

Kringilsárrani

Rannsóknir á gróðurbreytingum
með samanburði gervitunglamynda
frá 2002 og 2010

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2012-069

Dags: maí 2012

Fjöldi síðna: 41

Upplag: 10

Dreifing:

- ☐ Birt á vef LV
☒ Opin
☐ Takmörkuð til

Titill: Kringilsárrani - Rannsóknir á gróðurbreytingum með samanburði gervitunglamynda frá 2002 og 2010

Höfundar/fyrirtæki: Kolbeinn Árnason

Verkefnisstjóri: Pétur Ingólfsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Breytingar á ástandi gróðurs í Kringilsárrana voru kortlagðar með samanburði á gervitunglamyndum sem teknar voru með 8 ára millibili. SPOT-5 myndir frá 2002 og 2010 voru notaðar og aðferðin sem beitt var fólst í að reikna út s.k. gróðurstuðul fyrir hvora mynd um sig og draga síðan gróðurstuðulinn 2002 frá gróðurstuðlinum 2010. Niðurstaðan gefur vísbendingar um að gróður í Kringilsárrana sé almennt í nokkurri framför. Engin örugg merki eru um að ástand gróðurlendisins hafi versnað. Aftur á móti er land augljóslega að gróa upp á nokkrum afmörkuðum stöðum eða blettum þar sem aðstæður eru væntanlega tiltölulega hagstæðar, þ.e. í dældum þar sem er nokkuð skjól og hærri grunnvatnsstaða en almennt er. Engin merki eru um að sandfok úr lónsstæði Háslóns hafi kaffært gróður á eða við lónsbakkana og engar vísbendingar sjást heldur um alvarlegan uppblástur á svæðinu.

Lykilorð: Gróðurframvinda í Kringilsárrana, SPOT-5 gervitunglamyndir, Gróðurstuðull (Normalised Difference Vegetation Index), samanburður á SPOT-5 myndum frá 2002 og 2010.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Kringilsárrani

Rannsóknir á gróðurbreytingum
með samanburði gervitunglamynda
frá 2002 og 2010

Efnisyfirlit

1.	ÁGRIP	1
2.	INNGANGUR	2
3.	KRINGILSÁRRANI	3
3.1.	Gróðurrannsóknir og gróðureftirlit í Kringilsárrana	3
3.2.	Fyrri notkun gervitunglamynda við gróðurathuganir í Kringilsárrana	4
4.	SPOT-5 GERVITUNGLIÐ OG SPOT-5 MYNDIR	5
4.1.	SPOT-5 myndir af Kárahnjúkasvæði	5
4.2.	Rannsóknasvæðið á SPOT ₂₀₀₂ , SPOT ₂₀₀₆ og SPOT ₂₀₁₀	6
5.	HELSTU KENNISTÆRÐIR SPOT ₂₀₀₂ , SPOT ₂₀₀₆ OG SPOT ₂₀₁₀	10
6.	GRÓÐURSTUÐULL (NDVI: Normalised Difference Vegetation Index)	12
7.	FRAMKVÆMD RANNSÓKNARINNAR	14
7.1.	Geómetrísk vörpun	14
7.2.	Aðlögun á birtustigi eða geislunarstyrk	15
7.3.	Samanburður og aðlögun grágilda (birtugilda)	15
7.4.	Útreikningur á geislunarstyrk (spectral radiant density: W/m ² -sr-µm)	17
8.	NIÐURSTÖÐUR	18
8.1.	Niðurstaða án lofthjúpsleiðréttingar	18
8.2.	Niðurstaða með lofthjúpsleiðréttingu	18
8.3.	Suð eða óvissa í myndunum	18
8.4.	Litaframsetning niðurstöðunnar og flokkun	21
8.5.	Umhverfisáhrif – mismunandi mikill raki í yfirborði	22
8.6.	Leiðrétting fyrir umhverfisáhrifum	22
8.7.	Niðurstaða ásamt vatnafari	23
8.8.	Samanburður við SPOT ₂₀₀₆	25
8.9.	Nokkrir staðir þar sem augljósar NDVI-breytingar hafa orðið	27
8.9.1.	Norðurhluti Kringilsárrana	27
8.9.2.	Syðst í Kringilsárrana	29
8.9.3.	Vestast í Kringilsárrana	29
8.8.4.	Vestan Kringilsár	31
9.	UMRÆÐA	33
9.1.	Helstu niðurstöður	33
9.2.	Aðrar niðurstöður	33
9.2.1.	Virkt rof	33
9.2.2.	Áfok úr lónsbotninum	34
9.3.	Framhald gróðureftirlits með gervitunglamyndum?	36
9.4.	Aðgengi að gervitunglamyndum af Íslandi	36
	Tilvitnanir	37
	VIÐAUKI I Fjöldi hreindýra í Kringilsárrana 2002 – 2010	38
	VIÐAUKI II Samanburður við SPOT ₂₀₀₆	39

Mynd á forsiðu.

Myndrenningur sem sýnir gróðurstuðul þvert yfir norðanverðan Kringilsárrana. Grænn litur táknar þéttan gróður en gróðurlaust land og vatn er appelsínugult og rautt. Háslón til hægri.

1. ÁGRIP

Þessi rannsókn byggist á nákvæmum samanburði á gervitunglamyndum sem teknar voru með 8 ára millibili í því skyni að kortleggja hugsanlegar breytingar á gróðri eða ástandi gróðurs í Kringilsárri norðan Vatnajökuls. Myndirnar sem notaðar voru í rannsókninni tók SPOT-5 gervitunglið í september 2002 og 2010 (SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀) og aðferðin við að bera þær saman fólst í að reikna út s.k. gróðurstuðul (NDVI: Normalised Difference Vegetation Index) fyrir hvora mynd fyrir sig og draga síðan gróðurstuðul fyrri myndarinnar frá gróðurstuðli þeirrar síðari. Niðurstaðan er mynd (NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂) sem aðeins sýnir þá staði þar sem breytingar, jákvæðar eða neikvæðar, hafa orðið.

Áður en hægt er að bera gróðurstuðulsmýndirnar saman verður í fyrsta lagi að laga myndirnar geómetrískt hvora að annarri og í öðru lagi þarf síðan að samræma birtugildi myndanna til þess að tryggja það að niðurstaðan sýni aðeins raunverulegar breytingar.

Þótt SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ séu báðar teknar á sama árstíma er samt margt í sambandi við myndatökuna sem var mismunandi í þessi tvö skipti og lá munurinn bæði í mismikilli mögnun myndnemanna og ólíkri geómetríu við töku myndanna. Gæði SPOT₂₀₀₂ voru því miður mun síðri en SPOT₂₀₁₀ og í raun svo takmörkuð að þau setja mark sitt á gæði niðurstöðunnar. Mögnun nemanna í myndskanna gervitunglsins var svo lágt stillt að myndin hentar tæplega til þess að mæla smávægilegar breytingar sem reikna verður með á hálendu og hrjóstrugu svæði eins og Kringilsárrana. Þess vegna þurfti að vanda samstillingu SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ eins og kostur var.

Farin var sú leið að reikna grágildi myndanna yfir í raunverulegan geislunarstyrk sem gervitunglið mælir, áður en myndirnar voru bornar saman. Jafnframt voru gerðar leiðréttingar fyrir áhrifum lofthjúpsins og muni á geómetríu myndatökunnar til þess að vanda samanburð myndanna sem allra best.

Niðurstöðurnar sýna að flestar greinilegustu breytingarnar á gróðurstuðli í Kringilsárrana eiga rætur að rekja til breytinga á vatnafarinu. Brúarjökull hefur hopað meira en 1 km á þeim átta árum sem liðu milli þess að myndirnar voru teknar, smálón við jökuljaðarinn hafa breyst, vötn og pollar hafa sums staðar þornað upp en annars staðar breytt um lögun. Þá hafa farvegir ánnar í grennd við jökulinn breytt sér sem og vatnsmagn þeirra, auk þess sem Háslón varð til.

Megintilgangur þessarar rannsóknar er að finna og setja fram niðurstöðurnar hvað varðar gróðurbreytingar á rannsóknarsvæðinu með skýrum hætti. Til þess að aðgreina gróðurbreytingar frá þeim breytingum sem tengjast eingöngu vatnafarinu var því nauðsynlegt að útbúa nákvæmt vatnafarskort af svæðinu og leggja ofan á gróðurstuðulsmýndina (NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂). Niðurstaðan er sýnd á mynd 15 á bls. 26.

Hún sýnir að litlar gróðurbreytingar hafa átt sér stað í Kringilsárrana á árabílinu 2002 – 2010 þegar á heildina er litið. Þó eru ákveðnar vísbendingar um að gróður sé almennt frekar í framför en að ástand hans hafi haldist óbreytt. Engin örugg merki eru um afturför gróðurlendisins. Augljósa framför gróðurs má greina á nokkrum afmörkuðum stöðum eða blettum þar sem aðstæður eru væntanlega tiltölulega hagstæðar, í dældum þar sem er nokkuð skjól og hærri grunnvatnsstaða en almennt er. Gerð er grein fyrir þessum stöðum í lok skýrslunnar.

Engin merki eru um það enn sem komið er að sandfok úr lónsstæði Háslóns hafi kaffært gróður á eða við lónsbakkana og engar vísbendingar sjást heldur um alvarlegan uppblástur á svæðinu.

2. INNGANGUR

Kringilsárrani er sérstætt náttúruverndarsvæði norðan Vatnajökuls sem var friðlýst 1975. Hann er sérstæður vegna þess að þrátt fyrir 700 m landhæð er Kringilsárrani talsvert gróinn og er þar mikilvægt beitiland hreindýra.

Á síðasta áratug hefur Landsvirkjun staðið fyrir gróðurrannsóknnum og gróðureftirliti í Kringilsárrana. Þessar rannsóknir miða einkum að því að fylgjast með breytingum sem kunna að verða á gróðurfari í kjölfar myndunar Háslóns og framkvæmda norðan Vatnajökuls vegna Fljótsdalsvirkjunar. Í þeim tilgangi hafa tilraunareitir verið afmarkaðir og kortlagðir en síðan er ætlunin að skoða framvindu gróðurs í þessum reitum með endurteknum vettvangskonunum. Niðurstöðurnar eiga síðan að gefa mönnum upplýsingar um þróun gróðurfars á öllu svæðinu [1].

Rannsóknir á litlum og strjálum reitum hljóta að vera mjög takmörkuð aðferð til þess að fylgjast með gróðurbreytingum á stóru svæði. Þessar rannsóknir eru jafnframt tímafrekar og kostnaðarsamar vegna þess að þær byggja á því að tilraunasvæðin séu heimsótt aftur og aftur. Með gervitunglamyndum eru komin til skjalanna rannsóknagögn sem geta gefið samfelldar upplýsingar um ástand lands á víðáttumiklum svæðum sem og breytingar á landsyfirborði með tímanum. Hér er ekki verið að halda því fram að gervitunglamyndir geti komið í staðinn fyrir rannsóknir á jörðu niðri en þær geta bætt vettvangsrannsóknir verulega. Oft nægja örfáar punktmælingar á ákveðnum einkennissvæðum á vettvangi til þess að kvarða gervitunglamyndir fyrir dæmigerða yfirborðsflokka en síðan gefa myndirnar upplýsingar um samsvarandi yfirborðsgerðir annars staðar á rannsóknarsvæðinu án þess að frekari vettvangsvinna þurfi að koma til.

Gróðurlendið í Kringilsárrana er sérstætt og viðkvæmt. Þegar Háslón varð til sumarið og haustið 2007 fór þar talsvert gróið land undir vatn og nálægðin við lónið með þeim vatnshæðarsveiflum sem í því eru getur þýtt aukna hættu á sandfoki og þar með eyðingu gróins lands. En Kringilsárrani er einnig áhugaverður staður vegna þess að Brúarjökull hefur verið að hörfa þar eftir framhlaup fyrir tæpum 50 árum og skilur eftir sig landsvæði sem smám saman mun gróa upp að einhverju marki í framtíðinni. Framrás gróðurs á þessu svæði gæti jafnvel orðið mun hraðari á næstu árum vegna hlýnandi loftslags heldur en verið hefur fram til þessa. Engin heildarúttekt á gróðurfari í Kringilsárrana hefur hingað til verið gerð, en áhugavert verður að skoða og bera saman gervitunglamyndir af þessu svæði sem teknar verða á komandi árum og áratugum.

SPOT-5 gervitunglið tekur fjölrása myndir í sýnilegu og innrauðu ljósi með 10 m greiniehæfni. Því var komið á braut um jörðu vorið 2002 og hafa íslenskar stofnanir komið upp safni mynda frá þessu gervitungli sem teknar eru á árabilinu 2002 – 2010 og er núna til skýjalaust myndefni af öllu landinu. Í safninu eru nokkrar myndir af virkjunarsvæðinu norðan Vatnajökuls, sú fyrsta tekin árið 2002 en sú síðasta 2010. Þar sem nauðsynleg rannsóknagögn eru núna til af Kringilsárrana var ráðist í það verkefni að bera saman SPOT-5 myndir af þessu áhugaverða svæði í þeim tilgangi að kanna hvort mælanlegar breytingar hafi átt sé stað á gróðurþekjunni þar á áðurnefndu tímabili.

3. KRINGILSÁRRANI

Kringilsárrani er tæplega 50 km² stór landspilda norðan Brúarjökuls sem gengur norður úr Vatnajökli. Áður fyrr afmarkaðist Kringilsárrani af Kringilsá að vestan og Jökulsá á Brú eða Jöklu að austan, en eftir að Háslón varð til sumarið 2007 takmarkast Kringilsárrani við Lónið að austanverðu. Þótt nokkur hluti Kringilsárrana hafi farið undir vatn með tilkomu Háslóns var flatarmál hans nánast það sama 2010 eins og það var 2002 þar sem mjög svipað flatarmál lands fór undir Lónið eins og komið hefur undan jökli á þessu árabili. Kringilsárrani er að mestu tiltölulega sléttur, þar sem landhæð nær frá 625 m við vatnsborð Háslóns upp í rúmlega 720 m. Meðallandhæð í Kringilsárrana er um 700 m.

Þrátt fyrir mikla hæð yfir sjó er norðurhluti Kringilsárrana að hluta til allvel gróinn og er þar að finna mosagróður, mólendi (lyngmóa, víðimóa, þursaskeggsmóa og starmóa), graslendi og mýrar og er þar beitiland hreindýra á sumrin [1]. Samkvæmt talningum Verkfræðistofnunar Háskólans sem hafa verið gerðar árlega á áhrifasvæði Kárahnjúkavirkjunar síðan 1993 voru að meðaltali um 100 fullorðin dýr ásamt kálfum í Kringilsárrana í júní ár hvert frá 2002 til 2010 [2].

Árið 1890 hljóp Brúarjökull fram yfir Kringilsárrana, allt að 10 km, og ruddi upp feikna miklum aur- og jarðvegsgörðum, sem víða hafa gróið og kallast Hraukar. Mikil umskipti í svipmóti landsins eru við Hrauka. Innan við þá er botnurð þar sem gróðurframvinda er á mismunandi stigum og fjölbreyttar jökulminjar, en utan við er víða óhreyfður og sums staðar allþykkur jarðvegur, sléttfelldir móar og lyng- og víðibrekkur [3]. Seinasta framskrið Brúarjökuls var 1963 – 1964 og mynduðust þá jökulgarðar þar sem enn eru mjög greinileg gróðurmörk og land lítið farið að gróa upp sunnan þeirra. Syðsti hluti Kringilsárrana er algerlega ógróinn enda stutt síðan land kom undan jökli á þeim slóðum. Fátt sauðfé kemst yfir í Kringilsárrana og á það sinn þátt í gróðursældinni, sem hreindýrin auk heiðagæsar búa nær ein að [3].

3.1. Gróðurrannsóknir og gróðureftirlit í Kringilsárrana

Margskonar rannsóknir hafa á síðastliðnum áratug farið fram á gróðri norðan Brúarjökuls í tengslum við virkjunarframkvæmdir þar og hafa þær einnig náð til Kringilsárranans. Þessar rannsóknir sem hófust áður en byrjað var á framkvæmdum á svæðinu hafa einkum miðast við að gera samanburð á ástandi gróðurs fyrir og eftir virkjunarframkvæmdir. Gróður og ástand gróðurs er skoðað á nokkurra ára fresti í sérstökum vöktunarreitum sem dreifðir eru um allt svæðið. Þessar rannsóknir eru bundnar við ákveðna tilraunabletti og út frá niðurstöðunum er alhæft um breytingar á svæðinu öllu.

Ýmsum sögum fer af ástandi gróðurs og gróðurframvindu í Kringilsárrana. Í skýrslu Náttúrustofu Austurlands fyrir Landsvirkjun 2007 [1] kemur fram að gróður virðist þar sums staðar í framför en annars staðar í afturför. Þar segir m.a. um ástand gróðurlendisins:

„Gróður er víða samfelldur á svæðinu innan frá Hraukum og norður að Sporði við ármót Jöklu og Kringilsár, og all gróskumikill, einkum ef tekið er tillit til þess hversu hátt svæðið liggur. Vissulega er gróður gisinn og sums staðar rofabörð, einkum vestan megin þar sem rofabörð eru á allstórum svæðum. Minni rofsvæði eru víðar um mestallan Kringilsárrana. Melar eru all víðáttumiklir vestan til á svæðinu. Ekki voru samt nein augljós merki um að gróður væri almennt að rýrna. Þótt virkt rof sé trúlega í gangi á sumum svæðum sást hið gagnstæða á öðrum, þ.e. að rofabörð voru óvirk eða jafnvel að lokast.

Á nokkrum stöðum var grávíðir á víðflesjum lélegur, líklega vegna áfoks og kannski beitar en á öðrum svæðum er víðir sæmilega gróskumikill.

Merki um mikla beit eru víða, einkum í dældum, um og innan við Hrauka og við læki og tjarnir þar sem gróður er lágvaxinn og víðast þéttur. Beitarmerkin eru augljósust í graslendi og lágvöxnu blómlendi en minni í mýrum og mólendi með smárunnum. Líklega er að mestum

hluta um gæsabeit að ræða. Á víðihríslum, einkum á bersvæðum, mátti sjá merki um hreindýrabeit og víðihríslur voru sums staðar upprifnar og blaðbitnar væntanlega af völdum hreindýra.

Greining á gróðri og þekju hans sem gerð var á nokkrum stöðum, einkum í lónsstæðinu Jökulsármegin, og borin saman við gróðurkortitið frá 2001 sýndi að þekja gróðurs var síst minni 2006 en táknað var á gróðurkortinu. Almenn var mat rannsóknarmanna 2006 á þekju það sama og það sem táknað var á kortinu en sums staðar jafnvel meira.“ [1]

3.2. Fyrri notkun gervitunglamynda við gróðurathuganir í Kringilsárrana

Hingað til hafa gervitunglamyndir lítið verið notaðar við gróðurrannsóknir á svæðinu norðan Vatnajökuls. Tilraun til þess að skoða hugsanlegar gróðurbreytingar með gervitunglamyndum af Kárahnjúkasvæðinu var þó gerð 2010 með að bera saman gróðurstuðul SPOT-5 mynda sem teknar voru 2002, 2007 og 2008 [4]. Svæðinu í kring um Háslón var skipt í jöfn fjarlægðarbil eða kraga út frá hæstu strandlínu lónsins og reiknað út meðalgildi á gróðurstuðli í hverjum kraga fyrir allar þrjár myndirnar. Síðan voru þessi meðalgildi borin saman og teiknuð upp sem fall af fjarlægðinni frá lóninu. Með þessari aðferð hugðust höfundarnir sýna fram á áhrif áfoks úr lónsbotninum á gróðurinn í kring og hefðu þá mest áhrif átt að koma fram næst lóninu en minnka síðan með aukinni fjarlægð. Í stuttu máli sýndi þessi tilraun ekki fram á neinar breytingar af völdum áfoks enda of skammur tími liðinn frá því að Háslón varð til. Lónið var í fyrsta sinn fyllt haustið 2007 og hugsanlegt áfok því ekki getað átt sér stað nema vorið 2008.

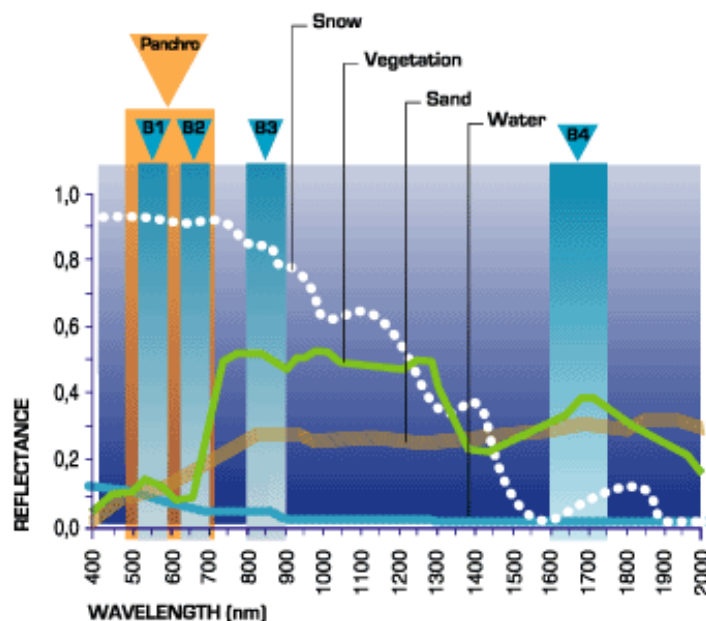


Mynd 1. Ljósmynd tekin úr flugvél í 8500 feta hæð 15. júní 2010 í tengslum við eftirlit á rofi og setmyndun við Háslón. Á myndinni sést hvar Kringilsá rennur í Háslón við Töfrafoss. Lónið er á þessum árstíma aðeins hálf fullt, en grátt setið sýnir vel hvar hæsta vatnsstaða þess er. Nokkrum metrum ofan við hæstu lónsstöðu báðum megin árinna sjást girðingar (hvít strik) sem settar hafa verið upp til þess að hindra sandfok úr lónsbotninum á vorin og fyrripart sumars [5].

4. SPOT-5 GERVITUNGLIÐ OG SPOT-5 MYNDIR

SPOT-5 gervitunglinu var komið á braut um jörðu í maí 2002. Um borð er fjölrása skanni sem tekur samtímis myndir á 4 aðgreindum litböndum og einu svokölluðu pankrómatísku bandi (sjá mynd 2). Litböndin sem eru með 10m greinihæfni eru í grænu (B1), og rauðu (B2) sýnilegu ljósi, sem og í nærinnrauðu (B3) og miðinnrauðu (B4). Hver myndpunktur samsvarar svæði á jörðu niðri sem er 10m x 10m eða 100 m² að stærð. Pankrómatíska (Panchro) bandið er með 2,5 m myndpunktsstærð og er notað til þess að skerpa framsetningu á litmyndum sem gerðar eru með því að setja litböndin saman eftir ákveðnum reglum [6].

Nokkrar innlendar stofnanir, þar á meðal Landsvirkjun, hafa í sameiningu keypt myndir frá SPOT-5 gervitunglinu á hverju sumri síðan 2002 og er nú til samfelld skýjalaus myndabekja af landinu öllu. Hver SPOT-5 mynd þekur svæði sem er 60km x 60km eða 3600 km² að stærð og samanstendur því af 36 milljón mælingum (myndpunktum) sem saman mynda eina samfellda mynd.



Mynd 2. Staðsetning og breidd einstakra mælirása eða banda í myndskanna SPOT-5 gervitunglsins (B1, B2, B3, B4, Panchro). Einnig sýnir myndin dæmigerða endurkastsferla nokkurra algengra yfirborðsgerða (snjór, gróður, sandur, vatn) í sýnilegu (400 – 700 nm) og innrauðu ljósi (>700 nm). Myndataka á nokkrum aðgreindum rásum gerir kleift að greina mismunandi yfirborðsgerðir hverja frá annarri.

4.1. SPOT-5 myndir af Kárahnjúkasvæði

Ein af fyrstu SPOT-5 myndunum af Íslandi er mynd af Kárahnjúkasvæðinu sem tekin var 9. september 2002. Myndin er skýjalaus og tekin við bestu mögulegu aðstæður. Síðan þá hafa nokkrar SPOT-5 myndir verið teknar af þessu svæði fyrir tilstilli Landsvirkjunar, sú seinasta 2. september 2010. Myndirnar eru misgóðar að því leyti að sumar eru skýjalausar en aðrar ekki. Í töflu 1 eru þessar myndir taldar upp.

Þar sem gróðurbreytingar á hálendi Íslands eru ákaflega hægar er eðlilegast að velja fyrstu og seinustu myndina fyrir þessa rannsókn. Svo vel vill til að þær eru teknar á nánast sama árstíma (ekki nema 7 daga munur) en það auðveldar mjög samanburðinn á þeim. Ef árferði var svipað bæði sumurin má reikna með því að ástand gróðurs hvað varðar vaxtarskeið sumarsins hafi verið svipað og að sá munur sem hugsanlega kæmi fram í samanburði á

Dagsetn.	Skýjaþekja á myndum
2002, 2. sept.	Skýjalaus en mjög dökk mynd, nær yfir allt Kárahnj. - og Eyjab.svæði
2006, 18. ágúst	Skýjalaus mynd tekin vestar, nær yfir Öskju og Kringilsárrana
2007, 20. ágúst	Hálfskýjuð mynd, hreint yfir Kringilsárrana og Vesturöræfum
2007, 23. ágúst	Hreint yfir Kringilsárrana, en smásky yfir Háslóni og Vesturöræfum
2008, 24. ágúst	Hálfskýjuð mynd, hreint yfir Kringilsárrana og Vesturöræfum
2010, 9. sept.	Skýjalaus mynd, nær yfir allt Kárahnjúka- og Eyjabakkasvæðið

Tafla 1. SPOT-5 myndir sem teknar hafa verið af Kárahnjúkasvæðinu síðan 2002.

myndunum ætti því eingöngu rætur að rekja til varanlegra gróðurbreytinga á svæðinu en ekki árstíðasveiflna eða mismunandi árferðis þegar myndirnar voru teknar.

Þriðja SPOT-5 myndin sem notuð er í þessari rannsókn er tekin 18. ágúst 2006 eða mitt á milli hinna tveggja og er því afar heppileg til prófunar á niðurstöðunni úr samanburði á myndanna frá 2002 og 2010 hvort sem hún verður á þann veg að sýna fram á gróðurbreytingar í Kringilsárrana eða að engar marktækar breytingar hafi orðið. Þessi mynd er tekin af annarri braut gervitunglsins en hinar tvær og nær ekki yfir allra austasta hluta Kringilsárranans. Í framhaldinu eru þær þrjár SPOT-5 myndir sem notaðar eru í þessari rannsókn nefndar SPOT₂₀₀₂, SPOT₂₀₀₆ og SPOT₂₀₁₀ til styttingar.

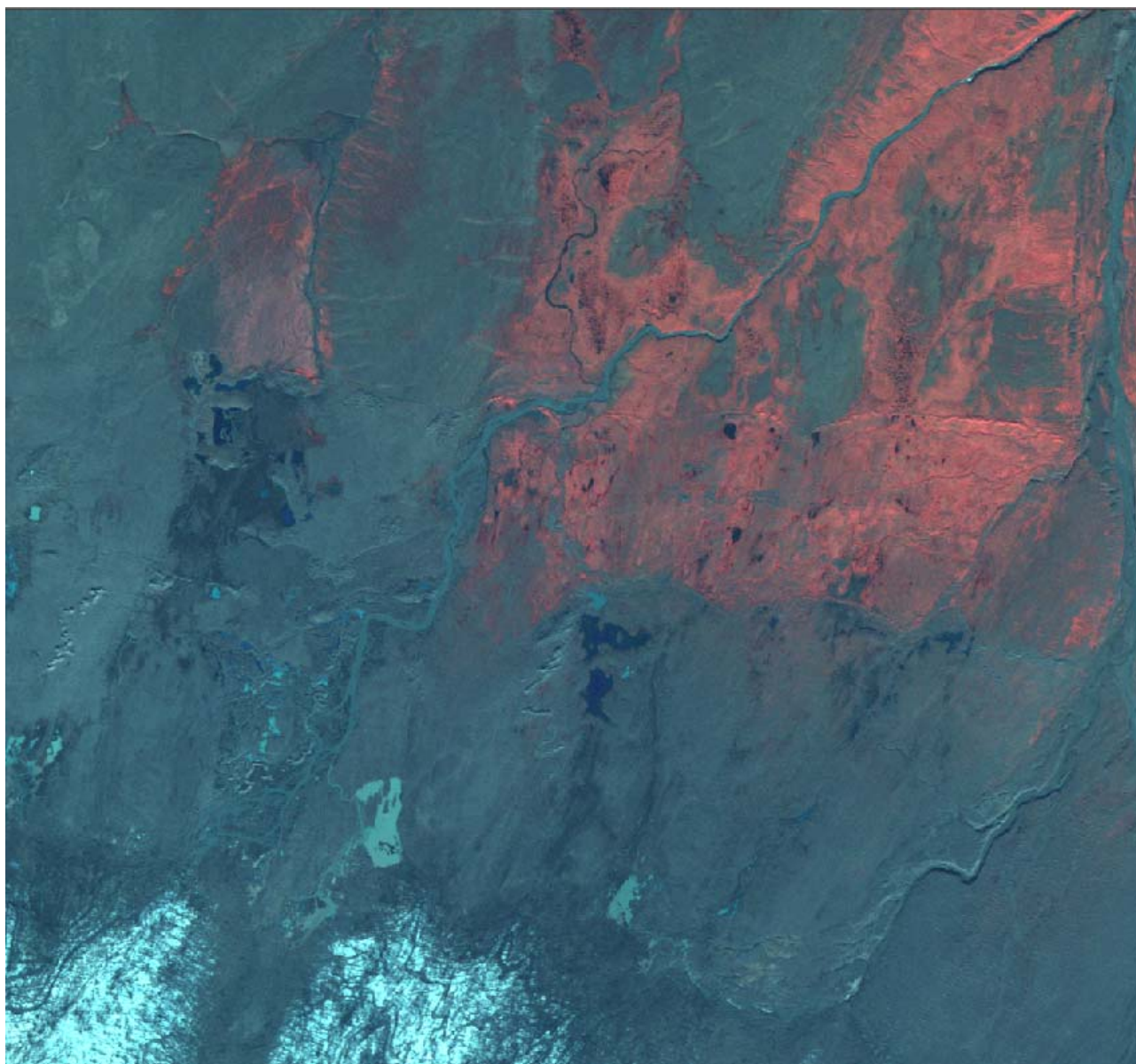
4.2. Rannsóknasvæðið á SPOT₂₀₀₂, SPOT₂₀₀₆ og SPOT₂₀₁₀

Myndir 3, 4 og 5 á næstu blaðsíðum sýna rannsóknasvæðið á SPOT₂₀₀₂, SPOT₂₀₀₆ og SPOT₂₀₁₀. Myndirnar eru klipptar miðað við Kringilsárrana, en gróið land vestan Kringilsár er einnig skoðað í þessari rannsókn. Stærð svæðisins á myndunum er um 11 km x 10,5 km eða 115 km² að stærð og er því aðeins lítill hluti heillar SPOT-5 myndar sem er 60 km á hvorn veg. Myndir 3, 4 og 5 eru allar klipptar eins og sýna sama svæðið árin 2002, 2006 og 2010.

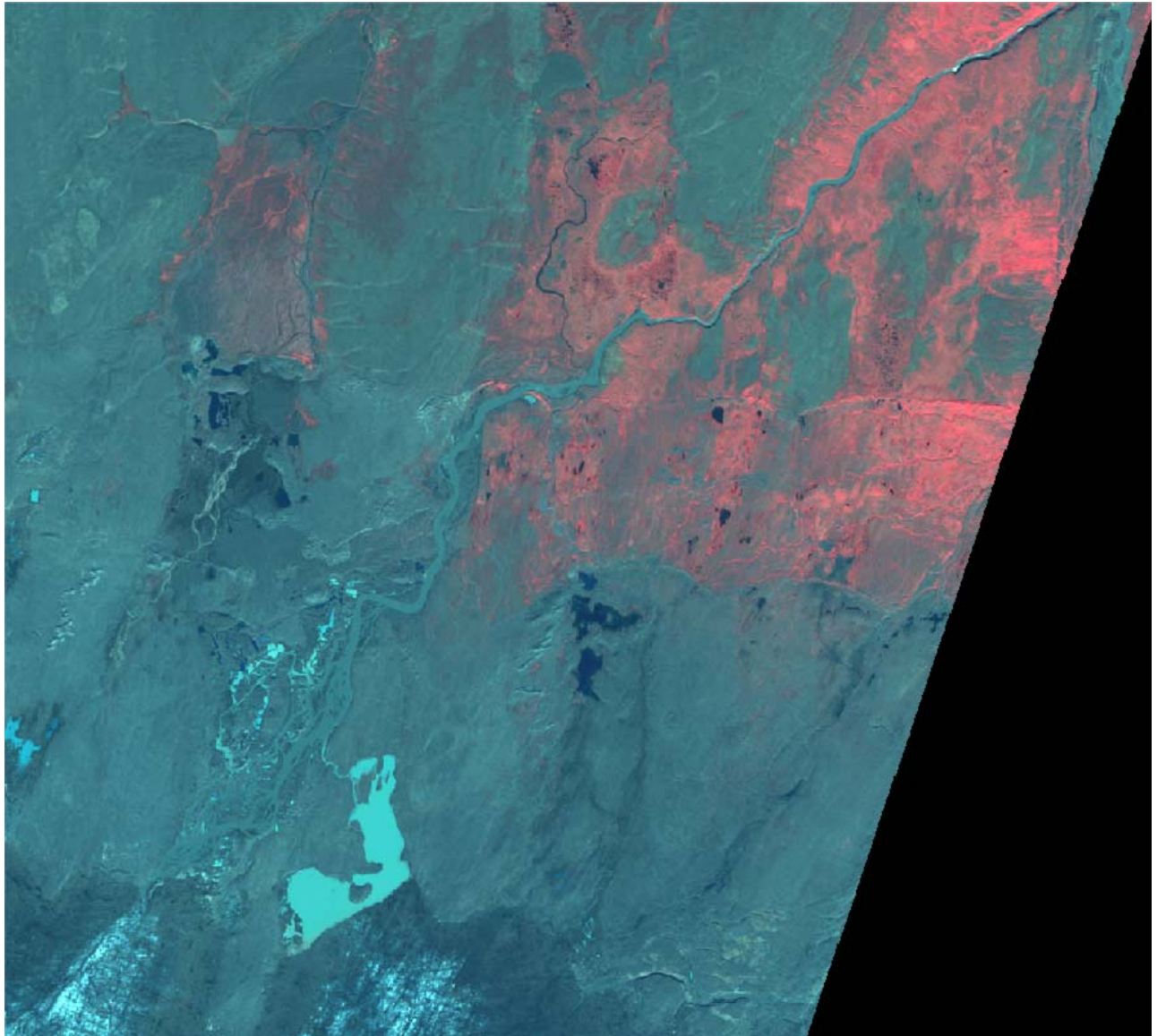
Framsetning myndanna er s.k. innrauð samsetning litbandanna, sett saman úr böndum B1, B2 og B3 (grænt, rautt og nærinnaut) þannig að innrauðar upplýsingar koma fram í rauðum lit. Vegna þess hve gróður endurkastar háu hlutfalli af nærinnautari geislun kemur gróið land fram í rauðum litum. Ógróið land er blágrátt og vötn og pollar eru dökk, nema ef vatnið er mjög gruggugt þá er það ljósgrátt (sjá vötnin við jökuljaðarinn). Eins og sjá má er norðurhluti Kringilsárrana víða allvel gróinn. Áberandi jökulgarðar, Hraukar, liggja þvert yfir Kringilsárrana og sýna legu jökuljaðarins eftir framrás Brúarjökuls um 1890. Hraukarnir eru víða vel grónir. Sunnan Hraukanna má sjá bogadregna jökulgarða sem urðu til við síðasta framskið Brúarjökuls 1963 – 1964. Þar eru enn greinileg gróðurmörk.

Samanburður á myndunum virðist í fljótu bragði ekki sýna miklar gróðurbreytingar, en tekið skal fram að þær eru ekki fyllilega sambærilegar hvað varðar birtustig eða litblæ. Myndirnar eru teknar með mismikilli mögnun myndnemanna eins og síðar verður vikið nánar að og birtustig og litir eru eingöngu háðir handahófskenndri litastillingu vegna framsetningar þeirra í þessari skýrslu.

Hins vegar má sjá ýmsar aðrar breytingar í Kringilsárrana, einkum breytingar á vatnafari og ekki síst breytingar á sporði Brúarjökuls sem hefur hörfað um meira en 1 km milli 2002 og 2010. Tjarnir og lón við jökuljaðarinn hafa breyst eða horfið með öllu og litur ána er mismunandi eftir því hvað þær eru vatnsmiklar og/eða gruggugar, Kringilsá er t.d. mun ljósari og þess vegna greinilegri 2010 heldur en 2002.

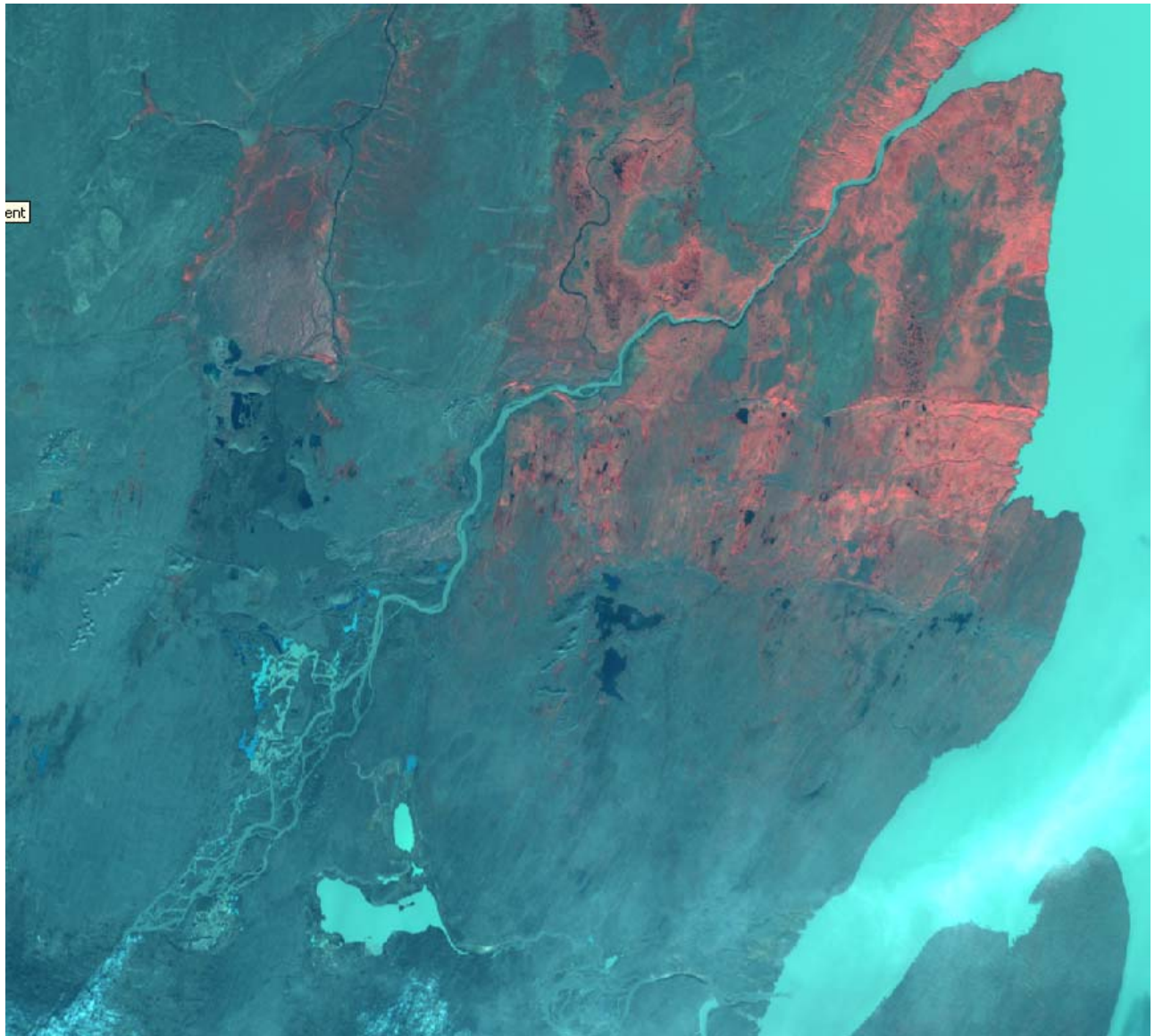


Mynd 3. Kringilsárrani. SPOT₂₀₀₂, SPOT-5 mynd tekin 9. sept. 2002. Kringilsá rennur skáhallt yfir myndina til norðausturs og sameinast Jöklu í efra hægra horni myndarinnar (Kringilsá sést reyndar mun betur á mynd 5), en Kringilsá og Jökla sem rennur til norðurs yst til hægri á myndinni ásamt jaðri Brúarjökuls (neðst á myndinni) afmarka Kringilsárrana. Eins og sjá má er norðurhluti Kringilsárrana víða allvel gróinn. Áberandi jökulgarðar, Hraukar, liggja þvert yfir Kringilsárrana ofan við miðja mynd og sýna legu jökuljaðarins eftir framrás Brúarjökuls um 1890. Hraukarnir eru víða vel grónir. Minni jökulgarðar sunnan Hraukanna urðu til við síðasta framskrið Brúarjökuls 1963 – 1964. Þar eru enn greinileg gróðurmörk og land lítið farið að gróa upp sunnan þeirra.



Mynd 4. Kringilsárrani. SPOT₂₀₀₆, SPOT-5 mynd tekin 18. ágúst 2006. Myndin er klippt eins og mynd 3. Kringilsárrani er alfarið skýjalaus, en örlítið gróið svæði sem ekki fór undir vatn 2007 skerst af honum við myndjaðarinn að austan (sbr. mynd 3). Háslón varð ekki til fyrr en árið eftir að þessi mynd var tekin.

Jaðar Brúarjökuls hefur hörfað talsvert síðan SPOT₂₀₀₂ myndin var tekin og lónið við jökuljaðarinn hefur stækkað að sama skapi



Mynd 5. Kringilsárrani. SPOT₂₀₁₀, SPOT-5mynd tekin 2. sept. 2010. Háslón er til hægri og er vatnsstaða þess nálægt því að vera í efstu stöðu á þessari mynd. Brúarjökull heldur áfram að hörfa og hefur jaðar hans færst sunnar. Lónið við jökuljaðarinn hefur breytt lögun og skipst í tvennt frá því 2006.

Kringilsárrani er skýjalaus, en móða er yfir ógrónu landi á syðsta hluta hans næst jöklinum. Þessi móða hefur áhrif á gróðurstuðulsreikninga á því svæði sem hún liggur yfir en truflar ekki útreikninga á gróðurstuðli á grónum svæðum í Kringilsárrana.

5. HELSTU KENNISTÆRÐIR SPOT₂₀₀₂, SPOT₂₀₀₆ OG SPOT₂₀₁₀

Þrjár SPOT-5 gervitunglamyndir eru notaðar í þessari rannsókn. Þær voru allar teknar að haustlagi 2002, 2006 og 2010. Í töflu 2 eru hestu kennistærðir (parametrar) þessara mynda teknar saman.

Fjarkönnunargervitungl eru á pólbrautum um jörðu, þ.e. þau eru á föstum brautum sem liggja venjulega í um 10° fjarlægð frá pólunum. Þau tungl sem taka myndir á sýnilegu og innrauðu bylgjulengdasviði (optískar myndir) fara frá NNA til SSV á sólarhlið jarðar og er umferðartíminn stilltur þannig að þau fara ávallt yfir sama stað á sama tíma (þ.e. sólartíma). Brautarstefna þeirra er því SSV.

	SPOT ₂₀₀₂	SPOT ₂₀₀₆	SPOT ₂₀₁₀
Heiti myndar	721-215_7_020909	718-216_0_060818	721-216_0_100902
Stærð myndar	60 x 60 km ²	60 x 60 km ²	60 x 60 km ²
Greinihæfni (m)	10	10	10
Dagsetning myndatöku	9. sept. 2002	18. ágúst 2006	2. sept. 2010
Tími myndatöku (sólartími)	12:19:32	12:42:42	12:59:07
Mögnun R bands (W/m ² ·sr·µm)	0.6725	2,8075	3,7758
Mögnun NIR bands (W/m ² ·sr·µm)	0.8852	3,0695	4,0298
Sólarhæð (°)	30.2884	38,4655	33,4390
Sjónarhorn myndskanna (°) (viewing angle)	-21.9503	-4,9078	9,7040
Sólarstefna (azimuth) (°)	168.3226	171,4811	179,1250

Tafla 2. Helstu kennistærðir þeirra þriggja SPOT-5 mynda sem notaðar voru í þessu verkefni. Þótt myndirnar SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ séu teknar á mjög svipuðum tíma (2. sept og 9. sept.) og sólarhæðin í báðum tilvikum nokkurn veginn sú sama eru ýmsar aðrar kennistærðir myndanna ólíkar þannig að samanburður þeirra er ekki einfaldur. Þar munar auðvitað mest um mögnun myndnemanna sem var árið 2010 u.þ.b. fimmföld á við það sem hún var 2002. Þar að auki var geómetría myndatökkunnar gerólík í þessi tvö skipti; árið 2002 var myndin tekin undan sól, myndnemunum var snúið um 22° til hægri (norðvesturs) miðað við brautarstefnu, en árið 2010 var myndin tekin í sólarátt, myndnemunum var snúið um 10° til vinstri (suðausturs) miðað við brautarstefnu gervitunglsins.

SPOT-myndirnar frá 2002 og 2010 eru teknar á mjög svipuðum árstíma (9. sept. og 2. sept.) en eins og sjá má töflu 2 er þó ýmislegt ólíkt í þessum tveimur myndum. Helsti munurinn er sá að geómetría myndatökkunnar var gerólík í þessi tvö skipti; árið 2002 var myndin tekin undan sól, myndnemunum var snúið um 22° til hægri (norðvesturs) miðað við brautarstefnu (sjónarhornið er neikvætt), en árið 2010 var myndin tekin í sólarátt, myndnemunum var snúið um tæplega 10° til vinstri (suðausturs) miðað við brautarstefnu gervitunglsins (sjónarhornið er

jákvætt). Þar að auki var mögnun myndnemanna mjög mismunandi. SPOT₂₀₀₂ var tekin með mjög lítilli mögnun en í SPOT₂₀₁₀ er mögnunin u.þ.b. fimmfalt meiri.

Mismunandi geómetríá myndanna veldur því að erfitt eða jafnvel ómögulegt er að varpa myndunum nákvæmlega saman ef land er mishæðótt þannig að samsvarandi myndpunktur í báðum myndunum lendi í öllum tilvikum á samsvarandi stað. Þegar við bætist að það stafræna landlíkan sem notast er við í þessari rannsókn er ófullkomið á þessu svæði (landlíkan LMÍ sem reiknað er út úr 20 m hæðarlínunum 1: 50 000 kortagrunnsins) er útilokað að myndirnar passi alls staðar nákvæmlega saman og getur munurinn sums staðar jafnvel numið 10 – 20 metrum, þ.e. einum til tveimur myndpunktum.

Ónákvæmni í geómetrískri aðlögun myndanna vegna ónákvæms landlíkans breytir hins vegar ekki niðurstöðu þessarar rannsóknar. Visulega veldur hún því að ekki eru alls staðar bornir saman nákvæmlega samsvarandi myndpunktur en þessi skekkja kemur ekki í ljós nema þar sem land er mjög sundurleitt og skiptast á grónir og ógrónir blettir. Niðurstaðan á slíkum svæðum gæfi til kynna að þar skiptust á litlir blettir þar sem gróðri hefur hrakað við hliðina á blettum þar sem gróður hefur náð sér á strik. Slík þróun gróðurfarsins er ekki líkleg og er þess vegna ekkitekin fyrir í túlkun niðurstaðnanna. Á einsleitum svæðum truflar ónákvæm aðlögun myndanna hins vegar ekki nema rétt á jöðrum svæðanna og þá eru áhrifin oftast augljós.

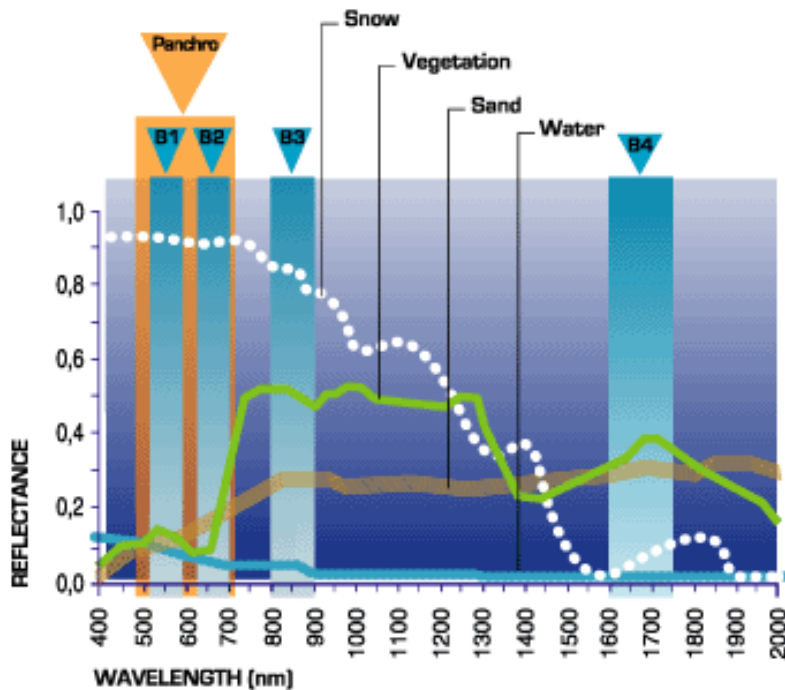
Mismunandi mögnun nemanna þýðir að ekki er hægt að bera beint saman birtugildi í samsvarandi myndpunktum í báðum myndunum. Vegna lítillar mögnunar myndnemanna árið 2002 er SPOT₂₀₀₂ mun dekkri en SPOT₂₀₁₀ og jafnframt er kontrast hennar mjög lítill. Til þess að bera saman myndirnar er annað hvort hægt að

- 1) nota grágildavarpanir, þ.e. laga grá- eða birtugildi annarrar myndarinnar að hinni, eða
- 2) reikna út geislunarþéttleikann (spectral radiant density: $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) sem skanninn mælir í R og NIR bandinu og bera hann saman fyrir báðar myndirnar.

Báðar þessar aðferðir eru skoðaðar nánar í kafla 7.

6. GRÓÐURSTUÐULL (NDVI: Normalised Difference Vegetation Index)

Útreikningur á gróðurstuðli er einföld og ódýr aðferð til þess að meta ástand gróðurs eða grósku samfellt á stórum svæðum. Blaðgræna plantna gleypir í sig rautt sýnilegt ljós, en endurvarpar nærinrauðri geislun að stórum hluta. Endurkast frá gróðurlausu yfirborði (jarðvegi og/eða berggerðum) er hins vegar nokkurn veginn jafnmikið í rauðum og innrauðum bylgjulengdum rafsegulrófsins (mynd 6).



Mynd 6. Endurkastsferlar nokkurra algengra yfirborðsgerða (snjór, gróður, sandur, vatn) í sýnilegu (400 – 700 nm) og innrauðu ljósi (>700 nm) ásamt staðsetningu og breidd einstakra mælirása eða banda í myndskanna SPOT-5 gervitunglsins (B1, B2, B3, B4, Panchro). Grænn gróður (græni ferillinn) hefur lágt endurvarp í rauðu sýnilegu ljósi (band B2) en hátt í nærinrauðu ljósi (band B3). Endurkast gróðurs er gerólikt endurkasti annarra yfirborðsgerða og á því byggist útbreidd notkun gróðurstuðulsins.

Ákvörðun á gróðurstuðli með fjölrása gervitunglamyndum er vel þekkt og viðurkennd aðferð um allan heim. Hún er notuð til þess að meta grósku og breytingar á ástandi gróðurs á víðáttumiklum svæðum, en segir ekkert til um viðkomandi gróðurflokk eða tegund gróðurs.

Með því að bera saman geislunarstyrk frá yfirborði jarðar í rauðu sýnilegu ljósi (R) annars vegar og nærinna rauðu ljósi (NIR) hins vegar, sem mælt er frá gervitungli á braut um jörðu, má fá samfellda mynd af því hvernig ástand gróðurs (eða öllu heldur magn blaðgrænu á flatareiningu) breytist frá einum stað til annars. Með því að bera saman gróðurstuðul sem reiknaður er út úr sambærilegum myndum sem teknar eru með nokkurra ára millibili má kortleggja hvort gróðri hefur farið fram eða honum hrakað á því tímabili sem leið milli þess að myndirnar voru teknar [7].

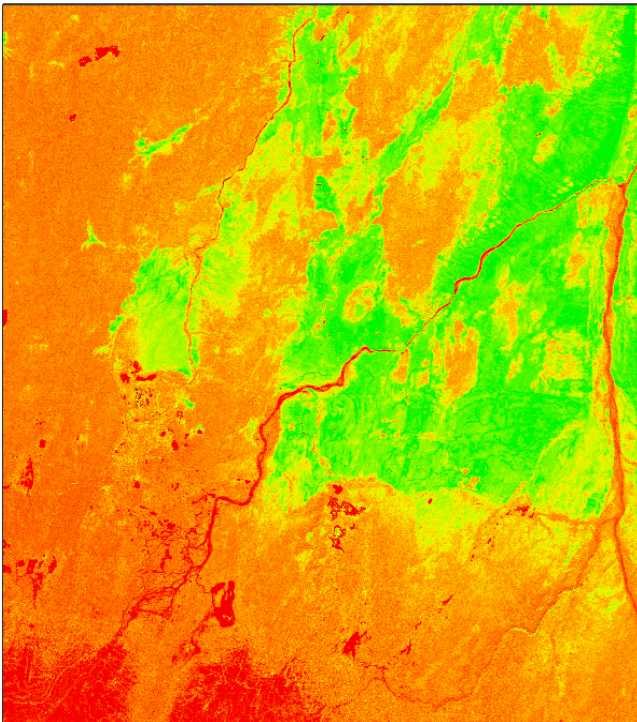
Gróðurstuðullinn NDVI er skilgreindur á eftirfarandi hátt:

$$(1) \quad \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}).$$

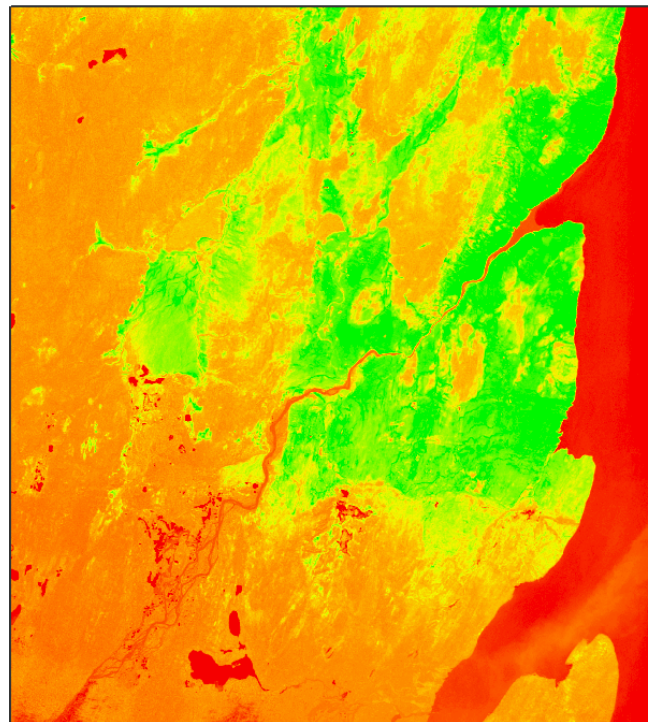
þar sem R og NIR eru mældur geislunarstyrkur í rauðu og nærinnrauðu ljósi frá sama bletti á jarðaryfirborði. Jafna (1) fyrir gróðurstuðul sem reiknaður er úr SPOT-5 mynd verður því:

$$(2) \quad \text{NDVI}_{\text{SPOT-5}} = (B3 - B2)/(B3 + B2).$$

Gróðurstuðullinn er tala á bilinu -1 til +1 ($-1 < \text{NDVI} < +1$), sem er þeim mun hærri sem gróður er þéttari og gróskan er meiri. Lægstu gildi gróðurstuðulsins koma fram á gróðurlausu landi og í vatni. Mismunandi gildi gróðurstuðulsins frá einum stað til annars er hægt er að setja fram á litkvarðakorti þar sem hver litur samsvarar ákveðnu gildi eða ákveðnu bili af gildum (mynd 7).



A. NDVI af SPOT₂₀₀₂



B. NDVI af SPOT₂₀₁₀

Mynd 7. NDVI-myndir af SPOT₂₀₀₂ (t. v.) og SPOT₂₀₁₀ (t.h.) af rannsóknasvæðinu. Myndirnar eru litkvarðaðar þannig að hæstu NDVI-gildi eru sýnd með grænum lit, en lægstu gildi með dökkrauðum. Fylgni græna litarins við gróin svæði er augljós (sbr. myndir 3 og 5), en vatn og jökulís hafa lægstu gildin og koma fram með rauðum lit. Í fljótu bragði virðist lítil munur vera á myndunum nema auðvitað sá munur sem er afleiðing af tilkomu Háslóns, bráðnun jökulsins og breytingum á vatnafari að öðru leyti.

7. FRAMKVÆMD RANNSÓKNARINNAR

Aðalviðfangsefni þessarar rannsóknar er að bera saman gróðurstuðulskort sem reiknað er út úr myndinni sem tekin var 2002 (SPOT₂₀₀₂) annars vegar og myndinni frá 2010 (SPOT₂₀₁₀) hins vegar (mynd 7). Myndin sem tekin var 2006 (SPOT₂₀₀₆), þ.e. mitt á milli hinna tveggja, er eingöngu notuð til samanburðar og til þess að styðja vísbendingar sem niðurstöður samanburðarins á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ gefa til kynna ef einhverjar eru.

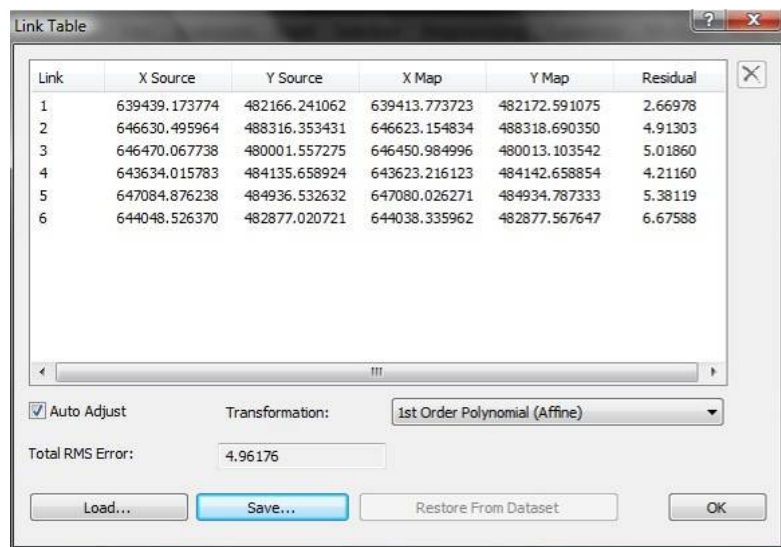
Ef skoða á breytingar í gróðurstuðli á ákveðnu svæði þarf að vera tryggt að myndirnar sem notaðar eru við NDVI útreikningana séu sambærilegar bæði hvað varðar geómetríska nákvæmni sem og birtustig eða grágildi á samsvarandi stöðum (myndpunktum) í myndunum. Röð þeirra aðgerða sem farið er í gegnum er eftirfarandi:

1. Gervitunglamyndirnar eru lagaðar geómetrískt hvor/hver að annarri.
2. Birtugildi (eða mældur geislunarstyrkur) í rauðu og innrauða bandi (R og NIR) myndanna sem bera á saman eru aðlöguð á þeim blettum þar sem engar breytingar hafa orðið.
3. Gróðurstuðull hvorrar/hvorrar myndar er reiknaður út.
4. Gróðurstull seinni myndarinnar er dreginn frá gróðurstuðli fyrri (eldri) myndarinnar.
5. Niðurstaðan sett fram í litkvarðamynd þar sem afturför og framför gróðurs eru táknaðar með ákveðnum litum.

7.1. Geómetrísk vörpun

Byrja þarf á að varpa myndunum á sameiginlegan grunn þannig að tryggt sé að bornir séu saman sambærilegir myndpunktir hvarvetna í myndunum og að munur á staðsetningu sé sem allra minnstur og helst hvergi meiri en örfáir metrar. Myndirnar eru að vísu þegar hnitsettar en núverandi hnitsetning þeirra er ekki nægilega nákvæmni þar sem hún var gerð miðað við GPS-mælt vegakerfi sem er mjög gisið á þessum slóðum.

Ákveðið var að nota SPOT₂₀₁₀ sem grunn fyrir SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₀₆ og þeim varpað á hana með því að nota sameiginlega punkta (stýripunkta) sem bæði hafa góða dreifingu á svæðinu og auðvelt er að finna í öllum myndunum. Góðir stýripunktar eru fjölmargir á þessu svæði þar sem mikið er af litlum pollum og tjörnum sem eru mjög greinilegir og vel afmarkaðir í öllum



Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	639439.173774	482166.241062	639413.773723	482172.591075	2.66978
2	646630.495964	488316.353431	646623.154834	488318.690350	4.91303
3	646470.067738	480001.557275	646450.984996	480013.103542	5.01860
4	643634.015783	484135.658924	643623.216123	484142.658854	4.21160
5	647084.876238	484936.532632	647080.026271	484934.787333	5.38119
6	644048.526370	482877.020721	644038.335962	482877.567647	6.67588

☒ Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Total RMS Error: 4.96176

Buttons: Load... Save... Restore From Dataset OK

Mynd 8. Niðurstöður á geómetrískri aðlögun SPOT₂₀₀₂ að SPOT₂₀₁₀. Kvaðratísk villa er 5 m og ekki raunhæft að hægt sé að minnka hana frekar þar sem myndirnar eru teknar undir mismunandi sjónarhornum (sjá töflu 2).

þremur myndunum. Kvaðratísk villa (RMSE: Root Mean Square Error) í SPOT₂₀₀₂ eftir aðlögun að SPOT₂₀₁₀ er rétt um 5 metrar (sjá mynd 8) eða ekki nema helmingur myndpunksstærðarinnar (10 m). Kvaðratísk villa í SPOT₂₀₀₆ eftir aðlögun að SPOT₂₀₁₀ var enn minni þar sem sjónarhorn myndskannans voru mun líkari 2006 og 2010 heldur en 2002 og 2010 (sjá töflu 2).

Þótt geómetrísk aðlögun myndanna verði að teljast mjög góð miðað við stýripunktana sjálfa er ekki við því að búast að hún sé alls staðar jafngóð á milli þeirra. Myndirnar eru teknar undir mismunandi horni (tafla 2) og því ómögulegt að fella þær nákvæmlega hverja að annarri hvarvetna á ósléttu svæði nema mjög fullkomið stafrænt landlíkan sé notað við þá reikninga. Kringilsárrani er að vísu mishæðóttur en þar eru þó hvergi háar og brattar hæðir eða djúpar lægðir þannig að ekki er við því að búast að myndirnar passi verr saman en sem svarar 1 – 2 myndeiningum.

Smávægilegur munur á geómetríu myndanna kemur fram í því að ekki eru bornir saman samsvarandi myndpunktar og á sundurleitu yfirborði, þ.e. þar sem t.d. skiptist á gróíð og ógróíð land, getur það þýtt að niðurstöður gefi til kynna að gróður hafi sums staðar breyst verulega á ákveðnum blettum. Þessir blettir væru hins vegar mjög afmarkaðir (ekki nema 1 – 2 myndpunktar á breidd) og vegna smæðar sinnar og staðsetningar eru þeir oft auðgreinanlegir frá þeim blettum þar sem raunverulegar breytingar á gróðurstuðli hafa átt sér stað.

7.2. Aðlögun á birtustigi eða geislunarstyrk

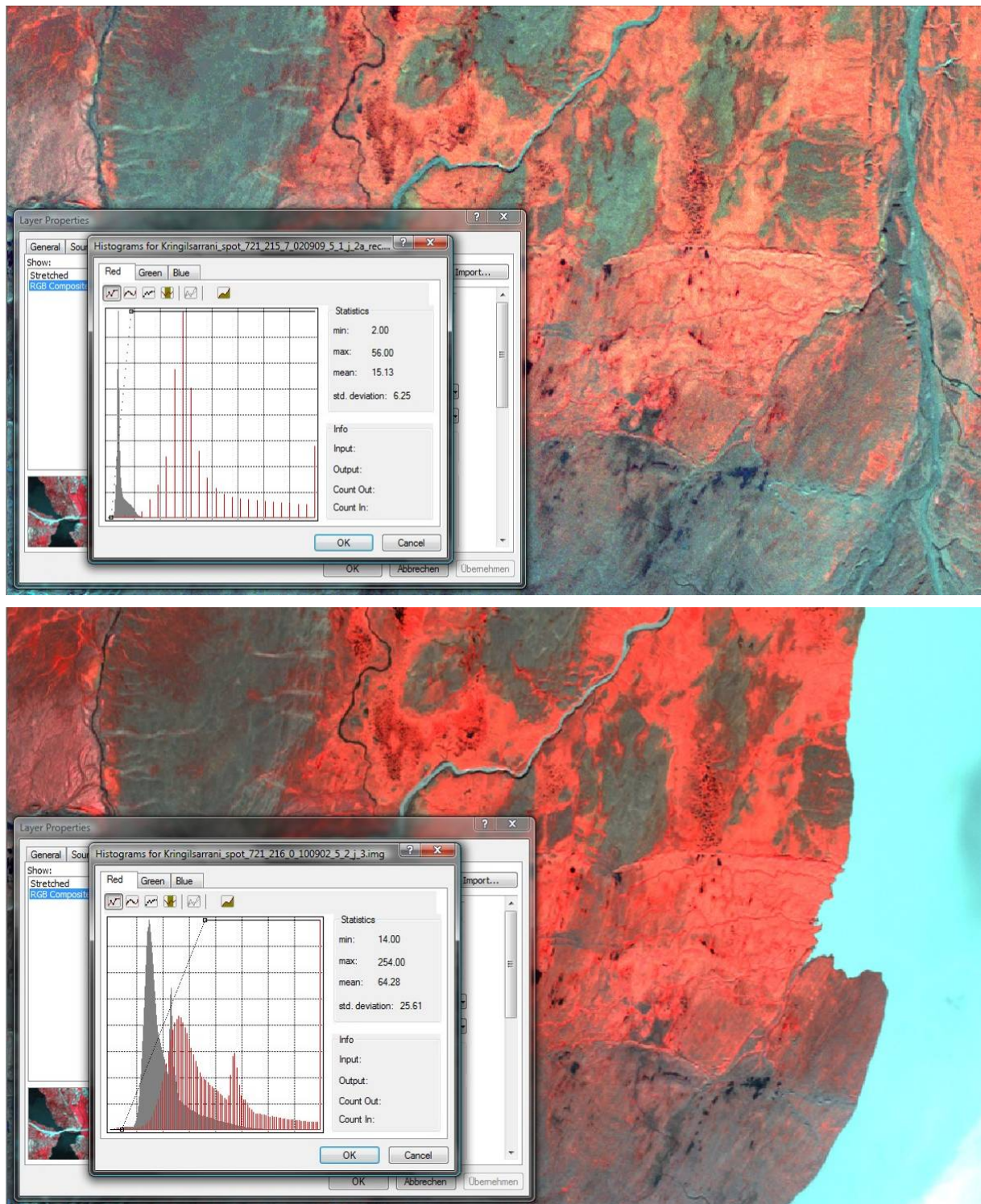
Áður en gróðurstuðulskort myndanna eru reiknuð út verður að aðlaga SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ hvora að annarri þannig að mældur geislunarstyrkur í rauðu og nær-innrauðu (R og NIR) frá þeim svæðum eða blettum í þeim báðum þar sem engar breytingar hafa orðið sé sá sami eða því sem næst. Eins og kom fram í töflu 2 var mögnun myndnemanna í SPOT₂₀₁₀ margfalt meiri en í SPOT₂₀₀₂ og verður því að hækka birtustig eða grágildi SPOT₂₀₀₂ myndarinnar til þess að gera hana sambærilega við SPOT₂₀₁₀. Þetta er hægt að gera á tvo vegu:

1. Annars vegar, og það er venjulega aðferðin, með því að bera saman tíðnigröf (histógrömm) beggja myndanna fyrir R og NIR og finna birtugildi (sem er í réttu hlutfalli við styrk mælds endurkast) á einsleitum svæðum þar sem maður veit (eða telur sig vita) að yfirborðið hafi ekkert breyst milli 2002 og 2010 og varpa síðan grágildum annarrar myndarinnar línulega yfir í samsvarandi grágildi hinnar.
2. Hins vegar er sú leið að umreikna endurvarpsgildi myndskannans í R og NIR með hjálp mögnunarstuðla (sem gefnir eru upp af eiganda gervitunglsins, sjá töflu 2) yfir í eðlisfræðilegar einingar mælds geislunarstyrks (spectral radiance eða spectral radiant density: $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) og bera þær síðan saman.

7.3. Samanburður og aðlögun grágilda (birtugilda)

Aðferðin byggist á því að hægt sé að treysta því að ákveðin svæði eða blettir í þeim myndum sem bera á saman hafi ekki breyst. En hún byggist einnig á því að bæði finnist dökkt og ljóst yfirborð á rannsóknasvæðinu sem hefur haldist óbreytt. Tiltölulega auðvelt er að finna dökka bletti í nærinrauða bandinu. Ógróíð land nálægt jökuljaðrinum hefur t.d. væntanlega ekkert breyst, stutt er síðan það kom undan jökli og það er að öllum líkindum jafn ógróíð 2010 eins og það var 2002. Sama er að segja um endurkast frá hreinum vatnspollum eða tjörnum þar sem vatnsdýpið er á annað borð svo mikið (nokkrir metrar) að lítið sem ekkert endurkast komi frá botninum. Um gruggugt vatn gegnir öðru máli þar sem gruggið getur verið mismikið frá ári til árs og gerbreytt endurkastseiginleikum.

Erfiðara er að fást við hæstu grágildin sem eru þeir blettir þar sem gróður er þéttastur. Endurkastið frá algrónu landi er það sama eða mjög svipað ef aðstæðurnar eru þær sömu í bæði skiptin og þá er sérstaklega átt við veðurfar og beit. Um það er hins vegar erfitt að fullyrða



Mynd 9. Tíðnirit (histogrömm) NIR-bandsins í SPOT₂₀₀₂ (að ofan) og SPOT₂₀₁₀ (að neðan) fyrir (grátt tíðnirit) og eftir línulega grágildabreytingu (rautt tíðnirit). Heildarsvið mögulegra grágilda er 0 – 255 (2^8), en meðalgildi SPOT₂₀₀₂ er ekki nema 15 og hæsta gildið 56. Til samanburðar er meðalgildið í SPOT₂₀₁₀ 64 og hæsta gildið 254.

Þegar búið er að varpa upprunalegu gildum tíðniritsins fyrir SPOT₂₀₀₂ á allt bilið 0 – 255 er ekki nema tíunda hvert sæti gráskalans skipað (9 af hverjum 10 gildum eru tóm) sem þýðir að myndin hefur mjög takmarkaðan fjölda lita og virkar grófkornótt.

þótt líklegt sé að munurinn geti ekki verið mikill þar sem svæðið er opið fyrir beit bæði hreindýra og heiðagæsa. Aðalatriðið í sambandi við þessa forsendu er hins vegar það að með henni er eiginlega verið að gefa sér fyrirfram að það atriði sem þessi rannsókn gengur út á, þ.e. að kanna hugsanlegar gróðurbreytingar, hafi í raun ekkert breyst.

Auk þess þarf að hafa í huga að þegar gæði SPOT₂₀₀₂ myndarinnar eru svo takmörkuð vegna lítillar mögnunar myndnemanna eins og raun ber vitni, getur örlítið frávik í samanburði endurkastgilda valdið því að auðveldlega megi túlka útkomuna á þann veg að raunverulegar og jafnvel talsverðar gróðurbreytingar hafi orðið þar sem alls engar urðu.

Þessi aðferð að laga birtugildi í SPOT₂₀₀₂ handvirkt að birtugildum í SPOT₂₀₁₀ var prófuð með mismunandi samanburðargildum fyrir rauða og nærinnrauða bandið í báðum myndunum. Ósamræmi í niðurstöðum var hins vegar of mikið til þess að hægt væri að túlka þær með einkvæmum hætti og því ákveðið að reyna frekar að reikna út mældan geislunarstyrk í R og NIR beggja myndanna áður en gróðurstuðull þeirra var reiknaður og þær síðan bornar saman.

Ekki þykir ástæða til þess að fjalla hér nánar um þær niðurstöður sem fengust með handvirkum grágildasamanburði þar sem mun áreiðanlegri niðurstöður eru taldar hafa fengist með því að reikna beint út geislunarstyrkinn í R og NIR.

7.4. Útreikningur á geislunarstyrk (spectral radiant density: $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

Í lýsigagnaskrá (metadata) sem fylgja gervitunglamyndunum eru margvíslegar kennistærðir og upplýsingar um geómetríu og tímasetningu myndatökunnar sem og mögnun einstakra myndnema (tafla 2). Þessir mögnunarstuðlar eru notaðir til þess að reikna geislunarstyrkinn út úr grágildum myndanna og eftir það er hægt að gera einkvæman tölulegan samanburð á myndunum. Geislunarstyrkurinn eða öllu heldur „rófsgeislunarpéttleikinn“ (spectral radiant density) er sú eðlisfræðilega stærð sem myndskanni gervitunglsins mælir og hefur víddina: $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ (eða wött á fermetra $\cdot$ steradian (rúmhorn) $\cdot$ míkrómetra (öldulengd)).

Þessir útreikningar eru gerðir í sérhæfðum myndvinnsluhugbúnaði þar sem einnig er boðið upp á að betrumbæta niðurstöður með því að leiðrétta fyrir áhrifum lofthjúpsins og muni á geómetríu myndatökunnar. Í tilfalli SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ var talsverður munur á því hvernig myndirnar voru teknar þar sem SPOT₂₀₁₀ var tekin á móti sólarátt, en SPOT₂₀₀₂ var tekin undan sól, auk þess sem smávægilegur munur var á sólarhæð og sólarhorni vegna einnar viku munar á tökutíma myndanna (sjá töflu 2).

Í næsta kafla er gerð grein fyrir niðurstöðum rannsóknarinnar bæði með og án leiðréttinga fyrir áhrifum lofthjúps jarðar.

8. NIÐURSTÖÐUR

Helsta niðurstaða þessarar rannsóknar er umfram allt sú að mjög litlar almennar gróður-breytingar hafa orðið í Kringilsárrana frá 2002 til 2010. Með nákvæmum samanburði á gervitunglamyndum sem teknar voru með 8 ára millibili má þó með nokkrum rökum halda því fram að líkur séu á því að almenn hafi gróðri frekar farið fram en að ástand hans sé óbreytt eða því hrakað. Á nokkrum afmörkuðum stöðum sjást ótvíræð merki um að land sé að gróa upp en hvergi varð vart við að gróður sé í greinilegri afturför.

8.1 Niðurstaða án lofthjúpsleiðréttingar

Mynd 10 sýnir breytinguna á gróðurstuðli svæðisins þegar $NDVI_{2002}$ hefur verið dreginn frá $NDVI_{2010}$ ($NDVI_{2010} - NDVI_{2002}$), án þess að leiðrétt hafi verið fyrir áhrifum andrúmsloftsins. Myndin er svarthvít og táknar grái liturinn sem er ríkjandi á mestallri myndinni að þar hafi engar breytingar orðið. Ljósgrátt er þar sem $NDVI$ -stuðullinn hefur hækkað og dökkgrátt eða svart eru svæði þar sem hann hefur lækkað frá 2002 til 2010. Flest frávík frá meðalgrátón myndarinnar tengist einfaldlega tilkomu lónsins, hörfun Brúarjökuls eða breytingum á vötnum, pollum og rennsli í ám. Þó má ef vel er að gáð og með samanburði við myndir 3 og 5 sjá að gróin svæði, bæði í Kringilsárrana og utan hans, eru örlítið ljósari en ógrónu svæðin, sem ætti þá að þýða að gróðurinn er örlítið gróskumeiri árið 2010 en hann var 8 árum fyrr. Þetta er þó hæpin ályktum eins og kemur í ljós þegar niðurstaðan hefur verið leiðrétt fyrir áhrifum andrúmsloftsins og muni á geometríu myndatökunnar.

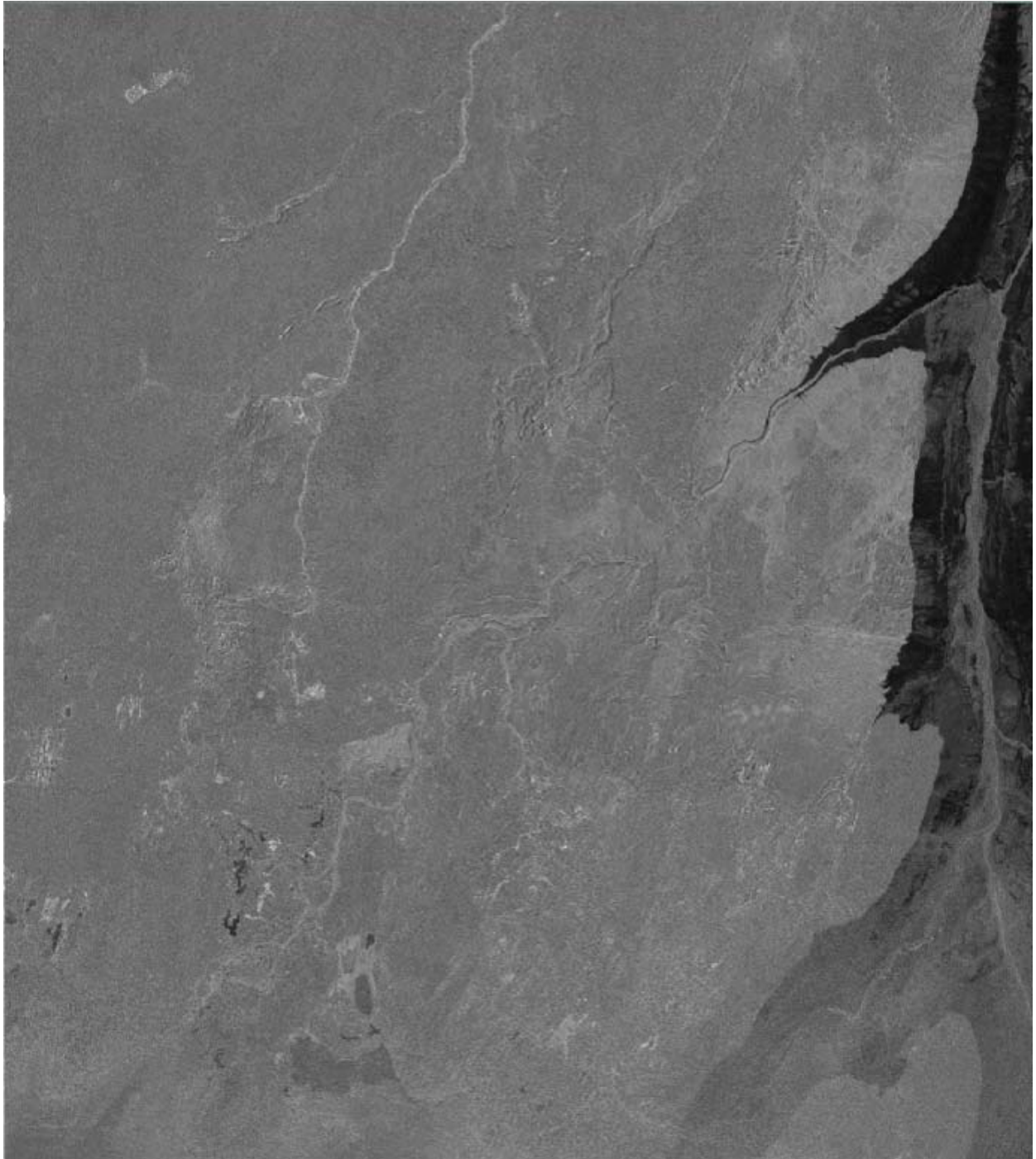
8.2 Niðurstaða með lofthjúpsleiðréttingu

Mynd 11 sýnir niðurstöðuna eftir að $NDVI_{2002}$ myndin hefur verið dregin frá $NDVI_{2010}$ myndinni ($NDVI_{2010} - NDVI_{2002}$) ásamt því að leiðrétting fyrir áhrifum andrúmsloftsins var jafnframt gerð. Myndin er svarthvít eins og mynd 10 og er mjög lík henni í öllum aðalatriðum með þeirri undantekningu að ljósi grátónninn á grónu svæðunum er nú að mestu horfinn. Það bendir til þess að almennar gróðurbreytingar á þessum svæðum milli 2002 og 2010 séu mjög litlar. Um ljósa afmarkaða bletti hér og þar í myndinni, t.d. rétt vestan Kringilsárrana, gegnir öðru máli. Þar virðist gróður hafa braggast á þessu árabili og er nánar fjallað um það síðar í þessum kafla (kafla 8.8. bls. 26).

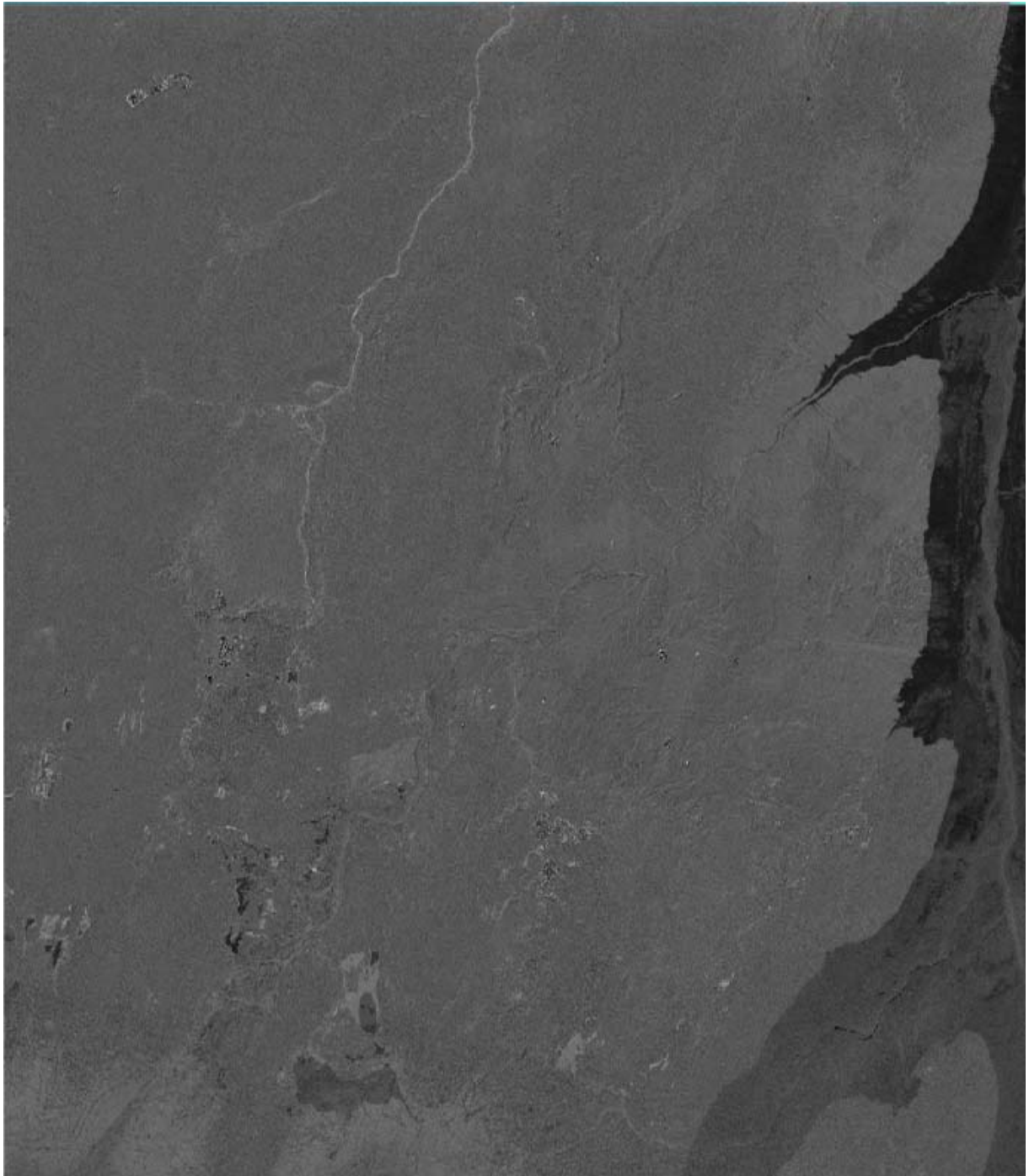
Niðurstaðan með leiðréttingum fyrir áhrifum andrúmsloftsins verður að teljast áreiðanlegri en sú fyrri þar sem þessar leiðréttingar voru ekki gerðar, enda er almenn og einsleit framför alls gróðurs á þessu svæði ekki trúverðug eins og nánar verður vikið að síðar (sjá kafla 9 bls. 32). Í framhaldinu verður því eingöngu fjallað um niðurstöðuna með lofthjúpsleiðréttingum.

8.3. Suð eða óvissa í myndunum

Nokkurt suð er í niðurstöðumyndum 10 og 11 sem hefur enga merkingu í sjálfu sér, heldur endurspeglar eingöngu þá óvissu sem er eðlislæg í gögnunum sjálfum og er aðallega til komin vegna ákveðins breytileika í nemum myndskannans og alltaf er til staðar í öllum mælitækjum (í SPOT-5 skannanum eru 6000 nemar í hverju bandi og þessir nemar eru aldrei allir nákvæmlega eins). Niðurstaðan býður því ekki upp á þá nákvæmni að skynsamlegt sé að rýna í gildi einstakra myndpunkta heldur þarf að einfalda hana í samræmi við þá óvissu sem í henni er til þess að gleyma sér ekki í merkingarlausum smáatriðum. Það er gert með því að skipta grágildasviðinu í nokkra flokka sem síðan eru settir fram hver og einn með ákveðnum lit. Mynd 12 sýnir niðurstöðumyndina eftir að hún hefur verið flokkuð í 7 flokka.



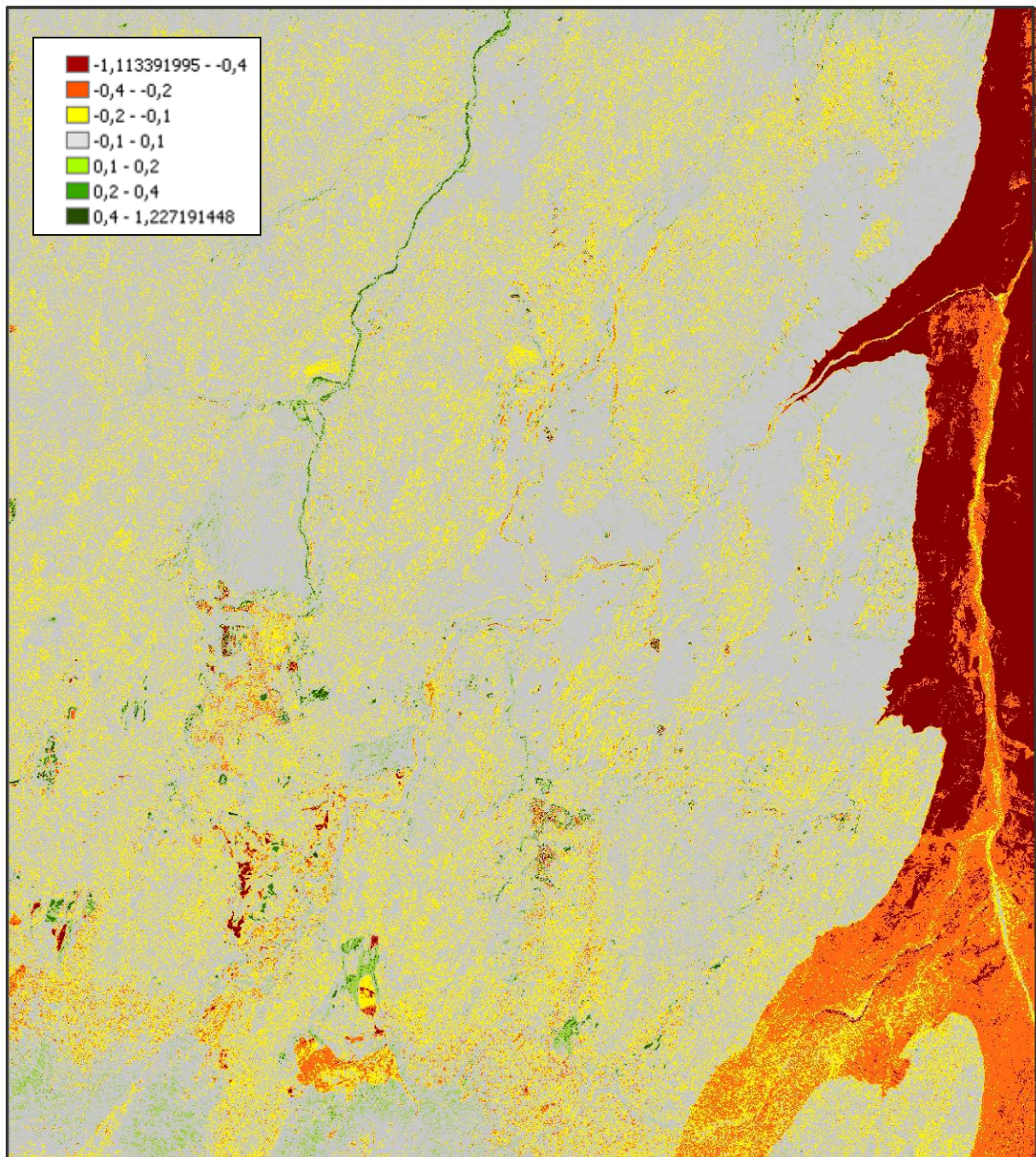
Mynd 10. NDVI-breytingar milli 2002 og 2010. Niðurstöðumynd án leiðréttingar fyrir áhrifum lofthjúpsins. Samanburður við myndir 3 og 5 sýnir að flest augljós frávik frá meðalgrágildi myndarinnar hvort sem það er til hækkunar eða lækkunar eiga rætur að rekja til breytinga á vatnafari svæðisins, þ.e. jökuljaðrinum, vatnsrennsli í ám og vatnsstöðu í vötnum og pollum en fyrst og fremst auðvitað til tilkomu Háslóns (til hægri).



Mynd 11. NDVI-breytingar milli 2002 og 2010. Niðurstöðumyndin eftir að búið er að leiðrétta fyrir áhrifum lofthjúpsins. Munurinn á myndum 10 og 11 virðist við fyrstu sýn ekki vera mikill en þegar betur er að gáð sést að ljósgrái liturinn á grónu svæðunum er að mestu horfinn eftir lofthjúpsleiðréttinguna.

8.4 Litaframsetning niðurstöðunnar og flokkun

Á mynd 12 hefur niðurstaðan verið einfölduð með þeim hætti að grágildasviði niðurstöðunnar (mynd 11, $NDVI_{2010} - NDVI_{2002}$ með lofthjúpsleiðréttingu) hefur verið skipt í 7 bil eða flokka hver flokkur settur fram með ákveðnum lit. Á litakvarðanum í efra vinstra horni má sjá skiptinguna og hvað einstakir litir þýða. Þar sem engar breytingar hafa orðið er $NDVI_{2010} - NDVI_{2002} = 0$ að öllu óbreyttu. Bilið frá -0,1 til +0,1 þar sem engar raunverulegar breytingar eru taldar hafa orðið er táknað með gráum lit. Jákvæðar gróðurstuðulsbreytingar eru í grænum litum, en neikvæðar breytingar í gulu, rauðgulu og dökkrauðu.



Mynd 12. $NDVI_{2010} - NDVI_{2002}$ með lofthjúpsleiðréttingu (sbr. mynd 11) með skiptingu grágildanna í 7 bil eða flokka samhverft um núllið. Ljósgrátt tákna engar breytingar, grænir litir tákna hækkun á gróðurstuðli en aðrir litir sýna lækkun á gróðurstuðli. Með samanburði við myndir 3 og 5 sést að flestar breytingarnar tengjast vatnafari á svæðinu.

8.5. Umhverfisáhrif – mismunandi mikill raki í yfirborði

Athyglisvert er hvað guli liturinn er áberandi í niðurstöðunni á mynd 12. Gult þýðir að gróðurstuðullinn hefur lækkað og ef mynd 12 er borin saman við myndir 3 og 5 sést að guli liturinn er einkum bundinn við þau svæði þar sem enginn gróður er fyrir hendi, hvorki 2002 né 2010 (sjá t.d. svæðið neðst á myndinni sem er nýkomið undan jökli og er því örugglega ógróið). Þar sem lækkun gróðurstuðuls á gróðurlausum svæðum getur ekki orðið vegna minnkandi gróðurs verður að leita annarra skýringa og þær er væntanlega að finna í mismunandi aðstæðum á rannsóknasvæðinu, t.d. veðurfari og þá einkum úrkomu, fyrir myndatökuna 2002 og 2010.

Það er alþekkt að bleyta veldur því að land dökknar, einkum gróðurlaust yfirborð (blautur sandur er mun dekkri en þurr), þ.e. vatnið minnkar endurkastið á sýnilegu sviði. Þetta á einnig við um nærinnrauðar bylgjulengdir, endurvarpið minnkar í svipuðu hlutfalli eins og á sýnilegu sviði eftir rigningu. Það þýðir að gróðurstuðullinn lækkar ef yfirborðið er rakt og rétt er að taka fram að ekki þarf að vera um augljósa bleytu að ræða til þess að þessi áhrif verði heldur nægir smávægileg hækkun á rakastigi yfirborðsins.

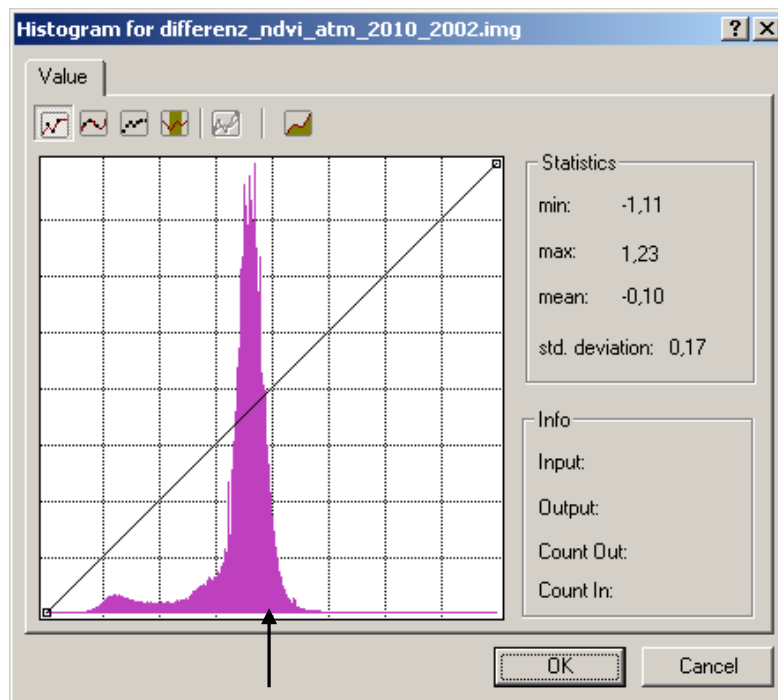
Tafla 3 sýnir úrkomutölur á Kárahnjúkasvæðinu dagana sem SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ voru teknar og þrjá seinustu dagana fyrir myndatökuna. Þessar tölur sýna að talsvert meira rigndi seinustu dagana fyrir myndatökuna 2010 heldur en 2002 sem aftur á móti gefur til kynna að meiri raki hafi verið í yfirborðinu 2010 og ljósendurkastið því minna.

	Þremur dögum fyrir myndatöku	Tveimur dögum fyrir myndatöku	Daginn fyrir myndatöku	Myndataka
SPOT ₂₀₀₂	1,3 mm	1,1 mm	0,0 mm	0,0 mm
SPOT ₂₀₁₀	0,0 mm	2,8 mm	0,3 mm	0,0 mm

Tafla 3. Taflan sýnir millimetra úrkomu á Kárahnjúkasvæðinu þrjá seinustu dagana áður en SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ voru teknar. Meiri úrkoma var fyrir myndatökuna 2010 og því eðlilegt að álykta að meiri raki hafi þá verið í yfirborði svæðisins [8].

8.6. Leiðrétting fyrir umhverfisáhrifum

Mynd 13 sýnir grágildadreifinguna í mynd 12 þar sem mestur hluti tíðniritsins sýnir normaldreifingu gagnanna en auk þess koma þar greinilegar neikvæðar breytingar (halinn til vinstri) sem auðvitað eru til marks um tilkomu Háslóns. Enginn kvarði er á lárétta ás grafsins, en núllið er í miðjunni þar sem örin hefur verið sett inn. Normaldreifði hlutinn er hins vegar ekki samhverfur um núllið eins og væri ef aðstæður á rannsóknasvæðinu hefðu verið þær sömu þegar myndirnar voru teknar, heldur er kúrfan nánast öll vinstra megin við núllið sem kemur heim og saman við það að yfirborð landsins hafi verið hlutfallslega dekkra árið 2010 en 2002 (neikvæðar breytingar). Það þýðir svo aftur á móti að það bil þar sem engar gróðurstuðulsbreytingar hafa orðið er ekki í kring um núll-punktinn heldur hefur það hliðrast til vinstri.



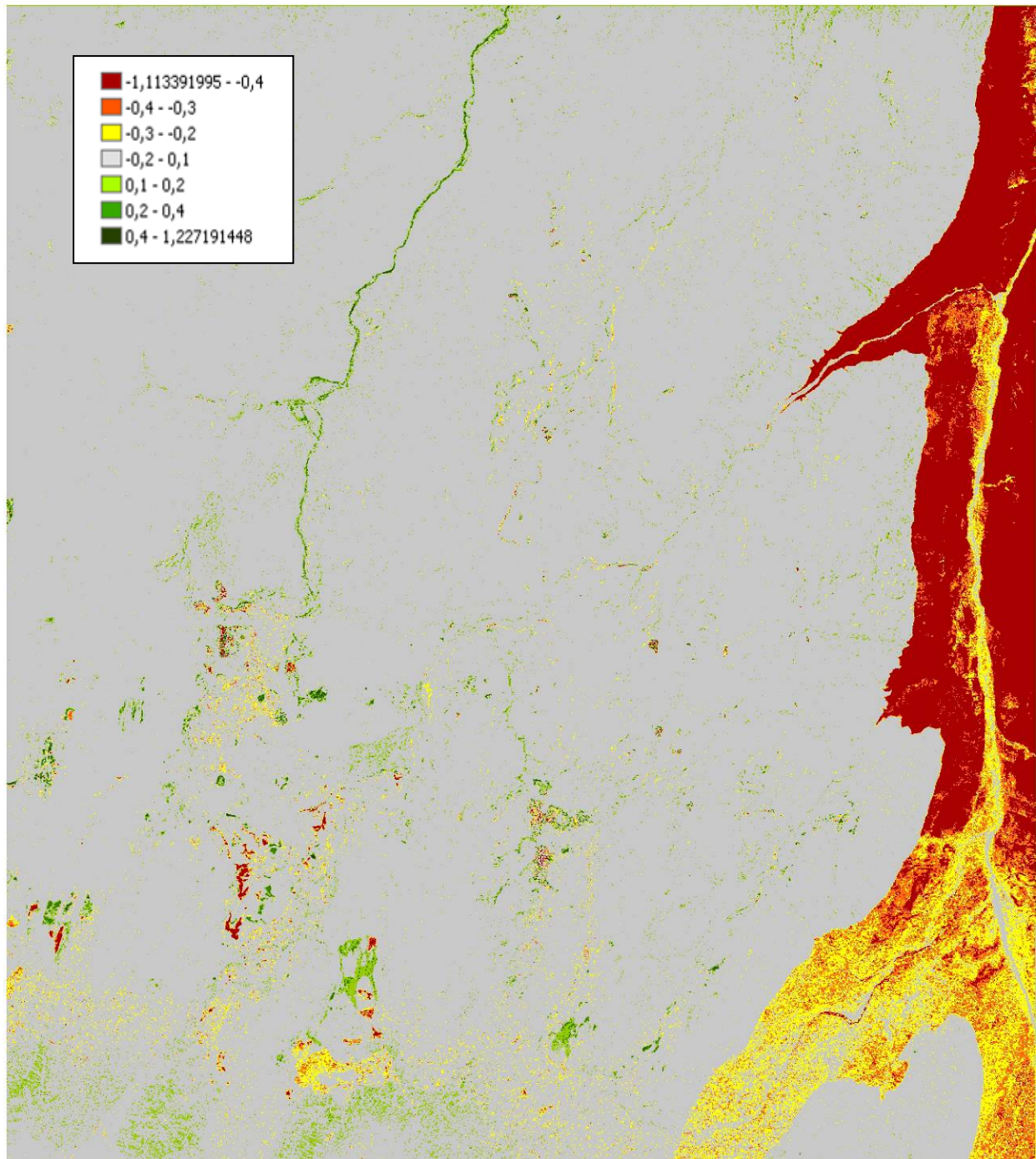
Mynd 13. Grágildadreifingin í mynd 12. Tíðniritið sýnir að stærstur hluti gagnanna er normaldreifður í kring um gildi sem er lægra en núll. (Örin á myndinni). Halinn á kúfunni til vinstri sýnir breytingar sem urðu með tilkomu Háslóns (mest lækkun gróðurstuðulsins).

Mynd 14 sýnir niðurstöðuna þegar búið er að breikka gráa bilið (engar breytingar) niður í - 0,2. Efri mörk gráa litarins eru óbreytt við +0,1 og skipting jákvæðra breytinga er sú sama og áður (ljósgrænt, grænt, dökkgrænt). Á neikvæðu breytingahliðinni hefur bilunum verið hliðrað til um 0,1 í samræmi við gráa litabilið (sjá litakvarðann efst til vinstri á myndinni). Eftir þessa breytingu er nokkurn veginn jafnmikið af gulum og ljósgrænum yrum í niðurstödu-myndinni sem bendir til þess að staðsetningin á gráa bilinu sé núna nokkurn veginn rétt. Um breidd þess má alltaf deila en rétt þykir að þrengja það ekki frá því sem það er í mynd 14 svo að ekki sé reynt að gera meira en skynsamlegt er úr vægum breytingum.

Það er alltaf matsatriði hversu margir litir eru notaðir og hvernig á að stilla litatöflu af þegar litkvarðakort er búið til, í þeim efnum er engin ein framsetning rétt. Hér hefur verið valin sú leið að nota sem fæsta flokka og skipta jákvæðum og neikvæðum breytingum í þrjú litabil, en á milli þeirra er sérstakt bil eða flokkur þar sem engar marktækar breytingar hafa orðið. Það bil er haft með gráum lit og er mikilvægt að það sé ekki of breitt til þess að það feli ekki smávægilegar, raunverulegar breytingar sem gætu hafa orðið hér og þar, en eru ekki hluti mælisuðsins í myndgögnunum. Gráa litabilið er því af ásetningi haft það mjótt að bæði grænir og gulir myndpunktir eru áfram á víð og dreif á svæðinu.

8.7. Niðurstaða ásamt vatnafari

Það liggur í augum uppi að flestar greinilegustu breytingarnar á gróðurstuðli svæðisins eiga rætur að rekja til breytinga á vatnafarinu (mynd 14). Brúarjökull hefur hopað meira en 1 km á þeim átta árum sem liðu milli þess að SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ voru teknar, smálón við jökuljaðarinn hafa breyst, smávötn og pollar hafa sums staðar þornað en annars staðar stækkað og farvegir ánnar í grennd við jökulinn breytt sér sem og vatnsmagnið sem rennur frá jöklinum. Allar þessar breytingar eru óskyldar gróðurbreytingum og eru í raun aðeins truflanir á megintilgangi þessarar rannsóknar sem er að setja fram með skýrum hætti niðurstöðuna hvað varðar hugsanlegar gróðurbreytingar á rannsóknarsvæðinu.



Mynd 14. Niðurstaða rannsóknarinnar. Búið er að víkka gráa litabilið (sem táknar að engin breyting hafi orðið) niður í -0,2 í samræmi við hámarksgildið í tíðniritinu á mynd 13 (sjá mun á litatöflum í myndum 12 og 14). Grái liturinn nær núna yfir þau svæði þar sem örugglega engar gróðurbreytingar hafa getað átt sér stað (að mestu gróðurlaust land). Þó er þess gætt að gráa litabilið sé ekki það breitt að það nái að hylja alla dreifða gula og ljósgræna punkta í myndinni sem sums staðar eru einfaldlega afgangssuð í myndgögnunum en geta annars staðar táknað raunverulegar breytingar.

Aðrir litir sem eftir standa eru augljóslega víðast tengdir breytingum á vatnafari svæðisins.

Þetta kemur best í ljós ef vatnafarskort er lagt ofan á niðurstöðuna í mynd 14, útkoman er sýnd á mynd 15. Vötn, pollar og ár fela flestallar augljósustu breytingarnar á gróðurstuðlinum og sumar gróðurstuðulsbreytingar til viðbótar eiga rætur að rekja til breytinga á vatnafarinu.

Vatnafarskortíð er teiknað eftir SPOT₂₀₁₀ og sýnir því ekki þær breytingar sem urðu á ám og vötnum milli 2002 og 2010. Myndpunktar í grennd við polla og ár sem eru með breytingalit (þ.e. eru annað hvort gulir, appelsínugulir eða grænir) bera nær örugglega aðeins vott um vatnafarsbreytingar milli 2002 og 2010 eða þá að ekki tókst að fella SPOT₂₀₀₂ alls staðar nákvæmlega að SPOT₂₀₁₀. Þeir tákna því ekki breytingar á gróðri eða gróðurþekju. Öðru máli gegnir um bletti sem ekki eru í beinum tengslum við ákveðin atriði í vatnafarskortinu, þá staði þarf að skoða sérstaklega og er það gert í kafla 8.9. bls. 27.

Mynd 15 er í raun niðurstöðumynd þessarar rannsóknar. Hún sýnir að tiltölulega litlar breytingar á gróðurstuðli hafa átt sér stað á árabílinu 2002 – 2010 þegar á heildina er litið nema þar sem vatnafarið hefur breyst. Í nokkrum tilvikum er þó að öllum líkindum um raunverulegar gróðurbreytingar að ræða. Þær breytingar eru víða bundnar við afmarkaða staði eða bletti og þarfnast frekari skoðunar. Víða á mynd 15 má sjá dreifða, þ.e. ósamhangandi, græna (jákvæðar NDVI-breytingar) og gula myndpunkta (neikvæðar NDVI-breytingar). Sumar þessara breytinga eiga örugglega rót að rekja til mismunandi umhverfisaðstæðna (mismikils raka) 2002 og 2010, en aðrar eru eindregnar vísbendingar um að gróður sé í sókn.

Dreifðir gulir punktar eru víða áberandi á gróðurlausum svæðum (sbr. myndir 3 og 5) og einkum á suðurhellingi myndarinnar þar sem skemmst er síðan land kom undan jökli. Lækkun gróðurstuðulsins á slíkum stöðum getur ekki verið tengd breytingum á gróðri. Grænir dreifðir myndpunktar geta hins vegar í mörgum tilfellum bent til þess að ástand gróðurs hafi batnað eða gróðurþekjan aukist.

Niðurstöður þessarar rannsóknar sem fram koma á mynd 15 má taka saman með eftirfarandi hætti (sjá einnig útbreiðslu gróins lands á myndum 3 og 5 til samanburðar):

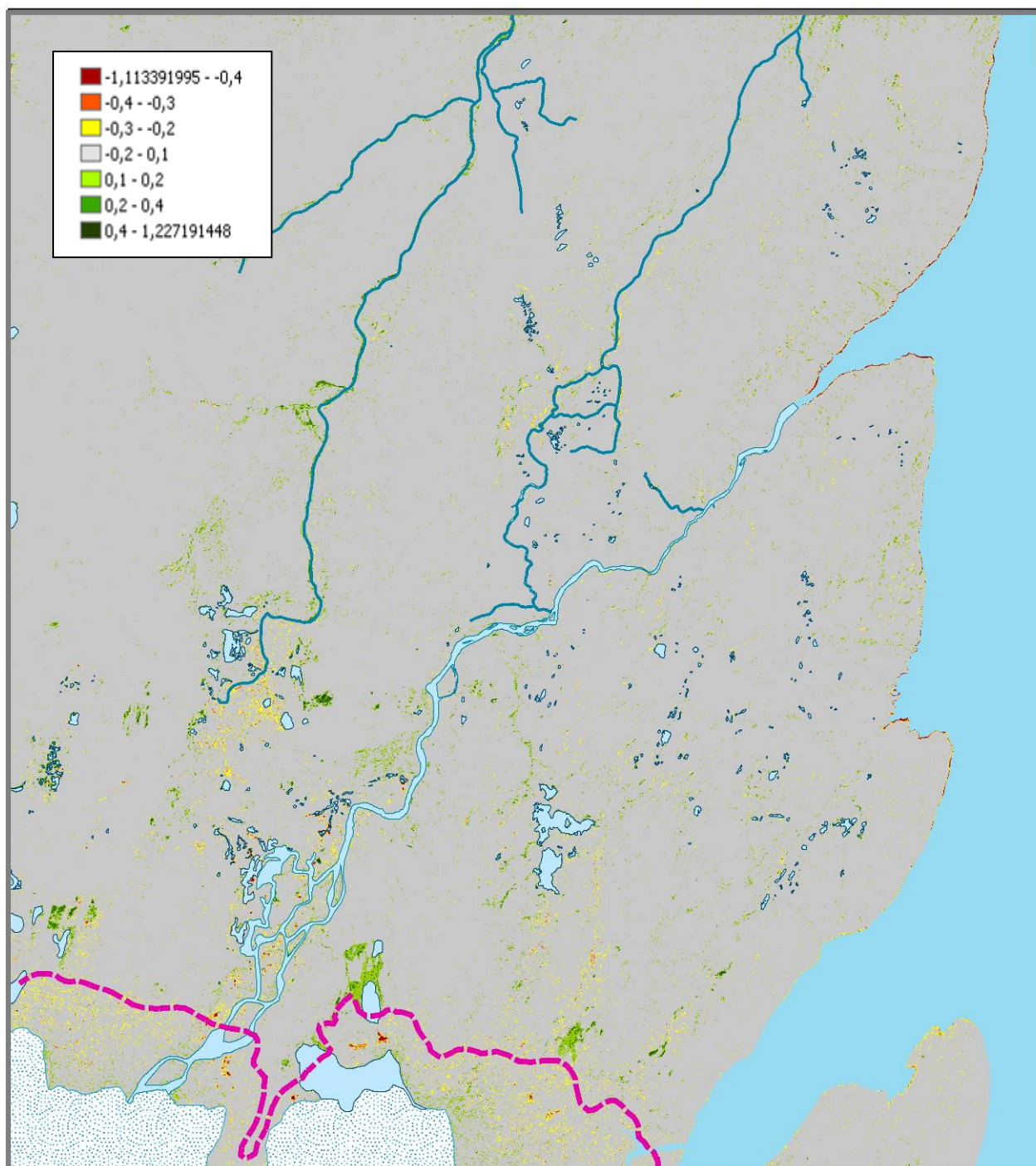
- **Grænir stakir myndpunktar á grónum svæðum:** Eru mjög víða á mynd 15. Líklegasta orsökina er sú að gróður sé í framför á viðkomandi stað, en í sumum tilvikum gæti þó verið um skekkju í geómetrískri aðlögun SPOT₂₀₀₂ að SPOT₂₀₁₀ að ræða.
- **Grænir myndpunktar á ógrónum eða gróðurlitlum svæðum:** Eru víða í samhangandi flekkjum. Orsökina er framför gróðurs á viðkomandi svæðum.
- **Grænir og gulir myndpunktar í næsta nágrenni við ár og vötn:** Líklegast til komnir vegna breytinga á vatnafari. Ólíklegt er að um gróðurbreytingar sé að ræða.
- **Gulir myndpunktar á ógrónum svæðum:** Er víða að finna á mynd 15 bæði sem staka punkta og samhangandi flekki. Orsökina er umhverfistengd, líklegast meiri raki í yfirborði 2010 en 2002.
- **Gulir stakir myndpunktar á grónum svæðum:** Eru mjög óvíða. Orsökina gæti verið af tvennum toga; annað hvort 1) staðbundin gróðureyðing (uppblástur) eða 2) skekkja í geómetrískri aðlögun SPOT₂₀₀₂ að SPOT₂₀₁₀.

Í framhaldinu, kafla 8.9. á bls. 27 verður gerð nánari grein fyrir nokkrum helstu stöðunum þar sem breytingar hafa orðið samkvæmt mynd 15.

8.8. Samanburður við SPOT₂₀₀₆

Myndin SPOT₂₀₀₆ er tekin á miðju tímabilinu milli SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ og samanburður við hana er því mikilvægur við mat á því hversu sannfærandi niðurstöður rannsóknarinnar eru. Sams konar reikningar voru gerðir á SPOT₂₀₀₆ og gróðurstuðullinn NDVI₂₀₀₆ var reiknaður á sama hátt og NDVI₂₀₀₂ og NDVI₂₀₁₀ og síðan dreginn frá NDVI₂₀₁₀ (NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₆) með

leiðréttingu fyrir áhrifum andrúmsloftsins og mismuni á geómetríu myndatökunnar. Útkomuna má sjá á myndum 22 og 23. Hún er í öllum aðalatriðum í samræmi við myndir 14 og 15 og staðfestir þar með niðurstöðu þessarar rannsóknar. Það er því ekki ástæða til þess að fjalla sérstaklega um þennan samanburð hér, heldur látið nægja að setja hann í viðauka (bls. 39).



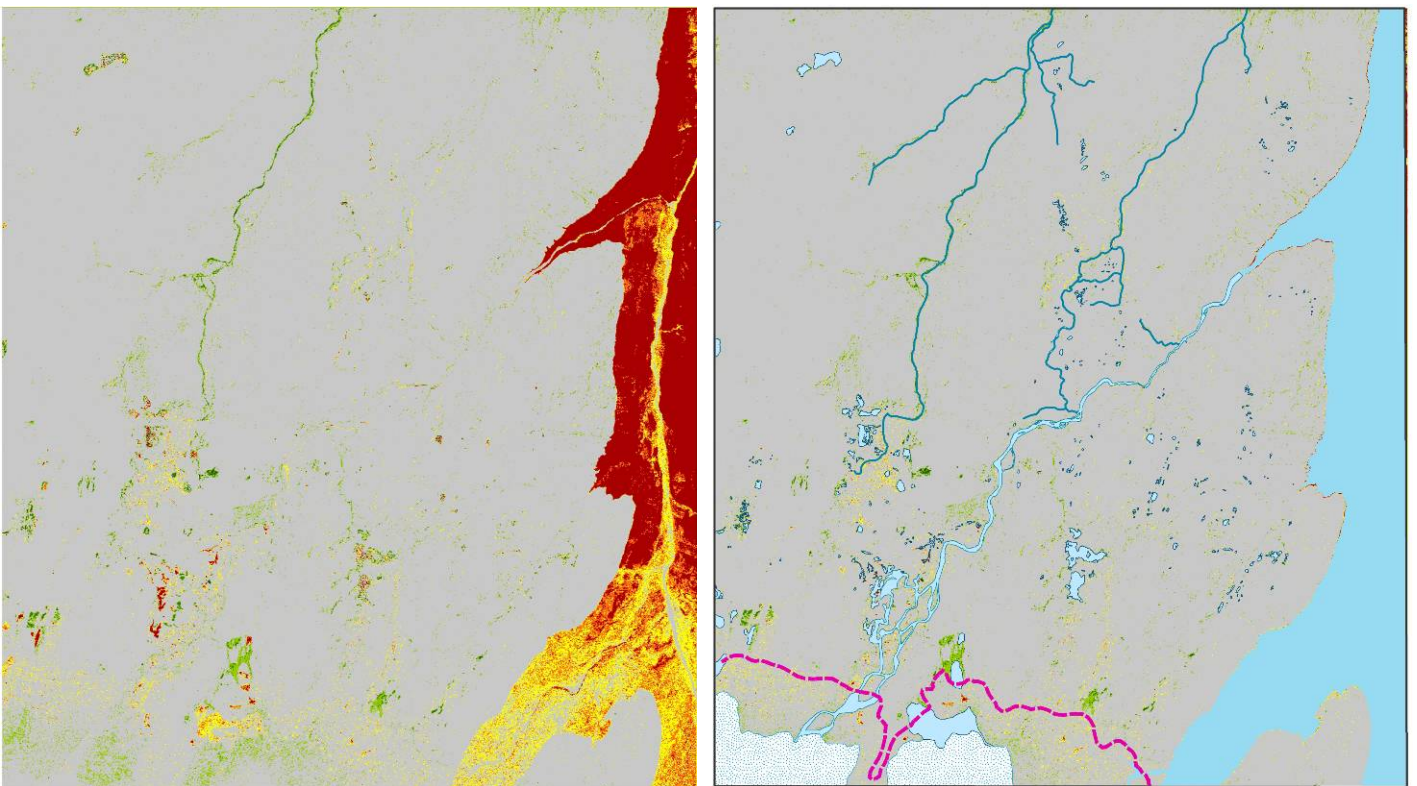
Mynd 15. Niðurstöðumyndin (mynd 14) ásamt vatnafari. Neðst á myndinni er jaðar Brúarjökuls 2010, en strikallínar þar fyrir norðan sýnir aftur á móti jökuljaðarinn eins og hann var 2002. Til hægri sést í Háslón.

Augljósustu gróðurstuðulsbreytingarnar hafa horfið undir ár og vötn, en eftir standa nokkrir grænir blettir sem einnig flestir tengjast breytingum á vatnafari (sjá síðar). Gulyrjött svæði sem víðast hvar fylgja gróðurlausum svæðum (sbr. mynd 3) geta ekki táknað minnkandi gróður og hlýtur skýringin að vera falin í mismunandi veðurfari 2002 og 2010.

8.9. Nokkrir staðir þar sem augljósar NDVI-breytingar hafa orðið

Það er augljóst að allar helstu breytingar á gróðurstuðli rannsóknarsvæðisins eru til komnar vegna breytinga á vatnafari þess. Á mynd 16 er niðurstöðumyndin annars vegar með og hins vegar án vatnafarskortsins. Háslón, vötn og ár fela flesta bletti sem hafa annan lit en þann ljósgráa og tákna þar með raunverulegar breytingar á gróðurstuðlinum. Vatnafarskortið er teiknað eftir SPOT₂₀₁₀ og sýnir því aðeins vatnafarið á þeim tíma, en margvíslegar breytingar hafa orðið á því síðan 2002. Myndpunktur með breytingalitum í grennd við yfirborðsvatn benda líklegast ekki til breytinga á gróðri heldur aðeins til vatnafarsbreytinga milli 2002 og 2010 þótt auðvitað megi deila um það í sumum tilvikum.

Öðru máli gegnir um bletti sem ekki eru í beinum tengslum við ákveðin atriði í vatnafarskortinu, þar gætu sums staðar raunverulegar gróðurbreytingar hafa átt sé stað og þessir staðir verða því skoðaðir sérstaklega. Þar sem gróðurbreytingar í Kringilsárrana er aðalviðfangsefni þessarar rannsóknar eru breytingastaðir í rananum einkum skoðaðir en í seinasta dæminu er einn staður rétt vestan Kringilsárrana tekinn fyrir.

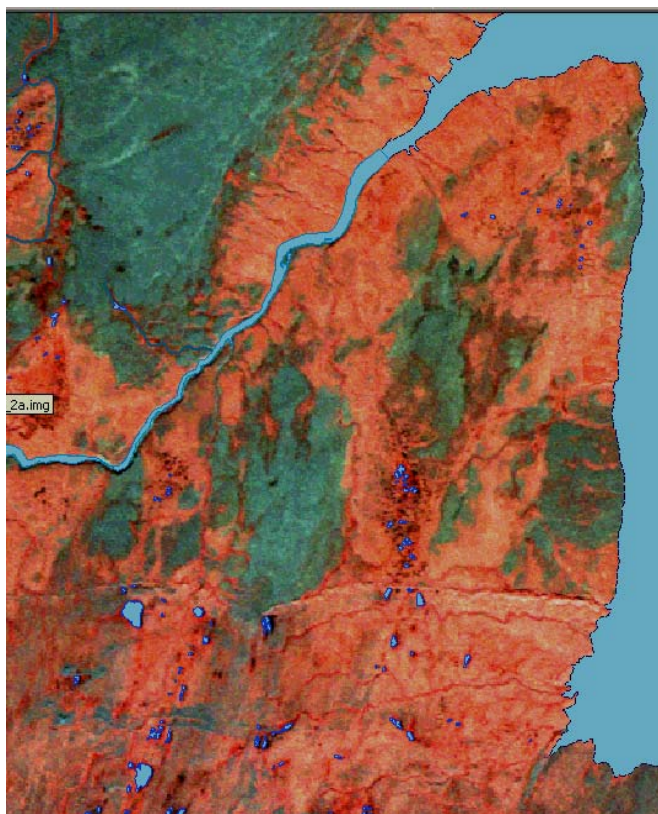


Mynd 16. Samanburður á niðurstöðunni með og án vatnafarsins. Augljóst er að flestar breytingar á gróðurstuðlinum eru tengdar breytingum á vatnafarinu. Nokkrar breytingar eru það þó ekki og verða þær helstu skoðaðar nánar í þessum kafla.

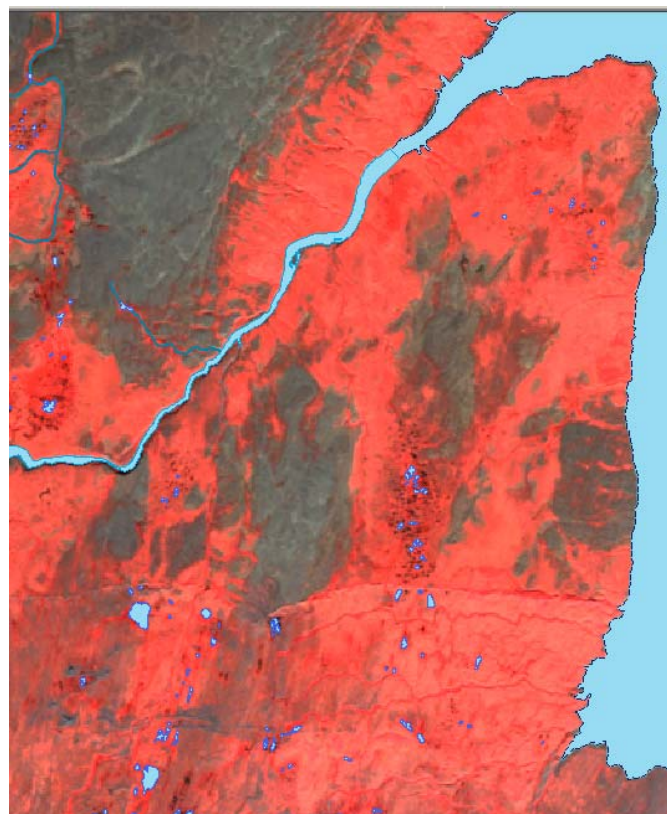
8.9.1. Norðurhluti Kringilsárrana

Þegar Kringilsárrani er skoðaður í heild sinni er ekki um augljósar breytingar að ræða. Útlínur gróinna svæða virðast vera óbreyttar í öllum aðalatriðum á milli 2002 og 2010 og ógrónu svæðin á milli þeirra hafa heldur ekki breyst (myndir 3 og 5). Á mynd 17 hefur norðurhluti Kringilsárrana, þ.e. sá hluti hans sem best er gróinn, verið klipptur út úr myndum SPOT₂₀₀₂, SPOT₂₀₁₀ og NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂ og stækkaður upp.

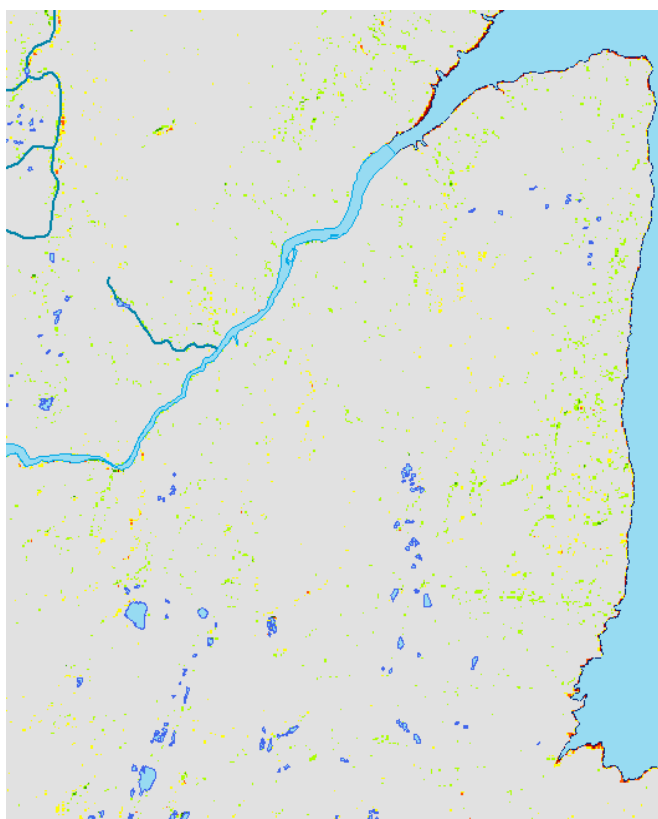
Engar augljósar almennar gróðurbreytingar hafa orðið á þessu svæði en sú staðreynd að talsverðan fjölda af strjálum grænum punktum sem aðallega er að finna á grónum svæðum en gula punkta á ógrónum svæðum bendir til þess að gróður sé í framför frekar en hitt.



A. SPOT₂₀₀₂



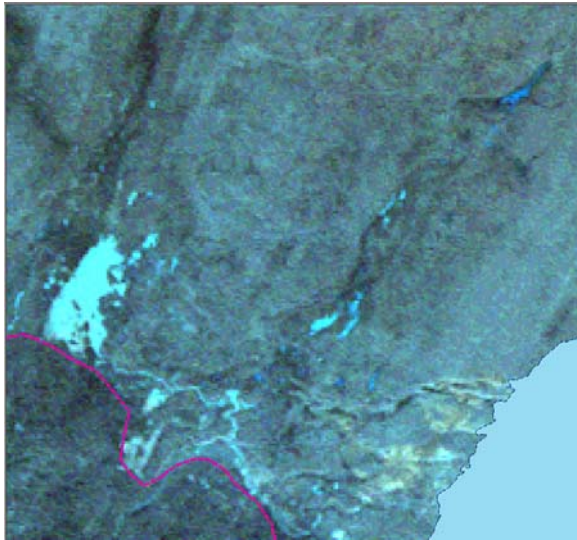
B. SPOT₂₀₁₀



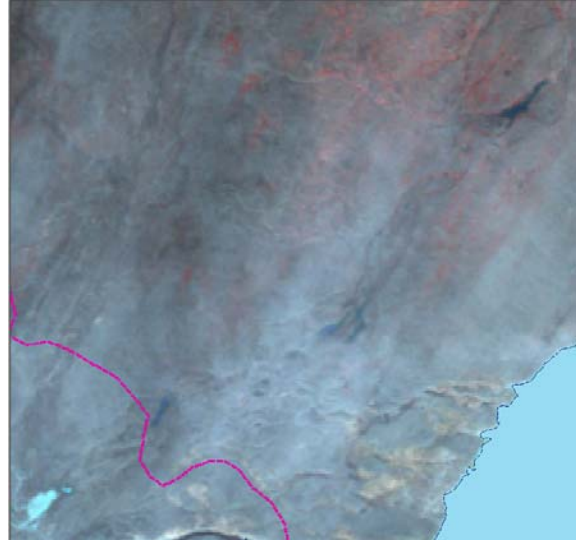
C. NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂

Mynd 17. Úrklippa af sama svæði úr (A) SPOT₂₀₀₂, (B) Spot₂₀₁₀ og (C) NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂ sem sýnir helsta gróðurlendi Kringilsárrana. Ekki er að marka litamun á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀, hann er eingöngu háður handahófskenndri litastillingu vegna framsetningar myndanna. Ekki verður séð með samanburði á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ að umfang gróðurlendisins hafi nokkuð breyst á árabílinu 2002 – 2010, það hefur hvorki minnkað né stækkað.

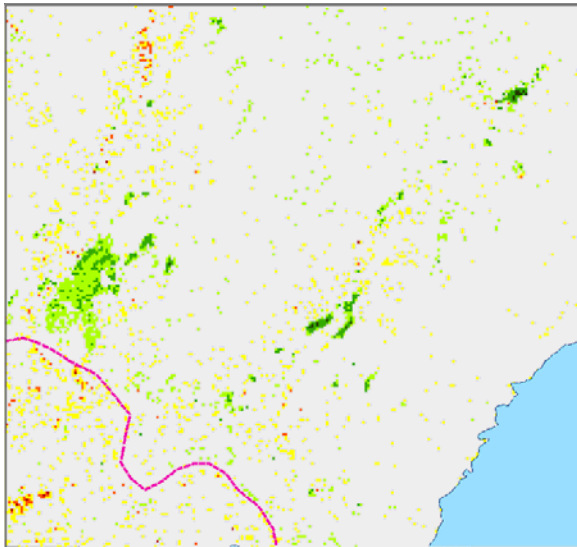
Með samanburði á myndum 17 A, B og C sést að dreifðir grænir punktar á mynd 17 C koma einkum fyrir á þeim svæðum þar sem gróður er, en gulir punktar aðallega á ógrónum svæðum. Ekki skal reynt að gera of mikið úr þessari niðurstöðu, en hún bendir reyndar eindregið til þess að gróður hafi braggast nokkuð á þessu svæði frekar en hitt.



A. SPOT₂₀₀₂



B. SPOT₂₀₁₀



C. NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂

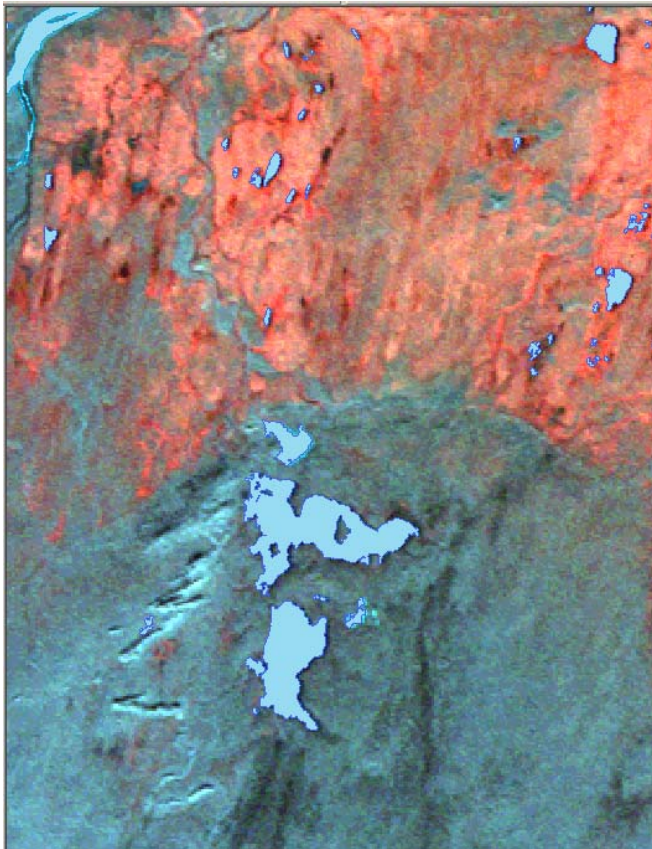
Mynd 18. Úrklippa syðst í Kringilsárrana. Jökulröndin 2002 er teiknuð inn á myndirnar og Hálslón sést í neðra hægra horni. Samkvæmt niðurstöðumyndinni (C) hefur gróðurstuðullinn hækkað hér og þar á svæðinu. Með samanburði á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ sést að þessi hækkun gróðurstuðulsins er vegna vatnspolla sem voru á svæðinu 2002 en höfðu þornað upp fyrir 2010 og eru því ekki á vatnafarskortinu. Hækkun gróðurstuðulsins í þessum tilvikum lýsir því ekki gróðurbreytingum enda útilokað að gróður hafi náð sér verulega á strik á þessu svæði á tímabilinu 2002 - 2010.

8.9.2. Syðst í Kringilsárrana

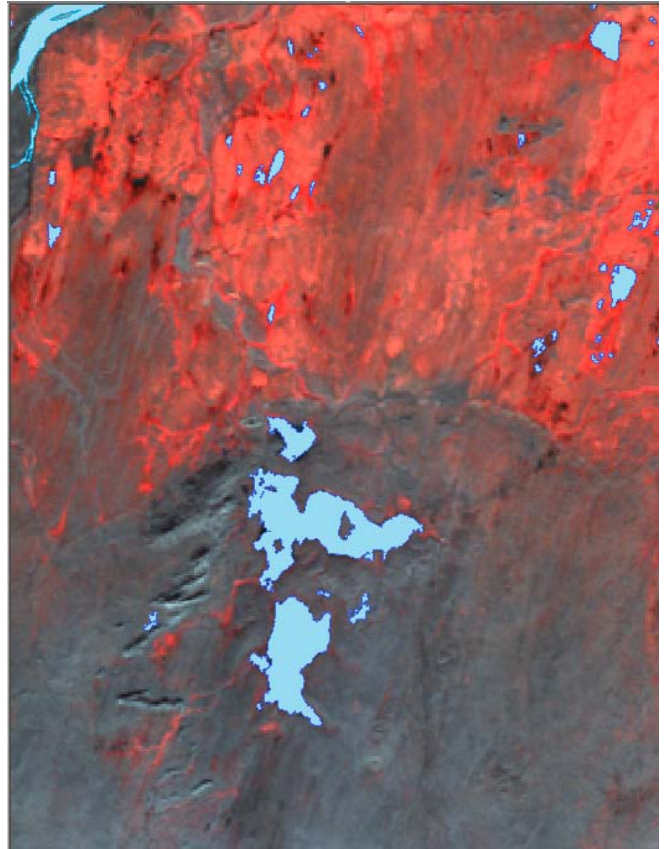
Mynd 18 er stækkun úr mynd 15 ásamt samsvarandi úrklippum úr SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ og sýnir syðsta hluta Kringilsárrana næst Hálslóni. Þetta svæði er tiltölulega nýkomið undan jökli og þarna eru engin merki um að land sé byrjað að gróa upp. Enda sýnir samanburður SPOT-myndanna að grænir blettir á mynd 18 C eru þar sem pollar voru árið 2002 en voru horfnir 2010. Skýjaslæðan á SPOT₂₀₁₀ getur einnig átt sinn þátt í að dreifða græna myndpunkta er að finna hér og þar á þessum hluta svæðisins.

8.9.3. Vestast í Kringilsárrana

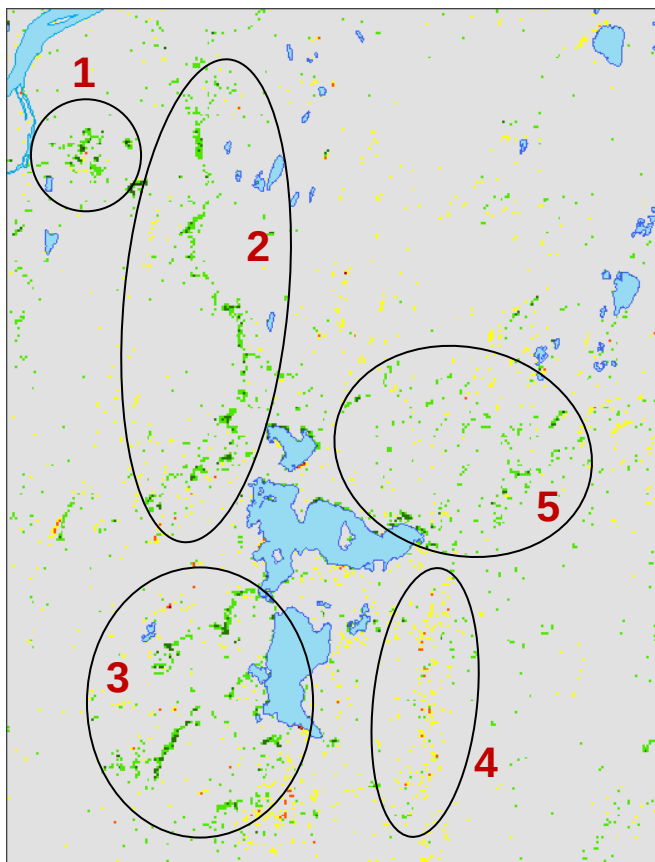
Mynd 19 er af svæði vestast í Kringilsárrana og sýnir bogadreginn jökulgarð frá seinasta framskriði Brúarjökuls 1963 – 1964 en þá hljóp jökullinn 8 km fram við útfall Jöklu [9]. Þarna eru enn mjög greinileg gróðurmörk þar sem land er lítið farið að gróa upp sunnan jökulgarðsins. Af samanburði á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ má þó ráða að gróður er þar byrjaður að festa rætur þannig að greinileg framför hefur orðið frá 2002 (svæði 3 og 5 á mynd 19 C).



A. SPOT₂₀₀₂



B. SPOT₂₀₁₀



C. NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂

Mynd 19. Stækkun á svæði vestast í Kringilsárana, í efra vinstra horni sést Kringilsá. Myndin sýnir hluta jökulgarðs frá seinasta framskriði Brúarjökuls sem varð 1963 – 1964. Eftirtektarvert er hversu greinileg gróðurmörkin eru við jökulgarðinn 40 – 50 árum eftir framhlaupið.

Á þessu svæði eru mörg vötn og tjarnir sem haldist hafa óbreytt á seinustu árum. Helstu gróðurstuðulsbreytingar eru afmarkaðar með sporbaugum á mynd 19 C. Sjá texta á næstu síðu.

Svæði 1 á mynd 19 C er í kring um litla mýrarbletti sem virðast hafa þornað og minnkað síðan 2002 og sýna því jákvæðar breytingar. Mjög líklegt er að gróður hafi þarna náð sér á strik.

Á svæði 2 er gamall árfarvegur sem virðist fyrir löngu hafa þornað upp, a.m.k. er hann þurr á báðum myndunum SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀. Greinileg merki eru um að gróður hafi aukist í þessum farvegi enda aðstæður sennilega hagstæðar, skjól og hærri grunnvatnsstaða en annars staðar í nágrenninu.

Á svæði 4 er einnig gamall farvegur eða renna þar sem gróðurstuðullinn hefur lækkað (gulir myndpunktur). Þarna sjást þó engin merki um gróður og nærtækasta skýringin hlýtur því að vera sú að meiri bleyta eða raki í botni rennunnar orsaki lækkun gróðurstuðulsins.

Á svæðum 3 og 5 er gróður greinilega í nokkurri framför eins og sjá má með einföldum samanburði á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀. Að vísu eru einnig strjálir gulir punktar á þessum svæðum báðum á mynd 19 C, en þeir eru í miklum minnihluta miðað við grænu blettina.

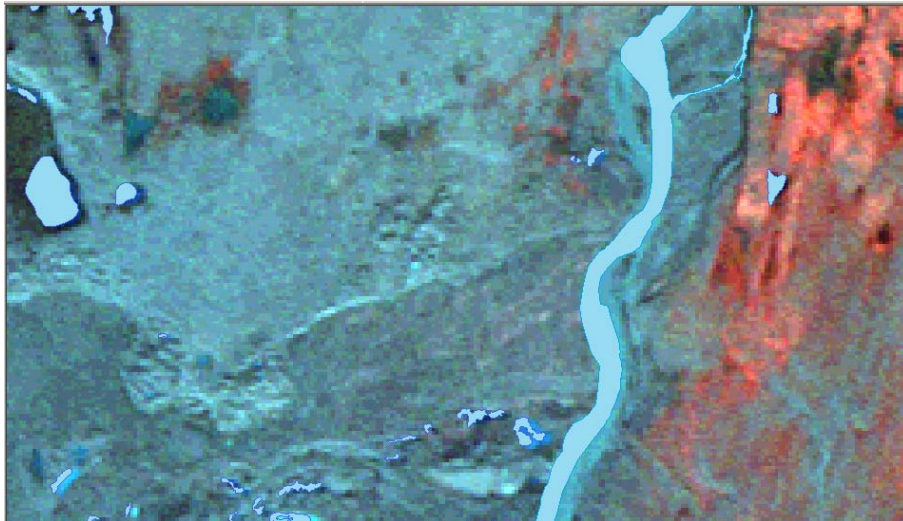
8.9.4. Vestan Kringilsár

Að lokum skal minnst á eitt svæði rétt vestan Kringilsárrana þar sem fullyrða má að gróður-breytingar hafi orðið milli 2002 og 2010. Hægt væri að tilgreina fleiri staði utan Kringilsárrana þar sem breytingar á gróðri hafa orðið en það skal látið liggja á milli hluta hér.

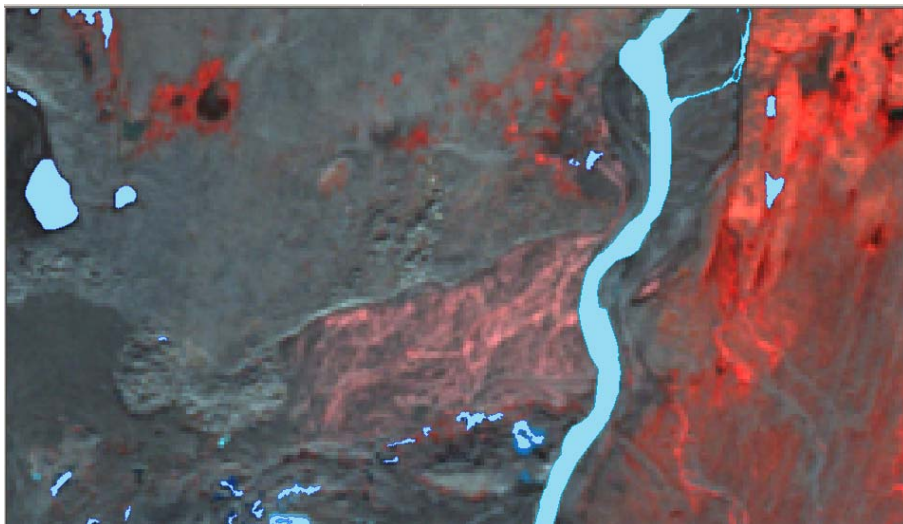
Mynd 20 sýnir þrjá staði þar sem land hefur gróið upp og eru þeir afmarkaðir með sporbaugum á mynd 20 C. Á þessum stöðum eru aðstæður sennilega nokkuð hagstæðar fyrir gróður að festa rætur þar sem landið er lægra en umhverfið sem þýðir bæði skjól og betri aðgang að vatni.

Á svæði 1 er kominn gróður árið 2002 sem hefur braggast verulega 2010 en svæði 2 virðist hafa verið nánast gróðurlaust 2002. Þar er aftur á móti komin greinileg gróðurslíkja árið 2010. Á svæði 3 virðist einnig mega fullyrða að gróður sé í framför.

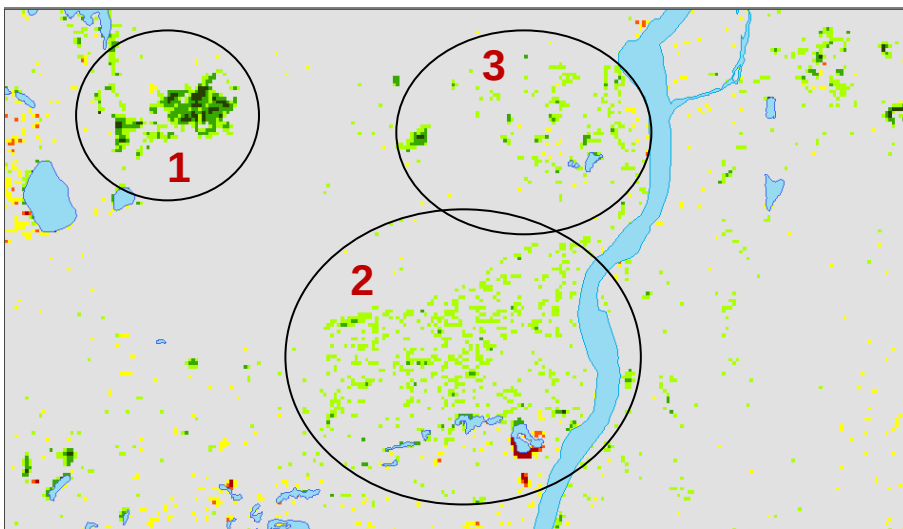
SPOT-myndapörin í þeim dæmum sem hér hafa verið tekin sýna flest vel muninn á gæðum myndanna. SPOT₂₀₁₀ sýnir annars vegar samfelldar litabreytingar frá einum stað til annars en SPOT₂₀₀₂ er hins vegar „grófkornótt“ þar sem litir breytast snögglega milli aðlægra myndpunkta. Eins og áður segir er vatnafarið teiknað upp eftir mynd 2010 og passar því ekki alls staðar við SPOT₂₀₀₂. Þetta sést vel á mynd 20 A þar sem Kringilsá sést hér og þar út undan flákanum. Þetta er ástæðan fyrir því að gróðurstuðullinn hefur víða breyst í grennd við ár og vötn.



A. SPOT₂₀₀₂



B. SPOT₂₀₁₀



C. NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂

Mynd 20. Svæði rétt vestan við Kringilsárrana. Kringilsá rennur þvert yfir myndina og aðgreinir Kringilsárrana frá landinu vestan við. Þrjú svæði þar sem fullyrða má að land hafi gróið upp milli 2002 og 2010 eru afmörkuð með sporbaugum á mynd 20 C.

9. UMRÆÐA

9. 1. Helstu niðurstöður

Helstu niðurstöður þessarar rannsóknar eru annars vegar að mjög litlar almennar gróðurbreytingar hafa orðið í Kringilsárrana frá 2002 til 2010 en hins vegar að á nokkrum stöðum megi fullyrða að gróður sé í framför. Hvergi sjást óyggjandi merki þess að gróðri hrakar. Það kemur heim og saman við skýrslu Náttúrustofu Austurlands frá 2007 þar sem segir að ekki séu „nein augljós merki um að gróður væri almennt að rýrna“ [1].

Í raun væri afar einkennilegt ef afgerandi almennar breytingar á gróðri í Kringilsárrana hefðu mælst á þessu 8 ára tímabili og fyrir því eru nokkrar ástæður. Þær helstu eru eftirfarandi:

- Kringilsárrani liggur í um það bil 700 metra hæð yfir sjó. Breytingar á gróðri í þessari hæð á Íslandi eru mjög hægar. Þótt talað sé um að hitastig á Íslandi hafi hækkað nokkuð á undanförunum árum og veðurfar batnað er átta ára tímabil augljóslega ekki nægilega langur tími til þess að sýna með óyggjandi hætti fram á gróðurbreytingar í þessari hæð vegna hagstæðari umhverfisaðstæðna.
- Gróðurstuðullinn NDVI var upphaflega þróaður sem mælikvarði á grósku eða magn blaðgrænu á flatareiningu í löndum sem hafa allt annað og mun kröftugra gróðurfar en þekkist hér á landi. Gróður í Kringilsárrana er lágvaxinn og víða ósamfelldur og í honum er lítið magn blaðgrænu á flatareiningu ef hann er borinn saman við gróður á láglendi landsins hvað þá ef hann er borinn saman við önnur lönd. Mælingar á smávægilegum gróðurbreytingum á hálendi landsins með samanburði á gróðurstuðli eru því afar vandasamar.
- Í Kringilsárrana, líkt og á öllu öðru grónu landi á þessum slóðum, er talsverð beit bæði hreindýra og heiðagæsa. Beit hreindýra í Kringilsárrana virðist samkvæmt hreindýratalningum Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands hafa verið nokkuð jöfn á þeim 19 árum sem talningarnar spanna [2] (sjá Viðauka I á bls. 38). Það er því ekki um það að ræða að gróður hafi getað vaxið og dafnað óáreittur í Kringilsárrana heldur hefur honum kerfisbundið verið haldið niðri með beit á hverju ári.

Þegar við bætist að þær gervitunglamyndir sem lagðar eru til grundvallar í þessu verkefni eru ekki fyllilega sambærilegar, þ.e. teknar undir ólíku sjónarhorni og þar að auki með mjög mismikilli mögnun myndnemanna, verður allur samanburður á þeim mjög erfiður. Næmni myndnemanna við töku á SPOT₂₀₀₂ var svo lítil og grágildasvið hennar þess vegna svo takmarkað að það ræður mjög illa við greiningu á smávægilegum gróðurbreytingum. Notkun SPOT₂₀₀₂ í rannsókn sem byggist á mjög nákvæmum samanburði tveggja mynda sem teknar eru á mismunandi tíma er því í raun nokkuð hæpin. Þessar aðstæður og annmarkar koma þó ekki í veg fyrir að hægt er að sýna fram á að raunverulegar gróðurbreytingar hafa orðið á nokkrum stöðum á rannsóknasvæðinu.

9. 2. Aðrar niðurstöður

9.2.1. Virkt rof

Í skýrslu Náttúrustofu Austurlands frá 2007 segir m.a.: „Vissulega er gróður gisinn og sums staðar rofabörð, einkum vestan megin þar sem rofabörð eru á allstórum svæðum. Minni rofsvæði eru víðar um mestallan Kringilsárrana. Melar eru all víðáttumiklir vestan til á svæðinu. Ekki voru samt nein augljós merki um að gróður væri almennt að rýrna. Þótt virkt rof sé trúlega í gangi á sumum svæðum sást hið gagnstæða á öðrum, þ.e. að rofabörð voru óvirk eða jafnvel að lokast.“ [1]

Þetta kemur heim og saman við samanburð á NDVI-myndunum frá 2002 og 2010 sem ekki leiða í ljós neinar augljósar vísbendingar um gróðureyðingu. Að vísu má hér og þar sjá staðbundnar yrjur í niðurstöðumyndinni (mynd 15, $NDVI_{2010} - NDVI_{2002}$) sem hægt er að túlka sem gróðurbreytingar, annað hvort að gróðri hefur farið fram (grænir myndpunktar) eða gróðri hefur farið aftur (gulir eða appelsínugulir myndpunktar). Það verður þó að fara mjög varlega í túlkun á þessum smávægilegu og staðbundnu litabreytingum. Líklegt er að a.m.k. hluti þeirra sé til kominn vegna skekkju í geómetrískri aðlögun SPOT₂₀₀₂ að SPOT₂₀₁₀ sem einkum stafar af ólíkum sjónarhornum við myndatökuna og ónákvæmu landlíkani.

Í þessu sambandi verður að hafa það hugfast að með fjarkönnunarrannsóknum á yfirborðsbreytingum þar sem notast er við SPOT-5 myndir eru bornar saman ljósmælingar frá blettum sem eru 100 m² á stærð (10 m greinihæfni) og ef mælingarnar sem bornar eru saman eru ekki af samsvarandi bletti á svæði þar sem gróið og ógróið land skiptist á þá geta niðurstöðurnar hæglega orðið á þann veg að þær gefi til kynna breytingar þar sem engar hafa orðið eða að raunverulegar breytingar mást hreinlega út. Þó má að minnsta kosti fullyrða að virkt rof í Kringilsárrana sé hvergi það mikið að það skilji eftir sig gróðurlausa rofgeira sem eru meiri um sig en 20 metrar á lengd, eða sem nemur hámarksskekkju í geómetrískri aðlögun SPOT₂₀₀₂ að SPOT₂₀₁₀.

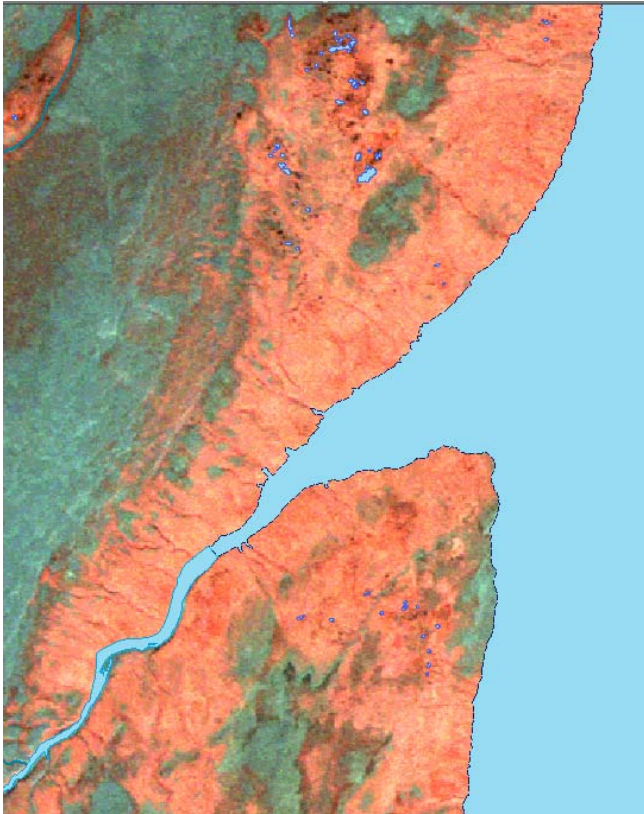
Í þeim hugbúnaði sem notaður er við úrvinnslu og samanburð gervitunglamynda er hægt að lesa hnit sérhvers myndpunkts á rannsóknasvæðinu og með GPS-staðsetningartækni má mjög auðveldlega finna viðkomandi stað á vettvangi. Það væri vafalaust áhugavert verkefni að merkja sérstaklega við þá bletti í niðurstöðumyndinni (mynd 15) þar sem grunur er um virkt rof og skoða síðan þá staði sérstaklega í vettvangskonun.

9.2.2. Áfok úr lónsbotninum

Áður en Háslón varð til hafði því verið spáð að set af lónsbotninum mundi fjúka upp þegar vatnsstaðan er lægst á vorin og leggjast yfir gróður á og við lónsbakkana og jafnvel kaffæra gróður alveg á stórum svæðum.

Seinni myndin sem notuð er í þessari rannsókn er frá september 2010 eða þremur sumrum eftir að lónið var fyllt í fyrsta sinn. Þrjú ár er vissulega ekki langur tími og væntanlega þarf mun lengri tími að líða áður en hægt er að slá einhverju föstu um áhrif áfoks úr lónsbotninum. Hvað sem því líður þá verður ekki séð með samanburði á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ að nokkur merkanlegur munur sé á gróðri eða grósku á lónsbökkunum rétt ofan hæstu vatnsstöðu í Kringilsárrana eða norðan Kringilsár (mynd 21 á næstu síðu). Mynd 1 á bls. 4 í þessari skýrslu bendir til hins sama.

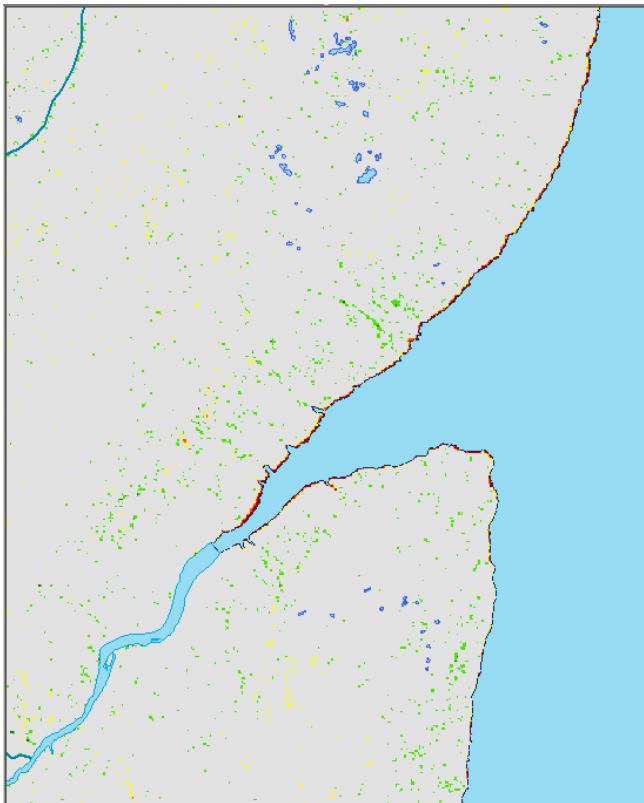
Þá er það auðvitað einnig þekkt að skakkaföll í náttúrunni verða alla jafnan ekki hægt og bítandi heldur gerast oft á svipstundu. Það er því ekki ólíklegt að áfok úr Háslóni verði einkum í stuttum atburðum við ákveðnar aðstæður, þ.e. þegar vindstyrkur, vindátt og langur þurrkatími að vori leggjast á eitt með að valda sandfoki úr lónsbotninum. Hingað til hefur ekki heyrst af slíkum atburði við Háslón.



A. SPOT₂₀₀₂



B. SPOT₂₀₁₀



C. NDVI₂₀₁₀ – NDVI₂₀₀₂

Mynd 21. Bakkar Háslóns í nyrsta hluta Kringilsárrana og norðan Kringilsár. Engin merki eru enn um að leir og sandur úr lónsbotninum hafi haft áhrif á gróður á bökkum þess. Mynd 1 á bls. 4 í þessari skýrslu bendir til hins sama.

Vatnafarskortið hefur verið sett ofan á myndir 21 A og C en á mynd 21 B sést lónið sjálft eins og það var þegar myndin var tekin. Dökk rönd við lónsbakkana sem bæði kemur fram á myndum B og C er til komin vegna þess að vatnsborð í lóninu hefur ekki alveg náð hæstu stöðu þegar SPOT₂₀₁₀ var tekin. Ofan hennar sjást engin merki þess að gróðri hafi hrakað. Ef eitthvað er virðist gróður þar heldur hafa tekið við sér (grænir dreifðir myndpunktur).

9.3. Framhald gróðureftirlits með gervitunglamyndum?

Breytingar á gróðurfari á norðlægum breiddargráðum eins og á Íslandi eru hægar, sérstaklega á hálendi. Það þýðir að ef sýna á fram á gróðurbreytingar þar með samanburði á gervitunglamyndum verður langur tími að líða á milli þess að myndirnar eru teknar. Breytingar á láglendi geta verið mun meiri og hraðari (meðalsumarhiti við sjávarmál lækkar um allt að eina gráðu við hverja 100 metra í hæð) og ekki þarf því eins langur tími að líða á milli mynda til þess að hægt sé að sýna þar fram á gróðurbreytingar með öyggjandi hætti.

En staðan gæti verið að breytast vegna hlýnunar loftslags. 1963 – 1964 gekk Brúarjökull seinast fram en hefur síðan hörfað um nokkra kílómetra og skilið eftir sig ógróna auðn [9]. Á myndum 3 – 5 sjást litaskilin enn mög greinilega við jökulgarðinn sem þá myndaðist. Þótt rauð slika sjáist sums staðar er auðnin sunnan jökulgarðsins frá 1964 enn mjög lítið farin að gróa upp þótt meira en 40 ár séu liðin frá því að nyrsti hluti hennar varð aftur íslaus. Samanburðurinn á SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ í stækkuninni á mynd 19 sýnir hins vegar að á þeim átta árum sem liðu á milli þess að myndirnar voru teknar hefur landið sunnan jökulruðningsins gróðið meira upp en næstu 20 – 30 ár þar á undan. Það bendir til þess að ekki þurfi að líða nema örfá ár þangað til hægt væri að endurtaka þessa rannsókn sem þá gæfi enn skýrari niðurstöður.

Þetta yrði að sjálfsgöðu háð því að SPOT-5 gervitunglið gæti haldið áfram myndatöku í nokkur ár til viðbótar, en samkvæmt upphaflegri áætlun hefur það nú þegar lokið hlutverki sínu. Með SPOT-5 lýkur SPOT-áætluninni og við henni tekur Pleiades-áætlunin sem í raun er hafin þar sem fyrra gervitunglinu af tveimur var skotið á braut um jörðu í desember 2011 [10].

9.4. Aðgengi að gervitunglamyndum af Íslandi

Síðan 2002 hafa nokkrar stofnanir, þar á meðal Landsvirkjun, komið sér upp safni SPOT-5 gervitunglamynda af Íslandi. Þetta safn telur núna um 80 myndir og þekur allt landið. Hingað til hafa gervitunglamyndir með mikilli greinihæfni (myndpunktstærð 4 – 30 m) verið dýrar, en nú er allt útlit fyrir að það muni breytast talsvert. Að minnsta kosti er ljóst að stóraukið framboð verður á gervitunglamyndum með mikilli greinihæfni á allra næstu árum og vegna aukinnar samkeppni á þessum markaði mun verð gagnanna lækka verulega.

Þá kemur einnig til þátttaka Íslands í starfsemi Umhverfisstofnunar Evrópu (EEA) sem tengist verkefnum á sviði umhverfiseftirlits og -rannsókna. EEA og Evrópska Geimferðastofnunin (ESA) hafa gert með sér sérstakan samning vegna GMES verkefnisins (GMES: Global Monitoring for Environment and Security) um að síðarnefnda stofnunin sjái um að útvega gervitunglamyndir með mikilli greinihæfni á nokkurra ára fresti sem grunn gögn fyrir reglubundna umhverfissvöktun í Evrópu og víðar. Vegna þátttöku Íslands í GMES-verkefninu og annarri starfsemi á vegum EEA munu íslenskar stofnanir geta fengið ókeypis aðgang að þessum gervitunglamyndum til notkunar í þeim verkefnum sem tengjast þessari samvinnu. Þessar myndir mega stofnanirnar einnig nota í lögbundnum verkefnum sínum ef sú notkun er ekki í hagnaðarskyldu. Það eru því allar líkur á að innlendar stofnanir muni eiga stórauðinn aðgang að ókeypis eða mjög ódýrum gervitunglamyndum með mikilli greinihæfni af Íslandi sem teknar eru reglubundið með aðeins nokkurra ára millibili.

Tilvitnanir

- [1] Guðrún Áslaug Jónsdóttir og Kristín Ágústsdóttir: Kárahnjúkavirkjun. Rannsóknir á gróðri í Kringilsárrana. Lýsing gróðurs og uppsetning vöktunarreita. Skýrsla Landsvirkjunar, LV 2007/036. Mars 2007.
- [2] Kolbeinn Árnason: Samantekt á upplýsingum úr skýrslum Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands fyrir Landsvirkjun „Hreindýratalningar norðan Vatnajökuls með myndatöku úr flugvél“, 2002 – 2010.
- [3] <http://alta.is/nms/?m=t&t1=13&t2=1&t3=0> Náttúrumæaskrá Fljótsdalshéraðs. 13.1. Kringilsárranagriðland.
- [4] Gerður Guðmundsdóttir og Sigmar Metúsalemsson: Gróðurvöktun á Vesturöræfum, Kringilsárrana og Fljótsdalsheiði með notkun gervitunglamynda – Samanburður milli ára 2002, 2007 og 2008. Skýrsla Landsvirkjunar, LV-2010/062, júní 2010.
- [5] Kolbeinn Árnason: Ljósmynd úr ljósmyndaflugi af bökkum Háslóns. Unnið af Verkfræðistofnun Háskóla Íslands fyrir Landsvirkjun, 2010.
- [6] <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index
- [8] Veðurstofa Íslands, Guðrún Þórunn Gísladóttir, upplýsingar í tölvupósti, janúar, 2012
- [9] Helgi Björnsson: Jöklar á Íslandi (bls. 335). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík, 2009. ISBN 978-9935-10-004-7
- [10] <http://smc.cnes.fr/PLEIADES/>

VIÐAUKI I

Fjöldi hreindýra í Kringilsárrana 2002 – 2010

Verkfræðistofnun Háskóla Íslands hefur talið hreindýr á Kárahnjúkasvæðinu árlega frá 1993, oftast tvisvar sinnum um og eftir burðartímann hvert vor. Í töflu 4 eru niðurstöðurnar úr seinni talningu Verkfræðistofnunar á tímabilinu 2002 – 2010 teknar saman. Dýrin eru misjafnlega mörg frá ári til árs, en ekki verður séð að nein ákveðin leitni sé í þessum tölum. Meðalfjöldi hreindýra í Kringilsárrana á þessu tímabili er 103 fullorðin dýr [2].

ár	dagsetn.	Fjöldi dýra á myndum	Uppreiknaður heildarfjöldi
2002	3. júlí	165 + 53k	186 + 60k
2003	22. júní	136 + 42k	140 + 43k
2004	5. júlí	24 + 9k	75 + 28k
2005	12. júní	91 + 51k	92 + 52k
2006	25. júní	30 + 0k	30 + 0k
2007	22. júní	120 + 73k	122 + 74k
2008	6. júlí	116 + 71k	121 + 74k
2009	20. júní	85 + 49k	87 + 50
2010	15. júní	78 + 62k	78 + 62k
meðaltal			103 + 49 kálfar

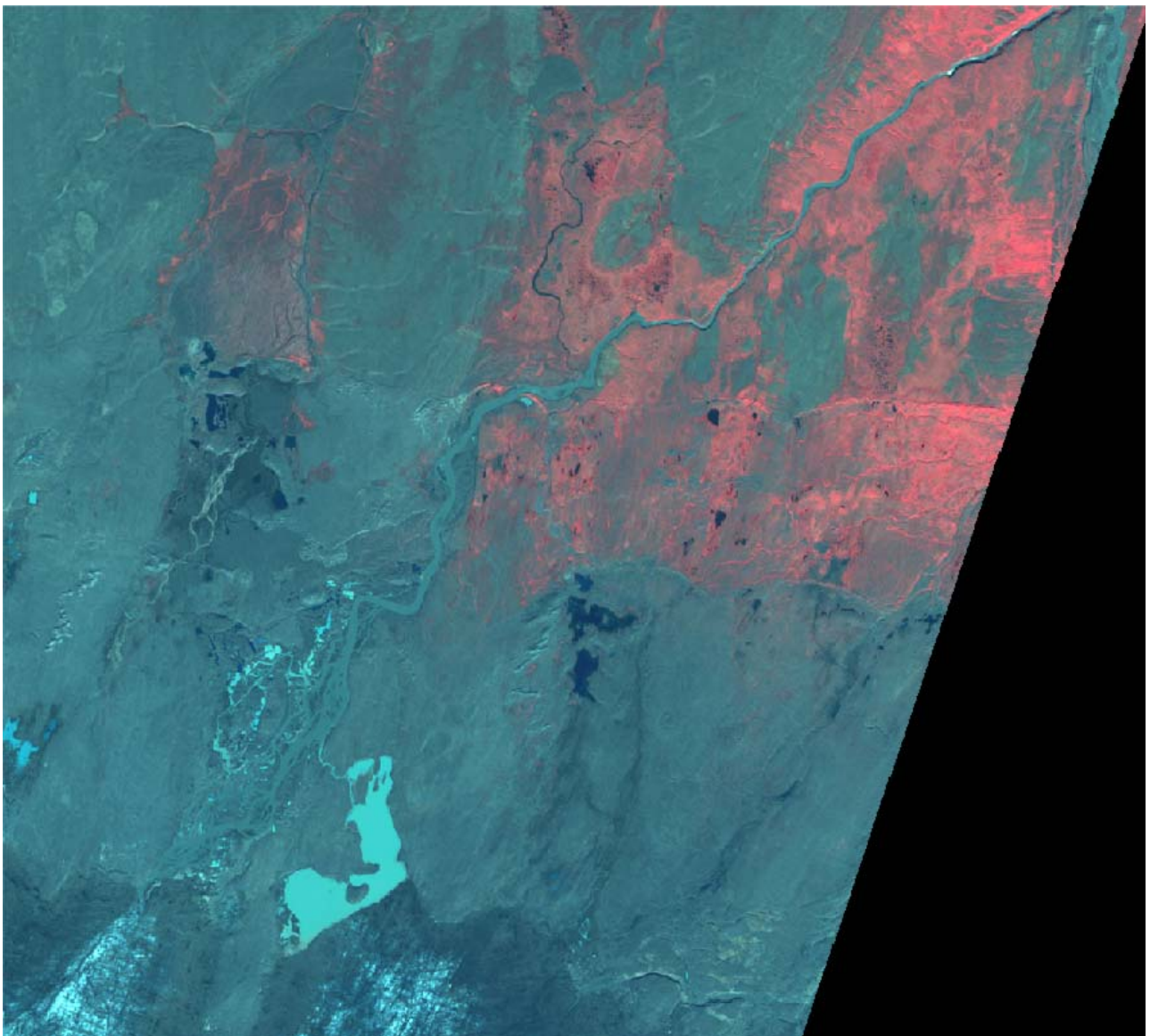
Tafla 4. Fjöldi Hreindýra í Kringilsárrana 2002 – 2010 samkvæmt talningum Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands (VHÍ). Uppreiknaður heildarfjöldi hreindýra er fenginn út úr fjölda dýra sem sjást á meðan á talningu stendur og þeim viðbótardýrum sem koma fram á myndum sem teknar eru í talningunni en myndaþekjan er oftast um 30%.

VIÐAUKI II

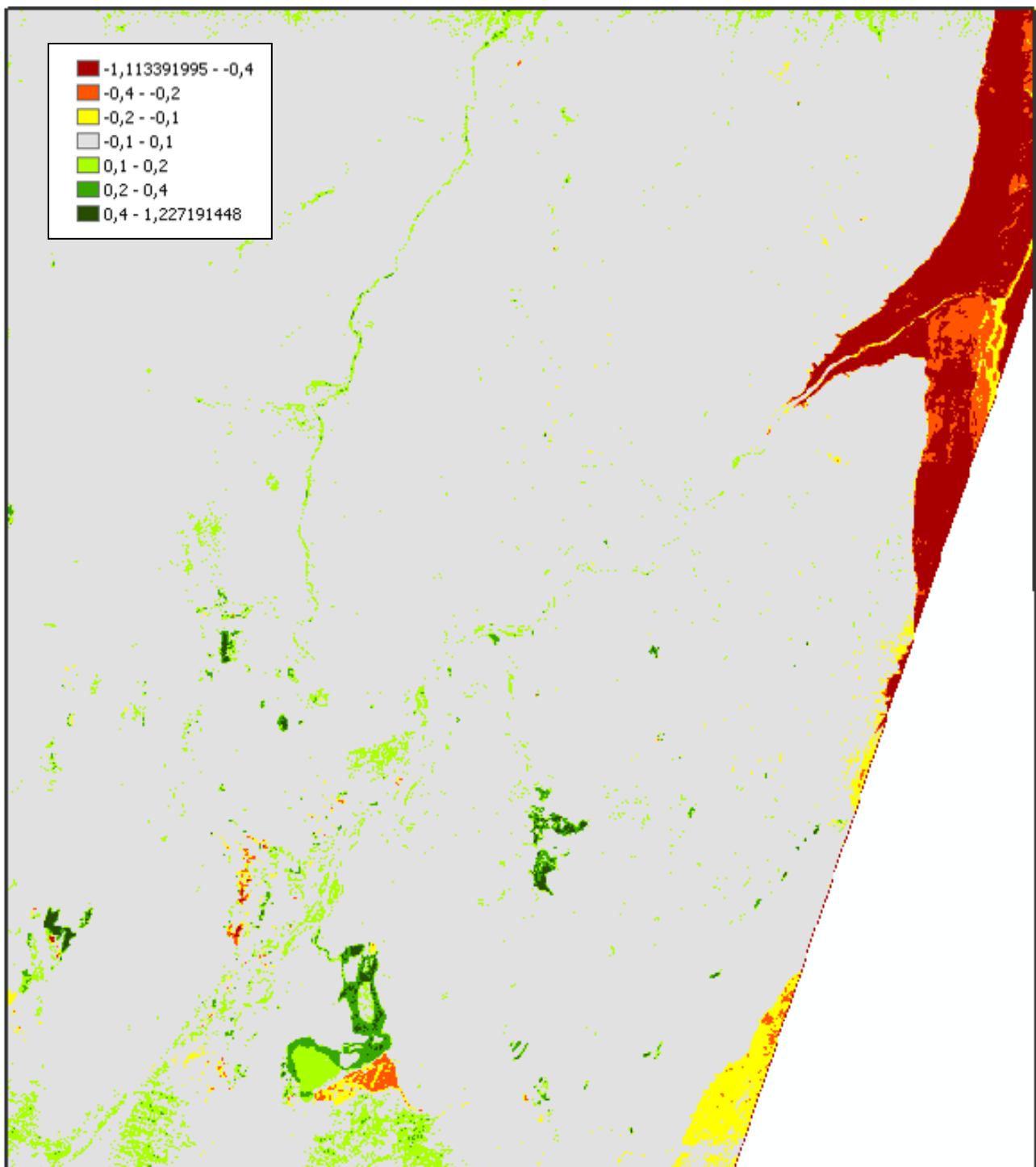
Samanburður við SPOT₂₀₀₆

Mynd SPOT₂₀₀₆ er tekin á miðju tímabilinu milli SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ og samanburður við hana er því mikilvægur við mat á því hversu sannfærandi niðurstöður rannsóknarinnar eru. Sams konar reikningar voru gerðir á SPOT₂₀₀₆ og gróðurstuðullinn NDVI₂₀₀₆ var reiknaður á sama hátt og NDVI₂₀₀₂ og NDVI₂₀₁₀ og síðan dreginn frá NDVI₂₀₁₀ ($\text{NDVI}_{2010} - \text{NDVI}_{2006}$) með leiðréttingu fyrir áhrifum andrúmsloftsins og mismun á geómetríu myndatökunnar.

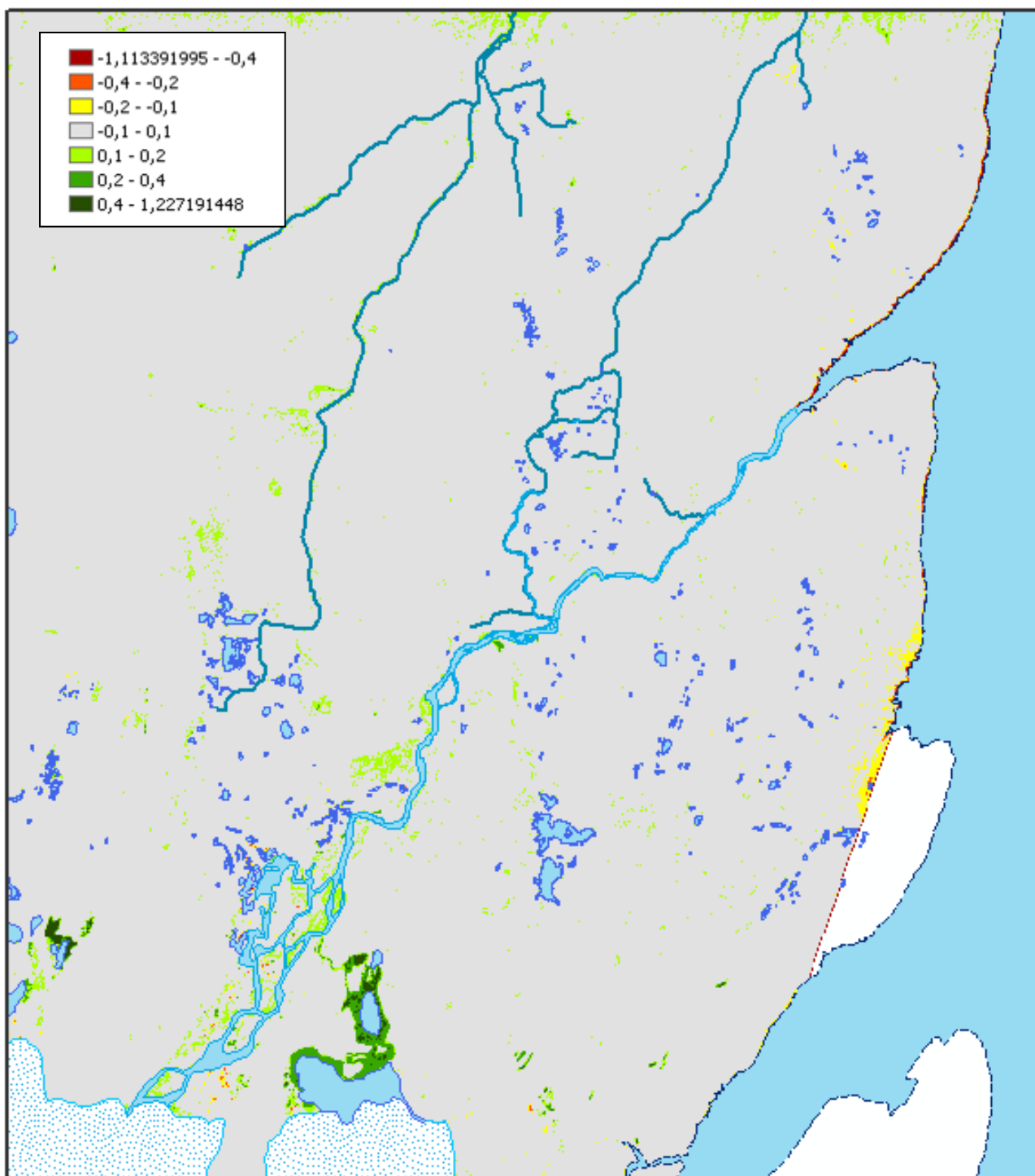
Útkoman staðfestir í öllum aðalatriðum niðurstöðuna í mynd 15. Það er því ekki ástæða til þess að hafa mörg orð um þennan þátt rannsóknarinnar þar sem niðurstöðurnar á myndum 22 og 23 á næstu blaðsíðum tala sínu máli. Til samanburðar við þær er mynd 4 af blaðsíðu 8 birt aftur hér fyrir neðan.



Mynd 4. Kringilsárrani. SPOT₂₀₀₆, SPOT-5mynd tekin 18. ágúst 2006. Myndin er tekin af vestlægari braut en SPOT₂₀₀₂ og SPOT₂₀₁₀ (myndir 3 og 5) og klippist því ölítið austast af Kringilsárrana.



Mynd 22. $NDVI_{2010} - NDVI_{2006}$, eða mismunur á gróðurstuðli $SPOT_{2010}$ og $SPOT_{2006}$ ásamt leiðréttingu fyrir áhrifum andrúmsloftsins og mun á geómetríu. Myndin sýnir sams konar breytingar og koma fram á myndum 15 og 16 og staðfestir þar með í öllum aðalatriðum niðurstöðu rannsóknarinnar. Litir sem sýna breytingar tengjast í flestum tilvikum vatnafarinu. Á þeim stöðum þar sem raunverulegar gróðurbreytingar eru taldar hafa orðið (sbr. kafla 8.9. á bls. 27) eru vísbendingar um samsvarandi breytingar í $NDVI_{2010} - NDVI_{2006}$. Á mynd 23 á næstu síðu hefur vatnafarið verið lagt ofan á niðurstöðuna.



Mynd 23. Sama mynd og mynd 22, $NDVI_{2010} - NDVI_{2006}$, eða mismunur á gróðurstuðli $SPOT_{2010}$ og $SPOT_{2006}$ ásamt vatnafari. Þeir staðir á syðsta hluta svæðisins þar sem litabreytingar, eru tengjast breytingum á vatnafari (sjá t.d. vötnin yst til vinstri, Kringilsá næst jöklinum þar sem hún rennur ekki enn í ákveðnum farvegi og lónið við jökulsporðinn). Aðrir blettir þar sem breytingar á gróðurstuðli koma fram sýna mjög svipaða niðurstöðu og kemur fram í mynd 15. Gulur flekkur við jaðar $SPOT_{2006}$ austast í Kringilsárrana er til kominn vegna einhvers konar grágildabjögum í $SPOT$ -myndinni og hefur ekki neina merkingu hér.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

