat változásainak felmérését, a drónok pedig részletes adatokat szolgáltatnak az önkormányzati szintű operatív döntéshozatalhoz.

Az Arshalinsky körzetben végzett tanulmány kimutatta, hogy a távérzékelési adatok hatékonyan követhetők nyomon a talajviszonyok változásait, és megakadályozhatják a természeti területek degradációját [15]. Ez különösen fontos azokban a régiókban, ahol az intenzív urbanizáció a mezőgazdasági területek és a természeti erőforrások elvesztéséhez vezethet.

A kazahsztáni vízkészletek monitorozása az egyik legfontosabb feladat a vízhiánnyal összefüggésben. A „Műholdképek használata a vízkészletek megfigyelésére” című cikk olyan technológiákat tárgyal, amelyek segítségével műholdadatokat használnak víztestek, például folyók, tavak és tározók megfigyelésére. Az olyan műholdak, mint a Landsat és a Sentinel, adatokat gyűjthetnek a víztestekről, ami segít nyomon követni a vízszint változásait és általában a vízkészletek állapotát [16].

A műholdas adatok vízkészlet-gazdálkodási felhasználása különösen fontos az éghajlatváltozással összefüggésben, ahol a víz mennyiség változása jelentős hatással lehet a mezőgazdaságra és az urbanizációra. A műholdfelvételek lehetővé teszik a vízkészlet-dinamika eltéréseinek rendszeres nyomon követését és azonosítását, ami elősegíti a hatékonyabb gazdálkodást országos szinten [16].

Így a műholdas adatok és a drónok szárazföldi megfigyelésre történő felhasználása Kazahsztánban új lehetőségeket nyit meg a természeti erőforrások hatékony kezelésében. Ezek a technológiák lehetővé teszik a különböző részletességű adatok megszerzését, ami hozzájárul a pontosabb és időszertebb döntéshozatalhoz. A műhold- és drónadatok integrálása megteremtí a feltételeket a fenntartható mezőgazdasági fejlődés és környezetvédelmet elősegítő átfogó megoldások kidolgozásához.

2. Módszerek és anyagok

Ez a kutatás a fejlett távérzékelési technológiák kombinációját foglalta magában, amelyek mind műholdas adatokat, mind pilóta nélküli légi járműveket (UAV) használnak a szárazföldi erőforrások megfigyelésére Kazahsztán változatos tájain. A kiválasztott régiók a mezőgazdasági tevékenység és a környezeti fenntarthatóság szempontjából kritikus zónákat képviselnek, mivel hajlamosak a talajromlásra, elsivatagosodásra és erózióra. Ezen csústechnológiák integrálásával a kutatócsoport átfogó és pontos képet kívánt alkotni a talajviszonyokról, lehetővé téve az időben történő beavatkozást és a fenntartható földgazdálkodási gyakorlatot.

2.1. Tanulmányi terület és fókusz

A tanulmány első sorban Kazahsztán déli és északi régióira irányult, ideértve az ország mezőgazdasági termelékenységében döntő szerepet játszó hatalmas sztyeppe területét és félsivatagos területét. A sztyeppe régiók sík domborzatukkal és szezonális változékonyságukkal következetes megfigyelést igényeltek a talajerózióra és a túlhásználatra való nagy érzékenység miatt, különösen azokon a területeken, amelyek nagymértékben függenek a pásztorgazdálkodástól. A félsivatagos területek ezzel szemben olyan egyedi kihívásokat jelentettek, mint a szikesedés és a vízhiány, amelyek részletes és gyakori értékeléseket igényeltek a további degradáció mérséklése érdekében [1].

A vizsgálat során a kulcsfontosságú mezőgazdasági régiókat a földhasználati minták és a megfigyelt környezeti stressztényezők, például a talaj kimerülése, a változó növénytakaró és a víz alapján választották ki.

erő forrás kihívások. Ezekre a területi letelepítésekre összpontosítva a kutatás olyan adatokat kívánt szolgáltatni, amelyek közvetlenül alkalmazhatók a földgazdálkodási gyakorlatokra és a fenntarthatóságot elősegítő politikai döntésekre Kazahsztán mezőgazdasági szektorában.

2.2. Műholdas adatgyűjtés és alkalmazás

A műholdas adatgyűjtés volt a tanulmány első lépése, amely a területi letelepítés és a környezeti feltételek regionális tendenciáinak megértéséhez szükséges széles körű monitorozást biztosított. A Sentinel-2 és a Landsat műholdrendszerek adatait olyan nyílt hozzáférésű platformokról szereztek be, mint a Copernicus Open Access Hub és az USGS Earth Explorer, amelyek kiterjedt műholdképek-tárakat kínálnak nagy földrajzi területre [2].

Ezeket a műholdakat a nagyfelbontású képalkotási képességeik alapján választották ki, a Sentinel-2 10 méteres felbontást biztosítja, így a talajborítás és a növényzet egészségi állapotának kismértékű változásai is nyomon követhetők. A Landsat 30 méteres felbontása, bár nem olyan magas, mint a Sentinel-2, olyan történelmi adatokat kínált, amelyek felbecsülhetetlen értékűek voltak a földhasználat változásainak hosszú távú trendjeinek megállapításához, különösen azokban a régiókban, ahol a mezőgazdasági terjeszkedés felgyorsult az elmúlt évtizedekben.

A rendszeres, 5-10 naponta előforduló műholdas adatgyűjtés lehetővé tette a kutatócsoport számára, hogy nyomon kövesse a dinamikus folyamatokat, beleértve a terménynövekedési ciklusokat, a növénytakaró szezonális változásait és a talajromlás előrehaladását. Ezek az időbeli mintázatok kritikus fontosságúak voltak annak megértéséhez, hogy mind a természeti tényezők (pl. szezonális csapadékmintázatok), mind az emberi tevékenységek (pl. öntözési gyakorlatok, legeltetés intenzitása) hogyan befolyásolták a föld állapotát idővel.

A műholdfelvételek feldolgozása a Google Earth Engine (GEE) nevű felhőalapú platform segítségével történt, amely lehetővé teszi a nagyszabású környezeti adatok elemzését. A platform hatékony számítási képességei lehetővé tették a kutatócsoport számára, hogy gépi tanulási algoritmusokat – például a Random Forest osztályozót – alkalmazzon a talajtakarótípusok pontos kategorizálására. Ezzel a folyamattal hatalmas földterületeket elemeztek a talajerózió jeleinek, a növényzet súrlódásában bekövetkező változásoknak és a mezőgazdasági területek vízeloszlásának szabálytalanságainak kimutatására. A műholdadatok betekintést nyújtottak olyan nagyobb környezeti problémákba is, mint például a felszáraztás régiók elszívatosodása, amely Kazahsztán hosszú távú mezőgazdasági fenntarthatósága miatt egyre nagyobb aggodalomra ad okot [3].

2.3. UAV integráció és adatgyűjtés

Míg a műholdas adatok makroszintű képet nyújtottak, az UAV-k alapvető szerepet játszottak a nagy felbontású, lokalizált adatok rögzítésében. Multispektrális kamerákkal felszerelt drónokat, például a Zenmuse L1 érzékelőkkel ellátott DJI Matrice 300 RTK-t használtak arra, hogy részletes információkat gyűjtsenek azokról az egyes földterületekről, ahol részletesebb elemzésre volt szükség. Ezeket a területeket gyakran műholdas elemzéssel azonosították, amely olyan helyeket jelölt meg, amelyek potenciális környezetromlást vagy jelentős földhasználati változásokat mutattak [4].

A drónrepüléseket aprólékosan megtervezték olyan szoftverek segítségével, mint a Pix4D, amely lehetővé tette a pontos repülési útvonalakat és az adatgyűjtést. Az UAV-k 100 és 200 méter közötti magasságban repültek, és pixelenként 5 cm-es felbontásban rögzítették a képeket. Ez a részletgazdagság fontos szerepet játszott a kisebb léptékű jelenségek kimutatásában, amelyeket a műholdfelvételek önmagukban nem tudtak rögzíteni, mint például a lokalizált talajerózió, a növényegészségügyi eltérések és az infrastrukturális problémák, például a törött öntözőrendszerek.

A drónalapú adatgyűjtés egyik kritikus szempontja az volt, hogy ugyanazon a területen ismételt repüléseket lehessen végrehajtani, hogy rövid időn keresztül nyomon kövessék a változásokat. Például az UAV-okat mind az ültetési, mind a betakarítási szezonban telepítették a termés egészségének felmérésére és a vízhiánynak kitett területek azonosítására. A különböző időpontokban gyűjtött multispektrális adatok összehasonlításával a csapat képes volt észlelni a növényzet erélyének változásait, azonosítani az aszályra hajlamos zónákat, és valósidejű betekintést nyújtani a helytelen vízgazdálkodás vagy a talajtömörödés hatásaiba.

A drónadatokat az Agisoft Metashape segítségével dolgozták fel, hogy háromdimenziós modelleket hozzanak létre a terepről. Ezek a 3D modellek lehetővé tették a kutatócsoport számára, hogy figyelemre méltó pontossággal értékelje a talaj domborzatát, a talajszerkezetet és az eróziós mintákat. A részletes magassági adatok lehetővé tették annak jobb megértését, hogy a víz hogyan áramlik át a tájon, ami kritikus fontosságú azon régiók számára, amelyek az öntözés hatékonysága és a vízmezőgazdálkodás terén egyaránt kihívásokkal néznek szembe.

2.4. Adatfeldolgozás és -elemzés

Az összegyűjtött adatok feldolgozásához térinformatikai eszközök és gépi tanulási technikák kombinációja szükséges. A műhold- és az UAV-adatokat az ArcGIS és a QGIS segítségével integrálták, két nagy teljesítményű GIS-platformot, amelyek lehetővé tették a kutatócsoport számára a nagyméretű műholdképek és a lokalizált drónadatok egyesítését. Ez az integráció átfogó, többretegű képet nyújtott a földről, segítve a makro- és mikroszintű változások pontos rögzítését[5].

Az adatok mintáinak és anomáliáinak azonosítására gépi tanulási algoritmusokat alkalmaztak. Például a Random Forest modelleket használták a földhasználat jövőbeli változásainak előrejelzésére a történelmi műholdadatok és a jelenlegi drónmegfigyelések kombinálásával. Ez a megközelítés segített előre jelezni a talajromlás lehetséges területeit, lehetővé téve a területkezelők számára a megelőző intézkedések megtételét. Ezenkívül a műhold- és drónadatok kombinációja lehetővé tette a csapat számára, hogy összehasonlítsa a különböző régiókat és földhasználati gyakorlatokat, betekintést nyújtva abba, hogy bizonyos területek mennyire ellenállóbbak a környezeti stresszhatásokkal szemben, mint mások.

A növényzet egészségének mérésére a kutatás a Normalized Difference Vegetation Indexet (NDVI) használja, amely egy kulcsfontosságú mutató, amely mind a műholdas, mind a drónok multispektrális adataiból származik. Ez az index fontos szerepet játszott a növények és a természetes növényzet állapotának felmérésében, különösen az aszálynak kitett területeken. Az NDVI-értékek rendszeres monitorozásával a csapat észlelheti a vegetációs stressz korai jeleit, lehetővé téve a mezőgazdasági gyakorlatok időben történő beavatkozását, például az öntözési ütemterv módosítását vagy a műtrágyák hatékonyabb kijuttatását[6].

2.5. Az eredmények integrálása és a gyakorlati alkalmazás

A kutatás utolsó szakasza magában foglalja az összes adatforrás integrálását a használható betekintésekbe. Tematikus térképek készültek az aggodalomra okot adó területek kiemelésére, mint például a gyors talajromlást, szikesedést vagy csökkent mezőgazdasági termelékenységet tapasztaló zónák. Ezeket a térképeket átfogó jelentésekkel kiegészítve eljuttatták a helyi hatóságokhoz, mezőgazdasági szervezetekhez és földgazdálkodási hivatalokhoz. A részletes elemzés lehetővé tette az érdekelt felek számára, hogy megalapozott döntéseket hozzanak a földhasználat tervezésével, az öntözési stratégiákkal és a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokkal kapcsolatban.

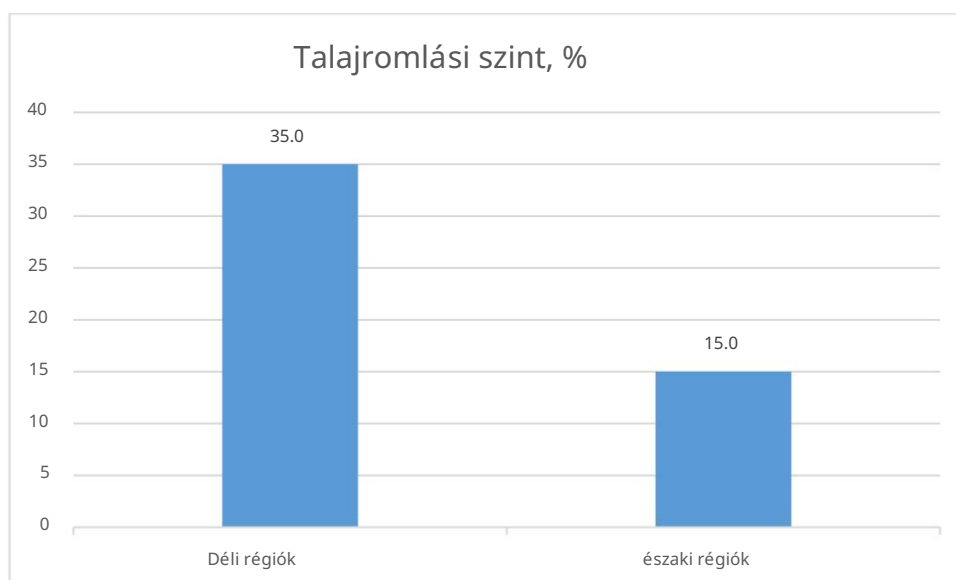
Például mind a műholdakról, mind az UAV-okról gyűjtött adatok azt mutatták, hogy Észak-Kazahsztán egyes legelőin nagy a túllelgetés veszélye. Ennek eredményeként ajánlásokat fogalmaztak meg a rotációs legeltetési gyakorlatok alkalmazására, csökkentve a veszélyeztetett területekre nehezedő nyomást és lehetővé téve a növénytakaró természetes regenerálódását. Hasonlóképpen, Dél-Kazahsztánban, ahol a vízhiány súlyos probléma volt, az adatok segítettek optimalizálni az öntözési ütemtervet azáltal, hogy azonosították azokat a területeket, ahol a legmagasabb a víz visszatartási potenciál.

3. Eredmények

A tanulmány eredményei bebizonyították, hogy a műholdas adatok és az UAV-technológia integrálása jelentős hatást gyakorol a kazahsztáni szárazföldi erőforrások megfigyelésére. E két fejlett módszer kombinálásával a különböző földterületek átfogó elemzését végezték el, lehetővé téve a talajromlás, a talajegészségügy és a mezőgazdasági termelékenység jelenlegi állapotának mélyebb megértését. Az itt bemutatott eredmények kiválasztott régiókról gyűjtött adatokon alapulnak, beleértve a sztyeppeket és a félisivatagi területeket is.

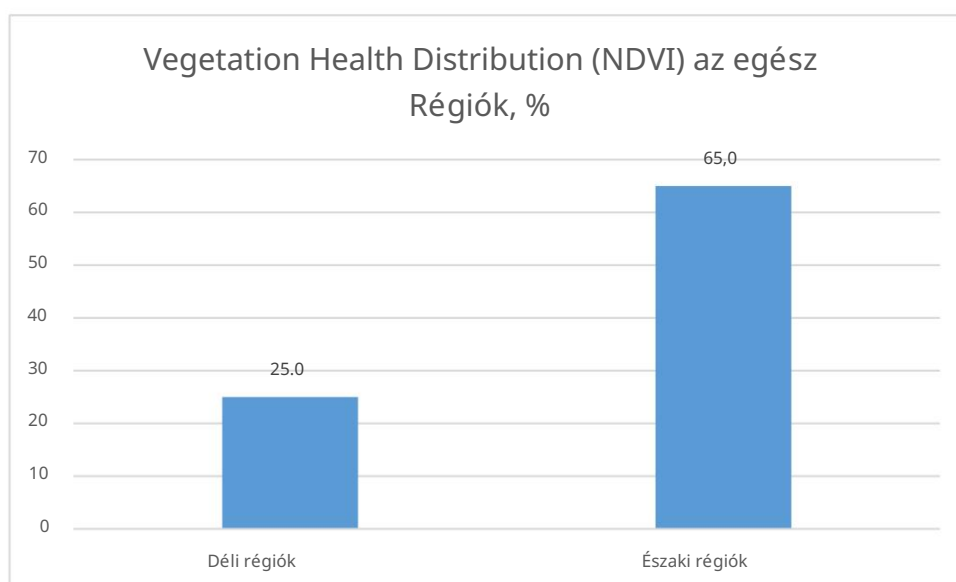
3.1. Műholdas adatok elemzése

A műholdas adatok elemzése értékes betekintést nyújtott a terület használatáról és a növényzet borításának nagyleptékű változásaiba a vizsgált régiókban. A Sentinel-2 és a Landsat műholdrendszerek figyelemre méltó mintákat tártak fel a növényzet egészségi állapotában, a talajerózióban és a talajromlásban az elmúlt évtizedben. Az egyik legfontosabb megállapítás az volt, hogy Kazahsztán déli régióiban a mezőgazdasági területek körülbelül 35%-án talajromlást azonosítottak, első sorban a túllelgetés és a nem megfelelő öntözési gyakorlat miatt.



1. ábra Talajromlási szintek.

Ezzel szemben az északi régiókban, amelyeket kevésbé érint a vízhiány, a növényzet egészségi állapota magasabb. A Sentinel-2 műholdakról származó Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adatai azt mutatták, hogy a megfigyelt mezőgazdasági területek 65%-a Észak-Kazahsztánban egészséges növénytakarót tartott fenn a vegetációs időszakban. Ez ellentétben állt a déli régiók szántóinak 25%-ával, ahol a növényzet a stressz jeleit mutatta az elégtelen vízellátás és a talaj tápanyag-kimerülés miatt[7].



2. ábra: A vegetáció egészségi megoszlása (NDVI) a régiók között.

A műholdfelvételek a víztestek és a környező területek megfigyelésében is nagy szerepet játszottak. Az elemzés kimutatta, hogy a félsivatagos régiókban a víztestek 18%-ánál csökkent a víz mennyisége az elmúlt öt évben, ami közvetlenül érintette a közeli mezőgazdasági területeket. A műholdas adatok több éves összehasonlítása lehetővé tette a csapat számára, hogy észlelje a talaj szikesedésének 7%-os növekedését ezekben a régiókban, ami jelentős veszélyt jelent a jövőbeli mezőgazdasági termelékenységre.

3.2. UAV adatok és nagy felbontású elemzés

Az UAV-okról gyűjtött adatok részletesebb és lokalizáltabb perspektívát adtak a szárazföldi viszonyokról. Multispektrális kamerákkal felszerelt UAV-kat telepítettek a műholdas elemzések által kritikusnak minősített területek megfigyelésére. A nagy felbontású képek (pixelenként 5 cm) lehetővé tették a csapat számára, hogy azonosítsa a mikroszintű problémákat, például a talajtömörödést, a lokalizált eróziót és az infrastruktúra leállását, amelyek gyakran láthatatlanok a műholdas adatokban[8].

Az egyik legfigyelemreméltóbb eredményt az észak-kazahsztáni legelőkön figyelték meg, ahol az UAV adatok azt mutatták, hogy a megfigyelt legelők 42%-a a túllelgetés jeleit mutatta. A drónok nagy felbontású képeket készítettek, amelyek kiemelték a növényzet elvesztését és a talaj tömörödését ezeken a területeken. A további elemzés feltárta, hogy a legelők 15%-a elérte a degradáció kritikus szakaszát, amely azonnali beavatkozást igényel, például forgó legeltetést, hogy lehetővé tegye a föld helyreállítását.

A mezőgazdasági területeken az UAV-adatok pontosabb értékelést adtak a termés egészségéről, különösen azokban a régiókban, ahol a műholdas adatok potenciális problémákra utaltak. A drónok által rögzített multispektrális adatok azt mutatták, hogy a dél-kazahsztáni mezők 30%-án vízhiány volt tapasztalható, a vegetációs indexek pedig jelentős csökkenést mutattak a nyár közepén. Emellett a táblák 22%-án a talajerózió jelei mutatkoztak, ami a lejtőn volt a legkifejezettebb. Ezek az eredmények kritikusak voltak az öntözési ütemterv módosítása és a földhasználat optimalizálása szempontjából, hogy megakadályozzák a további romlást[9].

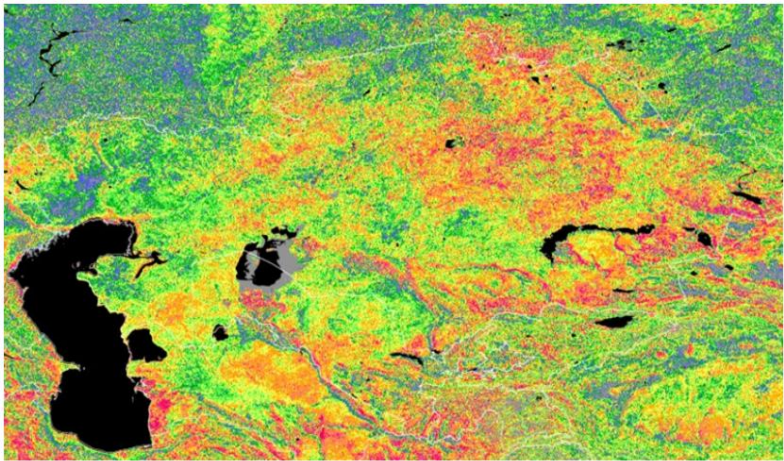
1. táblázat: UAV által azonosított problémák a mezőgazdasági területeken.

Mezőtípus	Víz százalékos aránya Stressz (%)	Erózió százaléka (%)
Northern Fields	15%	10%
Southern Fields	30%	22%
Legelők	25%	18%

3.3. Kombinált adatintegráció és elemzés

A kutatás egyik legjelentősebb eredménye a műhold- és UAV-adatok sikeres integrációja volt, amely lehetővé tette a kazahsztáni szárazföldi viszonyok holisztikusabb megértését. A műholdas adatok széles körű áttekintést adtak a régiókról, míg az UAV-k részletes információkat adtak konkrét problémás területekről. Ez a kombináció pontosabb előrejelzést és döntéshozatalt tett lehetővé.

Például a műholdas és az UAV adatok integrálásával a kutatócsoport megállapította, hogy a talajerózió a vizsgált területen lévő mezőgazdasági területek 28%-át érintette. Ezeknek a földeknek az UAV adatai azt mutatták, hogy 10%-uk súlyos eróziót szenvedett el, ami azonnali talajvédelmi intézkedéseket igényel. Ezeket a megállapításokat alátámasztotta a nagy felbontású topográfiai térképek elkészítése, amelyek az esős évszakban felgyorsult eróziós területeket jelezték a vízfolyás miatt[12].



3. ábra: Műhold és UAV adatok integrálása az erózióelemzéshez.

A mű holdas és az UAV-adatok összehasonlítása a vízgazdálkodásban is eltéréseket tárt fel. Míg a mű holdfelvételek azt mutatták, hogy a megfigyelt régiók 18%-án csökken a vízszint, az UAV adatok konkrét öntözési problémákat mutattak ki, amelyek a mező 8%-át érintik, beleértve a törött csatornákat és a rosszul kezelt vízelosztó rendszereket. Ezek a megállapítások nélkülözhetetlenek voltak a helyi hatóságok számára ahhoz, hogy prioritásként kezeljék a javításokat és javítsák a vízvezetési erőforrásokat [16].

3.4. Az eredmények gyakorlati vonatkozásai

A tanulmány eredményei jelentős hatással vannak a kazahsztáni földgazdálkodási gyakorlatra. A mű hold- és UAV-adatok integrálása lehetővé teszi a talajviszonyok pontosabb és időszzerűbb felmérését, értékes információkkal szolgálva a helyi hatóságok és a mező gazdasági szereplők számára. Ezen eredmények alapján számos kulcsfontosságú javaslatot tettek:

1. Rotációs legeltetés: Tekintettel a túllelgtetett legelők nagy százalékára, különösen Észak-Kazahsztánban, a növényzet helyreállása és a talajtömörödés csökkentése érdekében forgatólegeltetést kell alkalmazni. Ez a gyakorlat segíthet helyreállítani a tanulmányban azonosított, kritikusan leromlott legelők 15%-át.
2. Öntözés optimalizálása: A déli területek 30%-án azonosított vízstressz azt jelzi, hogy jobb öntözési gyakorlatra van szükség. Az elromlott öntözőrendszerek javításával és a vízelosztás optimalizálásával csökkenthető a vízhiány terméshozamra gyakorolt hatása, és megelőzhető a további talajerózió.
3. Talajvédelmi intézkedések: Azonnali talajvédelmi intézkedésekre van szükség azokon a területeken, ahol a mező gazdasági területek 10%-a súlyos erózióban szenved. Az olyan technikák, mint a teraszépítés, a takarónövények ültetése és a lefolyógát építése jelentősen csökkenthetik az erózió mértékét ezeken a területeken.

4. Vita

A tanulmány eredményei jelentős betekintést nyújtanak a kazahsztáni szárazföldi megfigyelés jelenlegi helyzetébe, különösen a műholdas adatok és az UAV-k alkalmazása révén. Ezeknek a technológiáknak az integrációja rendkívül hatékonynak bizonyult a hagyományos földmegfigyelési módszerekkel kapcsolatos számos kihívás kezelésében. Ezek az eredmények nemcsak a modern távérzékelési technikák előnyeit emelik ki, hanem olyan területeket is feltárnak, ahol további fejlesztésekre van lehetőség. A vita itt az eredmények következményeiről, a tanulmány lehetséges korlátairól, valamint a kutatás és gyakorlati alkalmazás jövőbeli lehetőségeiről szól.

4.1. A mű hold és az UAV integráció hatása a szárazföldi megfigyelésre

Ennek a kutatásnak az egyik legfigyelemreméltóbb aspektusa a műholdadatokat és az UAV-képek sikeres integrációja, amely átfogó megértést nyújtott a földhasználatról és a környezeti változásokról nagy léptékű és lokalizált területeken egyaránt. A nagy felbontású műholdadatokat, például a Sentinel-2-től és a Landsat-tól kapott adatok kombinációja az UAV-val gyűjtött információkkal lehetővé teszi a talajromlás, a termésegészségügy és a vízgazdálkodás árnyaltabb elemzését.

Az észak-kazahsztáni vegetáció 65%-os egészségi aránya, szemben a déli régiók mindössze 25%-ával, azt jelzi, hogy míg az ország egyes területei viszonylag stabilak maradnak, mások jelentős környezeti terhelésnek vannak kitéve. Ez az egyenlőtlenség nagyrészt a víz hozzáférhetőségében és a földgazdálkodási gyakorlatban tapasztalható különbségeknek tudható be. Azokban a régiókban, ahol az öntözési infrastruktúra elavult vagy rosszul karbantartott, a növények nagyobb valószínűséggel szenvednek vízhiánytól, ami csökkenti a növényi borítást és alacsonyabb általános termelékenységhez vezet. A műholdas adatok ezt a nagyobb tendenciát ragadták meg, míg az UAV-k kritikus helyi részleteket szolgáltatottak, például azonosították az elromlott öntözőrendszereket és a különösen súlyos talajeróziós területeket. Ez az átfogó nézet célzottabb beavatkozásokat tesz lehetővé, és támogatja a terület-specifikus földgazdálkodási stratégiák kidolgozását.

Működési szempontból az UAV-k használata a műholdas adatok kiegészítésére előrelépést jelent a szárazföldi megfigyelés pontosságának és időszzerűségének javításában. A hagyományos földi felmérések hatóköre és gyakorisága gyakran korlátozott, a műholdak pedig, bár kiválóak a széles lefedettségre, néha nem rendelkeznek a részletes elemzéshez szükséges felbontással bizonyos területeken. Az UAV-k valós idejű,

nagy felbontású képek, amelyek képesek kimutatni a kisebb léptékű változásokat, például a talajtömörödést vagy a helyi eróziót, amelyek egyébként észrevétlenek maradnának. Az UAV-k által azonosított legelő k 42%-a a túllégtetés jeleit mutatja Észak-Kazahsztánban, kiváló példája annak, hogy a dróntechnológia miként képes olyan betekintést nyújtani, amely jelentősen javítja a műholdas adatokat.

4.2. Környezeti és mezőgazdasági vonatkozások

A tanulmány megállapítja, hogy fontos hatással vannak a környezeti fenntarthatóságra és a mezőgazdasági termelékenységre egyaránt. A tény, hogy Dél-Kazahsztán mezőgazdasági területének 35%-át már most is érinti a talajromlás, riasztó, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy egyre nagyobb nyomás nehezedik ezekre a területekre, hogy megfeleljenek a növekvő népesség igényeinek. Ha nem hagyják figyelmen kívül, ez a degradáció a mezőgazdasági termelés hosszú távú csökkenéséhez vezethet, ami veszélyezteti a régió élelmezésbiztonságát.

A műhold- és UAV-adatok szerepe ezen trendek azonosításában felbecsülhetetlen a proaktív földgazdálkodási stratégiák kidolgozásában. Például a félsivatagos területeken a talaj szikesedésének 7%-os növekedése rávilágít a jobb vízgazdálkodási gyakorlatok szükségességére, különösen azokban a régiókban, ahol az öntözésre nagy szükség van. A szikesedés, ha nem mérsékeljük, visszafordíthatatlan károkat okozhat a talajban, ami alkalmatlanná teszi a talajt a mezőgazdaságra. Ezen változások valószínű nyomon követésével a döntéshozók korrekciós intézkedéseket hajthatnak végre, még mielőtt a károk széles körben elterjednének.

Egy másik kritikus szempont, amelyet a tanulmány kiemelt, a vegetációs indexek, például az NDVI szerepe a haszonnövények és a természetes vegetáció egészségi állapotának nyomon követésében. Az NDVI használata az észak-kazahsztáni szántóföldek 65%-ának egészségi állapotának megfigyelésére rendkívül hatékonynak bizonyult, mivel korai figyelmeztetést adott az olyan lehetséges problémákról, mint a vízstressz vagy a tápanyaghiány. Az olyan régiókban, mint Dél-Kazahsztán, ahol a táblák 30%-át vízhiánysnak minősítették, ez a korai felismerő rendszer lehetővé teszi az időben történő beavatkozást, például az öntözési gyakorlatok módosítását vagy a szárazságtűrő növényfajták bevezetését.

Bár a műholdadatok és az UAV-k hatékonynak bizonyultak ebben a tanulmányban, alkalmazásuknak vannak korlátai. Például a drónokat korlátozza az akkumulátor élettartama és a hatótávolság, ami megnehezíti a hatalmas területek lefedését egyetlen repülés során. Ezenkívül a felhőzet akadályozhatja a műholdfelvételek készítését, különösen a vegetációs időszak kulcsfontosságú időszakában. Ezek a kihívások azt sugallják, hogy bár a technológiák erőteljesek, nem mentesek a korlátaiktól. A jövőbeli kutatásoknak olyan hibrid rendszerek fejlesztésére kell összpontosítaniuk, amelyek integrálják a távérzékelés más formáit, például a LiDAR-t vagy a földi érzékelőket, hogy még robusztusabb adatokat biztosítsanak.

4.3. A politika szerepe és a jövőbeli alkalmazások

A tanulmány eredményei arra mutatnak rá, hogy átfogóbb földhasználati politikákra van szükség Kazahsztánban, különösen azokban a régiókban, ahol magas szintű a degradáció és a környezeti stressz. Míg a modern technológia biztosítja a földterületek hatékonyabb nyomon követéséhez és kezeléséhez szükséges eszközöket, a szakpolitikai kereteknek is fejlődnie kell annak biztosítására, hogy ezeket az eszközöket teljes mértékben kihasználják.

Például a mezőgazdasági területek 10%-ának súlyosan erodáltként való azonosítása azonnali beavatkozást tesz szükségessé a kormány által támogatott talajvédelmi programokon keresztül. Ezeknek a programoknak a fenntartható földgazdálkodási gyakorlatokra kell összpontosítaniuk, például a vetésforgó előmozdítására, a takarónövények használatára és a víz-takarékos öntözési technikák alkalmazására. Ilyen beavatkozások nélkül a megnövekedett további degradáció veszélye, ami még megnehezíti ezen területek helyreállítását a jövőben.

Ezenkívül a műhold- és UAV-adatoknak Kazahsztán meglévő földgazdálkodási rendszerébe történő integrálása segíthet pontosabb és megbízhatóbb földnyilvántartások létrehozásában. Amint azt Quamar a térinformatikai rendszerbe integrált dróntechnológiáról szóló tanulmányában [1] megjegyezte, a drónok földhasználat nyomon követésére történő használata jelentősen javítja a földnyilvántartások pontosságát, ami kritikus fontosságú mind a környezetgazdálkodás, mind a gazdasági fejlődés szempontjából. A földkataszteri rendszerek fejlesztésével Kazahsztán nemcsak jobban tudja kezelni természeti erőforrásait, hanem több befektetést is vonzhat a mezőgazdasági szektorba azáltal, hogy naprakész és pontos információkat biztosít a befektetőknek a földterületek elérhetőségéről és feltételeiről.

A jövőbeni fejlesztés másik fontos területe a távérzékelési technológiák használatával foglalkozó szakemberek képzése. Míg ez a tanulmány bemutatta a műhold- és UAV-adatok integrálásának hatékonyságát, sikere nagymértékben függött a kutatók és technikusok azon képességétől, hogy képesek-e feldolgozni és elemezni a nagy adatkészleteket olyan fejlett szoftverek segítségével, mint a GEE és a Pix4D. Ahogy Mukhamediev javasolja [6], a távérzékelésre és a térinformatikai technológiákra összpontosító oktatási programok fejlesztése kulcsfontosságú lesz annak biztosításában, hogy Kazahsztán rendelkezzen a szükséges műszaki szakértelemmel ahhoz, hogy ezeket az eszközöket teljes mértékben kiaknázza a fenntartható földgazdálkodásban.

4.4. Korlátok és jövőbeli kutatási irányok

Bár a tanulmány jelentős eredményeket mutatott be, fontos elismerni korlátait. Az egyik legfontosabb kihívás a műholdas adatok időbeli felbontása volt, mivel a kritikus mezőgazdasági időszakokban a felhőzet néha akadályozta az adatgyűjtést. Bár az UAV-k kiegészítő adatokat szolgáltatnak, korlátozott repülési idejük és az akkumulátor korlátai miatt egyes régiókat nem lehetett olyan gyakran figyelni, mint amennyire kívántuk. A jövőbeli tanulmányoknak fel kell tárniuk az alternatív adatforrások, például a földi érzékelők vagy a LiDAR integrálását, amelyek további adatrétegeket kínálhatnak, és kitölthetik azokat a hiányosságokat, ahol a műholdas és az UAV technológiák kevésbé hatékonyak.

Ezenkívül a Kazahsztán egyes régióira való összpontosítás, bár szükséges ehhez a tanulmányhoz, korlátozza az eredmények általánosíthatóságát más, eltérő környezeti feltételekkel rendelkező régiókra. A jövőbeli kutatások kiterjeszthetik a tanulmány hatókörét az ökoszisztémák szélesebb körére, például hegyvidéki vagy erdős területekre, hogy felmérjék, hogyan teljesítenek a távérzékelési technológiák ezekben a környezetekben.

Összefoglalva, a műholdas adatok és az UAV-ok integrálása hatékony módszernek bizonyult a kazahsztáni szárazföldi erőforrások nyomon követésére, amely széles körű betekintést és részletes helyi adatokat kínál. A tanulmány megállapításai jelentős hatással vannak a mezőgazdasági termelékenységre, a környezeti fenntarthatóságra és a földgazdálkodási politikára. Azzal, hogy folytatja a technológiák és alkalmazásaik finomítását, Kazahsztánnak lehetősége nyílik arra, hogy regionális vezető szerepet töltsön be a távérzékelés fenntartható fejlődés érdekében történő alkalmazásában.

5. Következtetések

Ez a tanulmány bemutatja a műholdas adatok és az UAV-technológiák integrációjában rejlő hatalmas lehetőségeket a kazahsztáni földmegfigyelés és -gazdálkodás javítására. Ezeknek a fejlett eszközöknek a kombinációja lehetővé teszi a mezőgazdasági területek, legelők és vízkészletek jelenlegi állapotának átfogóbb áttekintését, olyan betekintést nyújtva, amelyet a hagyományos megfigyelési módszerekkel önmagában nehéz lett volna elérni. Műholdfelvételek segítségével széles minták rögzítésére és UAV-k segítségével a konkrét kérdésekre nagyfokú, többretegű elemzést tudunk készíteni, amely nemcsak azonosítja a problémás területeket, hanem használható adatokat is kínál a földhasználati gyakorlatok javításához.

Az eredmények, különösen a dél-kazahsztáni vegetációs stressz magas százaléka és az északi legelők széles körben elterjedt illegeltetése, jól illusztrálják a fenntarthatóbb földgazdálkodási gyakorlatok alkalmazásának fontosságát. A tanulmány során összegyűjtött részletes információk szilárd alapot biztosítanak olyan tájékozott döntések meghozatalához, amelyek közvetlenül befolyásolhatják a földhasználati politikákat, a mezőgazdasági termelékenységet és a környezeti fenntarthatóságot. Például a vízterhelésre és a talajerózióra vonatkozó valós idejű adatok lehetővé teszik az időben történő beavatkozást, biztosítva, hogy a talajromlás mérséklődik, mielőtt az visszafordíthatatlanná válna.

Technológiai szempontból a műholdadatokat integrálása UAV-képekkel rendkívül hatékonynak bizonyult. A műholdak széles lefedettsége, kiegészítve a drónokról készült részletes, lokalizált felvételekkel, teljesebb képet alkotott a vizsgált régiók szárazföldi viszonyairól. Ez a megközelítés nagyobb rugalmasságot tesz lehetővé a földterület-megfigyelés során, mivel lehetővé teszi az érdekelt felek számára, hogy prioritást állítsanak fel a beavatkozásnak a leginkább veszélyeztetett területeken, miközben továbbra is átfogó képet adnak a nagyobb trendekről. Ez egyúttal a szárazföldi megfigyelés jövője felé mutat, ahol a távérzékelés többféle formáját kombináló hibrid megközelítés valószínűleg legnormává válik.

Ennek a kutatásnak az egyik legfontosabb következtetése, hogy a technológia önmagában nem elég. A műholdas és UAV adatok sikeres alkalmazása a képzett szakemberek meglététől függ.

az adatok értelmezése és a megszerzett felismerések alapján megalapozott döntések meghozatala. Ez aláhúzza az oktatásban és a műszaki képzésbe való folyamatos beruházások szükségességét, különösen a távérzékelés és a térinformatikai technológiák terén. Kazahsztán csak egy erősségű tudásbázis felépítésével tudja teljes mértékben kihasználni ezen eszközök erejét földgazdálkodási rendszereinek fejlesztésére.

Összefoglalva, a tanulmány eredményei értékes hozzájárulást kínálnak a kazahsztáni földgazdálkodási gyakorlatok javítására irányuló, folyamatban lévő erőfeszítésekhez. A műholdas és az UAV-technológiák integrációja új lehetőségeket nyitott meg a precíz, adatvezérelt beavatkozások számára, és precedenst teremtett a régió jövőbeni tanulmányaihoz. Ahogy ezek a technológiák folyamatosan fejlődnek, kétségtelenül a központi szerepet fognak játszani a fenntartható mezőgazdaság és a környezetvédelem jövőjének alakításában Kazahsztánban. Az itt szerzett megállapítások új titervként szolgálhatnak más, hasonló kihívásokkal szembesülő régiók számára, demonstrálva az innovatív technológiák és az előremutató földhasználati stratégiák ötvöztetésének óriási értékét.

Hivatkozások

1. Quamar, MM, et al. (2024). A drónba integrált térinformatikai technológia fejlesztései és alkalmazásai. *Remote Sensing*, 15(20), 5039. <https://doi.org/10.3390/rs15205039>
2. Planet Labs PBC. (2024). Kazahsztán felhasználja a bolygóadatokat a mezőgazdasághoz, az erőforrás-gazdálkodáshoz és a katasztrófaelhárításhoz. Planet.com. Letöltve: <https://www.planet.com/pulse/kazakhstan-leverages-planet-data-for-agriculture-resource-management-and-disaster-response/>
3. Saiwa AI. (2024). Műholdas és drónfelvételek összehasonlító elemzése. Saiwa.AI. Letöltve: <https://saiwa.ai/blog/satellite-and-drone-imagery/>
4. Seitkazy, M., et al. (2024). Földhasználati dinamika előrejelzése a kazahsztáni Talas körzetben a Landsat adatok és a Google Earth Engine (GEE) platform használatával. *Fenntarthatóság*, 16(14), 6144. <https://doi.org/10.3390/su16146144>
5. Alipbeki, O. és mtsai. (2024). A városkörnyéki területek földhasználatának és földborításának térbeli és időbeli értékelése: esettanulmány a kazahsztáni Arshaly körzetről. *Fenntarthatóság*, 12(4), 1556. <https://doi.org/10.3390/su12041556>
6. Mukhamediev, R. et al. (2024). Szikeresedési területek operatív feltérképezése mezőgazdasági területeken gépi tanulási modellek segítségével alacsony magasságú multispektrális képek alapján. *Drones*, 7(6), 357. <https://doi.org/10.3390/drones7060357>
7. Maimaitijiang, M. et al. (2024). Termésfigyelés műholdas/UAV-adatfelhasználással és gépi tanulás segítségével. *Remote Sensing*, 12(9), 1357. <https://doi.org/10.3390/rs12091357>
8. Nasiri, V. és mtsai. (2024). Területi felhasználás és talajtakaró térképezés Sentinel-2, Landsat-8 műholdképek és Google Earth Engine segítségével: Két kompozíciós módszer összehasonlítása. *Remote Sensing*, 14(9), 1977. <https://doi.org/10.3390/rs14091977>
9. Kابدulova, G. et al. (2024). A földhasználat műholdas megfigyelése Kazahsztánban. In *Proceedings of SPIE*, 11174, 1117406. <https://doi.org/10.1117/12.2533563>
10. Girich, KG, et al. (2023). Távérzékelés a talajborítás változásának észleléséhez. *Nemzetközi kutatás Journal*, 5(131), 64. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.64>
11. Térposta. (2024). Távérzékelés használata várostervezéshez. Térbeli posta. Letöltve innen: <https://www.spatialpost.com/remote-sensing-urban-planning-and-development/>
12. Janteliyev, D. et al. (2024). Az UAV technológia hatékonyságának értékelése a földmegfigyelésben. -től ResearchGate. Letöltve: https://www.researchgate.net/publication/360893870_Increasing_the_Level_of_Management_Efficiency_Pilóta_nélküli_Légijárművek_használata_Legelő_Felügyeletehez
13. Geopard.tech. (2024). A mezőgazdasági termelékenység műholdas alapú értékelése. Geopard. Letöltve: <https://geopard.tech/blog/satellite-agriculture-monitoring-for-field-analytics/>
14. Anandkumar, V., et al. (2024). Drónok precíz távérzékeléséhez mezőgazdasághoz Közép-Ázsiában. ResearchGate. Letöltve -től: https://www.researchgate.net/publication/372845202_Analysis_of_Drone_Applications_in_Precision_Agriculture
15. Fan, X. et al. (2024). Földtakaró osztályozása távérzékeléssel. *Erdők*, 15(9), 1504. <https://doi.org/10.3390/f15091504>
16. Anderson, MC, et al. (2024). Műholdas képek használata a vízkészletek megfigyelésére. A környezet távérzékelése, 124, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.032>

Felöltség kizárása/Kiadói megjegyzés: Az összes publikációban szereplő nyilatkozatok, vélemények és adatok kizárólag az egyes szerző(k) és közreműködő(k) állításai, véleményei és adatai, nem pedig az MDPI-é és/vagy a szerkesztő(k)é. MDPI és/vagy a szerkesztő(k)

nem vállal felelő sséget a tartalomban hivatkozott ötletek, módszerek, utasí tások vagy termékek által okozott személyi vagy vagyoni sérü lésekért.