



EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

INFORMATIKAI KAR

PROGRAMOZÁSELMÉLET ÉS SZOFTVERTECHNOLÓGIAI
TANSZÉK

Vízparti és vízfelszíni hulladékszűrés műholdfelvételeken normalizációs és változásdetektáló módszerekkel

Témavezető:

Dr. Cserép Máté
egyetemi adjunktus

Szerző:

Gőgös Márton
programtervező informatikus MSc

Budapest, 2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Kutatási háttér	4
2.1.1. Motiváció	4
2.1.2. Fogalmak	5
2.2. Korábbi tanulmányok	9
2.2.1. Plastic Waste Monitoring	9
2.2.2. Normalizációs módszerek	15
2.2.3. Változáselemzés	18
3. Multispektrális műholdfelvételek feldolgozása	20
3.1. Normalizálás	20
3.1.1. Z-score módszer	21
3.1.2. Percentile módszer	24
3.1.3. Referenciakép alapú módszer	26
3.2. Változáselemzés	30
3.2.1. Eltérések kiszámítása	30
4. Eredmények	43
5. Összefoglalás	51
Köszönetnyilvánítás	52
Irodalomjegyzék	52
Ábrajegyzék	56
Táblázatjegyzék	59

1. fejezet

Bevezetés

Földünk népességének gyarapodása egyre nagyobb problémákhoz vezet világszerte. Egyik legkiemelkedőbb ezek közül a könnyen előállítható és más anyagokhoz képest költséghatékony műanyag termékek mennyiségének növekedése. Kedvező áruk és elérhetőségük rendkívül magas keresletet teremt a bolygónk minden táján. Azonban legtöbbször gyenge minőségük és rövidtávú felhasználhatóságukból kifolyólag hamar kidobásra kerülnek. Sokszor közvetlenül vagy közvetetten is a hulladék egy része a természetben köt ki, ahol akár több száz évig tartó lebomlásának köszönhetően újabb és újabb gondokat okoz a természetes élővilágnak és a lakosságnak is.

A vízterületek felszínén és partjai mentén előforduló műanyag hulladékok különös problémát jelentenek a közeg folytonos mozgása és gazdag növény- és állatvilága, valamint a káros anyagok feloldódása és körforgásba kerülése szempontjából. Kutatásom egyik célja ezen területek változásainak felismerése, elsősorban a műanyag szeméttel borított részekre összpontosítva. A munkám során multispektrális műholdfelvételekkel dolgozom. A rendelkezésemre álló képeket a Planet amerikai Föld-képalkotási vállalat eszközei készítették. A PlanetScope egy körülbelül 130 szatelitből álló konstelláció, aminek feladata a földfelszín szárazföldi területeinek naponta történő felvételezése.

A bolygó természeti sajátosságaiból, valamint a műholdak közötti esetleges eltérésekből adódóan a képek kisebb, de akár meglehetősen nagy mértékben is különbözhetnek egymástól. Ezek a felvételek, habár Bottom of Atmosphere (BoA) műholdképek, ugyanúgy előfordulhatnak rajtuk további javítást igénylő eltérések. A BoA alatt olyan képeket értünk, amik már átestek egyfajta előfeldolgozáson a légkörből

adódó negatív hatások és torzulások korrekciója érdekében. Az eltérések megnehezítik a feldolgozhatóságot, továbbá negatívan befolyásolhatják a műanyag hulladékos területek felismerésének eredményességét. Továbbá gondot okozhatnak a valós területi változások detektálásában. Kutatásomban továbbá erre keresek megoldásként normalizációs módszereket, amivel a felvételek minőségét közel azonos tartományba tudom hozni. Kutatásom során Z-score, Percentile és egy referenciakép alapú normalizálási eljárást tesztelek. Miután a rendelkezésemre álló felvételeken elvégeztem a módosításokat, azokat kiértékelem és egymással összehasonlítom, hogy a további feladataim szempontjából legeredményesebbet használjam fel. Célom továbbá, hogy betekintést adjak a többi technika sajátosságaiba.

A felvételek egymáshoz igazításának célja a minél eredményesebb összehasonlíthatóság. A normalizálást követő lépés a műanyag hulladékos területek detektálására a változáselemzés. Ez a technika arra szolgál, hogy az időben egymást követő, azonos területekről készült távérzékelési felvételeken kiszűrjük azokat a részeket, ahol bizonyos mértékű változás történt. Az eltéréseket két kép között vizsgálom. A műholdképek készítése között optimális esetben pár nap telt el, habár az eredmények még 1-2 hetes eltéréssel is hasznosíthatók lehetnek, annál nagyobb időbeli különbséggel már nem érdemes elemzést végezni. A változáselemzés során a felvételek értékeit kivonom egymásból, így kapva egy abszolút eltérést. Ezen még minden apró különbség szerepel, ugyanis túl sok tényező - például a napfény, levegő összetétele, árnyék, környezet mozgása, szenzor és eszköz minősége - alapján változnak a pixelek ahhoz, hogy két tökéletesen ugyanolyan felvételünk legyen még előfeldolgozás után is. Emiatt választok egy küszöbértéket, ami alapján bizonyos értékeket eldobok és csak a lényeges változásokat tartom meg. Ezután még szükséges lehet egy további szűrés a műanyag hulladékok pontos és biztos felismerésére.

2. fejezet

Szakirodalmi áttekintés

2.1. Kutatási háttér

2.1.1. Motiváció

Az emberiség jelenleg körülbelül 300 millió tonna műanyag hulladékot termel évente, aminek meglehetősen kis mennyiségét hasznosítják újra és közel 80%-a hulladéklerakókba vagy közvetlenül a természetbe kerül [1]. Kutatásom fő célja egy megbízható és hatékony módszer kidolgozása, ami elősegíti a műanyagszennyezés visszaszorítására irányuló további erőfeszítéseket.

Dolgozatomban több belföldi és külföldi térségen végeztem elemzéseket. Egyaránt érdekem a folyók és állóvizek felszínének vizsgálata, továbbá potenciális hulladékforrások feltérképezése is.

Egyik jeletős terület a Tisza folyó, aminek nagy része Magyarországon halad át. Ennek mentén az egyik hulladékos terület a Tisza-tó környékén található Kiskörei vízerőmű. A 2.1. ábrán látható a létesítménynél feltorlódott természetes uszadék és a közé keveredett számos műanyag hulladék.



2.1. ábra. Kiskörei vízerőműnél feltorlódott növényi hordalék és az árterekből kisodort hulladékok [2].

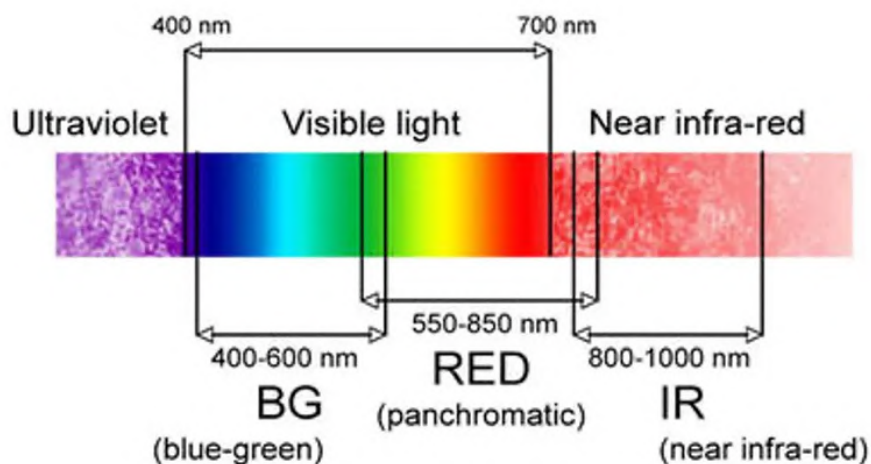
2.1.2. Fogalmak

Spektrális sávok

A spektrális sávok a fény különböző hullámhossz-tartományai, amelyeket a műholdas érzékelő rögzít. Ezek a sávok magukban foglalhatják a látható fényt, valamint a látható tartományon kívüli más hullámhosszakot, például az infravörös és az ultraibolya tartományt. Az egyes spektrális sávok különböző információkat rögzítenek a Föld felszínéről. A spektrális sávokat gyakran kombinálják az úgynevezett multispektrális képalkotás során, amely átfogóbb képet adhat a Föld felszínéről. A multispektrális képalkotás számos alkalmazásban használható, például a mezőgazdaságban, a környezet megfigyelésében és a várostervezésben [3].

Multispektrális műholdfelvétel

A multispektrális kép ugyanarról a helyszínről készült több képréteg gyűjteménye, amelyek mindegyike egy adott hullámhossz-sávban jött létre magas minőségű szenzorok segítségével [4]. Tanulmányomban a szemmel látható tartomány vörös, zöld és kék, valamint az emberi szem számára már nem megfigyelhető közeli infravörös fény hullámhossztartományába eső rétegekkel foglalkozom. A 2.2. ábra szemlélteti ezen tartományok terjedelmét nanométerben megadva.



2.2. ábra. Szemmel látható és közeli infravörös hullámhossztartományok [5].

TIFF és GeoTIFF

A TIFF, ami a Tag Image File Format rövidítése, olyan számítógépes fájl, amelyet raszteres grafikák és képinformációk tárolására használnak. Kiterjesztésük .tiff vagy .tif [6]. A GeoTIFF fájl kiterjesztés olyan földrajzi metaadatokat tartalmaz, amelyek leírják a kép minden egyes képpontjának tényleges térbeli elhelyezkedését. A GeoTIFF fájl létrehozásakor a térbeli információk beágyazott címkék formájában kerülnek a .tif fájlba, amelyek tartalmazhatnak raszteres képi metaadatokat is [7].

PlanetScope

A PlanetScope, amelyet a Planet üzemeltet, egy körülbelül 130 műholdból álló konstelláció, amely naponta képes a Föld teljes szárazföldi felszínét leképezni. Ezek a képek pixelenként 3 méteres felbontásúak, azaz egy képpont egy 3x3 méteres területet fed le. A PlanetScope műholdkonstelláció a Dove műholdak többszörös indításából ("rajokból") áll. Mindegyik műhold CubeSat 3U formájú (10 cm x 10 cm x 30 cm). Az egységekre szerelt műszer vörös, zöld, kék és közeli infravörös csatornákat rögzít, amik tartományai megtalálhatók a 2.1. táblázatban.

Sáv	Angol elnevezés	Hullámhossz
<i>Kék</i>	Blue	455 - 515 nm
<i>Zöld</i>	Green	500 - 590 nm
<i>Vörös</i>	Red	590 - 670 nm
<i>Közelirösvörös</i>	Near-Infrared (NIR)	780 - 860 nm

2.1. táblázat. PlanetScope műholdas szenzor spektrális sávjai [8]

A felületi visszaverődés (surface reflectance – SR) a földfelszín által visszavert fény mennyisége. A felszíni sugárzás és a felszíni besugárzás hányadosa, nincs mértékegysége és jellemzően 0 és 1 közötti értékeket vesz fel. Az SR termék a szabványos Planet Analytic (Radiance) termékből származik. Felső légköri visszaverődési tényezőként dolgozzák fel, majd légköri korrekcióval a (légkör alsó részének) felszíni visszaverődési tényezőjévé alakítják. A Planet a 6S sugárzásátviteli modellt használja a MODIS kiegészítő adataival, hogy figyelembe vegye a PlanetScope konstelláció érzékelőjénél a megfigyelt jelre gyakorolt légköri hatásokat [9]. A Plant által szolgáltatott és általam felhasznált felvételek annak ellenére, hogy korrekción mentek keresztül és Bottom of Atmosphere (BoA) felvételek, még tartalmazhatnak további előfeldolgozást igénylő negatív hatásokat. Ilyen befolyásoló tényező például a köd és a vékony cirrusfelhők (fátyolfelhők), amiket nem javítanak a feldolgozás során. Továbbá az aeroszoltípus csak egyetlen, globális modellre korlátozódik, ami gondot okozhat szélsőséges területeknél. Ezentúl olyan befolyásoló tényezőket sem képesek korrigálni, mint a kóbor fények és az úgynevezett szomszédsági hatások [10].

Sentinel-2

A Sentinel-2 egy európai misszió, amely nagy felbontású, széles látószögű multispektrális képalkotást végez. Az ikerműholdak ugyanazon az orbitális pályán haladnak, de egymástól 180°-os eltéréssel, hogy az Egyenlítő környékén 5 napos visszatérési időt biztosítsanak, ami a küldetés egyik fő célja. A Sentinel-2 optikai műszerrel van felszerelve, amely 13 spektrális sávban végez megfigyeléseket. A műhold által lefedett sáv szélessége 290 km. A felvételek spektrális sávjait a következő 2.2. táblázat tartalmazza.

Sáv	Leírás	Átlag hullámhossz
<i>B1</i>	Ultra Blue (Coastal and Aerosol)	443 nm
<i>B2</i>	Blue	490 nm
<i>B3</i>	Green	560 nm
<i>B4</i>	Red	665 nm
<i>B5</i>	Visible and Near Infrared (VNIR)	705 nm
<i>B6</i>	Visible and Near Infrared (VNIR)	740 nm
<i>B7</i>	Visible and Near Infrared (VNIR)	783 nm
<i>B8</i>	Visible and Near Infrared (VNIR)	842 nm
<i>B8a</i>	Visible and Near Infrared (VNIR)	865 nm
<i>B9</i>	Short Wave Infrared (SWIR)	940 nm
<i>B10</i>	Short Wave Infrared (SWIR)	1375 nm
<i>B11</i>	Short Wave Infrared (SWIR)	1610 nm
<i>B12</i>	Short Wave Infrared (SWIR)	2190 nm

2.2. táblázat. Sentinel-2 spektrális sávjai [11]

Normalizálás

Adatok rendszerezésének, elemzésének és tisztításának folyamata az adatfelhasználás és -megosztás hatékonyságának növelése érdekében. A normalizálás általában magában foglalja az adatok strukturálását és finomítását, a redundancia és a hibák kiküszöbölését, valamint a szabványosítást [12].

A normalizálás széles körben használatos az adatelemzésben, képfeldolgozásban, biokémiában, pénzügyi elemzésben és környezettudományokban, hogy összehasonlíthatóvá tegye az adatokat és kiemelje a kívánt tulajdonságokat különböző tudományos és ipari területeken.

Esetemben a képnormálási folyamat célja, hogy eltávolítsa a nem felszíni tényezőkből eredő radiometriai különbségeket a többidejű képek között. A pontos normalizálás elengedhetetlen a több időpontban készült képeket használó képfeldolgozási eljárásokhoz, például a változások észleléséhez [13].

Változás elemzés

A változás elemzése kulcsfontosságú számos területen, beleértve a környezettudományokat, városfejlesztést, agrárgazdaságot, távérzékelést és gazdasági elemzést. Ez az elemzési módszer segít megérteni a természeti és társadalmi folyamatokat, elősegíti a fenntartható fejlődést és lehetővé teszi a hatékonyabb döntéshozatalt az adott területeken.

A távérzékelés területén a módszer célja az eltérések észlelése különböző időpontokban készült műholdfelvételek alapján, amelyek segítségével azonosítjuk és kvantifikáljuk a térbeli változásokat, legyen az természetes vagy emberi eredetű jelenség [14].

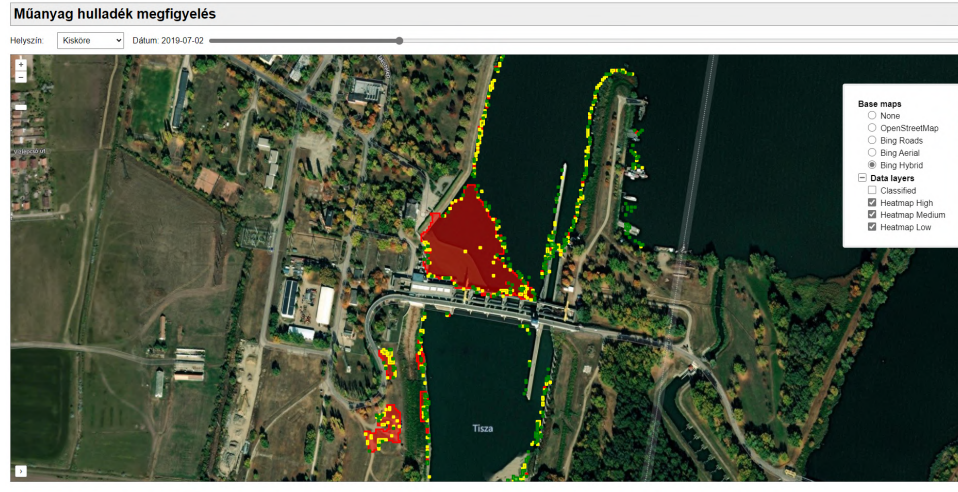
2.2. Korábbi tanulmányok

2.2.1. Plastic Waste Monitoring

Kutatási projekt

A műanyag hulladék vízfelszíni és part közeli detektálására az ELTE Térinformatikai Labor gondozásában létrejött Plastic Waste Monitoring program segítséget nyújt szervezetek és egyéb csoportok vagy személyek számára a szemétyűjtésben. A 2.3 ábrán a kipróbálható hulladékdetektáló alkalmazás felhasználói felületet látható. Célja, hogy a naponta lekért műholdfelvételek alapján, egyszerre nagyobb területeket lefedve a feltételezhetően műanyag szeméttel borított részeket felismerje és ezáltal gyorsítsa a további terepmunkát. A programot kutatást segítő adatokkal és visszajelzésekkel támogatja, valamint a későbbiekben lehetséges első valódi felhasználóként szerepel a PET Kupa¹ csapata. A program multispektrális műholdfelvételeket használ a detektáláshoz. Egy úgynevezett "Műanyag Index" vagy angolul "Plastic Index" (PI), valamint gépi tanulás segítségével határozták meg, hogy az adott felvételeken mely területeken ismerhető fel a lehető legnagyobb magabiztossággal a műanyag hulladék [15].

¹https://www.petkupa.hu/hu_HU/



2.3. ábra. Plastic Waste Monitoring - Web Application DEMO [15].

Plastic Index (PI)

A PI egy olyan távérzékelési technikára utal, amelynek célja a műanyagok kimutatása és számszerűsítése vízfelszíneken és szárazföldi területeken. Ez a módszer a spektrális jellemzők elemzésére támaszkodik, hogy a távérzékelési műveletek során megkülönböztesse a műanyagokat más anyagoktól. Themistocleous és tsai. tanulmányukban kimutatták, hogy a műanyagok detektálása a közeli infravörös (NIR) tartományban volt a leghatékonyabb [16]. A megalkotott PI képlete a következő:

$$Plastic\ Index\ (PI) = \frac{NIR}{NIR + RED}$$

Elsősorban arra voltak kíváncsiak, hogy milyen index képes vízfelszínen a leghatékonyabban kimutatni a műanyag hulladékot. A képlet onnan ered, hogy a spektrális jelek a műanyagok esetében magas visszaverődést mutatnak, míg a víz esetében nincs visszaverődés a közeli infravörös (NIR) tartományban.

Adjusted Plastic Index (API)

Sakti és tsai. kutatásukban a műanyagindex (PI) képletét vették alapul a módosított műanyagindex (API) megállapításához. Számos kiigazítási lépésen esett át annak érdekében, hogy a PI számításai alkalmazhatók legyenek vízgyűjtők esetében, különös tekintettel a műanyag hulladék és más földtakaró-típusok keveredéséből fakadó összetett feltételekre. A földtakaró fogalma magában foglalja a különböző növényzetfajtákat, a talajt és a városi területeket. A folyók környezetében

földtakaró-korrekciókat végeztek, amelyek elsősorban azokra a tényezőkre összpontosítottak, amelyek ronthatják a PI számítás eredményeit. A növényzet korrekciójához a Normalized Difference Vegetation Indexet (NDVI), míg a nyílt földterületek és beépített területek módosításához a Modified Normalized Difference Built-up Indexet (MNDBI) használták. Erre a pontosításra azért volt szükség, mert a PI képlet rendkívül érzékenyen reagál a növényzettel borított, a nyílt, valamint a beépített földterületekre.

A 2.1 egyenlet az NDVI algoritmus működését szemlélteti. A 2.2 egyenlet az MNDBI számítását mutatja be. A NIR, RED és SWIR a Sentinel-2 műhold által készített képek közeli infravörös, vörös és rövidhullámú infravörös hullámhosszait reprezentálják. A PI kiigazítási folyamatának lépéseit a 2.3 és 2.4 képletek határozzák meg. Az NDVI korrekcióját követően a PI₁ az egyik kiigazított eredményként jelenik meg, míg az NDVI és az NDBI korrekciója után a PI₂ egy tovább finomított eredményt ad.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.1)$$

$$MNDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (2.2)$$

$$IF(NDVI > 0) : PI_1 = PI - NDVI, ELSE : PI_1 = PI \quad (2.3)$$

$$IF(MNDBI > 0) : PI_2 = PI_1 - MNDBI, ELSE : PI_2 = PI_1 \quad (2.4)$$

Elért eredmények

Magyar és tsai. a rendelkezésre álló tanítóadatokkal fejlesztett detektálási modell segítségével jó eredményeket értek el és magabiztosan tudták detektálni a felvételeken a műanyag hulladékkal borított területeket [15]. Elsősorban a melegebb és kevésbé szélsőséges időjárási viszonyok között működik hatékonyan a program, hiszen ebben az esetben volt a környezeti tényezők befolyása a legkisebb. Ezentúl is a legjobb eredményeket a vízfelszíneken érték el, amit a magyarországi MVM Vízérőmű Kft.² kiskörei létesítményét mutató 2.4. ábra szemléltet. A 2.5. ábra a magyarországi Depónia Nonprofit Kft.³ szántóföldekkel körülvett telepéről készült felvétel és

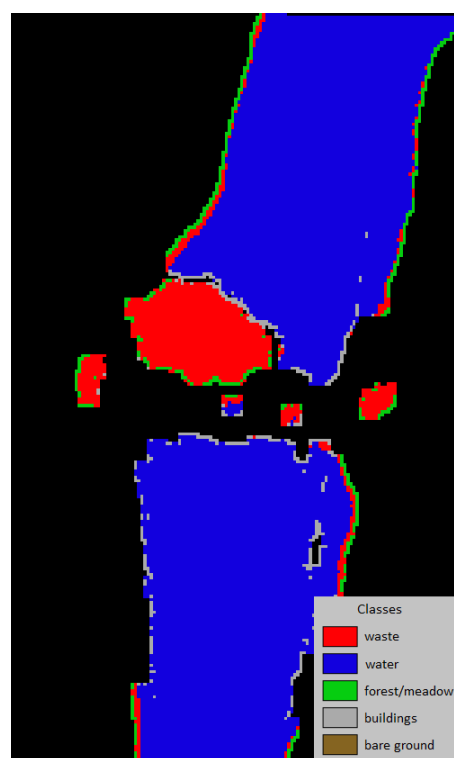
²<http://www.tiszavizvizeromu.hu/kiskore-vizeromu.php>

³<https://www.deponia.hu/>

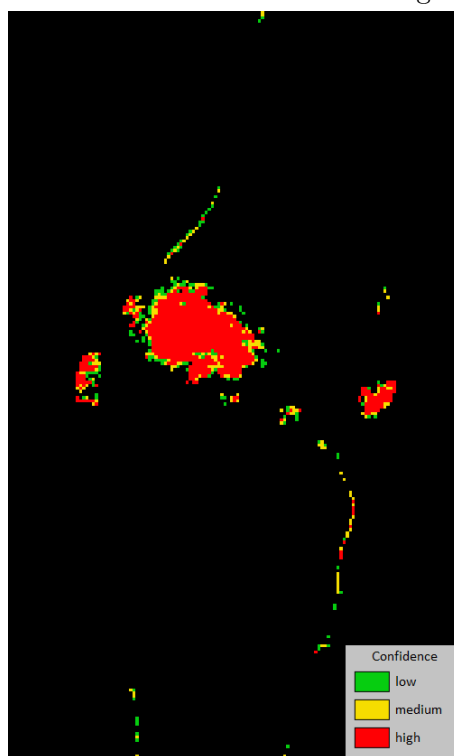
annak eredményeit mutatja. Az utóbbi típusú részeken kisebb volt az összefüggő hulladékos területek mérete, valamint a szemét és a környezete is kevésbé különült el egymástól.



(a) Eredeti műholdfelvétel a területről



(b) A felvételen jól elkülönülő részek kategorizálás után

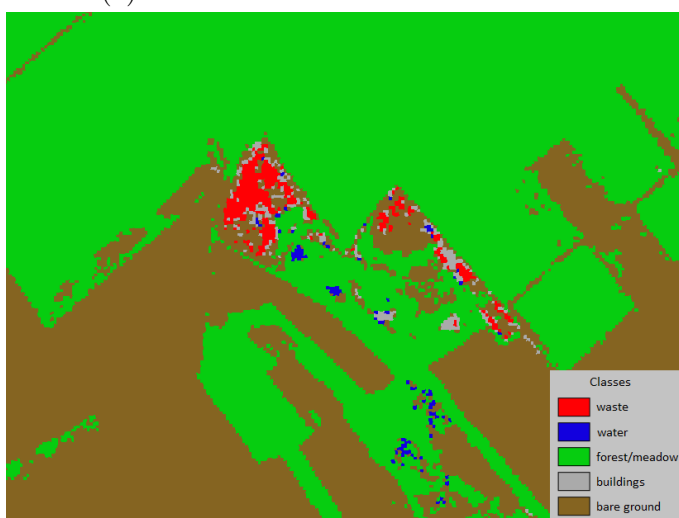


(c) A hulladékos területek kiértékelése a detektálás magabiztossága alapján

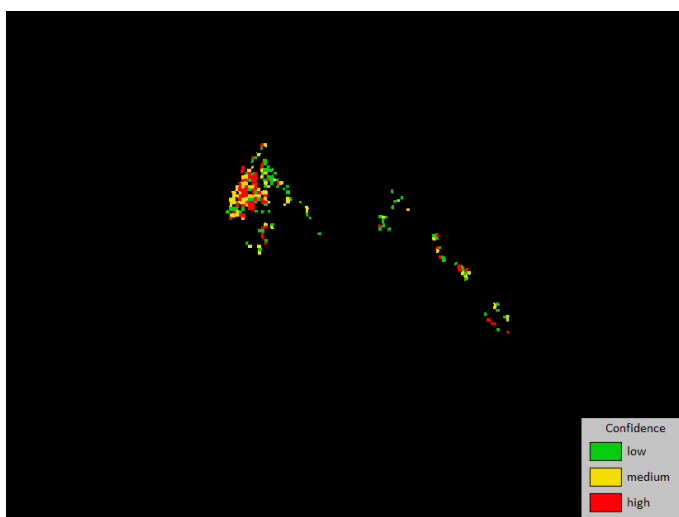
2.4. ábra. Magyarországi MVM Vízérőmű Kft. Kiskörén épült vízérőműjéről készült felvétel feldolgozása - Kép készítésének időpontja: 2019. július 2. [15].



(a) Eredeti műholdfelvétel a területről



(b) A felvételen jól elkülönülő részek kategorizálás után



(c) A hulladékös területek kiértékelése a detektálás magabiztossága alapján

2.5. ábra. Magyarországi Depónia Nonprofit Kft. hulladéktelepéről készült felvétel feldolgozása - Kép készítésének időpontja: 2019. június 27. [15].

Továbbfejlesztés

A meglehetősen sok és gyakran frissülő felvételmennyiség okozhat nehézségeket a tanításban újabb modelleknél. A műholdképek a természeti viszonytárságok miatt eltérhetnek egymástól olyan módon, hogy a tanulási folyamat során hibás eredmények is szülessenek. Ezenfelül a projekt során elemzett területek mennyisége is várhatóan növekedni fog, hiszen a cél minél szélesebb körben megfigyelni és elemezni a szennyezésnek kitett területeket. Emiatt a képek kiértékelésének a folyamatát is érdemes tovább optimalizálni, ami felvetette a lehetőséget számomra egy változástetektálási módszer megvalósítására. Ahhoz, hogy az eltérések valós helyszíni változások legyenek és ne pedig a felvételek minőségéből adódjanak, előfeldolgozást kell végezni a képeken. Kutatásomban ehhez a projekthez kapcsolódva a multispektrális műholdfelvételek normalizálásával foglalkozom. Ezt követően a detektálási folyamat optimalizása a cél, amit egy változás elemzéssel tervezek megvalósítani.

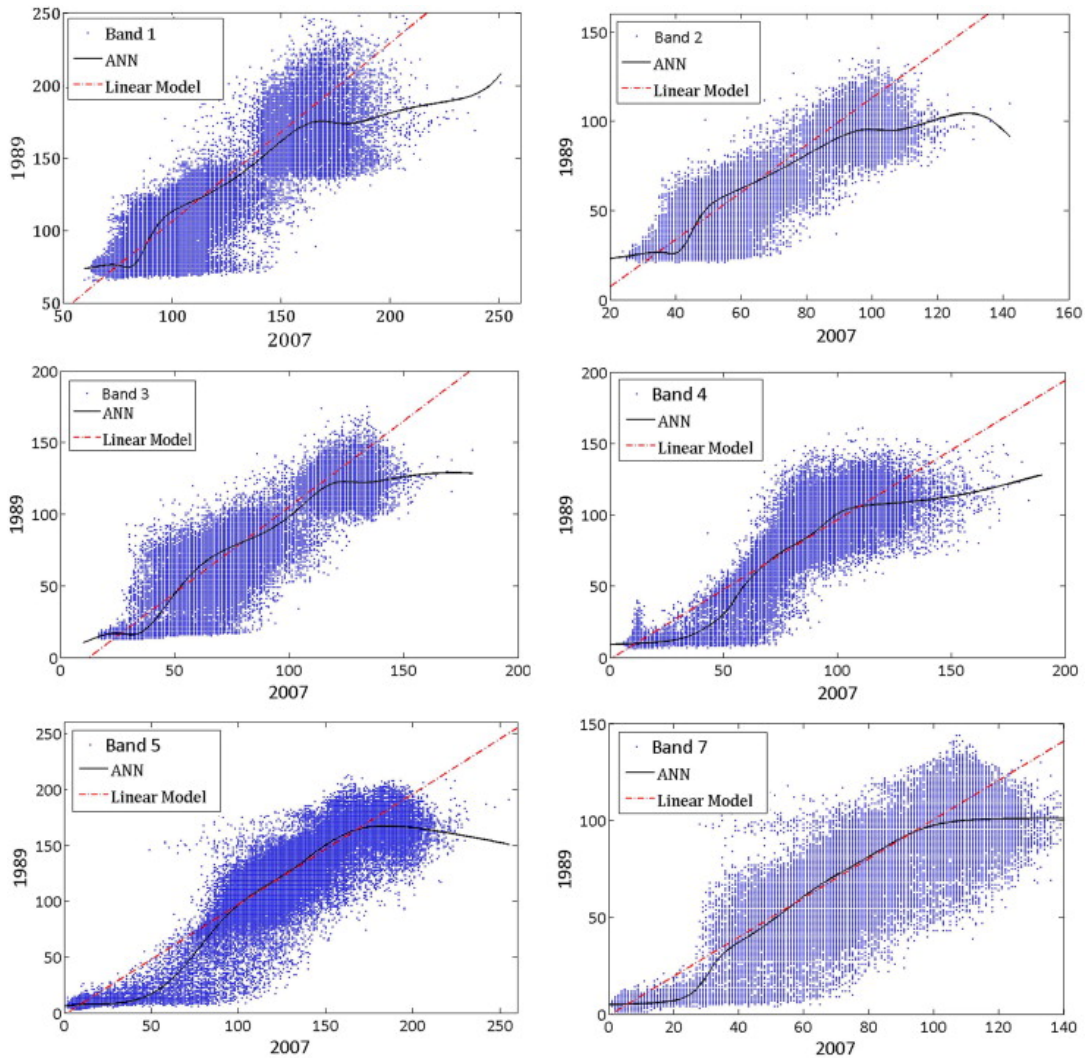
2.2.2. Normalizációs módszerek

Sadeghi, Ebadi és Ahmadi egy automatizált relatív radiometrikus normalizálási (RRN) módszer kutatásával foglalkoztak. A folyamattal egy nemlineáris modell beállítására törekedtek, aminek alapja egy mesterséges neurális hálózat (Artificial Neural Network - ANN) és változatlan pixelek. A normalizálási módszerek egyik megközelítése, amikor globális képstatisztikát használnak a radiometriai jellemzők beállításának meghatározására. Ilyenek például a hisztogram-illesztés (Histogram Matching - HM), a homálykorrekció (Haze Correction - HC), a minimum-maximum (Minimum-Maximum - MM), az átlag-szórás (Mean-Standard deviation - MS) és az egyszerű regresszió (Simple Regression - SR). Ezekkel ellentétben azonban vannak olyan módszerek, amelyek a tárgy és a referencia képekből származó, szubjektíven kiválasztott, változatlan képpontok készletének felhasználásán alapulnak. Ezeket a pontthalmazokat radiometrikus kontrollkészletmintáknak (RCSS) nevezték el. A sötét-fényes készlet (Dark set-Bright set - DB), a pseudo-invariáns jellemzők (Pseudo-Invariant Feature - PIF) és a változatlan készlet (No-Change - NC) ilyen ismert RNN-ek [18].

Kutatásukban megállapították, hogy a műholdképek relatív radiometriai korrekciójának hagyományos módszerei gyakran nem olyan jók, mint az RCSS-t használó módszerek a normalizálási pontosság tekintetében [18]. Ezzel ellentétben RCSS idő-

igényes, valamint eredményei függenek az üzemeltető teljesítményétől az empirikus paraméterek meghatározásában. A felmerülő problémák elkerülésére egy olyan módszer fejlesztettek ki, ami automatikusan felismeri a változatlan pixeleket RCSS-ként, majd a továbbiakhoz folyamatokat ANN segítségével oldották meg.

Eredményként azt kapták, hogy a változatlan képpontok szürkeértékei közötti kapcsolat minden sávban szinte nemlineáris, ami azt jelzi, hogy az ANN jobban képes modellezni ezt a viselkedést, mint a lineáris modell. Ebből kiindulva a nemlineáris beállításhoz és a radiometriai korrekcióhoz ANN-t használtak a továbbiakban. A következő 2.6. ábra az ANN segítségével előállított lineáris modellt és nemlineáris modellt mutatja sávonként.



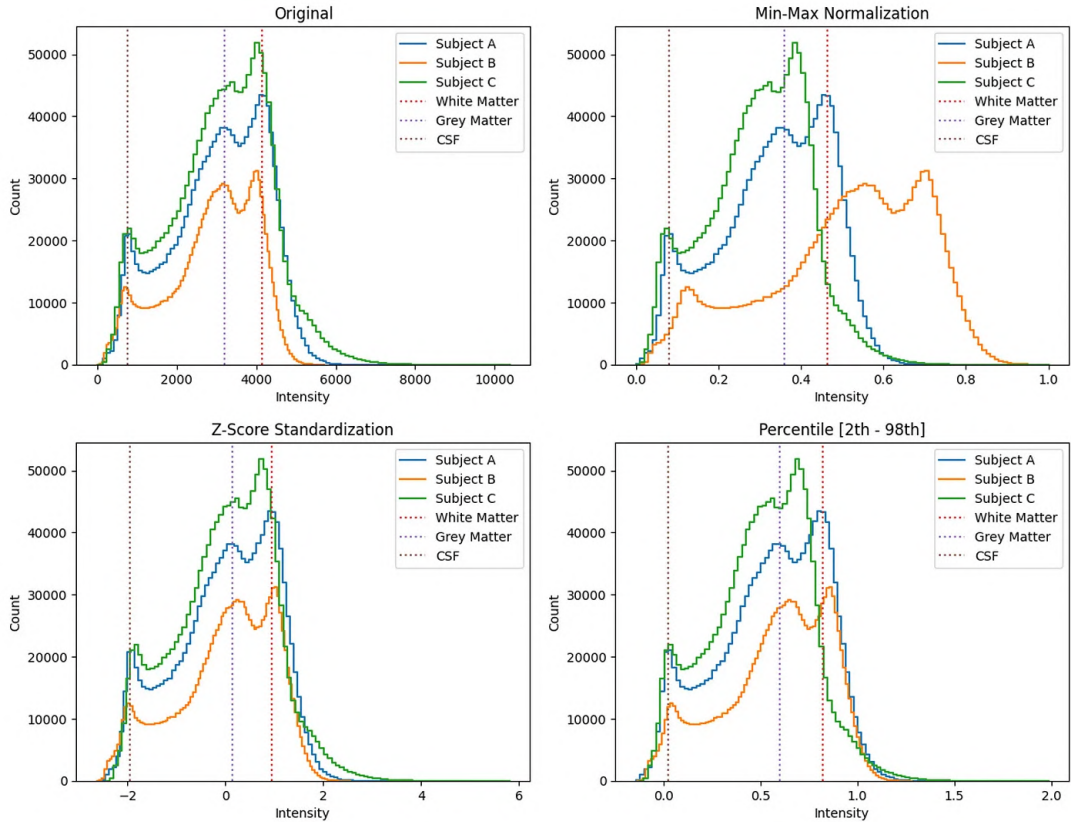
2.6. ábra. Referenciakép és tárgykép szürkeértékeinek sávonkénti szórása a változatlan pixeleken. [18].

Schmid írásában megmutatta, hogy az intenzitás normalizálása az orvosi képalkotásban, különösen a mágnesesrezonancia képalkotásban (MRI) miért különbözik a

természetes képektől. A kutatásomtól eltérő tudományterület ellenére hasznos leírásokat és összehasonlításokat ad az általam használt módszerek terén. Említésre kerül a minimum-maximum normalizálás, valamint az ezt az esetek nagyrésztében felülmúló átlag és szórás alapú módszerek, mint a Z-score standardizálás. Továbbá a szerző foglalkozik a percentilis normalizálással, a hisztogram egyeztetés technikájával is.

Az olyan statisztikai paramétereket, mint az átlaga és szórása, a képek normalizálásához az átlag kivonásával és a képnek a szórással való elosztásával használjuk. Az adathalmazon belüli eltérések azonban a normalizált adatokban is eltérésekhez vezetnek. Mivel ezek a paraméterek állandóak, a művelet lineáris, és a nem normalizált állapotban megfigyelt hisztogramhoz vezet.

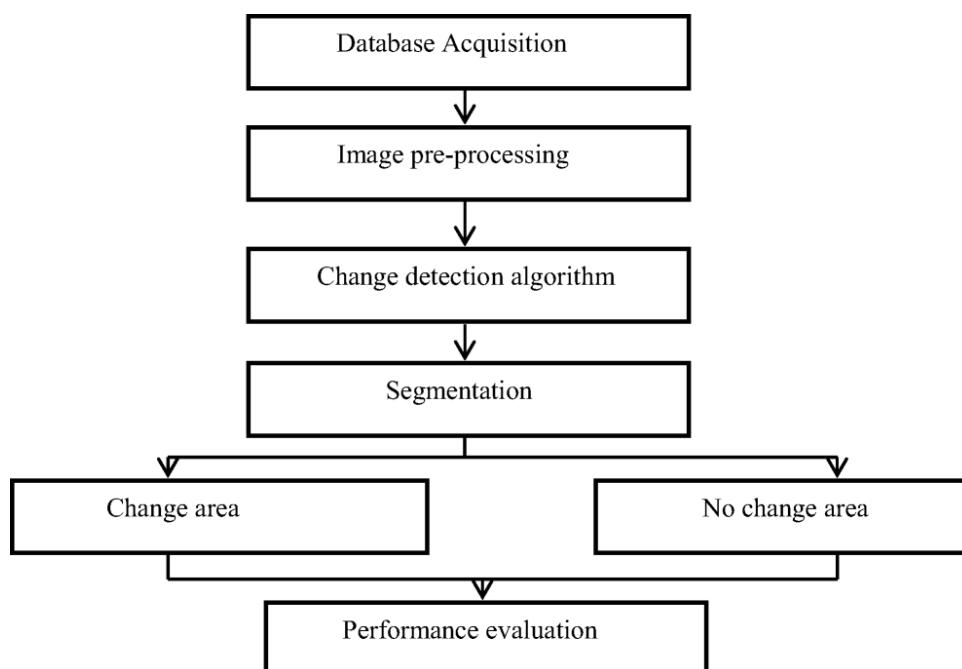
Az író megállapította, hogy a statisztikai tulajdonságokat - átlag és szórás - használó Z-score módszer kevésbé érzékeny a nagyobb kiugró értékekre. Az eloszlások eltérései azonban hatással vannak az eredményére. A Z-score szabványosítás felülmúlja a percentile módszert. Azonban mindkettő jobban teljesít, mint a minimum-maximum normalizálás, amit a 2.7. ábra mutat.



2.7. ábra. A különböző normalizálási technikák hisztogramjai 3 különböző adathalmaz esetében [19].

2.2.3. Változáselemzés

Asokan és Anitha kutatásának célja változáselemzés területén végzett felfedezések megvitatása, valamint a kérdések és kihívások bemutatása, amelyekkel a változások felismerése során szembesülnek távérzékelési projektekben [20]. A változáselemzés első lépése az ugyanazon helyről különböző időpontokban készített képek beszerzése. A képeket befolyásolhatják légköri interferenciák. Ennek megoldására a kép előfeldolgozási fázisa szolgál. Ezután egy algoritmus azonosítja a jelentős változásokat, majd ezekre egy szegmentáló algoritmust alkalmazva szétválasztják őket a változással érintett és a változatlan területekre. Az elvégzett lépéseket a 2.8. ábra szemlélteti.

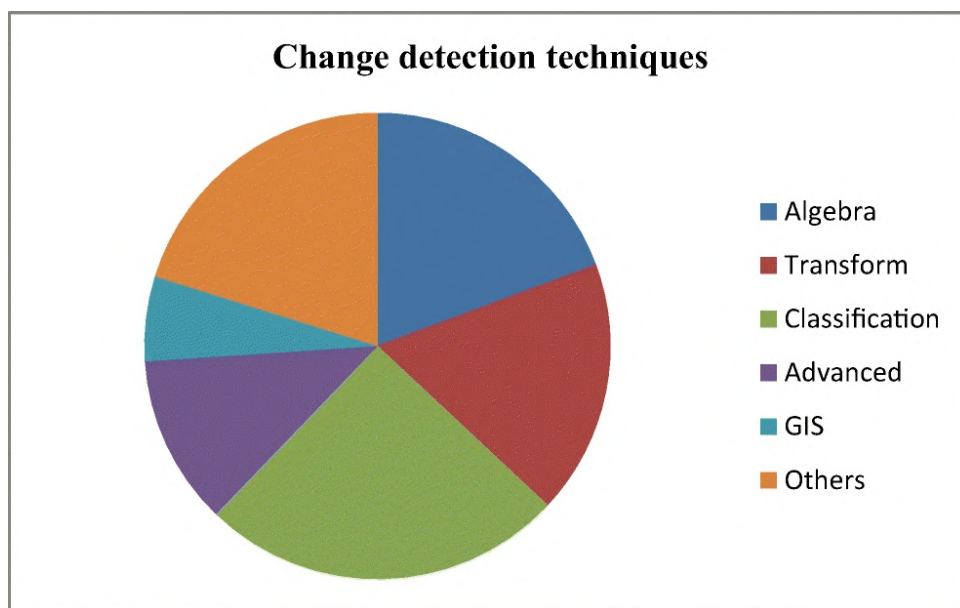


2.8. ábra. A változás felismerésre szolgáló módszer folyamatának lépései. [20].

A geometriai regisztrációt, mint előfeldolgozási folyamatot főként akkor használják, ha a begyűjtött képeket különböző érzékelőkkel rögzítették, ami miatt a képen az érzékelő látószögének különbsége miatt elmozdulások lehetnek. Egy másik folyamat további hibák javítására a radiometriai korrekció. Ezzel a műholdkép felvétele során az érzékelő szögének és a fényerősségnek a változása által okozott intenzitásváltozások csökkenthetők.

A változásdetektálási módszer fő célja, hogy megtalálja a változásokat két vagy több, ugyanarról a helyről különböző időpontokban készített képen. A változásérzékelésre az alkalmazástól függően olyan különböző megközelítéseket alkalmaztak,

mint az algebra alapú, a transzformáció alapú vagy a klasszifikáció alapú módszer. Kutatásomban az algebra alapú megközelítéssel foglalkoztam. Az algebra alapú változásérzékelési módszerek közé tartozik a képi differenciálás, a képarányosítás és a változásvektor-elemzés. A kapott eredmény további feldolgozására a küszöbértékek kiválasztása gyakori eljárás. A kutatásukban megállapították, hogy az utólagos osztályozáson alapuló változásérzékelési technikák nagyobb pontosságot biztosítottak az algebraalapú megközelítésekhez képest. Ennek ellenére a különböző típusú módszerek a szakirodalomban közel egyenletes elosztást mutatnak, ami a 2.9. ábrán is megfigyelhető.



2.9. ábra. A változás detektálási módszerek eloszlása a szakirodalmi kutatásokban [20].

3. fejezet

Multispektrális műholdfelvételek feldolgozása

3.1. Normalizálás

Kutatásom során célom a normalizálási folyamat megvalósításával a pixelértékek konzisztenciájának és összehasonlíthatóságának biztosítása. 3 különböző normalizálási módszereket vizsgállok meg. Ezek a Z-score, a percentilis, valamint a referenciakép alapú normalizálás. Összességében a normalizálás döntő szerepet játszik a képi adatok szabványosításában, és lehetővé teszi a változáselemzés optimális megvalósítását. A módszerektől arra számítok, hogy a felvételek minősége egymáshoz viszonyítva közelebb kerül, valamint a különböző hullámhossz sávok értékei egy könnyebben kezelhető tartományba kerülnek.

Rövidítés	Magyarázat
<i>HIGH</i>	Higher percentile of the band (a bemeneti sáv felső percentilis értéke)
<i>LOW</i>	Lower percentile of the band (a bemeneti sáv alsó percentilis értéke)
<i>MaONSB</i>	Maximum of NSB (a NSB pixelértékeinek maximuma)
<i>MiONSB</i>	Minimum of NSB (a NSB pixelértékeinek minimuma)
<i>MOB</i>	Mean of Band (bemeneti sáv átlaga)
<i>MORB</i>	Mean of Reference Band (referenciakép sávjának átlaga)
<i>NSB</i>	Normalized Spectral Band (eredményül kapott normalizált spektrális sáv)
<i>SB</i>	Spectral Band (bemeneti spektrális sáv)
<i>SNSB</i>	Scaled NSB (skálázott NSB)
<i>STDOB</i>	Standard deviation of Band (bemeneti sáv szórása)
<i>STDORB</i>	Standard deviation of Reference Band (referenciakép sávjának szórása)

3.1. táblázat. Módszerek képleteinél használt rövidítések táblázata

3.1.1. Z-score módszer

A Z-score normalizálás egy olyan technika, amelyet általában az adatok standardizálására használnak az átlag és a szórás alapján történő skálázással. Esetemben a műholdképeken a Z-score normalizálását a kép külön mind a 4 sávjának pixelértékeire alkalmazom, hogy azok eloszlása konzisztensebb legyen.

A módszer első lépése a pixelértékek 0 köré igazítása úgy, hogy az eredeti pixelekből egyenként kivonjuk az adathalmaz átlagát. Ez a lépés biztosítja, hogy a pixelértékek eredő eloszlása nulla átlagú legyen. A következő lépés a pixelértékek skálázása a szórásuk alapján. Minden egyes pixelértéket elosztunk a szórással. A Z-score normalizálás eredménye, hogy a kép pixelértékei standardizált eloszlást kapnak, amelynek átlaga 0, szórása pedig 1. Ezen módszer eredményeit a 3.1. és 3.2. ábra mutatja.

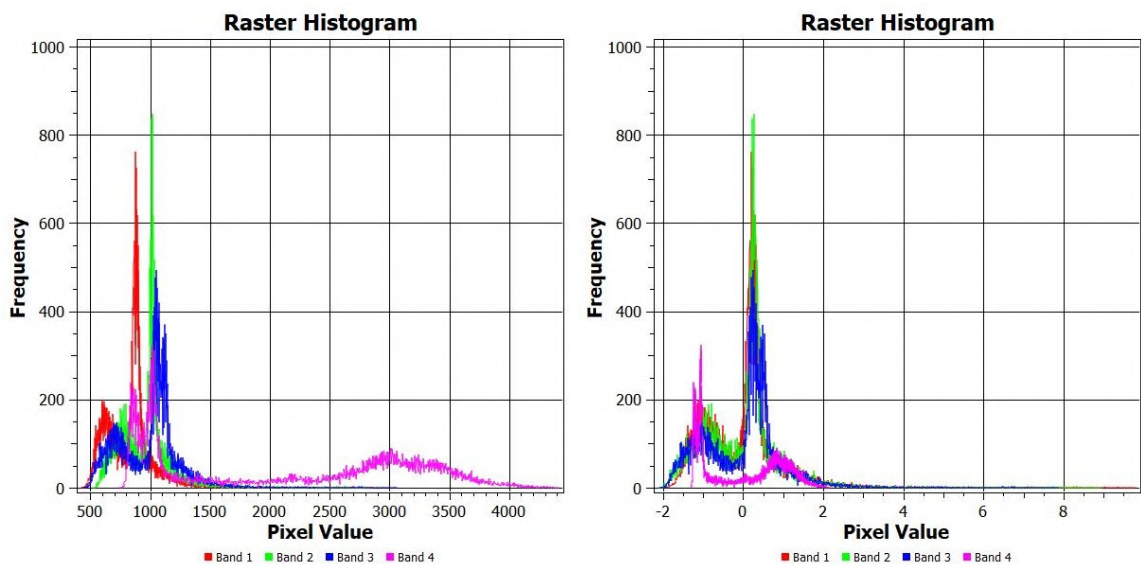
A módszer bemeneti adatokként megkapja a műholdfelvétel vörös, zöld, kék és közeli infravörös sávjait, amik minden pixelhez tartalmaznak egy-egy értéket. A szórást és az átlagot mindegyik sávhoz lekérem, majd ezekkel a következő formulával kiszámolom a normalizált értékeket:

$$NSB = \frac{SB - MOB}{STDOB}$$

Rövidítések jelentését lásd 3.1 táblázat

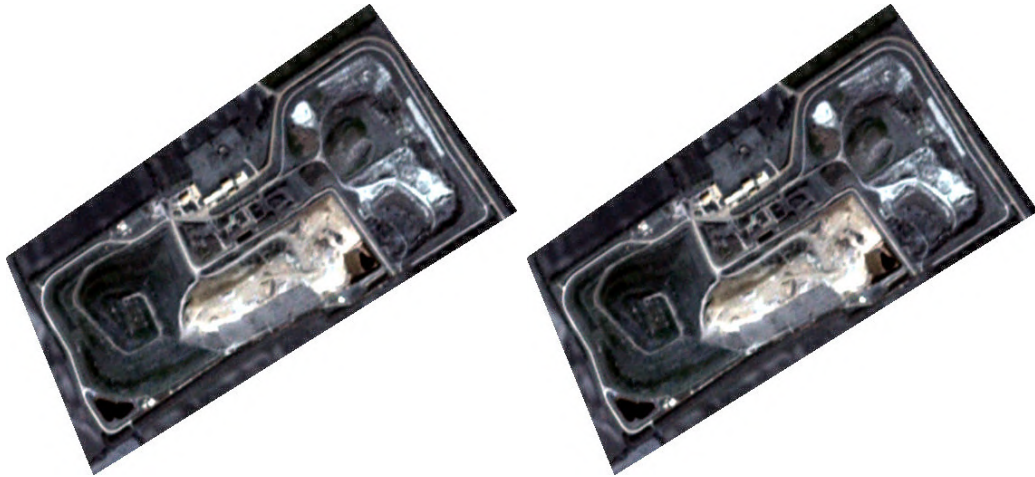


(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya. Szemmel látható különbség nincs, mivel a módszer megtartotta a pixelértékek arányait.

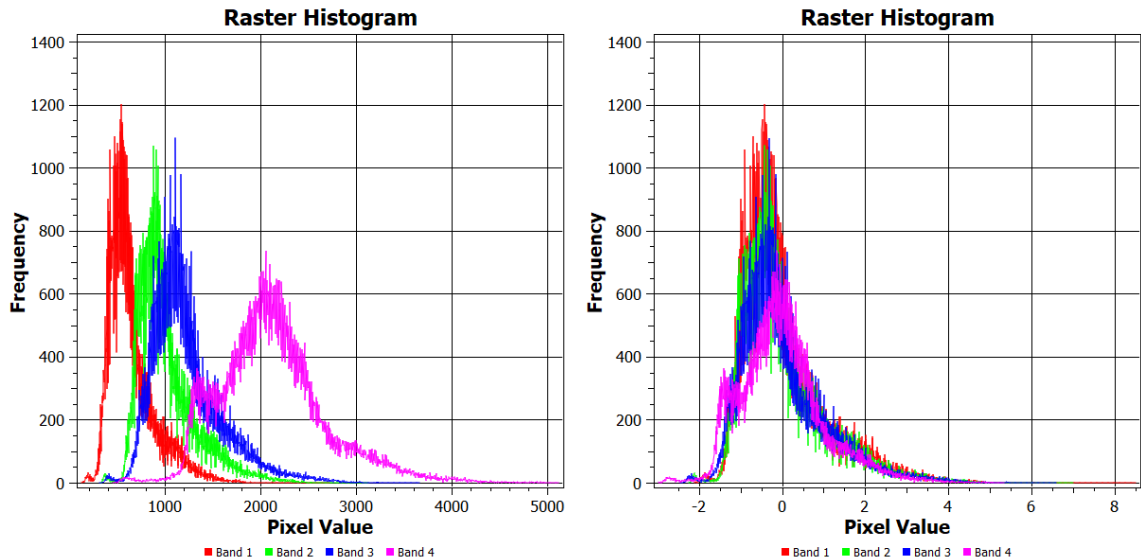


(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.1. ábra. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása Z-score módszerrel



(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya. Szemmel látható különbség nincs, mivel a módszer megtartotta a pixelértékek arányait.



(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.2. ábra. Pusztázátori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása Z-score módszerrel

A Z-score módszer egy meglehetősen egyszerű előfeldolgozási folyamat, amit több kutatásban is alkalmaztak már. Hasznos a kiugró vagy szélsőséges értékek azonosítására egy adathalmazban. Ellenérvként felmerül, hogy a számítás az átlagon alapul, amelyet a kiugró értékek befolyásolhatnak, ezáltal magát a módszer eredményét is befolyásolva. A felvételeket ezzel a technikával továbbá csak önmagukhoz viszonyítva normalizáltam. Ez nem optimális nagy mennyiségű kép esetében, ugyanis azok továbbra is eltérhetnek pixelértékeik tartományában.

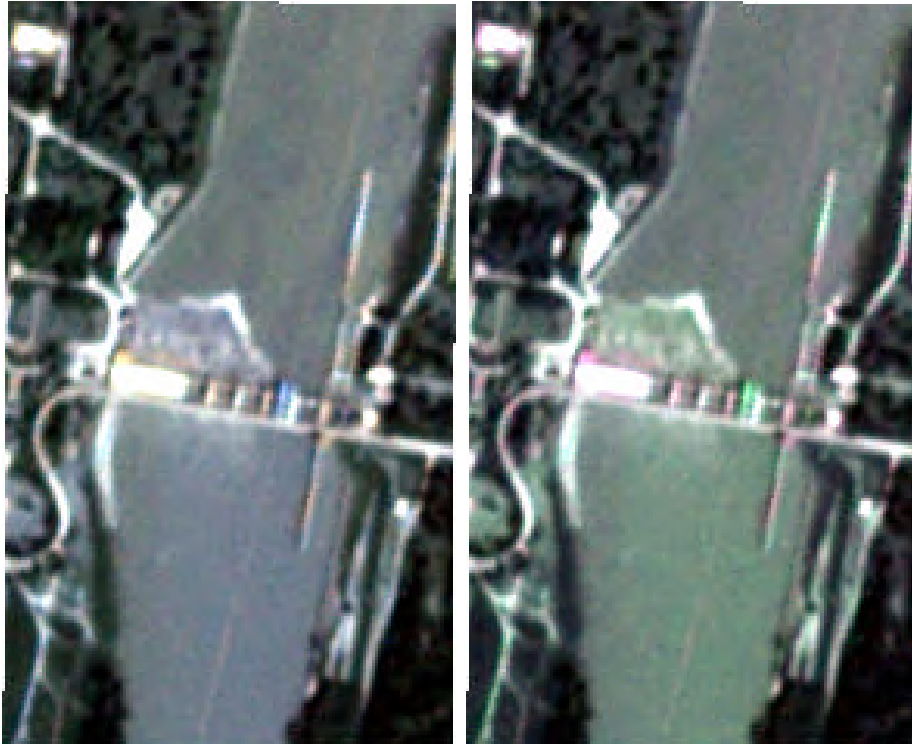
3.1.2. Percentile módszer

A percentilis normalizálási módszer során a kép pixelértékeit a pixelérték-eloszlás percentilisei alapján skálázom. Az első lépés a kép pixelérték-eloszlásának kívánt percentiliseinek kiszámítása. Ezek lehetnek akár az 1. és 99. a kiugró értékek kivágásához, vagy az 5. és 95. percentilisek a pixelértékek központi tartományára való összpontosításhoz. Ezek változtatásával lehetőség van a módszert szükség szerint egyszerűen optimalizálni. Ezután a kép pixelértékeinek levágása történik a kiszámított percentilisek alapján. Ez a lépés biztosítja, hogy a szélsőértékek a kívánt tartományra vannak szűkítve, ami segíthet a kép kontrasztjának javításában. A módszer alkalmazásával a képeket továbbra is önmagukban módosítottam, így a nem kívánt különbségek továbbra is előfordultak a felvételek között, még ha kisebb arányokban is. A percentile normalizálás eredményei a 3.3. és 3.4. ábrákon láthatók.

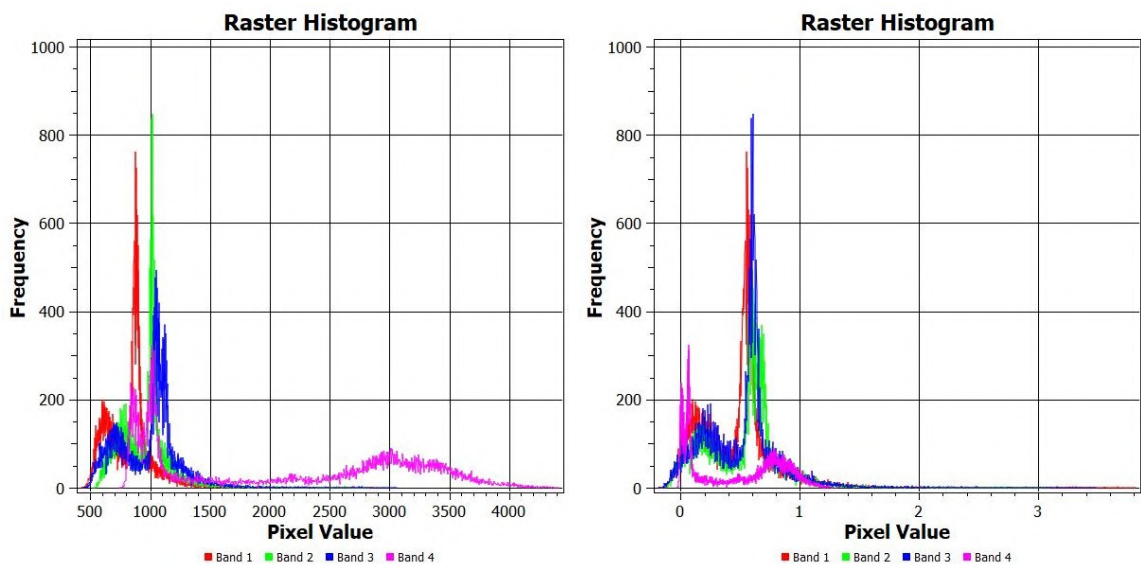
Ennek a módszernek a számítása hasonlít a Z-score képletéhez. Bemenetként ismét megadjuk a műholdkép 4 spektrális sávját külön-külön. Ezentúl megadunk egy alsó és egy felső százalékot, amik alapján igazítani szeretnénk a sávok értékeinek tartományát. A pixelértékek közül kiszámoljuk a korábban megadott alsó és felső értékeket, majd a formula alapján normalizáljuk az adott sávot.

$$NSB = \frac{SB - LOW}{HIGH - LOW}$$

Rövidítések jelentését lásd 3.1 táblázat

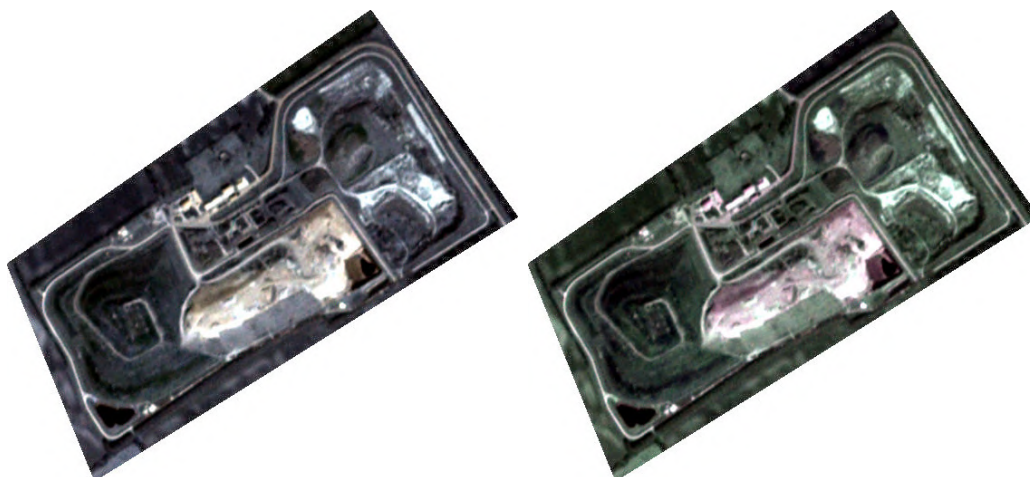


(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya. Szemmel látható különbség nincs, mivel a módszer megtartotta a pixelértékek arányait.

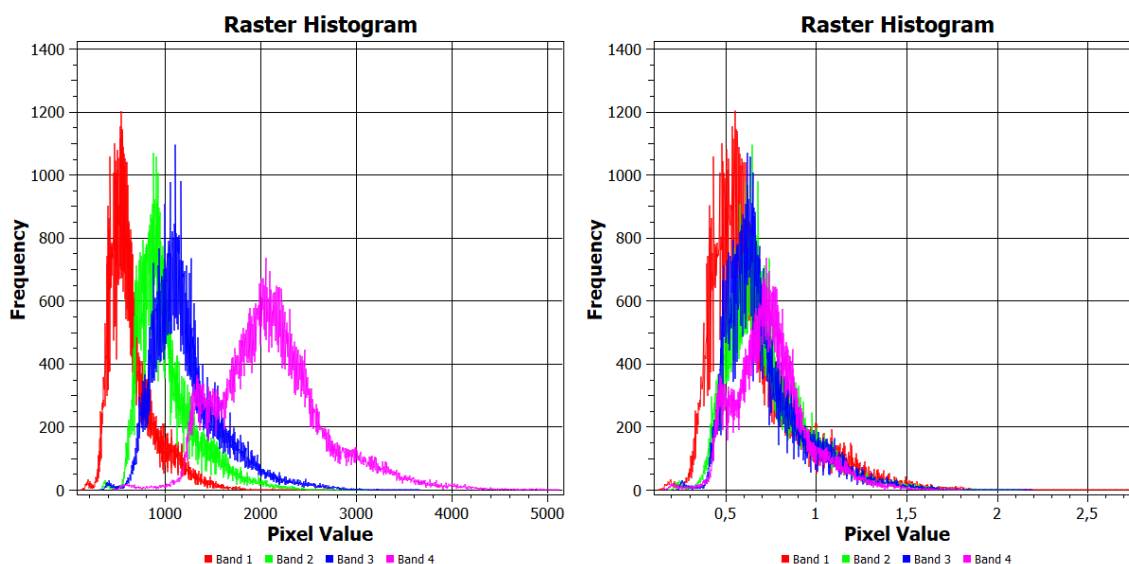


(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.3. ábra. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása percentilis módszerrel



(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya. A képek kontrasztjában minimális eltérés figyelhető meg, mivel ez a módszer a percentilis értékek alapján megváltoztathatja a pixelértékek eloszlását.



(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.4. ábra. Pusztazámori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása percentilis módszerrel

3.1.3. Referenciakép alapú módszer

A következő módszer, amit kutatásomban vizsgáltam egy referenciaképen alapuló normalizálás. Ennek célja az előző technikához képest, hogy az adott területhez a felvételekből kiválasztok egy optimálisnak tűnő képet. A referenciakép pixelértékeinek átlagát és szórását felhasználva a feldolgozandó műholdfelvételek sávjait külön-külön módosítom.

Ebben a módszerben a képek spektrális sávjait adjuk meg bemeneti adatként,

valamint szükséges egy referenciakép elérési útvonalának megadása. Ezután a referenciakép sávjainak pixelértékeiből kiszámoljuk az átlagukat és a szórásukat. Következő lépésben ezekkel normalizáljuk a bemeneti képünk sávjait, ami a következőképp néz ki:

$$NSB = \frac{SB - MOB}{STDOB} * STDORB + MORB$$

$$SNSB = \frac{NSB - MiONSB}{MaONSB - MiONSB}$$

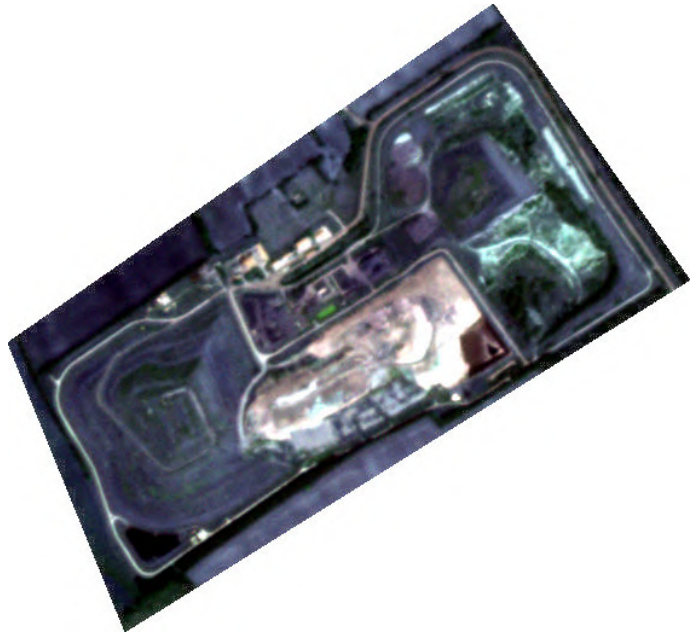
Rövidítések jelentését lásd 3.1 táblázat

Ez a módszer a képlet alapján hasonló a Z-score technikához, azonban nem pontosan azt valósítja meg. Az eredeti értékeket az átlagukkal és a szórásukkal módosítva egy 0 köré központosított 1 szórású eloszlást kapunk. Ezután a referenciaképből kinyert szórással megszorozva az eddigi skálázott értékeket a viszonyítási kép arányainak megfelelően változtatom, ezzel tartva egy közös értékkészlet felé. Végző lépésként a referenciakép átlagát hozzáadom az egyes pixelértékekhez, amivel a felvételek egy hasonló fényerősséget kapnak.

A viszonyítási alapul szolgáló képet minden területhez a rendelkezésre álló saját felvételei közül választom. Egy referenciakép a 3.5. ábrán. Évente több ilyen képre is szükség van, ugyanis a meglehetősen hideg és meleg hónapok között az időjárási viszonyok - például erős havazás, zöld növényzet hiánya - olyan eltéréseket okozhatnak a reflektanciákban, amik egy referenciakép használatával inkább hibás eredményekhez vezethetnek.



(a) Kiskörei vízerőműről készült műholdfelvétel - 2021.07.08.



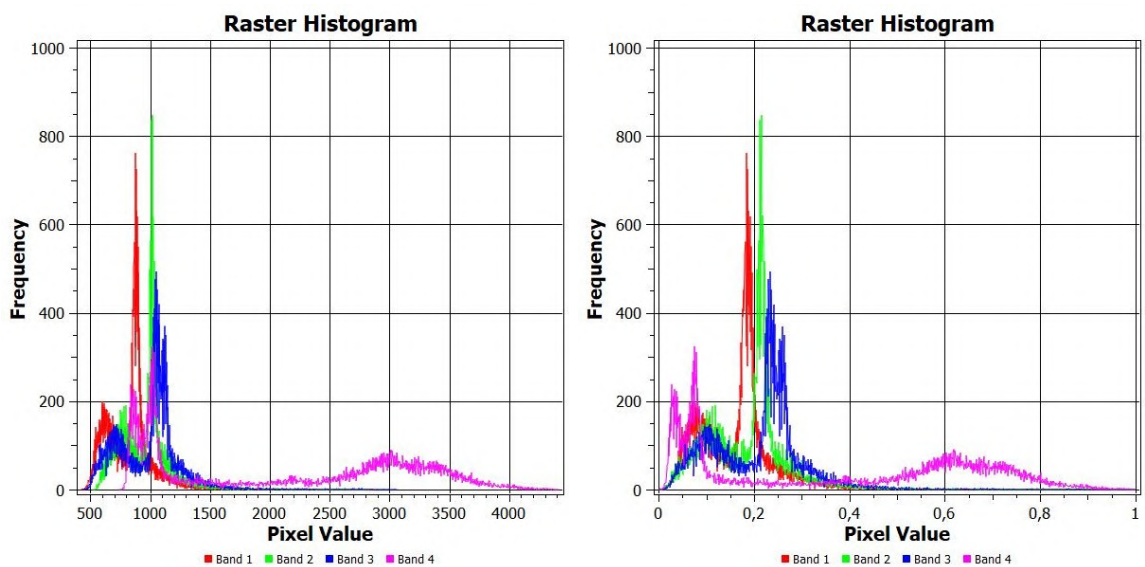
(b) Pusztazámori hulladéktelepről készült műholdfelvétel - 2022.08.26.

3.5. ábra. Normalizáláshoz használt referencia képek

A referenciaképek kiválasztásának módja jelenleg manuálisan történik, hiszen ez még megvalósítható volt a tesztelés során. A későbbiekben azonban szükséges lehet ennek a folyamatnak az automatizálására, ugyanis a területek mennyiségének és a felvételek számának növekedésével egyre több felvétel kézi átvizsgálására lenne szükség a megfelelő referencia megtalálásához. A 3.6. és 3.7. ábra szemlélteti az ebből a módszerből kapott eredményeket.

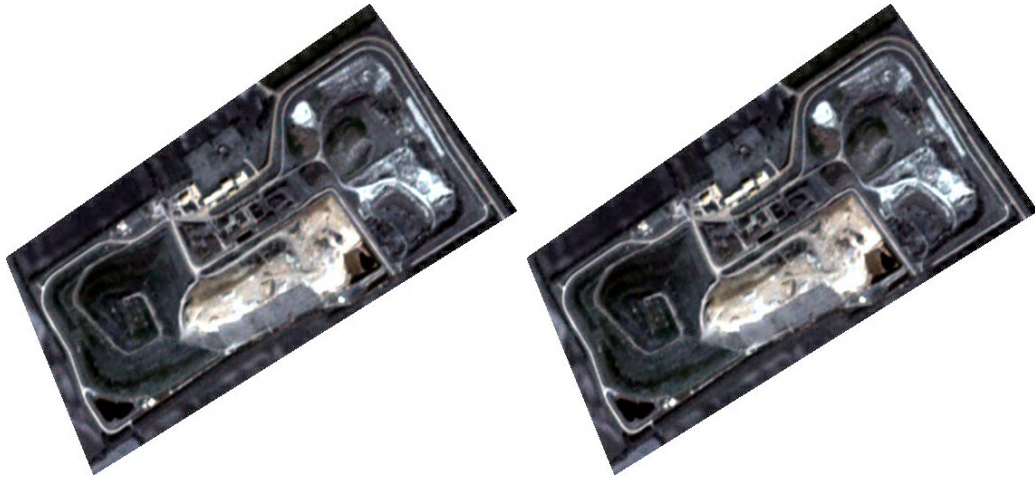


(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya.

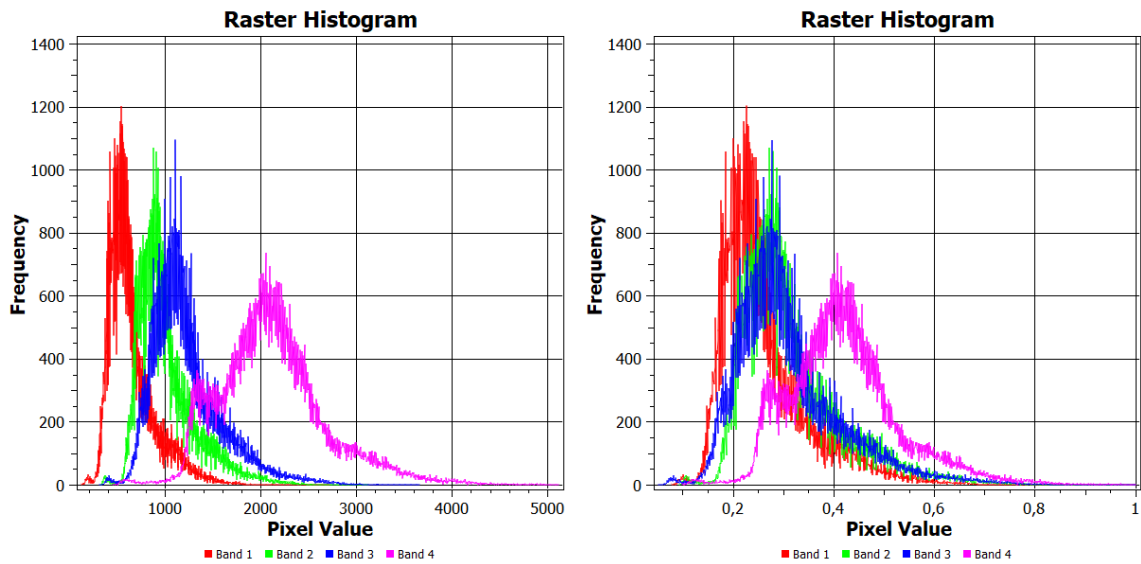


(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.6. ábra. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása egy referenciakép alapján



(a) A két kép a műholdfelvétel eredeti (bal oldal) és normalizált (jobb oldal) példánya.



(b) Ezek a hisztogramok az eredeti (bal oldal) és a normalizált (jobb oldal) felvételek pixelértékeinek eloszlását mutatják.

3.7. ábra. Pusztazámori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása egy referenciakép alapján

3.2. Változáselemzés

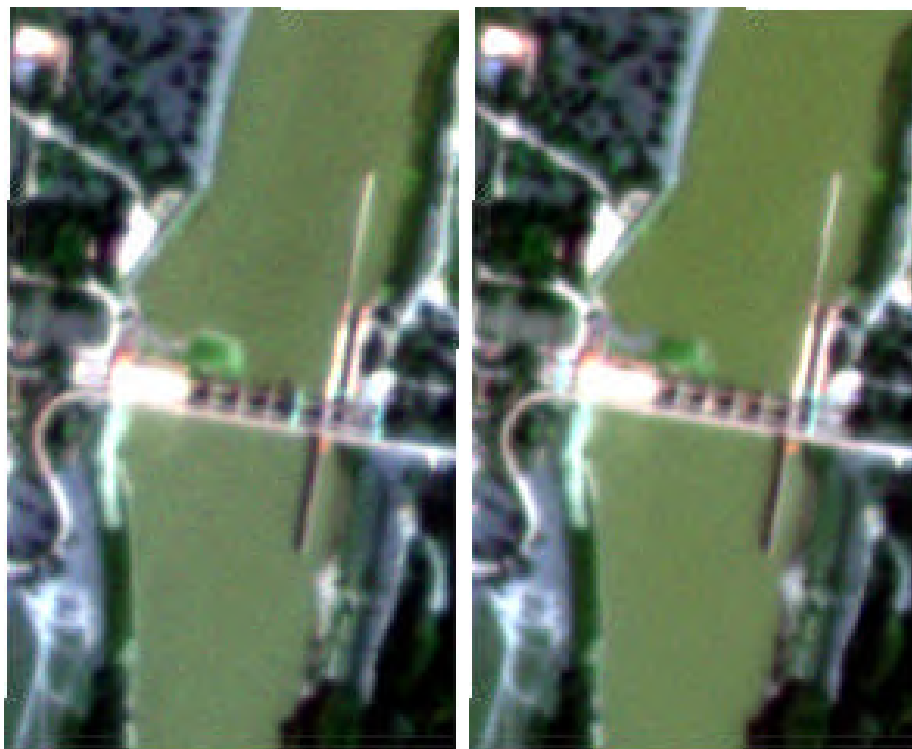
3.2.1. Eltérések kiszámítása

Kutatásomban a több időben készült műholdfelvételek normalizálását követően a rajtuk előforduló változások felismerésével foglalkozok. A felvételek időről időre frissülnek és újabb hulladékos területek jelenhetnek meg rajtuk, vagy akár el is tűnhetnek. Elsődleges célom a felvételeken történő környezeti eltérések detektálása. Számos műholdfelvétel készül egy-egy területről, azonban ezek egy részét nem lehet

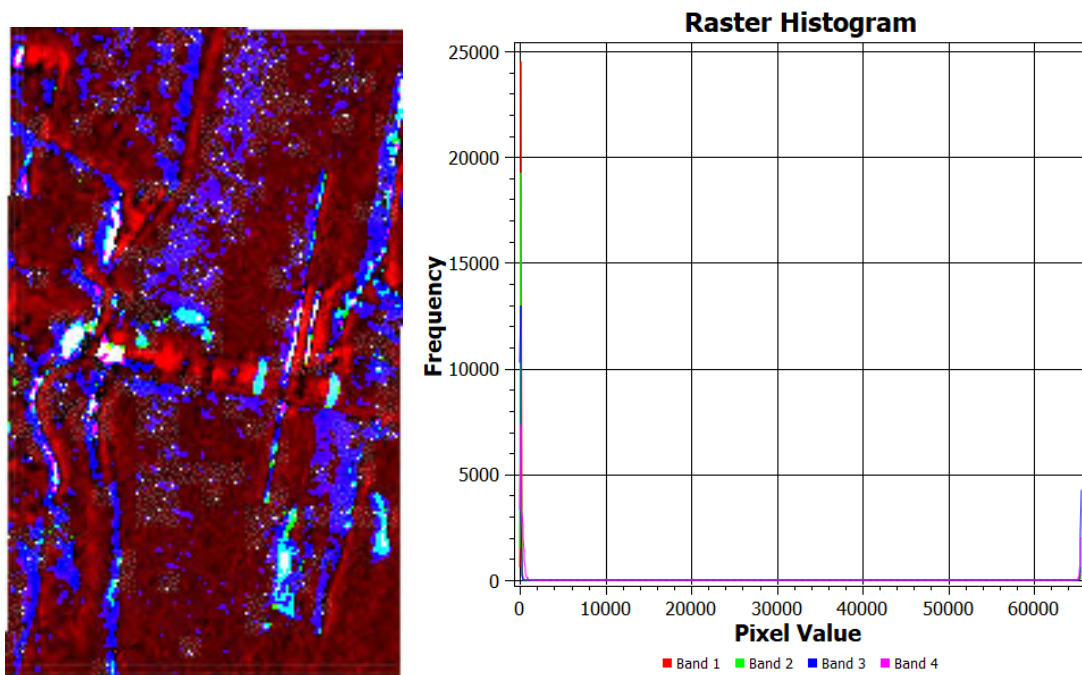
hasznosítani olyan tényezőket, mint például a felhőzettel borított részek túl nagy aránya miatt. Ebből következően lesznek olyan egymást követő felvételek, amik között pár napnál hosszabb időszak telt el. Ezek vizsgálat változások szempontjából kevésbé fontos számomra, ugyanis a környezet folytonos alakulásának megfigyelése a cél, nem pedig az ugrásszerű eltérések megtalálása.

Az általam alkalmazott módszer az algebra alapú változásdetektáló technikák csoportjába tartozik. A képi differenciálás során az előfeldolgozott műholdfelvételeket egymásból kivonva kapom meg az eltéréseket a két időpont között. A felvételek spektrális sávjainak megegyező pixeleit vonom ki egymásból, így ezek a két kép közötti értékváltozásokat veszik fel. A négy (Vörös, Zöld, Kék, Közeli infravörös) sávot megtartva az eredményül kapott felvételen jól láthatóak az eltérések.

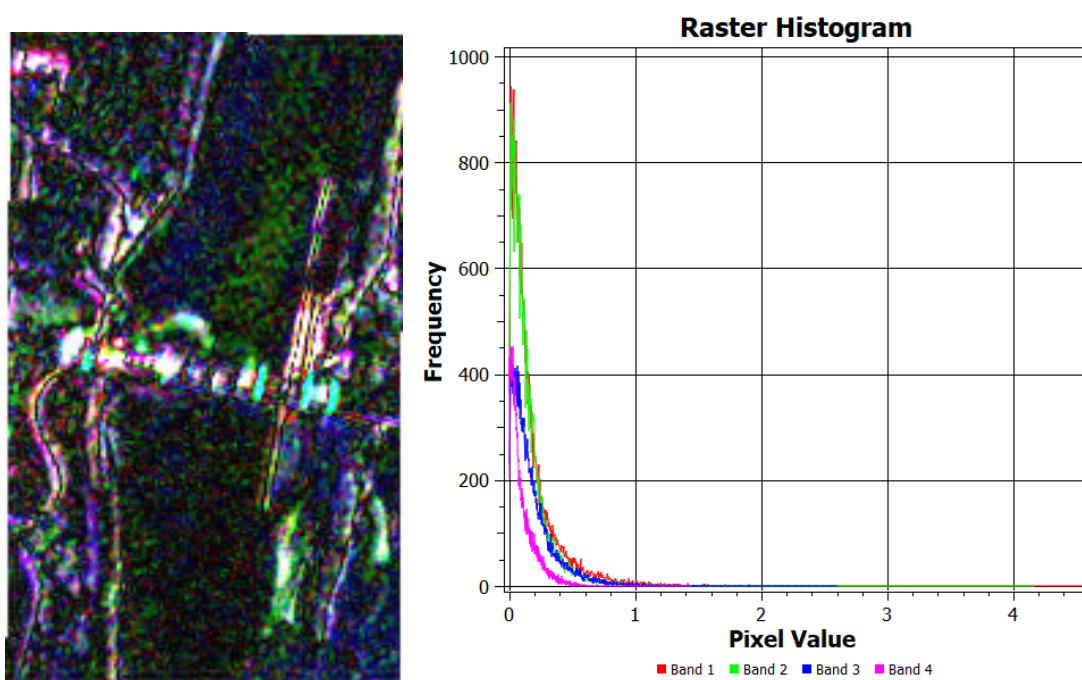
A következő képeken szemléltetem a változáselemzés első lépésének eredményeit. Az első esetben megfigyelhető, hogy az adott területen jelentős eltérés szabad szemmel nem látható, ezt és az ebből kapott raszteres képeket a [3.8., 3.9, 3.10, 3.11, 3.12] ábrák szemléltetik.



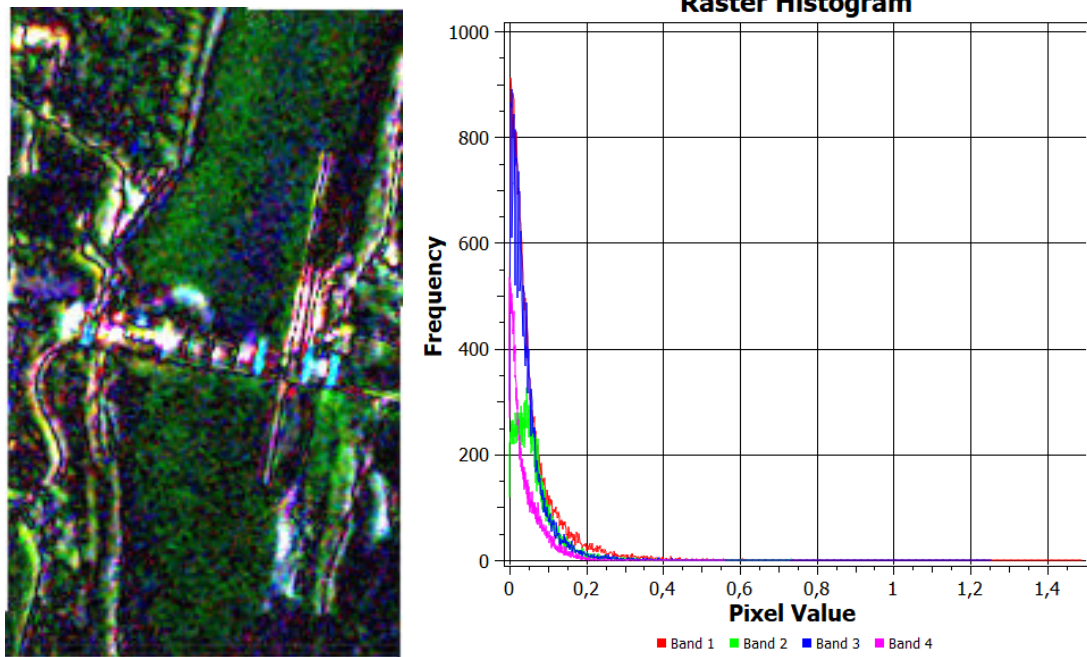
3.8. ábra. Kiskörei vízerőmű 2021. augusztus - A műholdfelvételeken látható, hogy jelentős változás nem történt. Az ezt követő eredmények a különböző normalizálási módszereket követően a változélemzés első lépéséből jöttek létre. Minden nagyobb és kisebb változás szerepel a feldolgozott felvételeken, valamint a hozzájuk tartozó hisztogramokon.



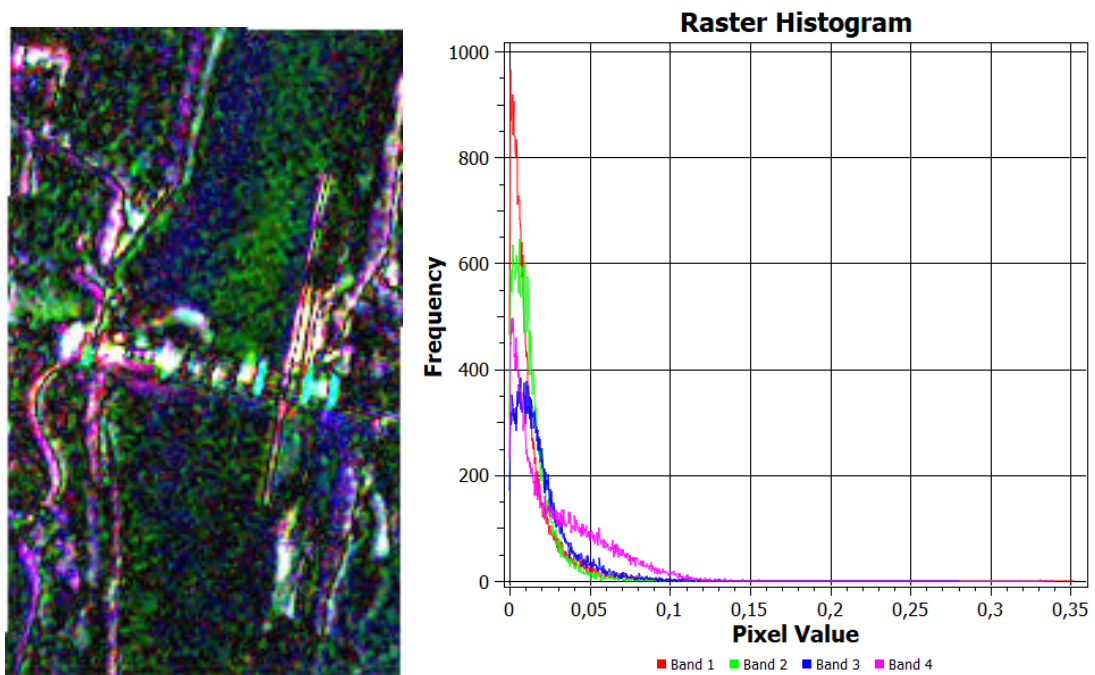
3.9. ábra. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés



3.10. ábra. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés

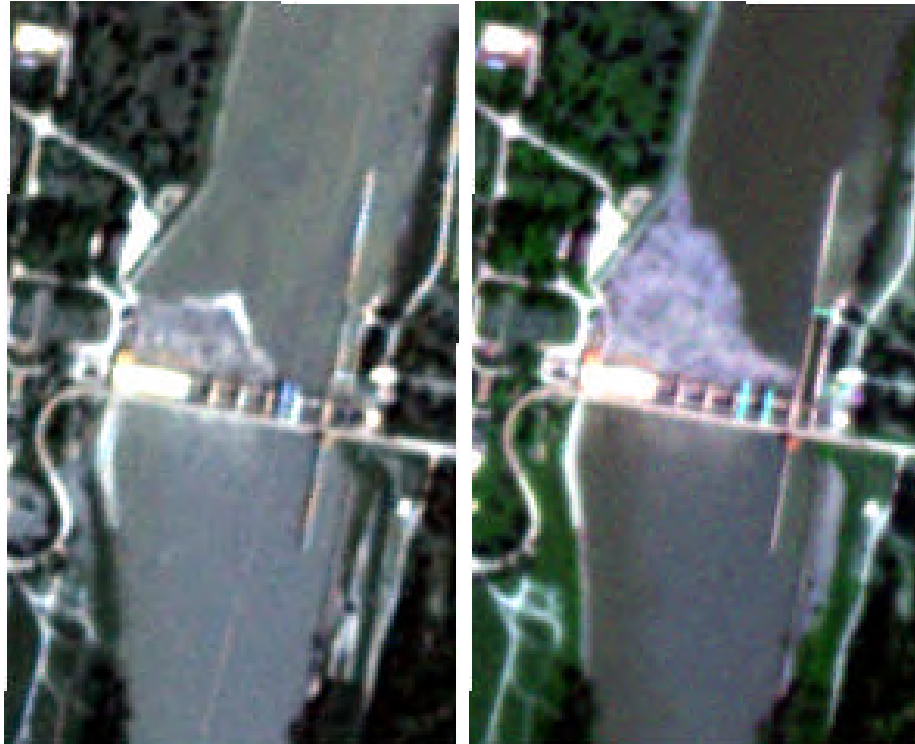


3.11. ábra. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés

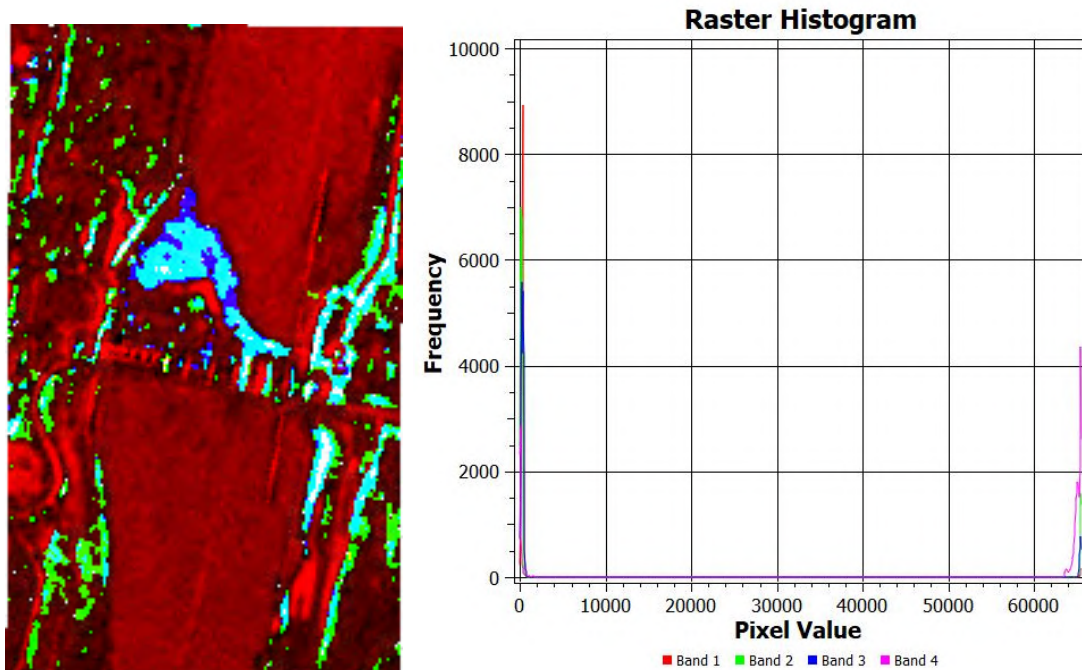


3.12. ábra. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés

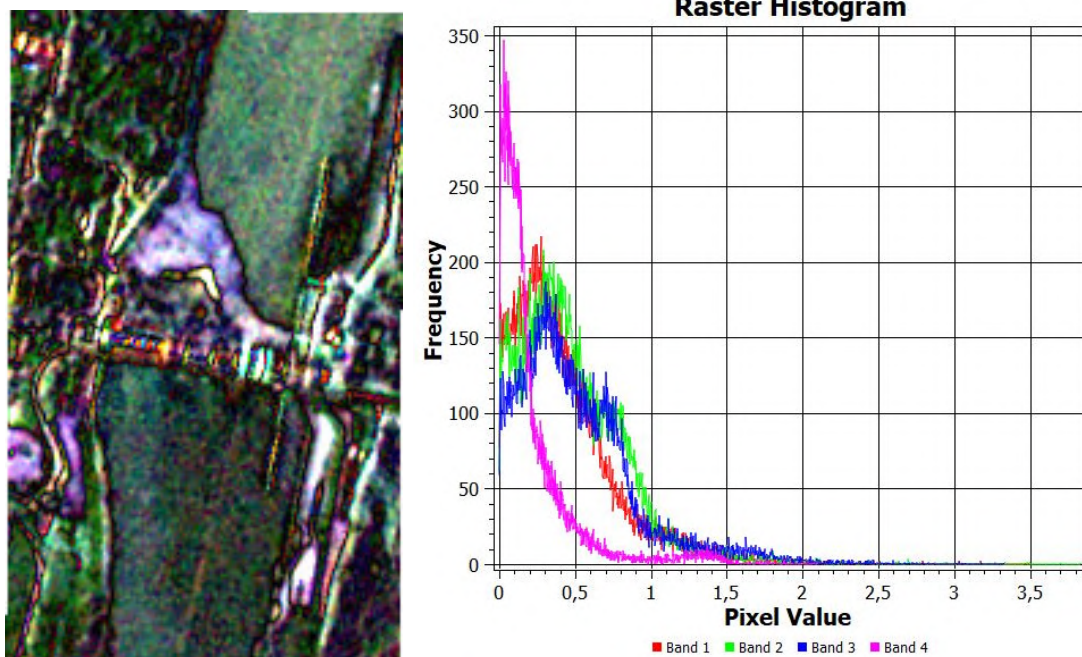
Az ezt követő [3.13., 3.14, 3.15, 3.16, 3.17] ábrák mutatják az erőműt egy olyan időszakban, amikor az eredeti felvételen is feltűnhet egy szemétsziget, valamint annak változása az erőmű fölötti részen.



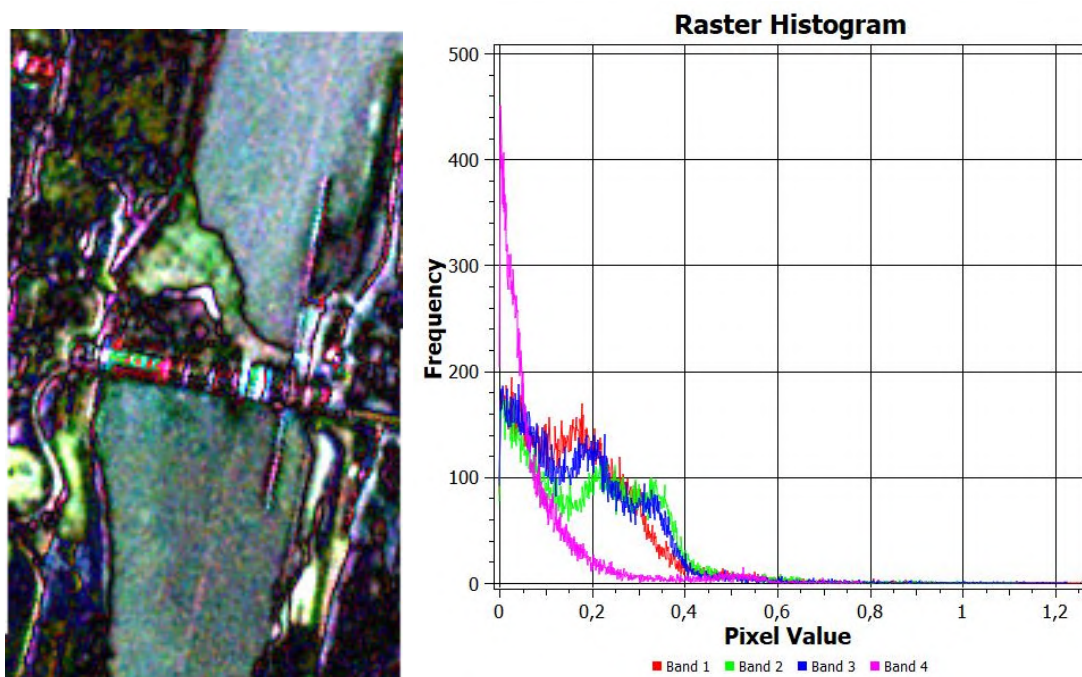
3.13. ábra. Kiskörei vízerőmű 2019. június - A műholdfelvételeken a vízben úszó szemétsziget környékén változás fedezhető fel. Az ezt követő eredmények a különböző normalizálási módszereket követően a változelemzés első lépéséből jöttek létre. Minden nagyobb és kisebb változás szerepel a feldolgozott felvételeken, valamint a hozzájuk tartozó hisztogramokon.



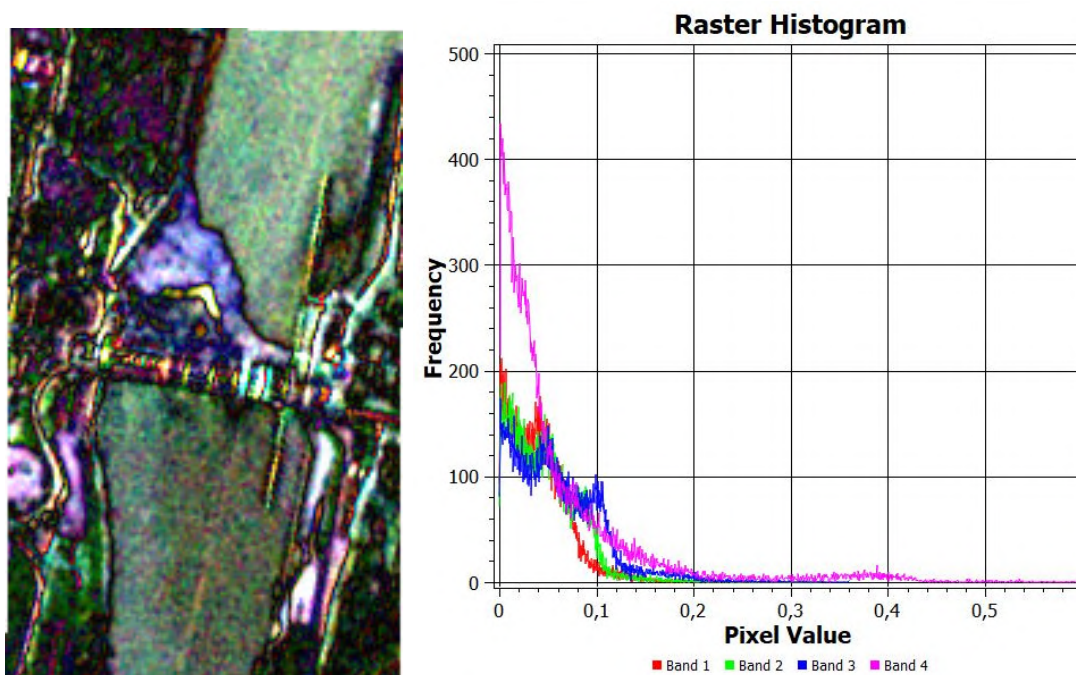
3.14. ábra. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés



3.15. ábra. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés



3.16. ábra. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés



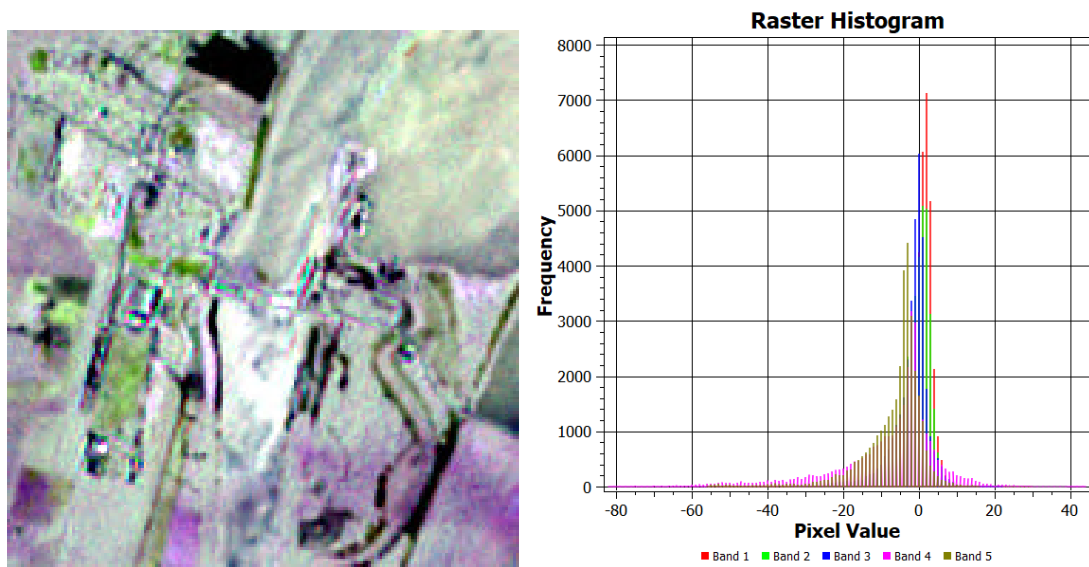
3.17. ábra. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés

A korábbi ábrák szemmel látható szélsőséges színtartományai alapján, valamint a mellettük szemléltetett hisztogrammok tisztán pozitív tartománya annak köszönhető, hogy abszolút eltérések kerültek kiszámításra. Ezt azt jelenti, hogy a változás irányára nem lehet belőle következtetni, csupán annak meglétére és mértékére.

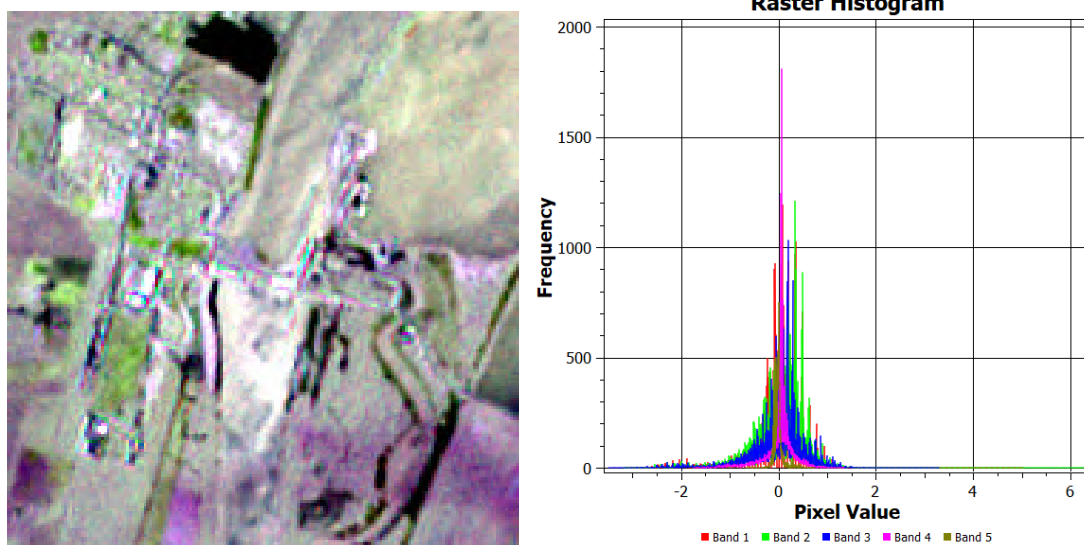
Ezt követően bővítettem a változásfelismerési módszerem, így a képek megfelelő képpontjai közötti negatív és pozitív különbség felismerését is lehetővé téve. Ezáltal a kapott eredményekből kikövetkeztethető, hogy az adott területen megjelent vagy eltűnt egy-egy objektum, részterület. A [3.18., 3.19, 3.20, 3.21, 3.22] ábrák a kiskörei vízerőmű területéről készült Sentinel-2 típusú műholdfelvételeken végzett változáselemzés részeredményeit mutatják.



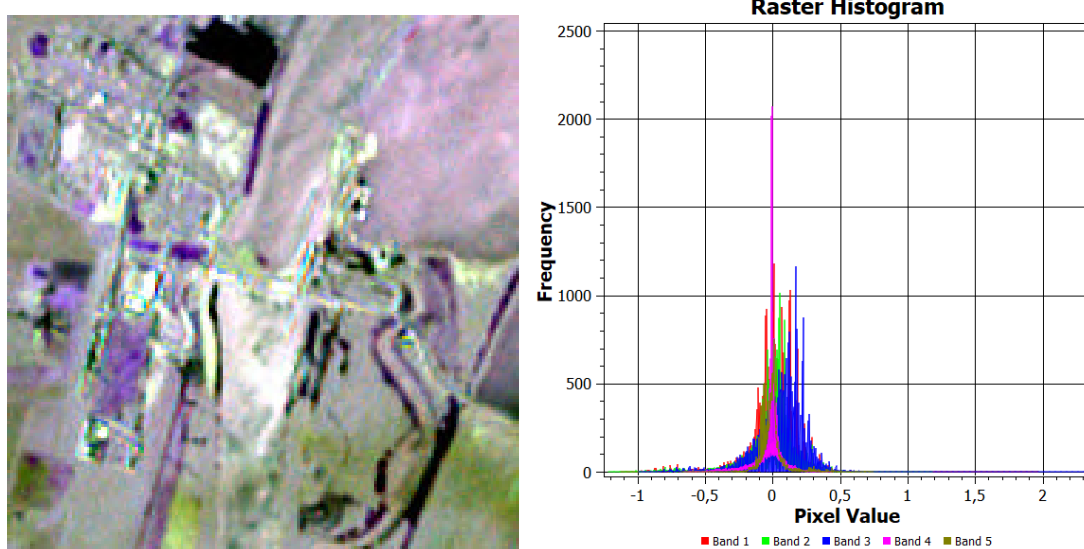
3.18. ábra. Kisköre vízerőmű 2023. május és június - A vízerőmű környékén szemmel szemétsziget nem észlelhető. A módszer nagy mértékű változást nem fedezett fel, ami az ezt követő árbák jobb oldali grafikonjain lévő értékekből levonhatóak.



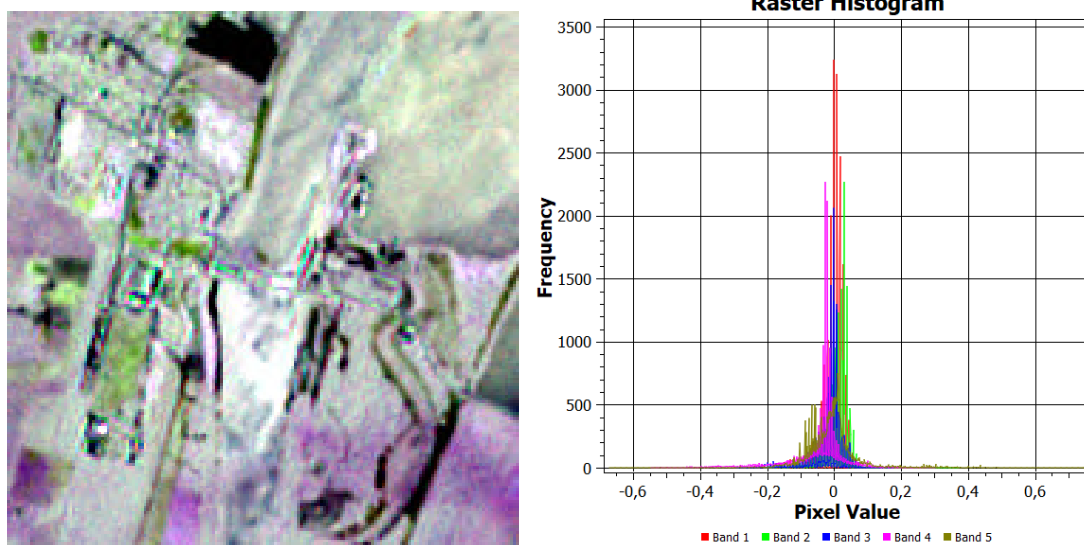
3.19. ábra. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés eredménye



3.20. ábra. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés



3.21. ábra. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés



3.22. ábra. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés

A kapott felvételek színtartományának kissé szokatlan megjelenése az imént említett eltérésekből adódik. Elsősorban a sötétebb árnyalattal ábrázolt területek jelzik valaminek a megjelenését, azaz egy pozitív irányba történt változást a pixelértékekben. A világosabb részek a negatív eredményeket mutatják a különbségszámítás után kapott felvételen. A minimális változást mutató területek a szürkés árnyalatú színtartományba esnek. Az felvételek melletti diagramokon látható 5 sávból az első 3, azaz a vörös, zöld és kék spektrális sávok értékei lettek vizualizálva. A további kettő, amik a közeli infravörös és a rövid hullámhosszú infravörös sávok értékei csupán a háttérszámolások részét képezik.

A kétirányú változáselemzés haszna abban mutatkozik meg, hogy a hulladékos területek megjelenése és növekedése mellett, azok csökkenése vagy teljes megszűnése elkülöníthető. Így több hasznos következtetést vonhatok le, valamint a szemétgyűjtő szervezetek számára is pontosabb információkkal szolgálhatok a műanyaghulladék mennyiségének változásával kapcsolatban.

API alapú szűrés

A változások kiszámítását követően további lépések szükségesek a relevánsnak vélt területek megtalálásához. Ennek a megoldására használtam fel a korábban ismertetett API (Adjusted Plastic Index) értékeit. Ennek az indexnek a számításához szükségesek olyan spektrális sávok, amik a Planetscope felvételein nem elérhetőek,

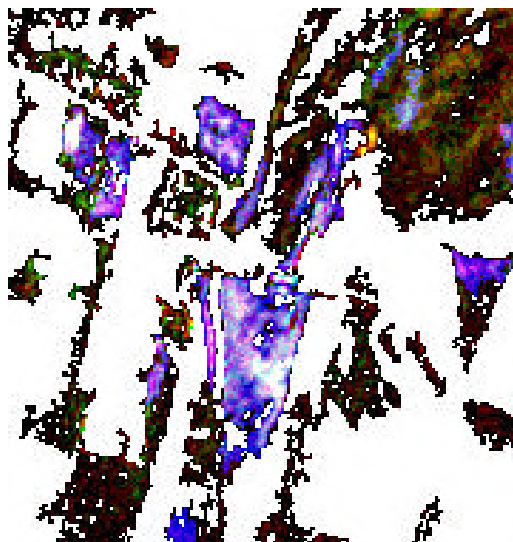
ezért ezt a módszert Sentinel-2 műholdfelvételeken teszteltem, amiket rendelkezésemre álltak a rövid hullámhosszú infravörös (SWIR) sáv értékei.

Az API egy külön sávként használtam fel a számítások során. Az adott két felvételem API értékeiből számítottam egy új réteget, ami a két műanyag index pixelértékeinek eltéréseit tartalmazza. Ennek ezt követően vettem egy felső és egy alsó százalékát, hasonlóan a percentilis normalizálási módszer működéséhez. A további spektrális sávok, amik már az eltéréseket tartalmazzák egy szűrésen mentek keresztül felhasználva az új API eltérés réteg szélsőséges értékeit. Amennyiben az adott spektrális sáv pixelértéke a szűrési határértéken kívülre esett megtartásra került, ellenkező esetben pedig eldobásra. Így kaptam végül egy alacsony és magas értékekkel rendelkező szűrt felvételt. Az alacsony értékek jelentős hiányt, a magasak pedig valami új megjelenését jelentik. Az átlaghoz közeli eredményeket nem szignifikáns változásoknak tekintettem, így azok eldobásra kerültek.

Összefüggő területek szűrése

Utolsó lépésként egy terület alapú szűrést is bevezettem a folyamatba. A változások számítása során előfordulhatnak szélsőséges értékek kevésbé vagy egyáltalán nem releváns részterületeken is. Ezek többnyire kisebb, akár csak néhány pixelből képzett részek. Ezeknek a kiszűrésére alkalmaztam egy pixelalapú területi szűrést. Egy adott minimális értéket használva eldobom azokat az összefüggő területeket, amik ezen érték alá esnek.

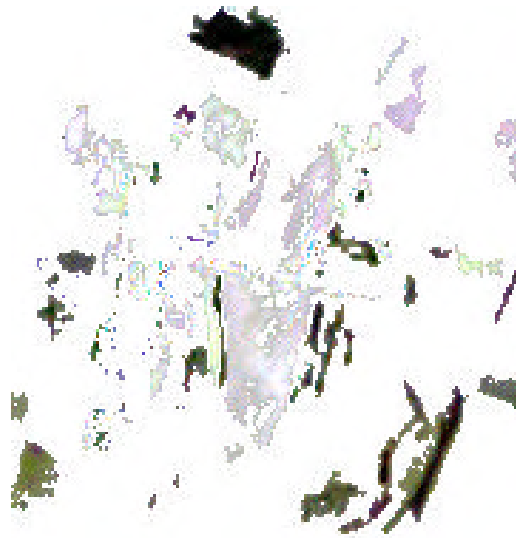
A [3.23., 3.24, 3.25, 3.26] ábrák a korábbi Sentinel-2 felvételek további API és terület alapú szűréssel feldolgozott végeredményeit tartalmazzák.



3.23. ábra. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételek utáni változáselemzés szűrt végeredménye



3.24. ábra. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés szűrt végeredménye



3.25. ábra. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés szűrt végeredménye



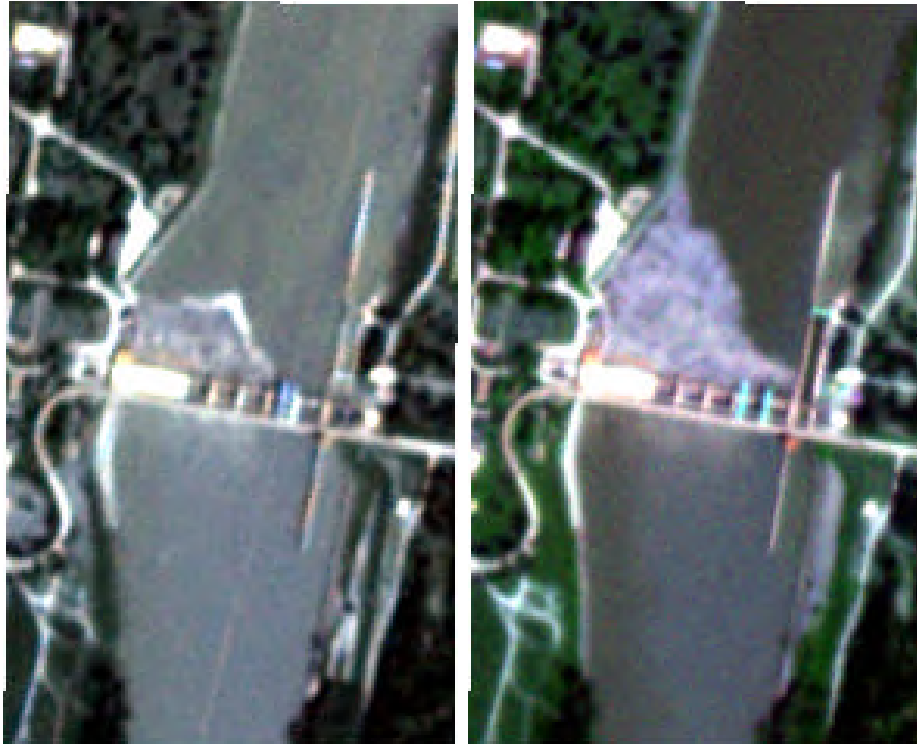
3.26. ábra. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés szűrt végeredménye

4. fejezet

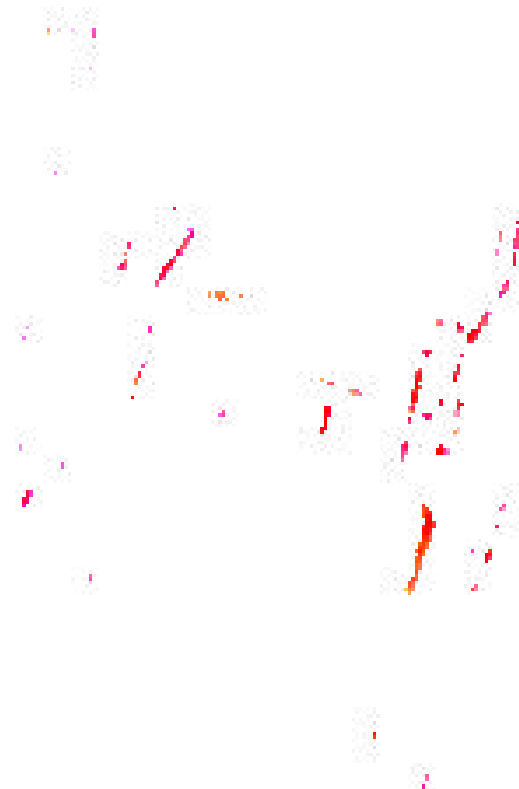
Eredmények

A tanulmányban sikeresen kidolgoztam egy módszert a multispektrális műholdképek normalizálására. A legoptimálisabb eredményeket számomra a referenciakép alapú folyamat adta. Egy-egy kép alapján mindhárom módszer jobban kezelhető és biztosabb értékeket adott az eredeti képekhez viszonyítva. Hosszabbtávon és jóval nagyobb adathalmazon tekintve azonban szükséges valamilyen optimális érték, amihez minden mást igazíthatunk, így tartva egy közös arányt.

A következő 4.1. ábrán az eredeti felvételek láthatóak egymás mellett összehasonlítás képpen, majd ezt követően a [4.2. 4.3. 4.4. 4.5.] ábrákon láthatóak a kutatás során elért végleges eredmények. A változások kiszámítását követően a felvételek pixelértékeinek eloszlása alapján egy átlaghoz közeli értéket vettem küszöbként. Ezt használva további szűrést végeztem a már megkapott eltéréseken, így megtartva az általam lényegesnek ítélt változásokat és eldobva azokat, amik különösen nagy értéket nem mutattak.



4.1. ábra. Kiskörei vízerőműről egymást követő napokon készült műholdfelvételek.
A változások a vízfelszínen szemmel is észrevehetők.



4.2. ábra. Eredeti képeken végzett változások szűrése.



4.3. ábra. Z-score normalizált képeken végzett változások szűrése.

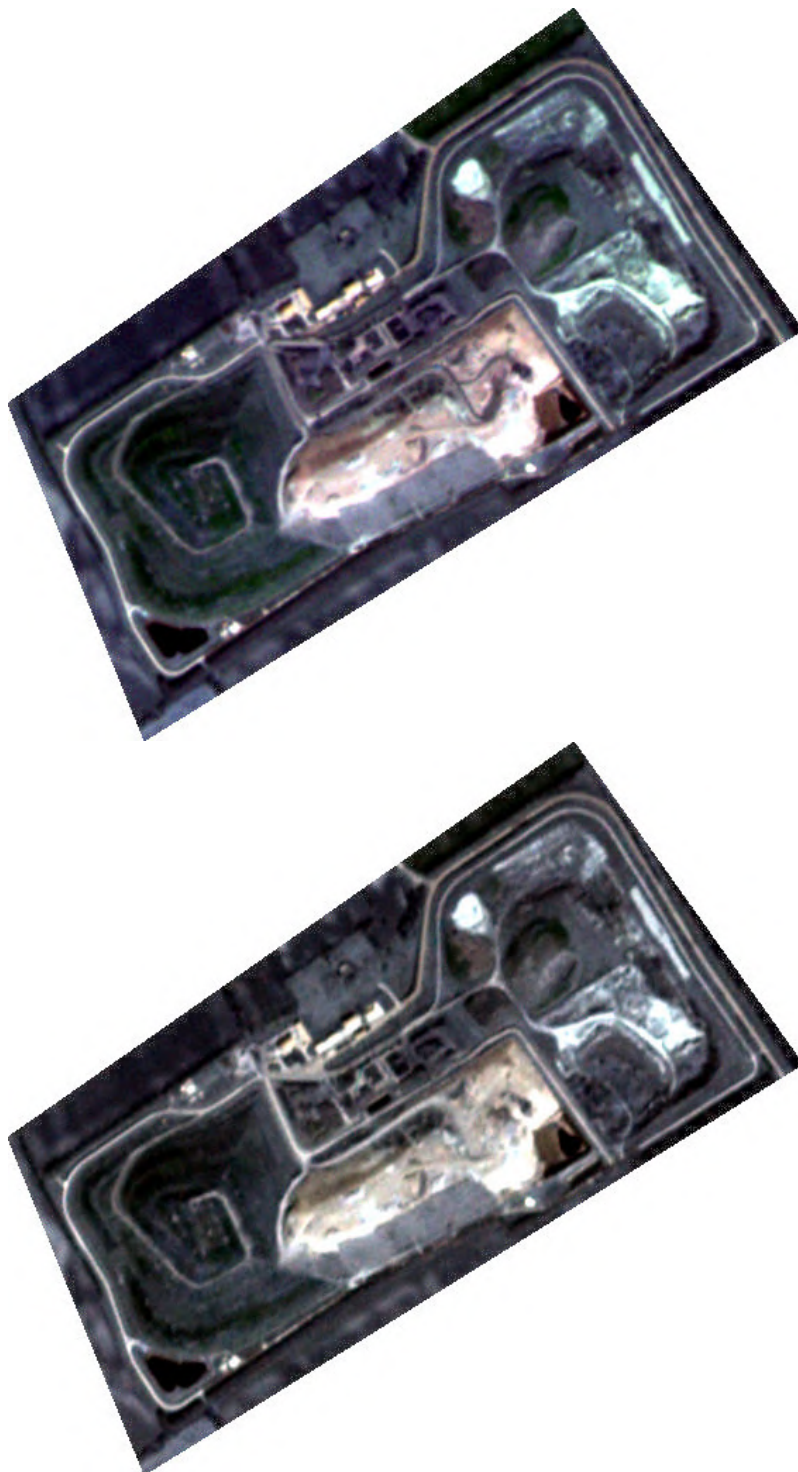


4.4. ábra. Percentile normalizált képeken végzett változások szűrése.

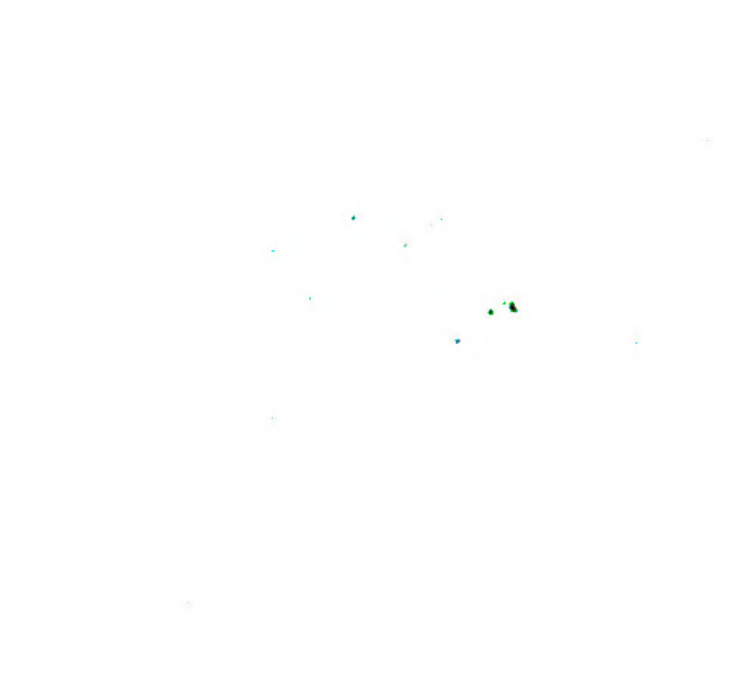


4.5. ábra. Referenciafelvétel alapján normalizált képeken végzett változások szűrése.

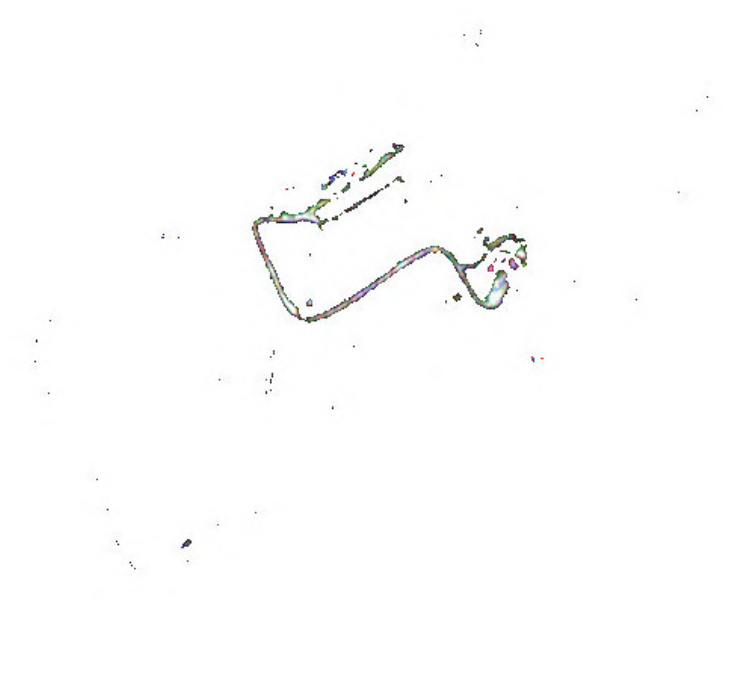
A 4.6. ábrán a pusztazámori hulladéklerakóról készült két eredeti műholdfelvétel látható, amik alapján ebben az esetben sok eltérés nem figyelhető meg. Ezt követően a [4.7. 4.8. 4.9. 4.10.] ábrákon a telephely és annak minimális, de nem számottevő változásai figyelhetők meg.



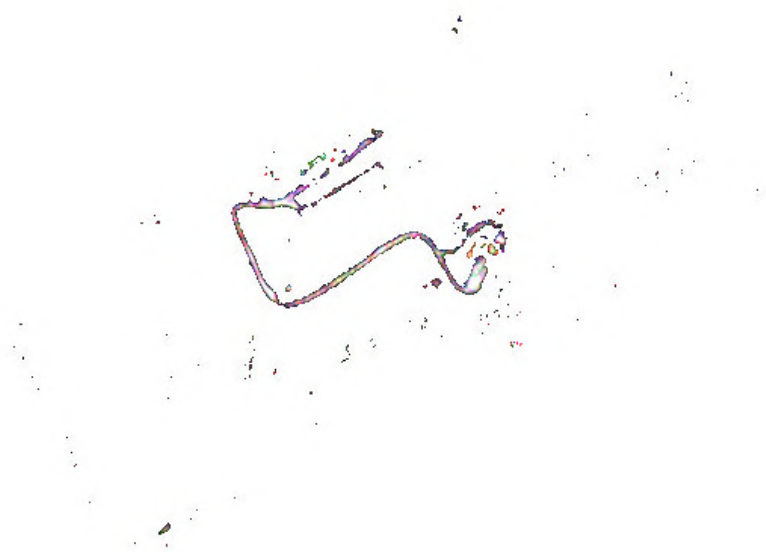
4.6. ábra. Pusztazámori hulladéktelepről egymást követő napokon készült műholdfelvételek.



4.7. ábra. Eredeti képeken végzett változások szűrése.



4.8. ábra. Z-score normalizált képeken végzett változások szűrése.



4.9. ábra. Percentile normalizált képeken végzett változások szűrése.



4.10. ábra. Referenciafelvétel alapján normalizált képeken végzett változások szűrése.

A kapott eredményekből következtetésként levontam, hogy a normalizálási technikák pozitívan hozzájárultak a felvételeken végzett változáselemzés elvégzéséhez. Az eredeti felvételekből kapott változások, ahogyan azt a 3.14. és a 3.9. ábrák mutatják meglehetősen szélsőséges eredményeket adtak. Ezáltal nehezebb volt egy megfelelő küszöbérték kiválasztása a számomra érdekes változások kiszűrésére. A normalizált képek pixelértékei aránylag közel azonosak voltak, így hasonló módon tudtam alkalmazni a küszöbérték általi szűrést rajtuk. Ezek továbbá minden sávban egységesebb eloszlást mutattak az eredeti felvételekhez képest. A küszöbérték kiválasztása kapcsán mindenképpen érdemes további kutatást folytatni. Ezenfelül a normalizálás, mint előfeldolgozási folyamat nem csak az általam végzett változáselemzés során segíthet, hanem hasznos lehet a program egyéb továbbfejlesztésében is, mint például a gépi tanulás folyamatai során.

5. fejezet

Összefoglalás

Ez a szakdolgozat a műanyag hulladék-szennyezés égető problémájával foglalkozik, amely világszerte jelentős környezeti kihívást jelent. A tanulmány célja egy olyan módszer kidolgozása, amely multispektrális műholdképek, normalizálási technikák, valamint változásdetektálási módszerek felhasználásával detektálja a műanyag hulladékot.

A tanulmány a PlanetScope konstellációból nyert multispektrális műholdfelvételeket használja. A módszer magában foglalja a műholdfelvételek előfeldolgozását, majd képdifferenciálási technikák alkalmazását a műanyag hulladékkal kapcsolatos jelentős változásokkal rendelkező területek felderítésére.

A módszerek terén, valamint a program egészében is látok lehetőség még optimalizálásra és további lépések bevezetésére. A normalizálás habár ígéretes eredményeket adott, az egyes területek sajátosságaihoz igazodva különböző eljárásokat lehetne alkalmazni a működés során. A változásdetektálás során érdemes lehet kipróbálni az egyszerűbb algebrán alapuló módszertől különbözőt. Ezentúl a referenciaképek kiválasztásának is nagy befolyása van a folyamatok eredményességére. Az egyre növekvő felvételmennyiség miatt szükséges lehet a referenciák automatizált kiválasztására. Erre elegendő lehet egy pár évente történő szűrése az addig összegyűlt felvételeknek, amiket adott paraméterek alapján optimálisnak jelölünk.

Összefoglalva, ez a dolgozat bemutatja a multispektrális műholdképek és normalizálási technikák alkalmazásának megvalósíthatóságát. Az eredmények hozzájárulnak a műanyag szennyezés dinamikájának megértéséhez, és értékes meglátásokkal szolgálnak a környezettudósok és a természetvédelmi szakemberek számára, akik ennek a sürgető környezeti problémának a megoldásán dolgoznak.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásomhoz pénzügyi támogatást nyújtott az Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Kara¹. Köszönetemet fejezem ki témavezetőm, Cserép Máté felé a közreműködéséért, tanácsaiért és minden segítségéért. Továbbá köszönettel tartozom szakmai segítségéért dr. Vincellér Zoltánnak. Utolsósorban külön köszönet a Plastic Waste Monitoring² projekt fejlesztőinek és egyben kollégáimnak a közös munkájukért és megosztott tapasztalataikért.

¹<https://inf.elte.hu/>

²<https://gis.inf.elte.hu/waste-detection/>

Irodalomjegyzék

- [1] Christopher J. Rhodes. „Plastic Pollution and Potential Solutions”. *Science Progress* 101.3 (2018). PMID: 30025551, 207–260. old. DOI: 10 . 3184 / 003685018X15294876706211.
- [2] Lázár Tünde. *EGY HEGYRE VALÓ SZEMÉT HALMOZÓDOTT FEL A KISKÖREI ERŐMŰNÉL*. https://gyereatiszatora.blog.hu/2019/06/05/egy_hegyre_valo_szemet_halmozodott_fel_a_kiskorei_eromunel. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [3] *Spectral bands*. <https://locationiq.com/glossary/spectral-bands>. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [4] Orietta Nicolis és Cristian Gonzalez. „19 - Wavelet-based fractal and multifractal analysis for detecting mineral deposits using multispectral images taken by drones”. *Methods and Applications in Petroleum and Mineral Exploration and Engineering Geology*. Szerk. Said Gaci, Olga Hachay és Orietta Nicolis. Elsevier, 2021, 295–307. old. ISBN: 978-0-323-85617-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85617-1.00017-5>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323856171000175>.
- [5] *High Resolution Aerial Imagery with Near InfraRed (NIR) for Government*. <https://www.eagleview.com/nir/>. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [6] *TIFF files*. <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/raster/tiff-file.html>. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [7] *GeoTIFF*. <https://www.heavy.ai/technical-glossary/geotiff>. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [8] *PlanetScope Product Specifications*. https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf. Hozzáférve: 2024-05-03.

- [9] Planet Team. *PlanetScope Product Specifications*. Techn. jel. Planet Labs, 2023. dec.
- [10] Planet Team. *Planet Surface Reflectance Product*. Techn. jel. v2. Planet Labs, 2020.
- [11] *Sentinel 2 Bands and Combinations*. <https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>. Hozzáférve: 2024-12-01.
- [12] *GIS Dictionary - Normalization*. <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/normalization>. Hozzáférve: 2024-05-03.
- [13] J. Heo és Thomas Fitzhugh. „A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery 106”. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (2000. febr.), 173–181. old.
- [14] Anindya Basu és S. Das. „Chapter 22 - Afforestation, revegetation, and re-generation: a case study on Purulia district, West Bengal (India)”. *Land Reclamation and Restoration Strategies for Sustainable Development*. Szerk. Gouri Sankar Bhunia és tsai. 10. köt. Modern Cartography Series. Academic Press, 2021, 497–524. old. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823895-0.00014-2>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128238950000142>.
- [15] Dávid Magyar és tsai. *Waste Detection and Change Analysis based on Multispectral Satellite Imagery*. 2023. arXiv: 2303.14521 [cs.CV].
- [16] Kyriacos Themistocleous és tsai. „Investigating Detection of Floating Plastic Litter from Space Using Sentinel-2 Imagery”. *Remote Sensing* 12.16 (2020). ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs12162648. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2648>.
- [17] Anjar Dimara Sakti és tsai. „Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel-2 satellite imagery”. *Scientific Reports* 13 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-32087-5. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32087-5>.

- [18] Vahid Sadeghi, Hamid Ebadi és Farshid Farnood Ahmadi. „A new model for automatic normalization of multitemporal satellite images using Artificial Neural Network and mathematical methods”. *Applied Mathematical Modelling* 37.9 (2013), 6437–6445. old. ISSN: 0307-904X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.01.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X13000280>.
- [19] Susanne Schmid. *Image Intensity Normalization in Medical Imaging*. <https://medium.com/@susanne.schmid/image-normalization-in-medical-imaging-f586c8526bd1>. Hozzáférve: 2024-05-02.
- [20] Anju Asokan és J. Anitha. „Change detection techniques for remote sensing applications: a survey”. *Earth Science Informatics* 12 (2 2019. jún.). ISSN: 1865-0481. DOI: 10.1007/s12145-019-00380-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00380-5>.

Ábrák jegyzéke

2.1. Kiskörei vízerőmű	5
2.2. Hullámhossztartományok	6
2.3. Plastic Waste Monitoring application	10
2.4. Plastic Waste Monitoring - Kisköre eredmények	13
2.5. Plastic Waste Monitoring - Depónia eredmények	14
2.6. Változatlan pixelek szórása	16
2.7. Normalizációs módszerek összehasonlítása	17
2.8. Változás detektálás folyamata	18
2.9. Változáselemzési módszerek a szakirodalomban	19
3.1. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása Z-score módszerrel	22
3.2. Pusztazámori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása Z-score módszerrel	23
3.3. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása percentilis mód- szerrel	25
3.4. Pusztazámori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása per- centilis módszerrel	26
3.5. Normalizáláshoz használt referencia képek	28
3.6. Kiskörei vízerőmű műholdfelvételének normalizálása egy referencia- kép alapján	29
3.7. Pusztazámori hulladéktelep műholdfelvételének normalizálása egy re- ferenciakép alapján	30
3.8. Kiskörei vízerőmű 2021. augusztus - A műholdfelvételeken látható, hogy jelentős változás nem történt. Az ezt követő eredmények a kü- lönböző normalizálási módszereket követően a változelemzés első lé- péséből jöttek létre. Minden nagyobb és kisebb változás szerepel a feldolgozott felvételeken, valamint a hozzájuk tartozó hisztogramokon.	31
3.9. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés	32

3.10. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés	32
3.11. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés . . .	33
3.12. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés	33
3.13. Kiskörei vízerőmű 2019. június - A műholdfelvételeken a vízben úszó szemétsziget környékén változás fedezhető fel. Az ezt követő eredmé- nyek a különböző normalizálási módszereket követően a változélemzés első lépéséből jöttek létre. Minden nagyobb és kisebb változás szerepel a feldolgozott felvételeken, valamint a hozzájuk tartozó hisztogramokon.	34
3.14. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés	34
3.15. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés	35
3.16. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés . . .	35
3.17. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés	36
3.18. Kisköre vízerőmű 2023. május és június - A vízerőmű környékén szem- mel szemétsziget nem észlelhető. A módszer nagy mértékű változást nem fedezett fel, ami az ezt követő ábrák jobb oldali grafikonjain lévő értékekből levonhatóak.	37
3.19. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételeken végzett változáselemzés ered- ménye	37
3.20. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés	38
3.21. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés . . .	38
3.22. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselemzés	39
3.23. Kisköre vízerőmű - Eredeti felvételek utáni változáselemzés szűrt vég- eredménye	41
3.24. Kisköre vízerőmű - Z-score normalizálás utáni változáselemzés szűrt végeredménye	41
3.25. Kisköre vízerőmű - Percentile normalizálás utáni változáselemzés szűrt végeredménye	42
3.26. Kisköre vízerőmű - Referencia alapú normalizálás utáni változáselem- zés szűrt végeredménye	42
4.1. Kiskörei vízerőműről egymást követő napokon készült műholdfelvéte- lek. A változások a vízfelszínen szemmel is észrevehetők.	44
4.2. Eredeti képeken végzett változások szűrése.	44
4.3. Z-score normalizált képeken végzett változások szűrése.	45

4.4. Percentile normalizált képeken végzett változások szűrése.	45
4.5. Referenciafelvétel alapján normalizált képeken végzett változások szű- rése.	46
4.6. Pusztázásmori hulladéktelepről egymást követő napokon készült mű- holdfelvételek.	47
4.7. Eredeti képeken végzett változások szűrése.	48
4.8. Z-score normalizált képeken végzett változások szűrése.	48
4.9. Percentile normalizált képeken végzett változások szűrése.	49
4.10. Referenciafelvétel alapján normalizált képeken végzett változások szű- rése.	49

Táblázatok jegyzéke

2.1. PlanetScope műholdas szenzor spektrális sávjai	7
2.2. Sentinel-2 spektrális sávjai	8
3.1. Módszerek képleteinél használt rövidítések táblázata	21